



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

TEMA:

“PROPUESTA DE TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU)
PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS
VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA
REFINERÍA DE LA LIBERTAD”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORA:

ERIKA NICOLE SUÁREZ NEIRA

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 TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN
DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE
EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS
VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE
ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA
LIBERTAD”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

ERIKA NICOLE SUÁREZ NEIRA

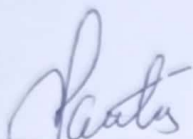
TUTOR:

ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

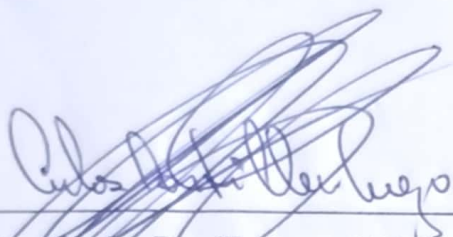
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Marllelis Gutiérrez H, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA



Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Carlos Portilla Lazo, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Israel Yagual Pita, MSc.
DOCENTE DELEGADO UIC



Ing. David Vega González
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Estoy muy agradecida principalmente con Dios, por permitirme haber llegado a esta etapa final de mi carrera por darme salud y fuerzas, dedico principalmente este esfuerzo a la memoria de mi querido padre ***José Suarez***, quien con su amor, ejemplo y fortaleza me enseñó a luchar por mis sueños. Aunque ya no esté físicamente, su guía y apoyo permanecen siempre conmigo, quien estaría muy orgulloso de verme culminando esta etapa mi vida como él lo anhelaba, A mi querida madre ***Alexandra Neira*** quien se lleva el orgullo de tener a una Ingeniera en la familia, por brindarme su apoyo desde inicios de mi carrera y hasta el día de hoy, a mis hermanas que en algún momento de esta etapa me han apoyado, y no menos importante también dedico este logro a ***Jefferson Mora*** quien me apoyo desde inicios hasta el final de mi carrera un motor fundamental que me alentó a continuar cuando ya no podía, su apoyo incondicional y motivación constante me alentaron a alcanzar esta meta.

-Erika Suárez

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Certificado de gramática

Santa Elena, 11 de junio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magíster 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 TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA LIBERTAD”**, elaborado por la estudiante **ERIKA NICOLE SUÁREZ NEIRA** en su opción al título de **INGENIERA EN PETRÓLEOS** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**PROPUESTA DE TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA LIBERTAD**” elaborado por la estudiante **ERIKA NICOLE SUÁREZ NEIRA**, egresado 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 7 % de la valoración permitida.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Trabajo de investigación - Suárez Erika.. (3)

7%
Textos sospechosos

6% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

0% Idiomas no reconocidos

1% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: Trabajo de investigación - Suárez Erika.. (3).docx	Depositante: CARLOS ALFREDO MALAVE CARRERA	Número de palabras: 12.737
ID del documento: f8e6d23a86090cb6d5e08ee1db7f1c779a89bd11	Fecha de depósito: 12/6/2025	Número de caracteres: 81.966
Tamaño del documento original: 152,24 kB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 12/6/2025	



firmado electrónicamente por:
**CARLOS ALFREDO
MALAVE CARRERA**

Validar únicamente con Firm&BC

NG. CARLOS MALAVÉ CARRERA

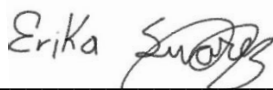
C.I.: 0912370095

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **ERIKA NICOLE SUÁREZ NEIRA**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**PROPUESTA DE TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA LIBERTAD**”, 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,



RIKA NICOLE SUÁREZ NEIRA

C.I. 2450216433

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 TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA LIBERTAD**” previo a la obtención del Título de Ingeniera en Petróleos elaborado por el Srta. Erika Nicole Suárez Neira, egresada 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



ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA

C.I.: 0912370095

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida, por cuidar de mí, de mi familia y de mis seres queridos.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Carlos Malavé Carrera, Msc. cuya cooperación y respaldo sin reservas fueron esenciales para la ejecución de esta tesis. Su conocimiento, paciencia y disposición para brindarme su guía y enfoque en el desarrollo de mi tema de investigación.

Asimismo, quiero expresar mi reconocimiento profundo al superintendente de la refinería La Libertad, Ing. José Villegas, quien me recibió en su despacho atendiendo mi solicitud

A la administración de la RLL que acogió mi solicitud y proporcionarme acceso a información vital para el desarrollo de mi tesis y por su respaldo constante durante la realización de este proyecto. Su dedicación a la transparencia y su disposición para proporcionar recursos y solucionar preocupaciones fueron fundamentales para profundizar el análisis y respaldar de manera adecuada los resultados alcanzados.

A UPSE, levo un grato recuerdo de mi proceso en esta grata universidad y de mis docentes que me enseñaron y compartieron sus conocimientos y anécdotas.

Erika Suárez

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	iv
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	21
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	21
1.2. ANTECEDENTES.	22
1.3. HIPÓTESIS.	23
1.4. OBJETIVOS.	24
1.4.1. Objetivo General.	24
1.4.2. Objetivos Específicos.	24
1.5. ALCANCE.	25
1.6. VARIABLES.	26
1.6.1. Variables dependientes:	26
1.6.2. Variables independientes:	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1. REFINERÍA LA LIBERTAD.	27
2.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.	28
2.2.1. Tipos de tanques de almacenamiento.	29

2.3.	CONTENIDO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.	32
2.4.	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV).	34
2.4.1.	Composición de los COV.	34
2.5.	FUENTES DE EMISIONES DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.	35
2.6.	EQUIPOS DE MEDICIONES DE EMISIONES FUGITIVAS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.	35
2.6.1.	Software de estimación de emisiones TANKS 4.09.	35
2.6.2.	Multigas MX6 iBrid.	39
2.6.3.	Mini RAE.	39
2.7.	IMPACTOS AMBIENTALES QUE OCASIONAN LAS EMISIONES DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.	40
2.8.	SISTEMA PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.	42
2.8.1.	Unidad automatizada de recuperación de vapores (UARV).	43
2.8.2.	Unidad de recuperación de vapores (VRU).	44
2.8.3.	Tanques con techos flotantes.	45
2.8.4.	Sistemas de gas inerte.	48
2.8.5.	Filtros de carbón activado.	50
2.9.	SISTEMA PROPUESTO - TECNOLOGÍA VRU.	52
2.9.1.	¿Qué es la tecnología VRU?	52
2.9.2.	Composición de una VRU	53
2.9.3.	Cómo funcionan las unidades de recuperación de vapores.	53

2.9.4.	Ventajas y consideraciones.....	54
2.9.5.	Limitaciones.	56
2.10.	TIPOS DE VRU PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	56
2.10.1.	Unidad de recuperación de hidrocarburos (VRU) de carbón activado. 56	
2.10.2.	Unidades de recuperación de vapores GARO con compresor de anillo líquido. 57	
2.10.3.	Funcionamiento de las VRU de compresor de anillo líquido para parques de tanques.....	58
2.11.	NORMATIVAS PARA CONSIDERAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	60
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		63
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.1.1.	Introducción a la problemática.....	63
3.1.2.	Enfoque de la investigación.	63
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.	64
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.	64
3.3.1.	Población.....	64
3.3.2.	Muestra.	64
3.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.4.1.	Evaluación de situación actual	65
3.4.2.	Evaluación de las emisiones actuales de COV.	73
3.4.3.	Evaluación de tecnologías de recuperación de vapor.	73

3.4.4.	Propuesta de la mejor tecnología de recuperación de vapores.	73
3.4.5.	Análisis del impacto ambiental de las emisiones de COV y el impacto ambiental resultante aplicando una VRU.....	73
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		74
4.1.	DATOS TÉCNICOS, INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA RLL.....	74
4.1.1.	Evaluación de la estructura de techos fijos y flotantes.....	74
4.1.2.	Evaluación del cuerpo y fondo del tanque.....	75
4.2.	MONITOREO DE EMISIONES FUGITIVAS REFINERÍA LA LIBERTAD.....	77
4.3.	ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REDUCCIÓN/RECUPERACIÓN DE EMISIONES.....	84
4.4.	EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA VRU EN LA RLL. 89	
4.4.1.	Evaluación técnica de una VRU.....	90
4.4.3.	Evaluación económica.....	98
4.4.4.	Normativas que implican a la investigación	100
4.5.	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES DE COV Y DE LA TECNOLOGÍA VRU.....	102
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		105
5.1.	CONCLUSIONES.	105
5.2.	RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		108
ANEXOS		114

LISTA DE FIGURAS

Gráfica 1. Refinería La Libertad, (EPPetroecuador, s.f.).....	27
Gráfica 2. Ubicación geográfica de la Refinería La Libertad, (Autora, Refineria La Libertad, 2025).	28
Gráfica 3. Tanques de almacenamiento de la RLL. (EPPetroecuador, s.f.).....	29
Gráfica 4 tanque de techo fijo. (Rejiglass, s.f.)	30
Gráfica 5. tanque de techo flotante, (Noomcpk, s.f.)	31
Gráfica 6. Tanque esférico, (Noomcpk, s.f.).....	31
Gráfica 7. Tanques horizontales, (Autora, Refineria La Libertad, 2025).....	32
Gráfica 8. Seleccionar tipo de tanque.	36
Gráfica 9. Pestaña de identificación del tanque.	36
Gráfica 10. Pestaña de características del tanque.	37
Gráfica 11. Pestaña de ubicación de la zona.	38
Gráfica 12. Pestaña de identificación de producto almacenado.	38
Gráfico 13. Multigas MX6 iBrid, (Scientific, s.f.).....	39
Gráfico 14. Mini RAE 3000+, (honeyWell, s.f.).....	40
Gráfico 15. características y ventajas, (honeyWell, s.f.).....	40
Gráfica 16. Resultado de la explosión de los tanques en la refinería Esmeraldas, (EPPETROECUADOR, 2025)	42
Gráfica 17. Incendio de un tanque de asfalto. (EPPETROECUADOR, 2018)	42
Gráfica 18. software implementado a una UARV. (Morken group, s.f.)	44

Gráfica 19. Diagrama de flujo de una VRU. (BORSING, s.f.).....	45
Gráfica 20. Tanque de techo flotante. (EPPetroecuador, s.f.).....	46
Gráfica 21. Diseño de tanque de techo flotante externo. Fuente: API-MPMS 19.2.....	47
Gráfica 22. Sistema de gas inerte. (Franko, s.f.).....	48
Gráfica 23. Carga de producto o el aumento de temperatura. (Franko, s.f.).....	49
Gráfica 24. descarga de producto o la baja en la temperatura. (Franko, s.f.).....	49
Gráfica 25. Filtros de carbón activo. (Empresa Condorchem , s.f.)	50
Gráfica 26. Unidad de recuperación de vapores. (Meyer, 2018).....	52
Gráfica27. Diagrama del funcionamiento de una VRU de Absorción De Carbón Activado. (ZEECO, s.f.)	57
Gráfico 28. Diagrama del funcionamiento de una VRU con compresor de anillo líquido. (GRUPO GARO, s.f.).....	59
Gráfica 29. Tanque 20 – Gasolina base, EPPETROECUADOR.	114
Gráfica 30. Tanque 28, Gasolina Extra, RLL.....	114
Gráfica 31. Tanque 88.	115
Gráfica 32. Tanque 52, RLL.....	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad total de almacenamiento de producto derivados de la RLL,	33
Tabla 2. Datos de tanques de la RLL y Cautivo.	65
Tabla 3. Procedimiento: inspección de tanques de almacenamiento de producto, RLL.	75
Tabla 4. Equipo Marca Serie/Modelo.	77
Tabla 5. Ubicación de los puntos de medición, condiciones climáticas y coordenadas.	77
Tabla 6. Cargas de Contaminantes Calculadas a 25° C y 760 mmHg.	79
Tabla 7. Equipos utilizados en la medición de emisiones fugitivas.	80
Tabla 8. Ubicación de los puntos de medición, condiciones climáticas y coordenadas.	80
Tabla 9. Cargas de contaminantes calculadas a 25° C y 760 mmHg.	82
Tabla 10. Sistemas de ventilación y control de emisiones en los tanques de la RLL....	83
Tabla 11. Análisis de la tecnología VRU.	84
Tabla 12. Análisis de la tecnología UARV.	85
Tabla 13. Análisis del sistema techo flotante.	86
Tabla 14. Análisis del sistema de gas inerte.	87
Tabla 15, Comparación de los sistemas de reducción de emisiones de COV.	88
Tabla 16. evaluación técnica de la tecnología propuesta.	90
Tabla 17. Características del producto almacenado de los tanques a evaluar.	90
Tabla 18, volumen y tasa de emisiones.	91
Tabla 19. Volumen anual de productos derivados de la RLL, EPPETROECUADOR.	92
Tabla 20. Volumen de barriles anuales de crudo, nafta, gas base y gas extra estimado.	93

Tabla 21. Resultados de recuperación estimada de estas emisiones anuales.	96
Tabla 22. Condiciones del tanque y diseño.....	97
Tabla 23. Evaluación económica de la tecnología VRU, tomado de (EPA, 2006).....	98
Tabla 24. Costos de UVR.....	99
Tabla 25. Evaluación económica de aplicar una VRU a los tanques de gasolina extra.	99
Tabla 26. Impacto ambiental de las emisiones de COV's.	102
Tabla 27. Total de emisiones reducidas con una VRU.....	104
Tabla 28. Precios de venta de productos derivados, EPPETROECUADOR.	116
Tabla 29. Crudo procesado en refinerías del País, EPPETROECUADOR.	117
Tabla 30, Producción de derivados en la RLL 2022, EPPETROECUADOR.....	118
Tabla 31. Cálculos realizados en Excel del volumen anual estimado de derivados, Erika Suárez.....	119
Tabla 32 Cálculos en Excel para la evaluación de la eficiencia de la VRU, Erika Suárez.	119

Abreviaturas

VRU: Unidad de recuperación de vapor, en inglés vapor recovery unit.

COV: Compuestos orgánicos volátiles.

HAP: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

RLL: Refinería La Libertad.

RTO: Tiempo de recuperación, en inglés: Return To Operation

ROI: Retorno de inversión.

RP: Rupia (símbolo: Rp; código monetario: IDR) es la moneda oficial de Indonesia, emitida y controlada por el Banco de Indonesia.

IDR: Código monetario de una rupia.

GLP: Gas licuado de petróleo

JP1: Jet propulsión o propulsión a chorro, es un combustible para motores a reacción o combustible para aviación.

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental).

UAVR: Unidad automatizada de recuperación de vapores.

SMOG: Se refiere a una abreviatura del inglés, específicamente a "smoke" (humo) y "fog" (niebla).

SLOP: Mezcla emulsionada de petróleo, agua y partículas sólidas

NAO: Nafta alto octano

BLS: Barriles

MmHg: Milímetros de mercurio

UTM: Universal Transverse Mercator, un sistema de coordenadas que se utiliza para mapear la superficie de la Tierra.

WGS: World Geodetic System o Sistema Geodésico Mundial en español.

MCF: es una abreviatura de "mil pies cúbicos", una medida estándar utilizada en los Estados Unidos para cuantificar la producción y el consumo de gas natural.

ASTM: Sociedad Americana de Pruebas de Materiales, en inglés American Society for Testing Materials.

API: Instituto Americano del Petróleo, en inglés American Petroleum Institute.

ISO: Organización Internacional estandarizada, en inglés International Organization for Standardization.

ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, en inglés American Society of Mechanical Engineers.

NFPA: Asociación Nacional de Protección contra Incendios, en inglés National Fire Protection Association.

EPA: Agencia de Protección Ambiental, en inglés Environmental Protection Agency

“PROPUESTA DE TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA LIBERTAD”

Autor: Suárez Neira Erika Nicole

Tutor: Ing. Malavé Carrera Carlos Alfredo, MSc.

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta y sugiere la aplicación de una tecnología de recuperación de vapor (VRU) evaluando su aplicabilidad en la RLL, con el objetivo de disminuir las emisiones de COV procedentes de los tanques de almacenamiento, esta tecnología brinda una recuperación de hasta un 95% de estas emisiones, aportando de manera notable a la reducción de los niveles de contaminación atmosférica.

Se evalúan los datos técnicos necesarios para el estudio y mediciones de emisiones de ciertos tanques de la RLL. Además, se llevó a cabo un estudio detallado de la tecnología VRU, comparando con otras alternativas de sistemas con la misma finalidad de reducción de emisiones que también pueden utilizarse en los tanques de almacenamiento. Se analizan las ventajas y desventajas de cada una para a su vez escoger la mejor alternativa, la propuesta de poner en marcha un sistema VRU en la RLL es una opción factible y amigable con el entorno, respetando las regulaciones medioambientales, también produce un efecto beneficioso en la sostenibilidad de la industria del petróleo.

PALABRAS CLAVE: *tanques de almacenamiento, compuestos orgánicos volátiles, recuperación de vapores, tecnología VRU, sistemas de reducción y recuperación de emisiones*

“PROPUESTA DE TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA REFINERÍA DE LA LIBERTAD”

Autor: Suárez Neira Erika Nicole

Tutor: Malavé Carrera Carlos Alfredo

ABSTRACT

This degree work presents and suggests the application of a vapor recovery technology (VRU) evaluating its applicability in the RLL, with the objective of reducing VOC emissions from storage tanks, this technology provides a recovery of up to 95% of these emissions, contributing significantly to the reduction of air pollution levels.

The technical data required for the study and measurement of emissions from certain tanks at the RLL are evaluated. In addition, a detailed study of VRU technology was conducted, comparing it with other alternative systems with the same emission reduction purpose that can also be used in storage tanks. The advantages and disadvantages of each are analyzed to determine the best option. The proposal to implement a VRU system at the RLL is a feasible and environmentally friendly option, complying with environmental regulations, and also has a beneficial effect on the sustainability of the petroleum industry.

KEYWORDS: *storage tanks, volatile organic compounds, vapour recovery, VRU technology, emission reduction and recovery system, emission reduction and recovery system*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

En la refinería de La Libertad, los tanques de almacenamiento de hidrocarburos generan emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), que se evaporan fácilmente y se expande en la atmósfera es un problema que no solo presenta impactos ambientales que afecta la calidad del aire, sino también son vapores dañino para la salud de las personas que viven en las cercanías de la ubicación de estos tanques de almacenamiento, además tiene un impacto económico debido a que la liberación de estas emisiones que pueden ser potencialmente reutilizadas. Por otra parte, las leyes y normativas ambientales exigen que estas industrias controlen este tipo de emisiones y, aun así, no se han aplicado soluciones efectivas para reducir las emisiones por completo en los tanques de almacenamiento de las refinerías.

En la actualidad no es sencillo implementar tecnología avanzada, como los sistemas de recuperación de vapores (VRU) u otros sistemas, ya que el costo de implementación y su mantenimiento no es rentable. Sin embargo, en la refinería La Libertad no se ha aplicado ningún tipo de sistema para controlar estas emisiones más que el diseño del tanque y cabe recalcar que solo es una cierta cantidad de tanques que son de techo flotante que sería el mecanismo de reducción de emisiones evitando el escape significativo de vapores, este tipo de techo contribuyen a capturar dichos compuestos para su reutilización o para disminuir estas emisiones y así prevenir una contaminación ambiental, sin embargo, sigue habiendo emisiones de estos tanques de almacenamiento.

Esta propuesta no solo busca minimizar las emisiones que se traducen en pérdidas de producto, sino que también nos brinda una operación más segura y responsable con el entorno. Por lo tanto, resulta crucial evaluar si este sistema VRU es factible en la refinería La Libertad, este análisis facilitará la propuesta de una solución que contribuya a reducir las emisiones de COV, acatar las regulaciones y asegurar un efecto beneficioso para la industria, la comunidad y el medio ambiente.

1.2. ANTECEDENTES.

En el artículo de (Shepley, 2020) titulado “Keeping Control of Vapour”, el autor de Reino Unido analiza dos tecnologías comunes de recuperación de vapores, recuperación o combustión, aplicados a tanques o terminales. Estas dos tecnologías son unidades de recuperación de vapores (VRU) y unidades de combustión de vapores (VCU) o una combinación de ambas tecnologías. Este trabajo evalúa ambas tecnologías analizando desde características del sistema, para seleccionar la más apropiadas se entablaron varios puntos importantes como son: requisitos legislativos, requisitos de emisiones, servicios públicos disponibles incluyendo energía eléctrica, costos del capital del equipo, y retorno de inversión (ROI).

La empresa Tecam es uno de los proveedores líder de tecnología medioambiental, realizó un nuevo proyecto de recuperación de vapores de compuestos orgánicos volátiles (COV) en una planta petroquímica de almacenamiento de tanques en Chile, donde se implementó el sistema VRU, donde se obtuvo una estimación de la capacidad de recuperar hasta 500 litros de gasolina por hora aproximadamente en sus operaciones diarias, lo que convierte el retorno de inversión (ROI) de este proyecto en algo atractivo para el cliente, además de recuperar estos vapores de gran valor, el gas liberado del sistema VRU será procesado en el RTO un sistema de procesamiento, el cual resultó ser la alternativa más apropiada tras analizar las necesidades técnicas de la planta, teniendo en cuenta el flujo de aire a tratar y las propiedades de los gases liberados (Tecam, 2022).

En la refinería Shell Caspa se dio otro éxito con la aplicación de una VRU con la implementación de la unidad de recuperación de vapores, represento un nuevo y crucial avance en el rendimiento ambiental (Juan Carlos Jahn y Jorge Alejandro Garde, 2008). Dado que posibilita disminuir las emisiones de hidrocarburos livianos significativamente por debajo de lo estipulado por los códigos de construcción para tanques donde se aplicó solamente a tanques de techo fijo, la correspondiente normativa ambiental y las exigencias legales actuales. En el presente artículo se detalló la VRU implementada, el proceso y la inversión, el hecho de que implementaron este tipo de sistema se puso en marcha por razones medioambientales y no por motivos de lucratividad.

En un artículo publicado en 2023 denominado “El uso de la unidad de recuperación de vapor (VRU) para cubrir la pérdida de evaporación en los tanques de condensado Y y Z en PT SHI Prabumulih” detalla el análisis de la unidad de recuperación de vapor para cubrir la pérdida por evaporación en los tanques Y y Z es que la unidad de recuperación de vapor puede cubrir la pérdida por evaporación del 95% - 99%. El beneficio económico financiero del petróleo cubierto por el uso de la unidad de recuperación de vapor (VRU) es de Rp 1,417,712,185. El costo de inversión del VRU se basa en el costo total de IDR 720,811,454. El total incluye el costo de la unidad VRU, así como el costo del carbón activado. Los productos ahorrados en el uso de VRU ascendieron a Rp 2.137.418.828 (Budiman y otros, 2023).

El caso de la explosión de dos tanques de fuel oil en la refinería de Esmeraldas (EPPETROECUADOR, 2025) es un precedente que nos lleva a enfocarnos en la importancia de modernizar e implementar sistemas o tecnologías para mitigar este tipo de accidentes, aunque no se determinó la causa de la explosión además comprometió una subestación eléctrica cercana afectando el arranque y control de motores en la planta teniendo como consecuencia se detuvieron todas las operaciones que se realizaban (Ferreira, 2025), es importante considerar estas emisiones como las presiones dentro de estos tanques conllevan un mantenimiento e inspección regular para su habitual funcionamiento.

1.3. HIPÓTESIS.

Al proponer la implementación de un sistema de recuperación de vapores (VRU) en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos de la refinería de La Libertad, se logra reducir significativamente las emisiones de COV que actualmente aportan a la atmósfera, también la captura y el reaprovechamiento de estos vapores emitidos de los tanques de almacenamiento, disminuyendo la pérdida de hidrocarburos y produciendo un efecto beneficioso tanto en el funcionamiento de la refinería como en la calidad del medio ambiente en el área de influencia.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo General.

- Proponer una tecnología de recuperación de vapores (VRU) para los tanques de almacenamiento en la refinería de La Libertad, con el fin de reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de los tanques de almacenamiento y optimizar su aprovechamiento, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de normativas aplicables.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Analizar y comparar la eficiencia de diferentes tecnologías de reducción de emisiones (como sistemas de recuperación de vapores, sistema de gas inerte, y sistemas de sellado.) en tanques de almacenamiento.
- Analizar la propuesta la tecnología VRU y analizar sus criterios para su aplicación en la RLL.
- Evaluar las emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento de la RLL y comparar los resultados sin un sistema de reducción de emisiones y con el sistema propuesto.
- Estudiar el impacto ambiental de las emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento y de la propuesta tecnológica.

1.5. ALCANCE.

La presente investigación se enfoca en evaluar la propuesta de estas tecnologías de recuperación de vapores VRU como mecanismo de reducción y recuperación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), proveniente de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en la refinería de La Libertad, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador. La meta de esta tecnología se centra en disminuir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) producidas en los depósitos de almacenamiento, donde estas emisiones son compuestos que al evaporarse aportan a la contaminación atmosférica, ya que son precursores del ozono y contribuyen al efecto invernadero, cumpliendo la VRU su principal función disminuyendo estas emisiones expuestas al aire, cuidando el medioambiente y mejorando la calidad del aire en la zona aledaña.

Además de disminuir las emisiones, se analizan las ventajas que la implementación de esta tecnología podría proporcionar en cuanto a seguridad operativa, al reducir la posibilidad de crear atmósferas explosivas en los depósitos de almacenaje, lo que representa un riesgo tanto para los empleados como para las instalaciones. Asimismo, se estudiarán los potenciales ahorros financieros provenientes de la recuperación de los vapores, que podrían ser reincorporados al proceso de producción o comercializados, transformándose en un recurso útil para la refinería.

La investigación también analiza las regulaciones medioambientales actuales y cómo la aplicación de esta tecnología puede asistir a la refinería en el cumplimiento de los estándares internacionales de emisiones y evitar penalizaciones por parte de las autoridades de control. Y no menos importante no solo es aplicable en los tanques de almacenamiento, es aplicable en plantas y las terminales de almacenamiento. El principal propósito de este estudio es ofrecer una solución completa para potenciar la sostenibilidad, seguridad y eficacia operacional de la refinería de La Libertad, favoreciendo la disminución de su impacto ecológico.

1.6. VARIABLES.

1.6.1. Variables dependientes:

- Reducción en las emisiones de COV.
- Eficiencia del sistema de recuperación de vapores.
- Impacto ambiental.
- Beneficios ambientales .

1.6.2. Variables independientes:

- Tipo de tecnología de recuperación de vapores (VRU).
- Sistemas de reducción de vapores.
- Condiciones operativas de los tanques de almacenamiento.
- Capacidad de los sistemas de recuperación de vapores (tamaño y diseño del sistema).
- Condiciones ambientales externas.
- Características del COV en los vapores (tipo y concentración).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. REFINERÍA LA LIBERTAD.

La RLL se encuentra ubicada en la provincia de Santa Elena cantón La libertad, esta refinería ha estado operando por más de 60 años, diseñada para operar 450000 BPD de petróleo crudo extraído del oriente ecuatoriano y produce los siguientes derivados: LPG, gasolina, diésel y otros.

Se encuentran dos plantas de refinamiento: Parsons Y Universal. “En estas unidades de destilación atmosférica se extraen los diferentes productos de refinamiento, estos son almacenados en tanques ubicados en zonas cercanas a cada una de las plantas y estratégicamente direccionados a los terminales de despacho para su distribución y venta, tanto por vía marítima, por poliducto o a través de auto tanques que son los encargados del reparto de combustibles especialmente en la zona peninsular y aledaña” (RAMÍREZ, 2016).

La RLL aportar de manera considerable al abastecimiento de combustibles y productos derivados, tanto para el uso interno como para la exportación, es una de las Refinerías más importantes del País, además de ser de las principales fuentes de ingresos de este, por lo que es fundamental tomar interés en modernizar sus infraestructuras como es en tecnologías que disminuyan las emisiones de contaminantes.



Gráfica 1. Refinería La Libertad, (EPPetroecuador, s.f.)



Gráfica 2. Ubicación geográfica de la Refinería La Libertad, (Autora, Refinería La Libertad, 2025).

2.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Los tanques de almacenamiento que se usan en refinerías son un dispositivo empleado para almacenar y conservar líquidos o gases bajo una presión específica. Estos depósitos son fundamentales en los sectores petrolero y químico, siendo su aplicación más destacada en las refinerías debido a sus necesidades de almacenaje tanto temporal como extendido de los productos y subproductos derivados de sus operaciones.

Desde 1859 las técnicas de almacenamiento de líquidos peligrosos han evolucionado significativamente, desde la creación de barriles de madera que se usaban en inicios se pasaron a ser sustituidos por tanques de acero remachados y posteriormente se reemplazaron por tanques soldados que son los más comunes hoy en día. Durante la primera mitad del siglo XX, se crearon y establecieron normativas para líquidos inflamables además de normas de construcción, en el transcurso de la Segunda Guerra Mundial se reemplazaron los tanques galvanizados (soldados) a tanques revestidos con asfalto, donde estas modificaciones mostraron un progreso hacia prácticas más seguras y eficaces. (Quintero Duran y otros, 2024)



Gráfica 3. Tanques de almacenamiento de la RLL. (EPPetroecuador, s.f.).

La RLL cuenta con 118 tanques de almacenamiento en funcionamiento donde se almacena el producto que producen las plantas de refinación que son combustibles como gasolinas, diésel, jet fuel, GLP, y otros.

2.2.1. Tipos de tanques de almacenamiento.

La selección del tipo y tamaño de tanques de almacenamiento está regida por la relación de producción, las condiciones ambientales, la ubicación o localización del tanque y el tipo de fluido o producto a almacenar, además cabe recalcar que todos los tanques antes de ser utilizados deben ser fabricados en taller o en campo también deberán ser probados antes de que sean puestos en servicio y regulados según la norma de la que fueron fabricados. (laindustriasite, 2017)

Existen varios tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos donde el tipo de tanque de almacenamiento que se usa en la refinería La Libertad comúnmente son de techo fijo (cónico) y techo flotante.

- **Tanque atmosférico.**

Los tanques atmosféricos son fabricados para operar a presiones atmosféricas hasta presiones de 1,0psig (de 760 a 812mmHg) medidos en el tope del tanque,

estos tanques atmosféricos no pueden ser utilizados para almacenar líquidos a temperaturas iguales o mayores a su punto de ebullición y deben ser usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de 13psia a nivel del mar entre los principales tanques atmosféricos están los de techo flotante y de techo fijo. (laindustriassite, 2017)

- **Tanque de techo fijo.**

Es tipo de tanque tiene techo auto soportado, la superficie del techo puede tener forma de cono o de domo y opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos también posee ventilaciones en su techo en la parte superior, el cual permiten la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica, esto produce pérdidas de respiración, los tanques de techo fijo son comúnmente usados para almacenar líquidos o producto que no sean altamente inflamables. (laindustriassite, 2017)



Gráfica 4. Tanque de techo fijo. (Rejiglass, s.f.)

- **Tanque de techo flotante.**

Este tipo de tanques contienen una particularidad de los techos flotantes que es su diseño, su diseño facilita su expansión y contracción de acuerdo con la presión interna del depósito, esto reduce la fuga de gas cuando se levanta el techo durante la expansión, generando un volumen apropiado para que el gas se acomode sin salir, los tanques con techo flotante cuentan con válvulas de control que solo pueden abrirse de manera

mecánica cuando el techo llega a una altura determinada, un mecanismo distinto al de tanques de techo fijo. (laindustriasite, 2017)



Gráfica 5. tanque de techo flotante, (Noomcpk, s.f.)

- **Tanques esféricos.**

Los tanques esféricos son los más recomendados en la industria para almacenar grandes cantidades volúmenes, como gases, su forma de esferas se diseñan para soportar presiones superiores a los 300 kPa. Se fabrican en segmentos o capas de acero y se apoyan en columnas dimensionadas para soportar el peso de la esfera durante una prueba hidráulica (pandeo). (WILLIAM, 2011).



Gráfica 6. Tanque esférico, (Noomcpk, s.f.)

- **Tanque horizontal.**

Son depósitos diseñados en una ubicación horizontal para ocupar menos espacio en el terreno, lo que permite a las industrias disponer de un mayor volumen para el almacenamiento de materiales; se pueden definir como cajas largas que actúan como contenedores seguros. Un tanque horizontal en comparación a uno vertical es un contenedor de longitud larga y anchura, parecido a un cilindro acostado, que luego se coloca en el suelo o en una plataforma horizontal para guardar líquidos, gases y en ocasiones sólidos, en función de su diseño y su uso, además el tanque horizontal resulta ideal para sectores como el petróleo y gas, la química, la alimentaria, entre otros (Rejiglass, s.f.).



Gráfica 7. Tanques horizontales, (Autora, Refinería La Libertad, 2025)

2.3. CONTENIDO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

La refinería la Libertad posee una capacidad para procesar 45 mil barriles de crudo diariamente y genera derivados como la gasolina súper, ecopaís, extra, diésel 1 y 2, fuel oíl, solventes, mineral turpentine, que se emplea en pinturas, insecticidas, pegamentos; jet fuel JP-1 o gasolina para aviones; rubber solvent para uso en vulcanizadoras y espray oíl para la fumigación de bananeras (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

La RLL cuneta con:

- 11 tanques de crudo.
- 6 esferas de GLP.
- 90 tanques de recepción y almacenamiento.

Tabla 1. Capacidad total de almacenamiento de producto derivados de la RLL,

Productos derivados	Barriles totales	Número de tanques
Crudo	994.895,00	9
Crudo peninsular	95.652,09	2
SLOP	19.448,61	10
NAO, gas base, gas extra y gasolina	414.084,71	22
GAS. CAS. H	1.366,20	2
B JP1	25.535,37	3
JP1	23.613,46	4
DIESEL 1	15.283,23	5
DIESEL 2	232.758,77	19
DIESEL PREMIUM	116.862,32	5
FUEL OIL, FUEL OIL 4B	347.745,64	13
ABSORBER OIL	572,24	1
SPRAY	3.251,36	2
GLP	2.309,50	6
RUBBER SOLV	4.808,10	2
MINERAL TURP.	1.567,09	2
TOTAL	2.299.753,69	107

Elaborado por: Erika Suárez

Fuente: EP Petroecuador

2.4. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV).

2.4.1. Composición de los COV.

Los compuestos orgánicos volátiles son sustancias químicas que se evaporan con facilidad bajo condiciones habituales de temperatura y presión. Su elevada volatilidad les facilita la difusión en el entorno y la modificación de su composición química, produciendo efectos tanto directos como indirectos en el medio ambiente. Específicamente, los COV son precursores del ozono atmosférico y favorecen el efecto invernadero. Por lo tanto, se les considera uno de los contaminantes directos más importantes (Enric, 2019).

Son varios componentes tóxicos notables que contienen los COV, incluye:

- Acetona.
- Benceno.
- Formaldehído.
- Estireno.
- Tetracloroetileno.
- Tolueno.
- Xileno.

El metano es un compuesto orgánico COV, pero no lo consideran algunas agencias reguladoras ambientales. Sin embargo, las agencias reguladoras separan el metano de otros COV por varias razones:

- Baja reactividad fotoquímica.
- No contribuye tanto a la formación del ozono a nivel del suelo como otros COV.
- Proporciona una fuerte contribución directa al cambio climático (IQAir Staff, 2017).

2.5. FUENTES DE EMISIONES DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Las principales fuentes de emisiones provienen de varios procesos y condiciones de operación, entre los que sobresalen:

- La volatibilidad del líquido, sumada a las variaciones de temperatura y presión, causa la evaporación de elementos de menor peso que generan vapores que se expulsan a la atmósfera.
- Los cambios de temperatura ambiental y presión interna provocan que el vapor dentro del tanque se expanda o se contraía, liberando COV a través de los sistemas de ventilación
- En operaciones como carga y descarga, donde el desplazamiento de estos vapores en el espacio vacío del tanque de almacenamiento genera emisiones significativas.
- También puede ser ocasionadas haber fallas en los equipos de seguridad del tanque como son las juntas, válvulas o conexiones defectuosas que permiten el escape de estas emisiones o vapores contaminantes (Predictiva 21, 2022).

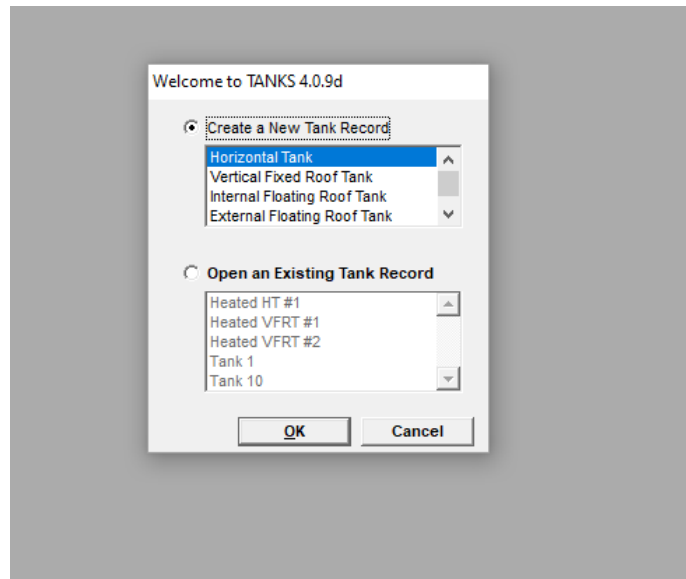
2.6. EQUIPOS DE MEDICIONES DE EMISIONES FUGITIVAS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

2.6.1. Software de estimación de emisiones TANKS 4.09.

TANKS 4.09d es un software que está disponible gratuitamente en la página oficial de la EPA. Según (EPA, 2016), “se basa en procedimientos de estimación de emisiones en el capítulo 7 de la compilación de factores de emisión de contaminantes del aire (AP-42) de la EPA.”, se utiliza con el objetivo de simular o estimar las pérdidas de vapores de gasolina, crudo u otros productos en los tanques de almacenamiento.

Conlleva el siguiente proceso:

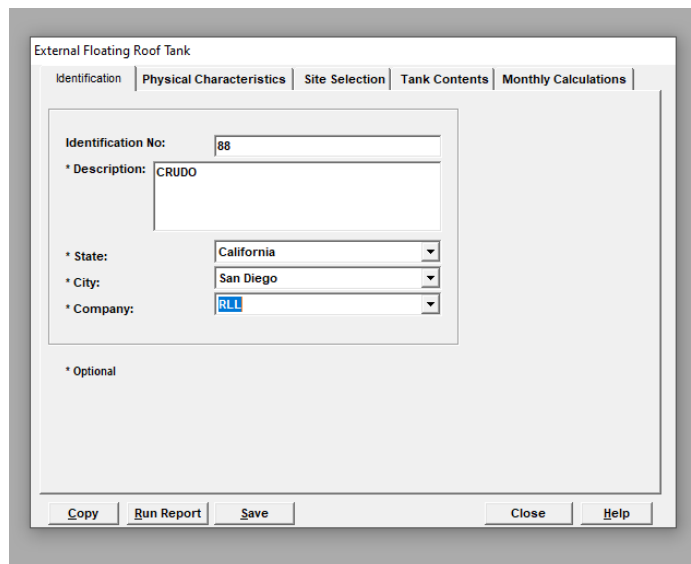
Primero se elige el tipo de tanque a examinar; luego, el programa activa una ventana con cinco pestañas, que se detallan de la siguiente manera:



Gráfica 8. Seleccionar tipo de tanque.

Fuente: Software Tanks 4.0.9d, Erika Suarez.

1. Identificación: se proporciona el número de identificación del tanque, una breve descripción, la provincia, la ciudad y la empresa a la que está vinculado.



Gráfica 9. Pestaña de identificación del tanque.

Fuente: Software Tanks 4.0.9d, Erika Suarez.

2. Características físicas: se ingresan datos de diseño del tanque teniendo en cuenta el tipo de tanque escogido previamente, y pide los siguientes datos:

- Tipo de sellos: se debe optar por el sistema de sellado que se emplea para regular las pérdidas de evaporación entre el espacio restringido entre el perímetro o margen de la cubierta y el cuerpo del tanque, con el fin de facilitar el movimiento del techo flotante.
- Características de la plataforma: se incluyen información sobre el tipo de techo flotante y la disposición de los accesorios.

The screenshot shows a software window titled "External Floating Roof Tank" with several tabs: "Identification", "Physical Characteristics", "Site Selection", "Tank Contents", and "Monthly Calculations". The "Physical Characteristics" tab is active and contains the following sections:

- Tank Characteristics:**
 - Diameter (ft):
 - Tank Volume (gal):
 - Turnovers per year:
 - Net Throughput (gal/yr):
 - Internal Shell Condition:
 - Paint Color/Shade:
 - Paint Condition:
- Roof Characteristics:**
 - Roof Type:
 - Roof Fitting Category:
- Tank Construction and Rim-Seal System:**
 - Tank Construction:
 - Primary Seal:
 - Secondary Seal:

At the bottom of the main form area is a button labeled "View/Add Fittings". Below the main form are several control buttons: "Copy", "Run Report", "Save", "Close", and "Help".

Gráfica 10. Pestaña de características del tanque.

Fuente: Software Tanks 4.0.9d, Erika Suarez..

3. Elección del lugar (localización): se debe señalar que la evaluación de las emisiones se llevará a cabo en una localización exacta.

Gráfica 11. Pestaña de ubicación de la zona.

Fuente: Software Tanks 4.0.9d, Erika Suarez..

4. Contenidos del depósito: se ingresa el tipo de producto que contiene los tanques seleccionados.

Gráfica 12. Pestaña de identificación de producto almacenado.

Fuente: Software Tanks 4.0.9d, Erika Suarez.

5. Estimaciones mensuales: en esta sección final, se indica un informe donde representara las emisiones mensuales. Es necesario indicar al programa que se desean mostrar los resultados mensualmente y de forma exhaustiva.

La desventaja de emplear el programa TANKS 4.09 o las ecuaciones del AP-42 radica en la necesidad de mayores recursos para recopilar los datos de entrada y para emplear las ecuaciones o el programa, en comparación con si se emplearan otras estrategias donde es más sencillo optar por usar dispositivos o equipos de medición directa, es importante destacar que si solo hay una mínima cantidad de emisiones no sería factible la aplicación de este programa (Environmental protection agency, 2025).

En el capítulo IV se mencionan dos equipos de mediciones para obtener los datos de emisiones de los tanques de almacenamiento que fueron aplicados en los tanques de la RLL que son:

2.6.2. Multigas MX6 iBrid.

Es un dispositivo que nos permite detectar hasta cinco gases, en especial es usado para obtener medidas de emisiones en tanques de almacenamiento, además estos equipos están diseñados para detectar y monitorear una amplia gama de gases, incluyendo gases combustibles, gases tóxicos y oxígeno. Industrial Scientific es una empresa que distribuye estos equipos desde detectores de gases portátiles, detectores de gas de área, software de detección de gases, etc., (Scientific, s.f.).



Gráfico 13. Multigas MX6 iBrid, (Scientific, s.f.).

2.6.3. Mini RAE.

Es un detector portátil diseñado para medir compuestos orgánicos volátiles (COV). Utiliza una tecnología avanzada llamada PID de tercera generación, que ha sido patentada, y permite obtener mediciones muy precisas de altos niveles de sustancias

químicas que pueden ser ionizadas. Este dispositivo es uno de los más completos y confiables disponibles en el mercado (honeyWell, s.f.).



Gráfico 14. Mini RAE 3000+, (honeyWell, s.f.).

 <p>Tecnología PID patentada de tercera generación</p>	 <p>Reflex PID Technology™</p>	 <p>Rango de detección de COV de 0 a 15 000 ppm</p>	 <p>Tiempo de respuesta de 3 segundos</p>	 <p>Compensación de la humedad con sensores de temperatura y humedad incorporados</p>
 <p>Registro de datos de seis meses</p>	 <p>Alta conectividad a través de múltiples opciones de módulos inalámbricos</p>	 <p>Gran pantalla gráfica con flash integrado</p>	 <p>Compatibilidad con varios idiomas con 10 idiomas codificados</p>	 <p>Diseño IP- 67 resistente al agua</p>

Gráfico 15. características y ventajas, (honeyWell, s.f.).

2.7. IMPACTOS AMBIENTALES QUE OCASIONAN LAS EMISIONES DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Los tanques de almacenamiento de hidrocarburos y derivados pueden producir emisiones que impactan de manera grave al entorno ambiental, no solo tienen la capacidad de contaminar el aire, la tierra y el agua, dado que emiten elementos como gases de efecto invernadero, hidrocarburos y sustancias orgánicas volátiles, sino que también contribuye a crear problemas como el smog (ozono en el suelo) y las precipitaciones ácidas, además del impacto ambiental que ocasionan también genera un impacto en seguridad al personal que labora con este tipo de depósitos, con el fin

de prevenir que las emisiones de COV, ha revolucionado la ciencia en varios ámbitos en este caso existen sistemas y nuevas tecnologías especializadas cumpliendo con el objetivo de reducir la contaminación, reducir el efecto invernadero y demás ocasionado por las emisiones de COV.

2.7.1. Riesgos asociados a emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento.

Uno de los riesgos más importante que podrían causar estos vapores emitidos o acumulados de los tanques de almacenamiento pueden provocar incendios o explosiones, afectando directamente a la infraestructura y personal que labora en estas áreas, en cuanto el impacto que ocasionaría un incendio o explosión de este tanque conlleva contaminación masiva en el aire afectando a las zonas aledañas.

Existen casos de explosiones e incendios en la industria petrolera en este caso proveniente de estos tanques que puedes llegar a causar un grave impacto no solo ambiental sino también al personal que labora a las cercanías de los tanques.

En refinerías del Ecuador se han presentado incidentes con tanques de almacenamiento, como es el caso reciente de la refinería Esmeraldas (EPPETROECUADOR, 2025), la explosión de un tanque de fuel oil que fue la principal fuente aunque no se detalle el motivo exacto que causo este evento, este acontecimiento resalta la relevancia de adoptar sistemas modernos de control y recuperación de vapores para prevenir la acumulación de gases inflamables, disminuir las emisiones de contaminantes y reducir los peligros de incendios o explosiones. Además, resalta la importancia de conservar presiones reguladas en los tanques y prevenir venteos o fugas no reguladas, elementos que las VRU gestionan de manera eficiente a través de la captura y recuperación de vapores. (EPPETROECUADOR, 2025)



Gráfica 16. Resultado de la explosión de los tanques en la refinería Esmeraldas, (EPPETROECUADOR, 2025)

Otro caso fue un incendio de un tanque de Asfalto AOV 14 de la refinería Esmeraldas ocurrido en septiembre del 2018, este acontecimiento no paso a mayores fue un incendio que se pudo contener las llamas sin afectar al personal, las instalaciones cercanas no se vieron afectada por este incidente, por lo que la producción y despacho de derivados continúo de manera normal (EPPETROECUADOR, 2018).



Gráfica 17. Incendio de un tanque de asfalto. (EPPETROECUADOR, 2018)

2.8. SISTEMA PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.

Recuperación de vapores.

La recuperación de vapor es nada más que eliminar vapores y fluidos contaminantes perjudiciales de los hidrocarburos, con el objetivo de incrementar su pureza para su reutilización y evitar la emisiones de vapores, es un proceso se realiza en varias industrias como en el sector químico, industrial y otros con el fin de extraer vapores no deseados de las unidades de almacenaje o plantas, garantizando que los productos químicos y otros se conserven puros y seguros tanto para su utilización como para su traslado. (GENERON, 2019)

Los sistemas, equipos o tecnología de control de emisiones son una parte integral de las medidas de seguridad, debido a que controlan, capturan o procesan las COV antes de ser liberadas al ambiente recalando que luego de un proceso la emisión de estos sería una mínima cantidad, minimizando el impacto ambiental, el riesgo de inflamabilidad y la reducción de producto almacenado, contribuyendo de esta forma con la eficiencia energética, los principales sistemas se mencionan el siguiente:

:

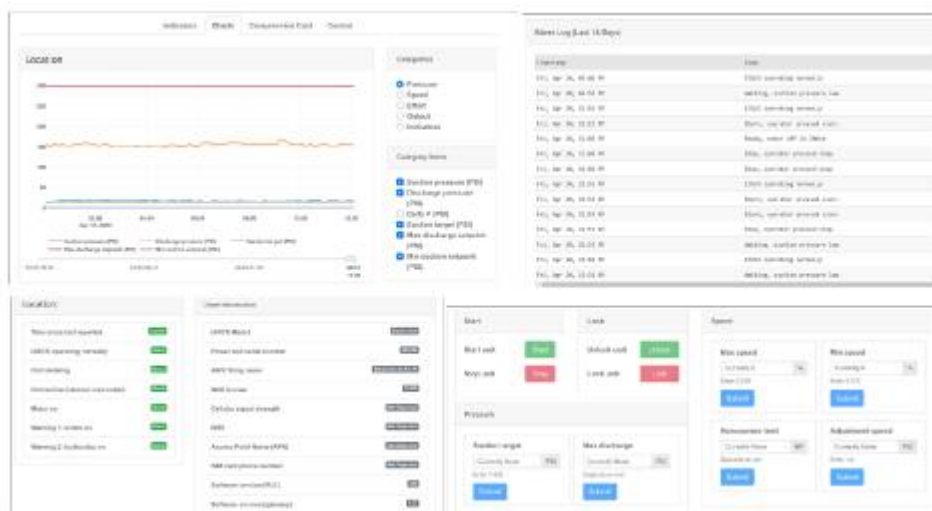
2.8.1. Unidad automatizada de recuperación de vapores (UARV).

Esta unidad automatizada de recuperación de vapores es un sistema diseñado para eliminar los vapores dentro de los tanques de almacenamiento manteniendo la presión interna del tanque y transportando estos vapores y condensados a otra instalación donde esta se almacena, se debe proporcionar a la UAVR una presión requerida y este equipo se ajustará a las condiciones de manera automática para cumplir con su objetivo (Morken group, s.f.).

Una característica que la diferencia de las VRU es que la UAVR también incorpora un sistema de alerta que notifica por medio de correo electrónico, SMS o llamadas a distancia para advertir acerca de cualquier problema o posible falla del tanque o del sistema, incluyendo interrupciones de energía y variaciones de tendencia imprevistas, además las habilidades de inteligencia artificial de UARV resuelve los problemas de manera autónoma y su monitoreo es 24/7. Además, es posible generar alertas personalizadas de acuerdo con la necesidad (Morken group, s.f.).

Ventajas de las UARV.

- Evita/disminuye las emisiones, el viento y la combustión.
- Minimiza las presiones en la parte superior del depósito hasta 0 psi.
- Maneja vapores y fluidos relacionados sin requerir knockouts o depuradores, empleando una sola tubería.
- Mantenimiento mínimo, menos periodos de parada y totalmente reparable en terreno por equipos de servicio locales.
- Alternativa de bomba de doble acción, sin cojinetes ni uniones, que se degradan a butano, etano, metano y propano, necesitando reparaciones frecuentes.

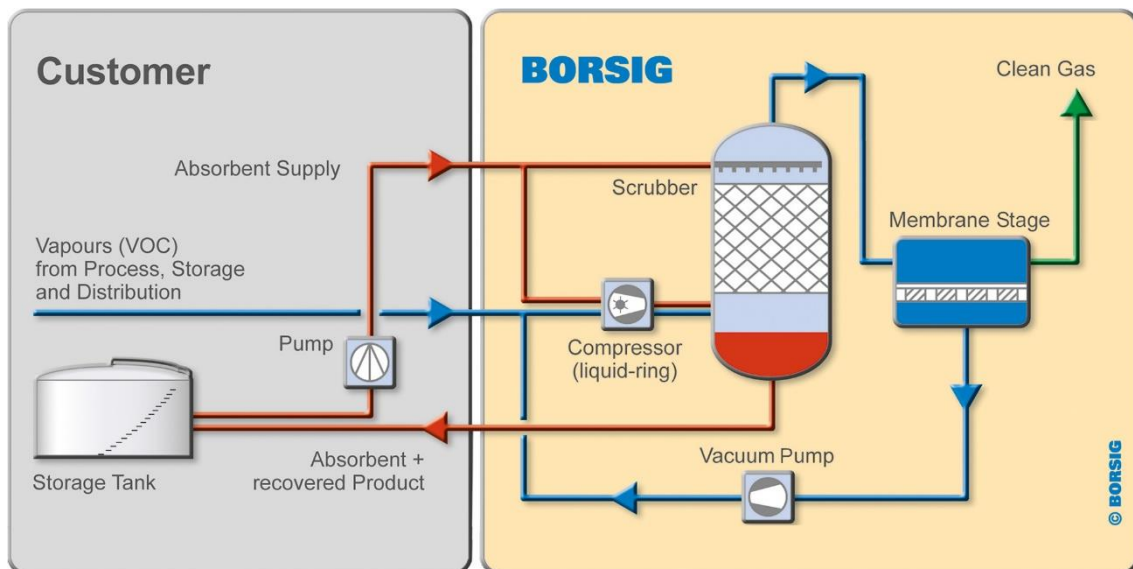


Gráfica 18. software implementado a una UARV. (Morken group, s.f.)

2.8.2. Unidad de recuperación de vapores (VRU).

Esta tecnología cumple con el objetivo de recoger los vapores liberados por los líquidos volátiles guardados, condensarlos o comprimirlos para después tratarlos y reaprovecharlos. Hay dos clases fundamentales de VRU: las que emplean compresores y las que emplean eyectores. La selección de una opción u otra se basa en el volumen de emisiones y en el tipo de vapor que se pretende recuperar (Rodríguez, 2024).

Existen variedad de VRU fabricadas de distintas empresas que ofertan desde una clásica hasta una automatizada. A pesar de que la mayoría de estas cumplen con la misma función, pero tienen diferentes costos por la calidad o equipamiento de las VRU, aun así mantienen en la mayoría de las presentaciones tienen las mismas ventajas.



Gráfica 19. Diagrama de flujo de una VRU. (BORSING, s.f.)

Ventajas

- Diseño compacto, modular, estandarizado o configurable medida adaptable.
- Principio único de explosión, progresivo e intrínsecamente seguro.
- Eficiente y recuperación considerable.
- Disponible alternativa de control de capacidad.
- Tomar en cuenta los códigos y normas del cliente.
- Adaptable y confiable para todos los artículos.
- Adaptable a modificaciones en las emisiones debido al diseño de proceso modular.
- Mantenimiento deficiente debido a la maquinaria y elección de materiales, como el uso de acero inoxidable.
- Fiabilidad elevada debido a equipos y sistemas de control de excelente calidad.

2.8.3. Tanques con techos flotantes.

Estos tanques están diseñados con un techo que se eleva y desciende en función del nivel del líquido, lo cual disminuye al mínimo el espacio en la superficie del líquido y reduce las emisiones de vapores, este tipo de techo posee sistemas de sellado, que incluye un sello primario y un sello secundario ubicados alrededor del borde del techo flotante,

cumpliendo su función principal impedir que los vapores se escapen y optimizando el control de las emisiones (Rodríguez, 2024)



Gráfica 20. Tanque de techo flotante. (EPPetroecuador, s.f.).

Existen dos tipos de tanques flotantes; techo flotante interno y externo:

- **Techo flotante interno.**

El tanque con techo flotante interno es una modalidad de almacenaje económico y de protección del medio ambiente, que cuenta con un techo flotante que se desplaza arriba y abajo con el incremento o reducción del líquido almacenado. Usualmente, los techos flotantes se fabrican con materiales livianos, como el aluminio y el acero inoxidable.

Beneficios del tanque interno de techo flotante:

- ✓ Hay ventajas claras en cuanto a la protección del medio ambiente y la economía.
- ✓ El techo flotante interno se ubica en la superficie del líquido, lo que evita que el líquido se evapore, lo que disminuye la pérdida de evaporación al 85% - 90%.
- ✓ Una cubierta flotante separa el aire y el líquido almacenado, disminuyendo así la contaminación atmosférica y el peligro de incendio y explosión.
- ✓ Minimiza la corrosión en el techo y en la pared del depósito de almacenaje.
- ✓ Minimiza la polución atmosférica y asegura de manera sencilla la calidad del líquido guardado en el depósito de almacenaje.
- ✓ El depósito de techo flotante interno es particularmente apropiado para almacenar gasolina de alta concentración, combustible para aeronaves, petróleo tóxico y sustancias químicas (Deha Tech, s.f.).

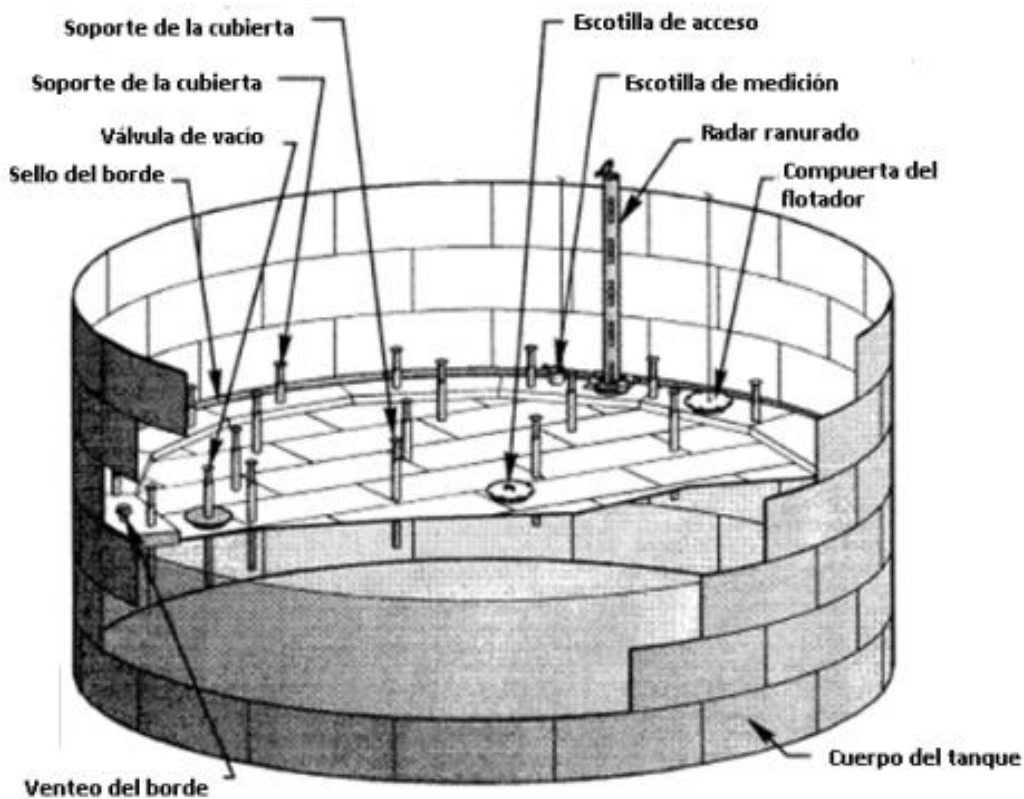
- **Techo flotante externo**

A diferencia de techo flotante interno este posee una cubierta superior que se encuentra sobre la superficie del líquido almacenado en el depósito flotando hacia arriba y hacia abajo con la entrada y salida del líquido almacenado.

Las ventajas de este sistema son las misma que del techo flotante interno, aun así, existen algunos detalles adicionales de porque se aplica:

- ✓ Poseen más accesorias que mejora su funcionamiento en cuanto a reducción emisiones de vapores.
- ✓ El sistema de sellado de borde en el tanque de techo flotante externo puede disminuir considerablemente la evaporación del borde.
- ✓ El tanque externo de techo flotante es apropiado para grandes depósitos de petróleo crudo.

Los depósitos de techo externos suelen instalarse por motivos ambientales o económicos con el objetivo de minimizar la pérdida de producto y disminuir la posibilidad de liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros potenciales contaminantes del aire (Deha Tech, s.f.).

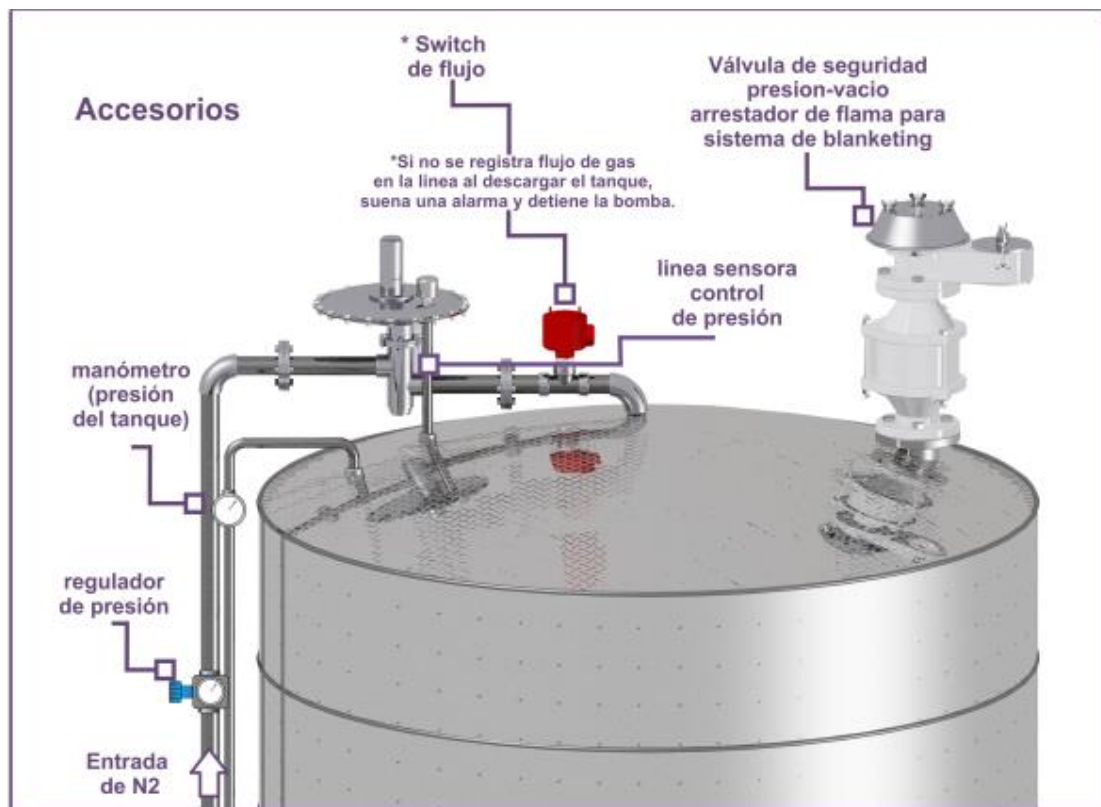


Gráfica 21. Diseño de tanque de techo flotante externo. Fuente: API-MPMS 19.2.

2.8.4. Sistemas de gas inerte.

Este sistema también conocido como “blanketing”, operan al sustituir el aire en el tanque por un gas inerte como el nitrógeno. Este gas genera una barrera de protección sobre el líquido almacenado, evitando el ingreso de oxígeno y disminuyendo las emisiones de COV (Rodríguez, 2024).

Un sistema de blanketing conlleva un procedimiento de cubrir el espacio libre de un tanque de almacenamiento con un gas inerte, siendo el nitrógeno el gas más habitual. La norma ISO 28300 indica que la utilización de una manta de gas inerte es eficaz para prevenir la creación de vapores en el tanque de almacenamiento, siempre que sea diseñada y acondicionada adecuadamente. Además, este sistema elimina el elemento óxido para prevenir la combustión (Franko, s.f.).



Gráfica 22. Sistema de gas inerte. (Franko, s.f.)

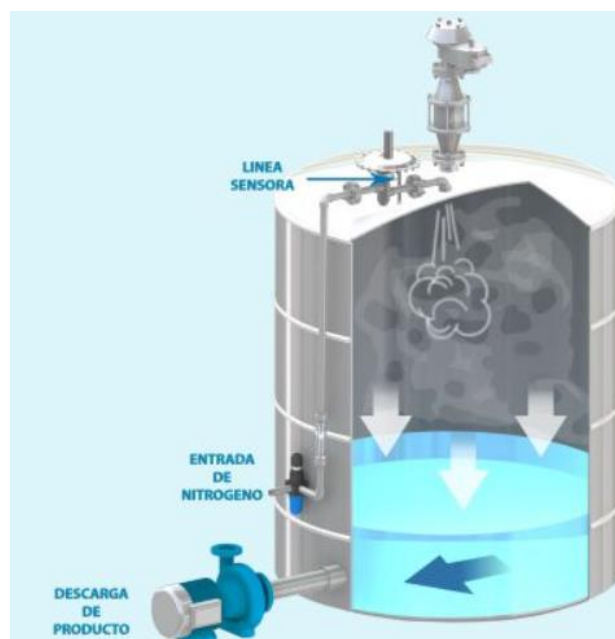
A continuación, se presentan el funcionamiento de este sistema, a medida que el volumen del tanque se altera, también lo hace el espacio de vapor. Esto se debe a que, cuando la presión del vapor en el tanque disminuye por debajo de los límites establecidos previamente se activa el sistema, permitiendo que fluya el paso del nitrógeno dentro del tanque.

Como se muestra en el gráfico 12, la carga de producto o el incremento de la temperatura provoca la liberación de nitrógeno a la atmósfera a través de una válvula de alivio de la serie Franko 1000.



Gráfica 23. Carga de producto o el aumento de temperatura. (Franko, s.f.)

El gráfico 2 ilustra que la liberación de producto o la reducción de la temperatura producen un vacío en el tanque, lo que provoca que la válvula de blanketing del tanque opere, introduciendo más nitrógeno al tanque de almacenamiento.



Gráfica 24. descarga de producto o la baja en la temperatura. (Franko, s.f.)

2.8.5. Filtros de carbón activado.

Son elementos que absorben y capturan los COV, y otros contaminantes presentes en los vapores liberados, disminuyendo de esta manera la presencia de contaminantes en el aire. Este procedimiento se fundamenta en el vínculo físico o químico entre el carbón activado y los contaminantes presentes en los vapores. Usualmente, se emplean en combinación con otros sistemas de regulación de emisiones para potenciar su eficacia como las VRU (Rodríguez, 2024).



Gráfica 25. Filtros de carbón activo. (Empresa Condorchem , s.f.)

El equipo que utiliza el filtrado de carbón activo incluye:

- Una columna para carbón activo: reservorio hecho de acero inoxidable cuya capacidad cambia dependiendo del flujo a tratar.
- Válvula selectora: válvula automática o manual de 5 vías con posiciones para el filtrado y el lavado.
- Carbón activo: se produce a partir de compuestos carbonaticos no graníticos. La materia prima se selecciona en base al líquido que se va a tratar. Uno de los

atributos del carbón activo es su habilidad de adsorción de una extensa diversidad de moléculas distintas. (Empresa Condorchem , s.f.)

Ventajas:

- Relativamente bajo costo de inversión en comparación con otras tecnologías.
- Sistema completamente automatizado que no requiere gastos en personal durante el proceso de operación.
- Maximización del uso del carbón activo a través de un sistema de regulación automática y constante del grado de saturación del carbón activo a través de células de carga.
- Estructura que se adapta a las áreas con terremotos y a las condiciones climáticas locales.
- Exposición reducida a cargas externas (viento y terremotos).
- La carga y descarga del lecho de filtración es sencilla.
- Sistema de protección contra el vacío y sobrepresión, empleando una válvula de seguridad y/o disco de ruptura.
- Optimización de la durabilidad del lecho activo de carbón (Empresa Condorchem , s.f.).

Desventajas:

- Un problema habitual con estos filtros es la canalización: cuando el agua entra en la cámara, automáticamente se desplaza a través del contenedor por la ruta que tiene la menor resistencia. Esto implica que las partículas de carbono que ignoran el agua se utilizan de manera insuficiente, lo que disminuye la eficacia global del sistema de filtración.
- Vida útil corta: cuando los puntos de unión en estos filtros (que se encargan de "atrapar" los contaminantes) se llenan de contaminantes, los filtros se detienen y requieren ser sustituidos. La durabilidad media de un filtro de aire acondicionado varía entre 2 y 6 meses, dependiendo del tamaño del filtro y los contaminantes presentes en el aire o el agua tratada.

- Necesita extensos periodos de contacto: la mayor duración del contacto entre el filtro y el agua incrementará la eficiencia de la filtración. Esto podría implicar aguardar varios minutos para conseguir los hallazgos de la filtración (Bfaqua, s.f.).

2.9. SISTEMA PROPUESTO - TECNOLOGÍA VRU.

2.9.1. ¿Qué es la tecnología VRU?

Las unidades de recuperación de vapor (URV/VRU) se han diseñado con el objetivo de retener los vapores que, de otra forma, se liberarían a la atmosférica. Estas unidades se colocan cuando las normativas federales lo requieren o cuando se piensa que la cantidad de vapores desperdiciados justifica la inversión en una VRU. Se han creado para acatar las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en lo que respecta a la liberación de contaminantes en el aire (Meyer, 2018).



Gráfica 26. Unidad de recuperación de vapores. (Meyer, 2018)

Las unidades de recuperación de vapor tienen varios propósitos básicos en los cuales se puede destacar el:

- Recuperar hidrocarburos.

- Prevenir la contaminación del aire.
- Reducir los riesgos de incendio.
- Prevenir la emisión de gases venenosos (Meyer, 2018).

2.9.2. Composición de una VRU

Una VRU consta de varios componentes claves, con una función específica en el proceso de recuperación de vapor, de acuerdo con el siguiente proceso de una VRU tradicional:

1. Un sistema que recolectar el vapor: el proceso comienza con este sistema de recolección, donde los vapores emitidos la ventilación de tanques o de una operación de carga de camiones, se recolectan por líneas de succión recolectándolos de manera segura y eficaz para el siguiente proceso.
2. Sistema de adsorción de carbón: el motor principal de un VRU es el sistema de adsorción de carbón, específicamente un sistema AD-AB (adsorción/absorción de carbón), este sistema utiliza carbón activado en forma de pequeños gránulos, para capturar los hidrocarburos presentes en los vapores, este sistema a diferencia de otros puede disminuir las emisiones hasta un 99%.
3. Sistema de separación: en esta etapa del proceso este sistema es responsable de aislar los vapores y las partículas de carbón en dos recipientes dentro del sistema de adsorción de carbón, donde un recipiente recoge los vapores y el otro pasa por un proceso de desorción que limpia el carbón para ser reutilizarlo.
4. Sistema de vacío: en cuanto al sistema de adsorción de carbón se utiliza un sistema de vacío para limpiar el carbón y volverlo reutilizable, que elimina los hidrocarburos del carbón, devolviéndolo a su estado funcional (JOHN ZINK, s.f.)

2.9.3. Cómo funcionan las unidades de recuperación de vapores.

El funcionamiento de un VRU de carbón activado (AB-AD) este implica una combinación de procesos de adsorción y desorción. Se describe a continuación su proceso;

1. Adsorción: los vapores del tanque se recolecta e ingresan al sistema de adsorción de carbón, es decir a uno de los recipientes, a medida que los vapores pasan a través de este recipiente, el carbón activado captura los hidrocarburos, limpiando eficazmente el aire, donde el aire limpio se libera a través de una chimenea de ventilación.
2. Desorción o regeneración: en esta etapa cuando un recipiente llega a su máxima capacidad, indica que el carbón está saturado de hidrocarburos y es aquí donde comienza el proceso de desorción, en este sistema también utiliza un sistema de vacío para eliminar los hidrocarburos del carbón, listo para su reutilización garantizando que la unidad de recuperación de carbón pueda funcionar de forma continua.
3. Recuperación de hidrocarburos: después del proceso de desorción, los hidrocarburos recolectados se envían a un absorbedor, que es una torre de relleno, aquí los hidrocarburos recuperados se introducen junto con el líquido cargado para promover la absorción nuevamente en la corriente de líquido.
4. Retorno al tanque de almacenamiento: los hidrocarburos recuperados se devuelven al tanque del que se originaron como forma de vapor, garantizando que se reincorporen a la corriente de producto almacenado. (JOHN ZINK, s.f.)

2.9.4. Ventajas y consideraciones.

Ventajas:

1. Cumple de regulaciones y normativas ambientales: la implementación de una VRU va de la mano con el cumplimiento de las normas, reglamentos o decretos ambientales, aportando a capturan y controlan estas emisiones de COV emitida

de tanques de almacenamiento de manera eficaz, reduciendo la liberación de contaminantes nocivos a la atmósfera y reduce riesgos.

2. **Ahorro económico:** este es un término importante y se ve por medio de este sistema al recuperar hidrocarburos valiosos que se perdería al esparcirse por el aire, una VRU pueden contribuir a la generación de ingresos, sin contar la inversión ya que la recuperación de este producto se puede recuperar la inversión.
3. **Eficiencia de una VRU:** la eficiencia en el control de emisiones de una VRU es probablemente una de las más alta, la misma es líder en la industria petrolífera y en área de almacenamiento en otros países, que puede alcanzar hasta el 99 % de recuperación de emisiones, aportando a las empresas a cumplir con los estrictos objetivos de reducción de emisiones y lucrándose de ello.
4. **Mejora la seguridad:** las VRU se pueden instalar en áreas peligrosas bajo un control exhaustivo lo que garantiza la seguridad en diversos entornos operativos, y además previene principalmente posibles altercado como incendios o explosiones.

Consideraciones:

1. **Volumen o tamaño del tanque**

Este parámetro crucial debido a que depende este factor para la aplicación de la unidad de recuperación de vapor según la capacidad, como en tanques más grandes que proporcionan un porcentaje más alto de vapores, permitiendo esto realizar una mayor y mejor recuperación de vapor, en cambio en los tanques más pequeños pueden requerir medidas adicionales para garantizar una recuperación de vapor adecuada.

2. **Presión de vapor**

En particular las altas presión de vapor en el tanque puede afectar directamente la eficiencia del sistema de una VRU, sin embargo, se pueden emplear medidas de enfriamiento para disminuir los efectos del calor adicional del sistema VRU.

3. Flexibilidad

las VRU son versátiles ya que existen variedades aun así requieren una planificación cuidadosa para garantizar la flexibilidad ante condiciones operativas cambiantes o adversas, volúmenes de tanques y tipos de productos diferentes, por ellos es específico que una VRU puede manejar hasta 4 tanques con el mismo contenido. (JOHN ZINK, s.f.).

2.9.5. Limitaciones.

1. La eficacia depende de la presión en los tanques, si la presión no es la correcta es probable que la VRU no opere adecuadamente.
2. Cada VRU es adaptable en cuanto a capacidad y diseño incluyendo los requerimientos específicos de cada instalación, lo cual puede elevar los gastos de implementación, operación y mantenimiento, por es necesario el análisis a detalle de cada tanque.
3. una VRU puede llegar a ser muy costosas de instalar y mantener dependiendo su capacidad y tamaño, lo que va a representar un desafío económico para algunas empresas pequeñas.
4. Estas requieren un mantenimiento constante para corroborar que funcione correctamente, evitando que cause posibles daños al tanque.

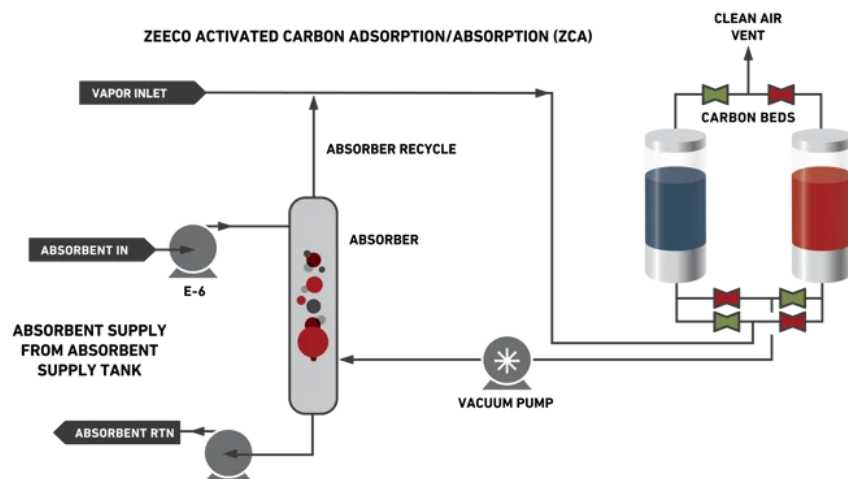
2.10. TIPOS DE VRU PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Las VRU tradicionales se clasifican en dos tipos por compresor, en cuanto a las de compresor existen varios tipos de compresores que se aplican y VRU de carbón activado, sin embargo, su implementación depende tanto del volumen de emisiones como del del tipo de vapor a recuperar.

2.10.1. Unidad de recuperación de hidrocarburos (VRU) de carbón activado.

Las VRU utilizan un método altamente adaptable y eficaz para la captura de hidrocarburos mediante el uso de carbón activado. Esta tecnología es ampliamente reconocida y aceptada como una de las mejores alternativas disponibles (MTD) en diversas clases de aplicaciones, dado que tiene la capacidad de disminuir las concentraciones de hidrocarburos en el flujo de entrada entre un 0% -100%. (ZEECO, s.f.)

Después de que los hidrocarburos se unen al carbón activado, se recuperan a través de un sistema de bomba de vacío y posteriormente se reincorporan a una corriente de absorbente en movimiento. Esto facilita la reincorporación de los hidrocarburos al funcionamiento de la carga o a las instalaciones de almacenaje. Diversos modelos de bombas de vacío pueden ser utilizados, tales como las de anillo líquido, secas o de paletas deslizantes (ZEECO, s.f.).



Gráfica27. Diagrama del funcionamiento de una VRU de Absorción De Carbón Activado. (ZEECO, s.f.)

2.10.2. Unidades de recuperación de vapores GARO con compresor de anillo líquido.

Las unidades de recuperación de vapores comercializadas por la empresa Grupo Garo, se estructuran en torno a un compresor de anillo líquido la fuente principal que expulsa los gases mediante un líquido de sellado, es decir el fluido de procedimiento se inserta en el compresor, donde pasa a través de la aceleración centrífuga creando un anillo cilíndrico móvil que se ajusta a la forma de la carcasa excéntrica de doble lóbulo, la compresión se

lleva a cabo en un baño líquido que comúnmente es agua garantizando así que el proceso de compresión sea seguro.

El uso de este tipo de compresor de anillo líquido contribuye en la captura de vapores y brinda beneficios significativos. (GRUPO GARO, s.f.).

2.10.3. Funcionamiento de las VRU de compresor de anillo líquido para parques de tanques.

- (1) El gas emitidos provenientes del parques de tanques que viene a ser lo mismo que una estación de tanques de almacenamiento, de aquí se extraen y pasan al compresor de anillo líquido a través de la línea de succión conectada (2) junto con el agua de proceso (3) y pasan al compresor, en esta fase de compresión la mezcla del gas, agua e hidrocarburos entra en el separador (4), donde se separan cada elemento, primero el gas pasa a través de un desempañador (5) para eliminar las gotas de agua, donde luego sale del recipiente por la parte superior, mientras que los hidrocarburos condensados y el agua se separan del vapor por gravedad debido a la disminución de la velocidad del gas, luego el agua retorna al compresor tras enfriarse a través de un refrigerador (6). El proceso de la línea de reposición de agua de proceso continua (7) en el compresor, la succión se proporciona para asegurar un anillo de agua continua en el compresor, finalmente los hidrocarburos condensados se devuelven a los tanques (8), el gas que sale del separador se dirige finalmente al Gas GatheringSystem que son recipientes donde se almacenan (9). (GRUPO GARO, s.f.)

El diagrama que describe este presenta se muestra a continuación:

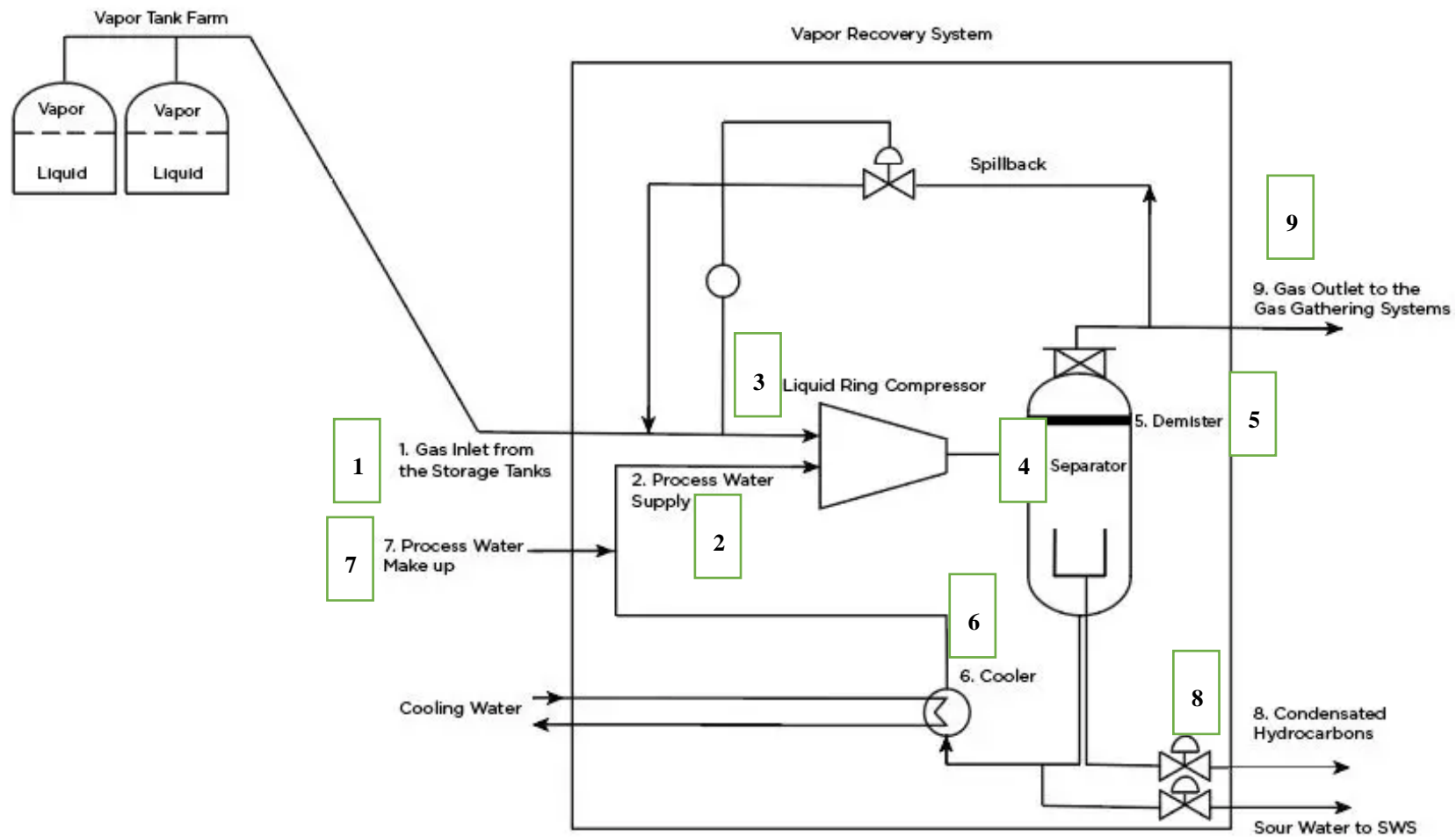


Gráfico 28. Diagrama del funcionamiento de una VRU con compresor de anillo líquido. (GRUPO GARO, s.f.)

2.11. NORMATIVAS PARA CONSIDERAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

A nivel mundial, existen organizaciones e instituciones que establecen normativas y estándares internacionales relacionados específicamente con el enfoque de los tanques de almacenamientos, y sobre el impacto ambiental de estas emisiones. En este estudio, se abordarán algunas de las normativas y estándares utilizados en la industria del petróleo y su refinamiento, con un enfoque particular en el estudio propuesto de evaluar un sistema de control de emisiones. Las normativas se basan en el diseño y construcción de tanques de almacenamiento, sistemas de control de emisiones y operaciones seguras, establecidas por entidades como:

- ASTM, API, ISO, ASME, NFPA, EPA (en sus abreviaturas siglas en ingles)

A continuación, se describen las principales relacionadas a la investigación:

- API 650, tanques de acero soldados para el almacenamiento de petróleo: es la principal norma que se evalúa para el diseño y construcción de tanques de almacenamiento a presiones atmosféricas o internamente presurizadas hasta por encima de la presión atmosférica mínimamente.
- API 2000, sistema de ventilación de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión: ofrece instrucciones sobre sistemas de venteo que se relacionan con aspectos de recuperación de vapor para mantener la presión adecuada dentro del tanque y mitigar emisiones no controlables.
- ASTM D323, método de prueba estándar para la presión de vapor de productos petroleros a 100 °F: conlleva un procedimiento para medir la presión de vapor de productos petroleros a una temperatura específica, lo que es un parámetro adecuado e importante para la manipulación segura, el debido almacenamiento y transporte de estos materiales.

- EPA, esta entidad presenta norma de control de emisiones de HAP para tanques de almacenamiento de crudo: establece directrices para el control de emisiones de HAP de depósitos de almacenamiento de crudo con una capacidad de más de 10,000 galones, además exige la implementación de sistemas de controles como techos flotantes, sistemas de recuperación de vapor o sistemas de combustión de vapores con el fin de reducir y recuperar estas emisiones.
- ISO 28300, venteo de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión: cubren requisitos similares a la normativa API 2000 y está vinculada a la ventilación adecuada de tanques evitando problemas de sobre vacío y sobrepresión.
- NFPA 30, líquidos inflamables y combustibles: incluye requisitos para sistemas de reducción de emisiones de vapores en instalaciones de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles. (Rodríguez, 2024)

Es crucial considerar que hay regulaciones particulares que se deben respetar para poder implementar un sistema de control de emisiones como el que se sugiere en este estudio de investigación. Esto implica examinar meticulosamente qué recipientes de almacenaje son apropiados para utilizar este tipo de sistema u otros parecidos, siempre cumpliendo con las normativas técnicas y legales vigentes, como las siguientes:

- **“Acuerdo Ministerial 091 límites permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas en actividades hidrocarburíferas”.** El acuerdo del Ministerio del Ambiente publicado en el registro oficial 430, de 04 de enero del 2007, establece los valores máximos permitidos de emisiones a la atmósfera para las diferentes fuentes de combustión como calderas, hornos o tanques, donde los límites son en dependencia del tipo de combustibles y otros factores en la tabla 1,2 y 3 se representan límites máximos. (GOB.EC, 2007).
- **“Acuerdo N.º 97/A - Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas (Anexo 3, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente)”.**

Este Acuerdo dispone el Anexo 3 del “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente” (Registro Oficial Organo de la Rpublica del Ecuador, 2015), en relación con la Norma de emisiones al aire provenientes de fuentes fijas.

El propósito principal de esta regulación es proteger la salud pública, la calidad del aire y cuidar el medioambiente, esta regulación define los límites permisibles de la concentración de emisiones de contaminantes expuestos en el aire, generadas por las actividades de combustión en fuentes fijas como calderas, plantas industriales y por otros procesos industriales que se realizan por ejemplo en refinerías (como tanques de almacenamiento), donde se produzcan emisiones al aire, también proporciona métodos y procedimientos para calcular las concentraciones emitidas por la combustión en fuentes fijas.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1.1. Introducción a la problemática.

En la actualidad, las refinerías en otras partes del mundo están revolucionando significativamente, de manera que estas son más sostenibles y amigables con el medio ambiente, minimizando el impacto ambiental y cumpliendo con normativas cada vez más estrictas sobre las emisiones. La RLL desempeña un papel importante en el procesamiento de hidrocarburos a nivel nacional, por lo que es importante que se realicen innovaciones en su infraestructura. La propuesta de este trabajo de investigación enfatiza explorar sistemas o tecnologías para reducir y recuperar dichas emisiones.

En las instalaciones de la RLL nos dispone de un sistema específico para el control de emisiones de COV derivadas de sus tanques de almacenamiento, la aplicación de techo flotantes que disponen es escasas lo cual indica la falta de interés de controlar estas emisiones dado que los compuestos orgánicos volátiles no solo contribuyen a la contaminación atmosférica, sino que también tienen relación directa con efectos nocivos para la salud humana, tales como afecciones respiratorias y cardiovasculares, además de su contribución al efecto invernadero y a la generación de ozono troposférico.

3.1.2. Enfoque de la investigación.

El principal enfoque del trabajo de investigación es dar una solución a largo plazo con respecto a las emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento. Este estudio adopta una metodología cuantitativa-cualitativa, debido a que se fundamenta en la recopilación y estudio de datos numéricos para valorar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) producidas en los depósitos de almacenamiento de la refinería de La Libertad, además de evaluar si las características de los tanques de almacenamiento son aptas para poder adaptar dicha tecnología u otra si se moderniza la RLL. Para así poder evaluar el posible efecto de la aplicación de una tecnología de recuperación de vapor (VRU) u otros sistemas que tienen la misma finalidad.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación del presente tema de estudio es de tipo aplicada y no experimental, pues tiene como objetivo proporcionar una solución específica y práctica a un problema ambiental y operativo detectado en la refinería de La Libertad las emisiones de COV en los depósitos de almacenaje. También se categoriza como un estudio cuantitativo, descriptivo y propositivo, dado que expone el problema técnico-ambiental presente, mide sus efectos y sugiere una tecnología factible para su reducción. Además, posee un componente no experimental, ya que no se manejan directamente las variables, sino que se lleva a cabo un análisis técnico fundamentado en datos históricos como son las emisiones donde se observan y analizan en su contexto natural.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1. Población.

El grupo de estudio se compone de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos situados en la refinería de La Libertad, que producen emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) durante sus procesos de carga, descarga y almacenaje.

La RLL cuenta con 118 tanques de almacenamiento funcionando actualmente de los cuales se reagrupa una cantidad de tanques que tienen emisiones de COV's en su proceso habitual según pruebas realizadas.

3.3.2. Muestra.

Se compone de un grupo representativo de tanques seleccionados basándose en criterios técnicos, como el tipo de producto almacenado, su capacidad volumétrica, la frecuencia de funcionamiento y el nivel de emisiones registradas.

La selección de los tanques es dispuesta por la RLL quien proporcionó información de varios tanques de almacenamiento. En el capítulo IV se especifica los tanques de almacenamiento con datos de mediciones de emisiones realizadas el último año 2024, se presentan sus características y se evaluará si cumplen con los estándares de la aplicación de tecnología de recuperación de vapores.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Evaluación de situación actual

Se recopila y examina datos técnicos y operativos acerca de los tanques de almacenamiento situados en la refinería de La Libertad. Esta etapa comprende:

- Determinar las propiedades de los depósitos (tipo, capacidad, productos en almacenaje) y una evaluación de los sistemas de ventilación y control de emisiones existentes.

La RLL cuenta actualmente con 118 tanques de almacenamientos en funcionamiento. A continuación, se muestra una tabla con nombre de tanque, su contenido y la capacidad operativa (BLS), proporcionados por la RLL:

Tabla 2. Datos de tanques de la RLL y Cautivo.

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
1	CEPE-1	CRUDO	144.737,92
2	39	CRUDO	141.114,42
3	40	CRUDO	134.637,49
4	55	CRUDO	141.932,20
5	57	CRUDO	254.426,30
6	M-18 (L)	CRUDO	2.719,84
7	88 (L)	CRUDO	49.717,94
8	103 (L)	CRUDO	53.740,18
9	188 (L)	CRUDO	71.868,71

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
CAPACIDAD TOTAL			994.895,00
10	32	CRUDO PENINSULAR	47.598,63
11	33	CRUDO PENINSULAR	48.053,46
CAPACIDAD TOTAL			95.652,09
12	60	SLOP	2.726,25
13	85	SLOP	5.454,65
14	160	SLOP	1.380,54
15	15	SLOP	4.851,14
16	45	SLOP	411,83
17	47	SLOP	341,72
18	48	SLOP	218,62
19	49	SLOP	2.306,90
20	100 (R)	SLOP	916,07
21	102 (R)	SLOP	840,89
CAPACIDAD TOTAL			19.448,61
22	31	PREMEZCLA	4.824,66
23	46	PREMEZCLA	2.022,88

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
24	3	PREMEZCLA	47.239,05
25	52	GAS. EXTRA	45.018,37
26	26	NAO	72.412,32
27	19	NAO	598,10
28	8	NAO	35.578,44
29	20	NAO	68.018,74
30	1	GAS. BASE	38.952,68
31	28	GAS. BASE	16.508,03
32	53	GAS. BASE	18.225,37
33	21	GAS. BASE	6.399,17
34	RD-1	GAS. BASE	1.568,89
35	RD-2	GAS. BASE	1.617,15
36	RD-3	GAS. BASE	1.636,40
37	RD-4	GAS. BASE	1.604,63
38	RD-9	GASOLINA	1.528,40
39	201 (L)	GAS. BASE	23.743,25
40	202 (L)	GAS. BASE	10.469,60

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
41	203 (L)	GAS. BASE	8.777,52
42	307 (R)	GAS. BASE	4.623,01
43	308 (R)	GAS. BASE	2.718,05
CAPACIDAD TOTAL			414.084
44	29 B	B JP1	17.251,92
45	30 B	B JP1	6.468,40
46	.. 17 B	B JP1	1.815,05
CAPACIDAD TOTAL			25.535,37
47	11	JP1	5.620,53
48	14	JP1	4.005,27
49	16	JP1	3.998,66
50	25	JP1	9.989,00
CAPACIDAD TOTAL			23.613,46
51	13	DIESEL 1	1 6.433,35
52	23	DIESEL 1	1 6.356,70
53	M-103 (R)	DIESEL 1	1 836,76
54	M-115 (R)	DIESEL 1	1 811,84

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
55	M-101 (R)	DIESEL 1	1 844,58
CAPACIDAD TOTAL			15.283,23
56	5	DIESEL PREMIUM	50.784,80
57	12	DIESEL PREMIUM	35.580,03
58	37	DIESEL PREMIUM	1.471,13
59	38	DIESEL PREMIUM	1.495,64
60	56	DIESEL PREMIUM	27.530,72
CAPACIDAD TOTAL			116.862,32
61	2	DIESEL2	29.147,60
62	4	DIESEL 2	50.632,50
63	22	DIESEL 2	6.442,33
64	54	DIESEL 2	73.255,99
65	34	DIESEL 2	16.867,10
66	7	DIESEL 2	18.473,94
67	RD-5	DIESEL 2	871,10
68	RD-6	DIESEL 2	1.525,78
69	109 (R)	DIESEL 2	1.559,57

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
70	111 (R)	DIESEL 2	1.555,38
71	M-8 (R)	DIESEL2	792,09
72	M-189	DIESEL 2	790,57
73	300 (L)	DIESEL 2	11.077,77
74	301(L)	DIESEL 2	4.156,88
75	302 (L)	DIESEL 2	3.956,16
76	303 (L)	DIESEL 2	4.206,40
77	304 (L)	DIESEL 2	2.486,48
78	305 (L)	DIESEL 2	2.478,40
79	306 (L)	DIESEL 2	2.482,73
CAPACIDAD TOTAL			232.758,77
80	6	FUEL OIL 4 B	45.768,32
81	9	FUEL OIL 4 B	69.352,70
82	10	FUEL OIL 4 B	46.830,10
83	26	FUEL OIL 4 B	72.412,32
84	27	FUEL OIL 4 B	16.835,48
85	43	FUEL OIL 4 B	27.065,78

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
86	44	FUEL OIL 4 B	18.009,47
87	71 (L)	FUEL OIL	8.900,66
88	72 (L)	FUEL OIL	14.789,33
89	104 (R)	FUEL OIL	1.307,52
90	106 (R)	FUEL OIL	1.418,59
91	110 (R)	FUEL OIL	1.568,66
92	200 (L)	FUEL OIL	23.486,71
CAPACIDAD TOTAL			347.745,64
93	35	GAS. CAS. H.	680,14
94	36	GAS. CAS. H.	686,06
CAPACIDAD TOTAL			1.366,20
95	RD-11	ABSORBER OIL	572,24
CAPACIDAD TOTAL			572,24
96	RD-7	SPRAY	1.636,81
97	RD-8	SPRAY	1.614,55
CAPACIDAD TOTAL			3.251,36
98	G-1	G.L.P.	104,77

#	TANQUES	CONTENIDO	CAPACIDAD OPERATIVA (BLS)
99	G-3	G.L.P.	424,85
100	G-4	G.L.P.	387,27
101	G-5	G.L.P.	428,92
102	G-6	G.L.P.	496,14
103	G-7	G.L.P.	467,56
CAPACIDAD TOTAL			2.309,50
104	18	RUBBER SOLV.	2.395,08
105	24	RUBBER SOLV.	2.413,02
CAPACIDAD TOTAL			4.808,10
106	M-4	MINERAL TURP.	776,34
107	M-190	MINERAL TURP.	790,75
CAPACIDAD TOTAL			1.567,09

Fuente: RLL EPPETROECUADOR

Elaborado por: Erika Suárez.

Estos datos proporcionados por la RLL, nos muestra características de los tanques en uso con sus nombre y producto/contenido de cada uno, también la forma del tanque y tipo de techo que es un dato relevante, ya que también cuenta como un sistema que minimiza la exposición de estas emisiones en cuanto al contenido del tanque, sin embargo, en la RLL no se han aplicado este tipo de techo a todos los tanques.

3.4.2. Evaluación de las emisiones actuales de COV.

Se evaluará las emisiones actuales y determinar las emisiones anuales a su vez se determinará la eficiencia medida en masa perdidas de emisiones si recuperada con las VRU.

3.4.3. Evaluación de tecnologías de recuperación de vapor.

Se realiza una revisión técnica y comparativa de diversas tecnologías de VRU aplicables a instalaciones similares. La evaluación considera:

- Ventajas y desventajas.
- Costos de implementación y operación de la alternativa propuesta.
- Eficiencia en la reducción de COV.
- Viabilidad técnica en función de la implementación en la refinería.

3.4.4. Propuesta de la mejor tecnología de recuperación de vapores.

A partir de los resultados previos, se elabora una propuesta de sistema VRU apropiada para los tanques analizados. Esta fase comprende:

- Elección de la tecnología que mejor se ajuste.
- Valoración de los gastos de implementación y las ventajas proyectadas (ambientales y financieras).
- Iniciativas para disminuir las emisiones de COV.

3.4.5. Análisis del impacto ambiental de las emisiones de COV y el impacto ambiental resultante aplicando una VRU.

Se revisará y analizara el impacto ambiental que provocan estas emisiones de COV en los diversos factores. Posibles resultados y formas de obtener un impacto ambiental medibles en cuanto a la reducción de emisiones aplicada una VRU.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. DATOS TÉCNICOS, INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA RLL.

Los tanques de almacenamiento en la RLL son estructuras diseñadas de acuerdo a estándares internacionales como API 650 y API 653, que regulan sus dimensiones, materiales, presión y temperatura de operación. Estos depósitos pueden ser de ubicación vertical o horizontal, y se fabrican con acero al carbono resistente a la corrosión y a las condiciones de operación particulares del producto almacenado, usualmente hidrocarburos y sus derivados. La información técnica comprende:

- Dimensiones físicas y capacidad volumétrica.
- Estructuras de edificación y grosores de las placas.
- Situación de funcionamiento: presión, temperatura y clase de producto que se almacena.

De acuerdo a cada uno de estos puntos extraídos de API 653, es importante mencionar datos técnicos principalmente donde se realiza una evaluación de techo del tanque, del cuerpo del tanque, evaluación de la base del tanque, que implica una evaluación de techo del tanque:

4.1.1. Evaluación de la estructura de techos fijos y flotantes.

Los accesorio o estructuras de los techos deben ser inspeccionados y evaluados para su reparación o reemplazo de ser necesario, de acuerdo con la RLL poseen guías para evaluación de techos flotantes se basan en los apéndices C y H de API 650 para techos flotantes externos e internos.

4.1.2. Evaluación del cuerpo y fondo del tanque..

Para realizar la inspección y evaluación del tanque de almacenamiento se toma en cuenta todas las condiciones de carga y presión a las cuales se encuentra expuesto; que por lo tanto puedan afectar la integridad estructural del cuerpo del tanque.

La corrosión en el cuerpo del tanque ocurre de muchas formas resultando en una pérdida uniforme, cada caso debe ser tratado como un caso único. Las picaduras en general no representan una amenaza severa para la integridad estructural general.

En la evaluación del fondo de tanque se revisan y determinan los aspectos de corrosión y fallas que pueden causar fugas y daños ambientales, por ello se debe revisar cada aspecto de los fenómenos de corrosión y los mecanismos potenciales de fugas o fallas. Se deben realizar evaluaciones periódicas de la integridad del fondo adicionales a las inspecciones internas.

En cuanto a las inspecciones del tanque se realizan periódicamente, se presenta una tabla del procedimiento a seguir cuando se da una inspección o mantenimiento de los tanques de almacenamiento encargado por personal autorizado.

Tabla 3. Procedimiento: inspección de tanques de almacenamiento de producto, RLL.

N°	Descripción del proceso a seguir	Responsable
1	Recibir la orden de trabajo de la coordinación usuaria.	Usuario.
2	Verificar que el equipo se encuentre totalmente limpio y desgasificado para su inspección interior.	Inspector de campo. Supervisor de seguridad industrial.
3	Realizar la demarcación de todas las planchas del piso (de una en una) para realizar la inspección general del fondo utilizando el FloorMap SV2000.	Inspector de campo. Analista de predictivos.

-
- | | | |
|-------------|---|--|
| 4. | Elaborar el respectivo informe, resaltando el estado de deterioro de las planchas (afectadas por corrosión), demarcar en sitio las zonas o áreas a ser reparadas o reemplazadas. | Inspector de campo.
Analista de predictivos |
| 5. | Realizar la inspección general de paredes, utilizando equipo de ultrasonido SCORPIONS. | Inspector de campo.
Inspector de planta. |
| 6. | Realizar la inspección general del techo, utilizando equipo de ultrasonido HANDSCAN. | Inspector de campo.
Inspector de planta. |
| 7. | Inspeccionar las estructuras metálicas y accesorios del tanque. | Inspector de campo.
Inspector de planta. |
| 8. | Inspeccionar en forma visual el estado actual de las soldaduras y, si fuera el caso, utilizar la cámara de vacío con agua jabonosa y/o realizar ensayos no destructivos a través de líquidos penetrantes. | Inspector de campo.
Analista de predictivos. |
| 9. | Realizar la inspección de la unión piso-pared interna / externa mediante ultrasonido. | Inspector de planta.
Analista de predictivos. |
| 10. | Inspeccionar pasamanos, escaleras y plataformas. | Inspector de campo. |
| 11. | Inspeccionar sistema de drenaje, líneas adyacentes, válvulas y cubeto. | Inspector de campo. |
| .12. | Comprobar el funcionamiento de válvulas de venteo del techo, mediante la prueba de llenado y vacío en columna de mercurio, de acuerdo a normas de seguridad existentes. | Analista de predictivos. |
| 13. | Fotografiar las fallas más importantes antes y después de efectuar la reparación. | Inspector de campo. |
-

-
14. Elaborar informe detallado de inspección en el cual se justifican las decisiones adoptadas, colocando las respectivas conclusiones y recomendaciones para un próximo mantenimiento. Inspector de planta. Coordinador apoyo técnico de la producción.
15. Aprobar y enviar Informe al área usuaria. Coordinador de ATP.
-

Fuente: RLL EP Petroecuador.

4.2. MONITOREO DE EMISIONES FUGITIVAS REFINERÍA LA LIBERTAD

En el monitoreo de emisiones fugitivas o mediciones de emisiones de COV's, se realizan en base a un proceso que se lleva a cabo con equipos de medición siguiente:

Tabla 4. Equipo Marca Serie/Modelo.

Equipo	Marca	Serie/Modelo
Mini RAE	Honeywell	Mini RAE 3000

Fuente: RLL – EPPETROECUADOR

A continuación, se muestra la tabla 5 con puntos de monitoreos que son los tanques para tomar mediciones de COV's en el tercer trimestre del periodo 2024, especificando la ubicación de los tanques, presión barométrica y temperatura.

Tabla 5. Ubicación de los puntos de medición, condiciones climáticas y coordenadas.

Punto de monitoreo	Descripción Punto de monitoreo	Coordenadas UTM WGS 84 NORTE ESTE		Presión barométrica mmHg	Temperatura Ambiente °C
--------------------	-----------------------------------	---	--	--------------------------------	-------------------------------

P1	TQ 39	512058	9753638	758.2	22.5
P2	TQ 40	512085	9753705	758.2	22.5
P3	TQ 57	512281	9754461	758.2	21.3
P4	TQ 88	512606	9754923	733.0	22.3
P5	TQ 188	512593	9754814	733.3	23.5
P6	TQ M18	512607	9754771	758.4	23.1
P7	TQ 32	511046	9754166	759.5	22.8
P8	TQ 33	511032	9754195	759.5	22.1
P9	TQ 28	510859	9754564	759.7	22.6
P10	TQ 52	510811	9754526	759.7	22.1
P11	TQ 8	510799	9754579	759.7	23.3
P12	TQ 20	510915	9754339	759.7	23.2

Fuente: RLL EPETROECUADOR

Elaborado por: Erika Suárez.

En la siguiente tabla se muestran las mediciones de los tanques establecidos en la tabla 5 fueron realizadas el 17 de julio de periodo 2024 se realizaron estas mediciones con el instrumento especificado en la tabla 4 se tomaron tres mediciones y sacaron un promedio de COV's medidos en ppm.

Tabla 6. Cargas de Contaminantes Calculadas a 25° C y 760 mmHg.

Punto de monitoreo	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	PROMEDIO
	1 COV's ppm	2 COV's Ppm	3 COV's ppm	DE COV's ppm
P1	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	0.0	0.0
P4	0.0	0.0	0.0	0.0
P5	0.0	0.0	0.0	0.0
P6	0.0	0.0	0.0	0.0
P7	0.0	0.0	0.0	0.0
P8	0.0	0.0	0.0	0.0
P9	112.6	108.7	112.0	111.1
P10	0.0	0.0	0.0	0.0
P11	0.0	0.0	0.0	0.0
P12	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: RLL-EPPETROECUADOR

Elaborado por: Erika Suárez.

Notas:

1. Los valores de concentración están expresados en microgramos por metro cúbico de aire a condiciones de 25°C y 760 mmHg.

- Al obtener datos primarios con signo negativo se reporta en el resultado como cero

Los valores medidos de COV's en los puntos de la refinería La Libertad se evidencia que no existe presencia de COV's, excepto en el punto 9 que se evidencia presencia de COV's.

Observaciones.

- Las mediciones se realizaron en operaciones normales de la refinería La Libertad.

Además, se presentan otras mediciones la tabla 7 muestra las características del equipo utilizado para medir las emisiones de COV's en los tanques de almacenamientos en el cuarto trimestre del año 2024.

Tabla 7. Equipos utilizados en la medición de emisiones fugitivas.

Equipo	Marca	Serie/Modelo
Multigas	Industrial Scientific	MX6 iBrid EI/357

Fuente: RLL EPPETROECUADOR.

En la siguiente tabla se presentan una muestra de 12 tanques de almacenamiento de los cuales se los representan como puntos del 1 al 12 con su número o nombre de tanque correspondiente de los cuales se tomarán medidas de emisiones en la tabla se presenta su ubicación con coordenadas, presión barométrica y temperatura en el momento de las mediciones con sus unidades que corresponden

Tabla 8. Ubicación de los puntos de medición, condiciones climáticas y coordenadas.

Punto de monitoreo	Descripción Punto de monitoreo	Coordenadas UTM WGS 84		Presión barométrica mmHg	Temperatura Ambiente °C
		NORTE	ESTE		

P1	TQ 39	512058	9753638	754.4	22.5
P2	TQ 40	512085	9753705	754.9	23.9
P3	TQ 57	512281	9754461	755.1	22.9
P4	TQ 88	512606	9754923	758.4	22.5
P5	TQ 188	512593	9754814	755.7	22.4
P6	TQ M18	512607	9754771	755.4	23.7
P7	TQ 32	511046	9754166	757.7	23.3
P8	TQ 33	511032	9754195	757.9	23.3
P9	TQ 28	510859	9754564	758.2	23.1
P10	TQ 52	510811	9754526	758.4	25.1
P11	TQ 8	510799	9754579	758.4	21.4
P12	TQ 20	510915	9754339	758.2	24.6

Fuente: RLL-EPETROECUADOR

Elaborado por: Erika Suárez.

En la tabla 9 se muestran las mediciones de emisiones de ese periodo, específicamente del 31 de diciembre del 2024, según el informe de Jefatura de Gestión Ambiental y Laboratorio: Se realizaron 3 toma de mediciones y se obtuvo un promedio como se muestra a continuación:

Tabla 9. Cargas de contaminantes calculadas a 25° C y 760 mmHg.

Punto de monitoreo	MEDIDA	MEDIDA	MEDIDA	PROMEDIO
	1 COV's ppm	2 COV's Ppm	3 COV's ppm	DE COV's ppm
P1	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	0.0	0.0	0.0	0.0
P4	0.6	0.6	0.6	0.6
P5	0.0	0.0	0.0	0.0
P6	0.0	0.0	0.0	0.0
P7	0.0	0.0	0.0	0.0
P8	0.0	0.0	0.0	0.0
P9	0.0	0.0	0.0	0.0
P10	2.8	2.8	2.8	2.8
P11	0.0	0.0	0.0	0.0
P12	3.5	3.5	3.5	3.5

Fuente: RLL-EPPETROECUADOR

Elaborado por: Erika Suárez.

Notas:

1. Los valores de concentración están expresados en microgramos por metro cúbico de aire a condiciones de 25°C y 760 mmHg.

2. Al obtener datos primarios con signo negativo se reporta en el resultado como cero

Los valores medidos de COV's en los puntos de la refinería La Libertad se evidencia que no existe presencia de COV's, excepto en los puntos 4, 10 y 12 que se evidencia presencia de COV's.

Observaciones:

1. Las mediciones se realizaron en operaciones normales de la refinería La Libertad.

Estas emisiones se pueden obtener por medio del software Tanks 4.09 de la EPA, para estudios previos se puede utilizar teniendo la información necesaria y requerida, debido a que estas mediciones no son datos o información pública, existen este tipo de software que permiten estimar estas emisiones de cada tanque teniendo lo siguiente; requiere de varios datos, como son características del tanque, del diseño del tanque, tipo de techo, características de los vapores emitidos, volumen del producto almacenado e inclusive las horas operativas del tanque para poder cuantificar las emisiones anuales.

En la actualidad, la RLL no cuenta con un sistema de control de emisiones, por otro lado, en el sistema de ventilación Se utilizan válvulas de presión y vacío o ventilaciones libres, para que la presión interna no exceda el diseño del tanque.

Tabla 10. Sistemas de ventilación y control de emisiones en los tanques de la RLL.

SISTEMA DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN:	Válvulas de seguridad y sistema de control de presiones.
SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES EXISTENTES:	No cuenta con un sistema.

Fuente: RLL

4.3. ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REDUCCIÓN/RECUPERACIÓN DE EMISIONES.

Para poder elegir el mejor sistema de reducción de emisiones se plantea varias alternativas presentadas por tablas especificando detalles importantes que nos ayudaran a poder seleccionar un el mejor sistema que cumpla con el objetivo principal de esta investigación además que pueda ser aplicado en los tanques de la RLL.

Estas alternativas propuestas son: unidad de recuperación de vapores, unidad automatizada de recuperación de vapores, sistema de techo flotante y sistema de Gas inerte, que son sistemas específicamente para tanques de almacenamiento.

Tabla 11. Análisis de la tecnología VRU.

Unidad de recuperación de vapor	
Son equipos diseñados específicamente para recuperar vapores de hidrocarburos de las instalaciones de almacenamiento y carga, volver a licuarlos y devolverlos en forma de hidrocarburos líquidos o gas a los tanques de almacenamiento.	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Recupera los vapores a un 95 % que actualmente se emiten a la atmósfera.• Representa un ahorro económico significativo, se recupera hidrocarburos que de otro modo se perdería, en cantidad de tanques ese porcentaje de emisiones significa un porcentaje de recuperación y se traduce a un aumento de ingresos.• No solo reduce las emisiones de vapores, las recupera y las puede reutilizar y tiene múltiples usos.	<ul style="list-style-type: none">• Requiere inversión inicial.• Requiere mantenimiento.• Se puede implementar en tanques depende del volumen y contenido.

-
- Ya han sido aplicadas con éxitos en la industria petrolera en los tanques de almacenamiento.
-

Elaborado por: Erika Suárez.

Tabla 12. Análisis de la tecnología UARV.

La unidad automatizada de recuperación de vapores (UARV)

Esta tecnología es más avanzada que las UVR en cuanto a avance tecnológico, a su vez tiene muchos beneficios e implementa un control remoto y monitoreo 24/7.

Ventajas

- Elimina/reduce las emisiones, el venteo y la quema.
- Aumenta el resultado final mediante la recuperación de condensados, la reducción de los costos de operación y mantenimiento, y la eliminación del impuesto al carbono sobre las emisiones.
- UARV también incluye un sistema de alerta por correo electrónico, mensajes de texto SMS o llamadas telefónicas para alertar sobre cualquier problema, incluidos los cortes de energía y cambios de tendencia inesperados.

Desventajas

- Requiere inversión inicial en tecnología avanzada.
- Necesita personal capacitado para mantenimiento y monitoreo.
- Tiene una dependencia de energía eléctrica para operación continua.

Elaborado por: Erika Suárez.

Tabla 13. Análisis del sistema techo flotante.

Tanques de techo flotante

Este es un sistema común que se implementan a los tanques a alta presiones donde las emisiones son mucho más altas, su funcionamiento básico es subir y bajar el techo con el nivel del líquido, minimizando el espacio para vapores y sellado para evitar fugas.

Ventajas

- Reduce las emisiones en un porcentaje de 80% a 90% aproximadamente, aunque no existe registro de esta eficiencia, sin consumo energético.
- Protege el producto almacenado de las condiciones climáticas adversas como viento, lluvia y nieve, además impide la entrada de arena, polvo u otros contaminantes.
- Reducen el riesgo de incendios y brindan seguridad para las instalaciones donde estén ubicados.
- Es una de las soluciones más económicas comparada a otras

Desventajas

- Mas costoso que un techo normal que se aplica comúnmente a los tanques.
- Requiere mantenimiento continuo el sellado para evitar fugas y evitar daños en el tanque.
- Techo flotante interno son aptos únicamente para líquidos. No pueden utilizarse para mezclas líquido-sólido. Además, su fabricación es más costosa.

Elaborado por: Erika Suárez.

Tabla 14. Análisis del sistema de gas inerte.

Sistema de gas inerte (blanketing)

Este es un sistema donde se inyecta gas inerte, es decir nitrógeno para cubrir el líquido y evitar contacto con el aire y reducir las emisiones.

Ventajas

- El impacto ambiental es nulo, dado que este gas está presente en la atmósfera.
- No dejan residuos después de la descarga, permitiendo una reanudación inmediata de las actividades.
- Previene oxidación e inflamación
- Reduce las emisiones sin embargo no existen un porcentaje aproximado de cuanto las reduce.

Desventajas

- Es costoso.
- Consumo continuo de gas inerte.
- Requiere un equipo para el control y monitoreo del sistema.

Elaborado por: Erika Suárez.

Después de evaluar los puntos importantes cada sistema se realizó una tabla comparativa y resumida para poder escoger la mejor alternativa como mecanismo de reducción de emisiones de las cuales todas tienen la misma finalidad con diferente eficiencia presentando específicamente ventaja y desventajas como se muestra en la siguiente tabla.

Sistemas como techo flotante y Gas inerte no tiene una eficiencia específica debido a que se tratan de sistemas que se usa para disminuir el espacio para estos vapores, el sistema de techo se aplica generalmente por regir las normativas de almacenaje en cuanto al producto altamente volátiles, y el sistema de gas inerte reemplaza el gas dentro del tanque por este gas inerte que comúnmente es nitrógeno.

Tabla 15, Comparación de los sistemas de reducción de emisiones de COV.

Sistema/Tecnología	Eficiencia estimada	Ventaja	Desventaja
UARV	95 - 99%	Reduce y recupera las emisiones de COV y cuenta con un sistema monitorio en tiempo real.	Requiere de energía y un mantenimiento regular.
VRU	95% - 99%	Reduce y recupera emisiones de COV y representa un ahorro económico.	Requiere de energía y un mantenimiento regular.
Tanque de techo flotante.	No especifica.	Reduce espacio de vapor.	Costos iniciales y mantenimiento.
Sistema de gas inerte.	No especifica.	Reduce emisiones de COV, reduce inflamación y oxidación.	Consumo continuo de gas inerte.

Elaborado por: Erika Suárez.

Después de revisar y analizar cada uno de estos sistemas la mejor propuesta o alternativa es la aplicación de una unidad de recuperación de vapores (VRU) y una unidad automatizada de recuperación de vapores (UAVR) que viene siendo la misma tecnología pero más avanzada y por ende es mucho más costosa, entonces es más factible aplicar por una tecnología VRU que a pesar de que se deba hacer una inversión inicial puede recuperar la inversión inicial en un debido tiempo, en cuanto sea la recuperación de estas emisiones emitidas a la atmosfera., además los otros sistemas solo nos ayudan a mitigar estas emisiones que conteniéndolas pero son un riesgo al no tener el manejo y mantenimiento adecuado, como ya antes se a recalcado una VRU reducirá y recuperara los vapores emitidos.

4.4. EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PROPUESTA VRU EN LA RLL.

Antes de realizar una evaluación de esta tecnología en la RLL es necesario identificar cómo funcionan, el proceso que llevan estos vapores emitidos de los tanques pasados a una unidad de recuperación de vapores están divididas en seis etapas dependiendo de que tipo de VRU se aplique como los que se mencionan:

- **Recolección de vapores:** los vapores se recolectan de los tanques de almacenamiento. Pasan a las unidades de recuperación de vapores (VRU) estas utilizan líneas de succión para extraer los vapores directamente del tanque.
- **Compresión:** los vapores recolectados de los tanques se comprimen para aumentar su presión. Este paso es esencial para condensarlos en etapas posteriores y garantizar una recuperación eficiente del vapor.
- **Condensación y enfriamiento:** tras ser presurizado, el vapor pasa a través de un sistema de enfriamiento, que utiliza un intercambiador de calor para condensarlo en forma líquida. Aquí se separa los componentes de hidrocarburos de otros gases.
- **Separación:** los hidrocarburos condensados y los gases no condensables son separados, luego los hidrocarburos condensados se almacenan en un contenedor de almacenamiento, mientras que los gases no condensables se liberan o se procesan posteriormente con un sistema adicional integrado en ciertas VRU que es lo más rentable.
- **Adsorción opcional:** en algunas instalaciones como se mencionó antes, el vapor restante puede pasar a través de un sistema de adsorción (carbón activado) para capturar cualquier hidrocarburo residual. Este proceso garantiza una mínima pérdida de gases valiosos y disminuye las emisiones, es decir el porcentaje que sería liberado en el paso de separación sería considerablemente menor.
- **Almacenamiento o reutilización:** los hidrocarburos recuperados se almacenan para su utilización o venta futura, convirtiendo lo que anteriormente habrían sido desechos en un recurso que puede ser reutilizado.

4.4.1. Evaluación técnica de una VRU.

Para poder implementar un equipo, sistema o tecnología hay que evaluar ciertas características de esta e identificar la rentabilidad y sostenibilidad que proporciona.

Tabla 16. evaluación técnica de la tecnología propuesta.

Aspecto	Descripción
Capacidad de recuperación.	Los valores de recuperación que representa esta tecnología son de 95%-99%, según el diseño.
Compatibilidad con tanques de almacenamiento.	Alta, siempre y cuando se adopten los sistemas de ventilación y se instalen líneas de recolección adecuadas.
Automatización.	La automatización permite operaciones y monitoreo en tiempo real.
Requisitos operativos.	Necesita personal capacitado, suministro eléctrico y mantenimiento programado.
Seguridad.	Incrementa la seguridad al reducir los vapores inflamables.
Durabilidad y mantenimiento.	Vida útil de 10-20 años con mantenimiento regular.

Elaborado por: Erika Suárez

4.4.2. Características del producto almacenado en los tanques con emisiones.

Tabla 17. Características del producto almacenado de los tanques a evaluar, RLL.

TKS	88	20	52	28
Contenido	CRUDO	NAFTA	GAS EXTRA	GAS BASE

Elaborado por: Erika Suárez.

Los tanques para evaluar de la tabla 17 contienen crudo procesado de la RLL el del tanque 88 el cual es pesado, en el tanque 20 contiene NAO que es nafta y es una fracción de petróleo que se usa como combustible, o conocido como gasolina, también el tanque que contienen gasolina extra el 52 que son gases licuables resultante de la destilación y procesamiento del petróleo crudo y la gasolina base del tanque 28 es gas no condensable resultante del mismo proceso que el gas extra.

Para poder implementar una VRU los tanques a enlazarla deben contener el mismo producto, en este caso los tanques contienen diferentes productos, no obstante, si se puede aplicar una VRU a cuatro o más tanques a la vez siempre y cuando contengan lo mismo y del tamaño y capacidad de la VRU.

1.1.1. Volumen y tasa de emisiones.

Tabla 18, volumen y tasa de emisiones.

TKS	88	20	52	28
Capacidad operativa	49.717,94	68.018,74	45.018,37	16.508,03
Emisiones de COV (ppm)	0.6	3.5	2.8	112
Emisiones anuales (ppm)	7,2	42	33,7	1,344
Presión barométrica (mmHg)	775.1	758.2	758.2	759.5
Temperatura (°C)	22.5	24.6	25.1	22.8

Elaborado por: Erika Suárez.

Según el volumen del contenido de los tanques y de las emisiones se selecciona el mejor tipo de VRU. De acuerdo con la tabla 18, los tanques tienen diferencias en cuanto a la cantidad de producto que contienen y emisiones por lo tanto no se podría aplicar la misma

VRU para los cuatro tanques. Se puede realizar un análisis de las pérdidas y la recuperación que se tiene aplicando VRU.

1. Datos previos requeridos:

- Capacidad de almacenamiento anual: cantidad total de producto almacenado o gestionados en el tanque durante un año.
- Nivel de emisiones (ppm): evaluación de la media de concentración de vapores liberados (en partes por millón).
- Volumen: para transformar barriles en metros cúbicos (1 barril equivale a 0.159 m3).
- Eficiencia en la recuperación: porcentaje de vapores capaces de ser capturados y recuperados por el sistema (normalmente de 90-95%).

SUPOSICIONES PARA EL CÁLCULO ANUAL.

Para poder tener valores aproximados del volumen de los productos derivados de la RLL se estima el porcentaje de producción de los valores de la tabla 30 (anexos), basándonos en el volumen anual de los derivados de nuestro interés con este porcentaje podemos estimar la producción con el informe de producción anual de crudo del año 2023 debido a que el registro del año 2024 contiene el primer y segundo trimestre, en la tabla 29 (anexos) nos muestras el volumen anual de los derivados a evaluar en el año 2022.

Tabla 19. Volumen anual de productos derivados de la RLL, EPPETROECUADOR.

Producto	Porcentaje estimado (%)	Volumen Barriles anuales	Volumen (m³)
Crudo	100	13.699,367	2178.199,35
Nafta	7,35	1.007,300	160.160,70
gas base	15,83	2.168.671	344.818,69
Gas extra	8,71	87,697	13.943,82

Total	16.963.035	2697.122,57
--------------	------------	-------------

Elaborado por: Erika Suárez.

Notas:

1. Volumen anual en barriles convertido a metros cúbicos (1 barril = 0.159 m³).
2. Los cálculos respectivos se presentan en la tabla 31 (anexos), elaborado en Excel.

En el año 2023, la refinería La Libertad procesó 12,71 millones de barriles de petróleo en la tabla 29 (anexos). Presenta la última actualización que se puede obtener, de acuerdo con esto se desglosa este valor para poder obtener un aproximado de barriles por tanque del contenido donde presenta estas emisiones que son lo que evaluamos. Cabe recalcar que se realiza esto debido a que no existe un registro público acerca del volumen procesado por tanques del contenido a evaluar se calcula en base al porcentaje de volumen de los productos a evaluar.

Tabla 20. Volumen de barriles anuales de crudo, nafta, gas base y gas extra estimado.

Producto	Porcentaje estimado (%)	Volumen Barriles anuales	Volumen (m³)
Crudo	100	12710000	2.020,890
Nafta (gasolinas):	7.35	934,1850	148,535
gas base	15.83	2.011,993	319,907
Gas extra	8,71	81,344	12,934
Total		3027.522	2502,266

Elaborado por: Erika Suárez.

Notas:

1. Volumen anual en barriles convertido a metros cúbicos (1 barril = 0.159 m³).
2. Los cálculos respectivos se presentan en la tabla 31 (anexos), elaborado en Excel.

Aplicando rangos conservados sobre 12.71 millones de barriles de crudo, se realiza un cálculo básico la multiplicación del volumen total de crudo por el porcentaje correspondiente estimado del informe del 2022.

La estimación total de productos (3.027 millones de barriles) se refiere a los derivados ligeros y gases, los cuales forman parte del total del crudo procesado (12.71 millones de barriles). El resto del crudo se transforma en otros productos como diésel, combustible, desechos, etc.

Para realizar el cálculo de emisiones perdidas en base a lo antes obtenido, es necesario lo siguiente:

- Para calcular la masa perdida, se utiliza la densidad de cada producto.
- La VRU tiene la capacidad de retener hasta un 95% de los vapores liberados por ende la eficiencia será de 0,95.
- Además de realizar cálculos de conversión.

Una vez identificado los valores o datos a utilizar se estimas valores de acuerdo con las ecuaciones planteadas:

- **Fración COV:**

$$ppm \div 1,000,000 \quad (\text{ecuación 1})$$

- **Volumen vapores emitidos (m³):**

$$\text{Volumen anual (m}^3\text{)} \times \text{Fraccion COV} \quad (\text{ecuación 2})$$

- **Masa vapores emitidos (kg):**

$$\text{Volumen vapores emitidos (m}^3\text{)} \times \text{Densidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (\text{ecuación 3})$$

- **Masa recuperada VRU (95%):**

Masa vapores emitidos × 0.95

(ecuación 4)

Tabla 21. Resultados de recuperación estimada de estas emisiones anuales.

Tanques	Emisiones anuales (ppm)	Densidad (kg/m ₃)	Volumen anual (m ₃)	Fracción de COV	Volumen de COV (m ₃)	Volumen de vapores emitidos en kg	Masa recuperada con VRU (95%) en kg
88 (Crudo)	7,2	880	2020,890	0,0000072	0,0146	12,800	12,200
20 (Nafta)	42,0	680	148,535	0,000042	0,0062	4,242	4,030
52 (Gas extra)	33,7	720	12,934	0,0000337	0,0004	0,313	0,298
28 (Gas base)	1,344	710	319,907	0,001344	0,4300	305,267	290,004
Total	1426,9		2502,266			322,628	306,497

Elaborado por: Erika Suárez.

Nota

1. Los valores de emisiones se pueden medir en masa kg o toneladas métricas.
2. Las emisiones se presentan anualmente suponiendo que se emiten las mismas concentraciones mensualmente en ppm durante el año.
3. Los valores se calcularon en Excel. ver anexos (tabla 31)

1.1.2. Condiciones operativas y diseño del tanque.

Tabla 22. Condiciones del tanque y diseño.

TKS	88	20	52	28
Capacidad operativa	49.717,94	68.018,74	45.018,37	16.508,03
Tipo de techo	Fijo	Flotante	Flotante	Fijo
Diámetro	96' 5"	-	-	-
Altura	41' 11"	-	-	-

Elaborado por: Erika Suárez.

En cuanto al diseño del tanque es esencial comprender que los tanque de teco fijo tienen un espacio para la emisión de vapores, el cual cambia cuando varía el nivel del líquido y las ventilaciones en el techo permiten la emisión de vapores para evitar sobre presiones en el tanque, esto quiere decir que los tanques de teco fijo son aquellos que tienen más emisiones de vapores y es crucial implementar un sistema de reducción de estas emisiones.

Esta tecnología es aplicable principalmente en tanques atmosférico como ya se mencionó lo cual cumple la RLL, además estos tanques cuentan con un sistema de ventilación, arrestadores de llamas, clave importante que debe contener para una buena aplicación de esta tecnología, y no menos importante los tanque cuentan con la normativas técnicas y mantenimiento de estas.

Condiciones técnicas para la integración una VRU

- Es imprescindible comprobar que los tanques dispongan de conexiones superiores apropiadas para la absorción de vapores hacia la VRU, además de sistemas para gestionar los condensados producidos durante la recuperación.
- La presión interna debe ajustarse al rango de operación de la VRU (presión levemente positiva o regulada).
- Es necesario tener en cuenta la capacidad de los tanques y el volumen de vapores producidos para calcular adecuadamente la VRU (potencia del compresor, capacidad de adsorción, etc.).

- La VRU debe ajustarse a los tipos de hidrocarburos almacenados, que en esta situación comprenden productos de variadas volatilidades puede aplicarse una VRU para cada producto (crudo, nafta y gas).

4.4.3. Evaluación económica.

Al implementar equipos o tecnología moderna en estas infraestructuras hay que tomar cuenta un factor muy importante como son los costos de implementación. y si a la empresa le conviene aplicarlo, por ende, es importante realizar una evaluación económica.

Esta evaluación económica se realiza en base a un caso de estudio, donde se implementó esta tecnología en tanque de almacenamientos de producción de petróleo donde supone un precio de gas de \$3.00/mil pies cúbicos multiplicado por 95% de volumen de gas perdido por año.

Tabla 23. Evaluación económica de la tecnología VRU, tomado de (EPA, 2006).

Variable	Valores aproximados
Volumen anual de gas perdidos (mil pies cúbicos).	4,900-96.000
Valor de gas ahorrado	13.000\$ – 260.000\$
Capital y costo de instalación.	26.470\$ – 77.000\$
Costo anual de operación y mantenimiento.	6.200\$ - 12.000\$
Periodo de recuperación de la inversión.	3 meses a 3 años

Elaborado por: Erika Suárez.

También se presenta un cuadro donde se puede observar diferentes capacidades, potencia del compresor y sus valores depende de cada una de ellas.

Tabla 24. Costos de UVR, (EPA, 2006).

Capacidad (MCF)	Potencia del compresor (HP)	Costos de capital e instalación (US\$)	Costos de operación y mantenimiento (US \$)
25	5 a 10	10,207 a 20,241	7,367
50	10 a 15	13,164 a 2,327	8,419
100	15 a 25	15,864 a 31,728	10,103
200	30 a 50	21,264 a 42,529	11,787
500	60 a 80	29,703 a 59,405	16,839

Fuente: información proporcionada por compañía de natural Gas STAR en los EE.UU.

Elaborado por: Erika Suárez.

Para la RLL es suficiente aplicar una VRU de capacidad de 25 MCF, con una potencia de compresor de 5 a 10 HP, que resulta menos costoso y muy eficiente ya que las emisiones de la RLL no tienen emisiones altamente elevadas y la mayor cantidad de tanques de las que proviene son de los de gasolina.

Un valor aproximado en base a la tabla 28 (anexos), el precio de gasolina es de **\$2.65** por galones, el volumen producido anualmente es de 2.011,993 Barriles (**ver tabla 20**) y en el volumen de emisiones anuales 0,4300 m³ como indica la tabla 21, que equivalen a **113,6 galones (un metro cubico es igual a 264,17 galones)** por tanque suponiendo el mismo valor en al menos 4 tanques con el mismo contenido en la RLL.

Tabla 25. evaluación económica de aplicar una VRU a los tanques de gasolina..

Variable	Valores aproximados
Volumen anual de gas perdido en un solo tanque (galones).	455
Valor de gas ahorrado.	1.208,5\$
Capital y costo de instalación.	10.207\$ – 20.421\$

Costo anual de operación y mantenimiento.	7,367\$
Periodo de recuperación de la inversión.	2 años – 3 años

Elaborado por: Erika Suárez.

De acuerdo con esta evaluación económica de los tanques de gasolina extra de la RLL nos indica que es conveniente la implementación de una VRU este análisis se realiza solo para la RLL donde los tanques de gasolina extra son escasos, es decir con la producción anual de este derivado en sus instalaciones puede recuperar gran porcentaje de la inversión en tan solo dos años aproximadamente. También cabe recalcar que la RLL es parte de la entidad EPPETROECUADOR y puede recuperar el valor de inversión inicial en lapso corto de tiempo.

Una limitante común que se encuentra en este tipo de propuesta es el tema de costos, al implementar una VRU o más involucra costos iniciales como son contratar la empresa que oferta esta tecnología tenemos costos de transporte, costos de instalación, costo de mantenimiento.

4.4.4. Normativas que implican a la investigación

Para poder integrar un sistema VRU a la RLL es importante revisar las normativas vigentes que permitan aplicar una tecnología innovadora en las instalaciones de la RLL que se detallara a continuación:

- ✓ **Reglamento para la autorización de actividades de refinación e industrialización de hidrocarburos.**

Decreto Ejecutivo No. 2025, publicado en el Registro Oficial Suplemento 445, 1 de noviembre de 2001. Que establece las condiciones para la autorización, operación y control ambiental de actividades de refinación e industrialización de hidrocarburos en Ecuador.

✓ **Resoluciones y regulaciones sectoriales recientes.**

Esta regulación indica la exigencia de aplicar el uso de tablas de calibración volumétrica en tanques de almacenaje. Estas tablas facilitan la medición exacta del volumen de hidrocarburos almacenados y, en consecuencia, el control de las pérdidas y emisiones producidas durante el almacenamiento y gestión del producto. Es esencial una calibración apropiada para detectar y medir las emisiones de COV generadas por la "respiración" del tanque, la carga, la descarga y otras actividades relacionadas, esto establecido por la ARCH. (Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos , 2024)

✓ **Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en Ecuador.**

Decreto Ejecutivo 1215, establece de manera precisa los límites permitidos para las emisiones contaminantes producidas en estas actividades, definiendo parámetros técnicos, formatos y procedimientos para su control y medición. Además, incluye definiciones y normas técnicas que son pertinentes a la industria de los hidrocarburos, garantizando que las operaciones se lleven a cabo de forma sostenible y sustentable. (Registro Oficial 561, 2009)

✓ **Plan de inversiones del sector hidrocarburos 2025-2029.**

Documento oficial que impulsa la modernización del sector hidrocarburos en Ecuador, promoviendo la incorporación de tecnologías limpias y eficientes como la que se propone. (Ministerio de Energía y Minas, 2025)

Estas normativas extraídas de fuentes oficiales proporcionan el marco legal y regulatorio que debe considerarse para la correcta integración de nueva tecnología como es la propuesta de este trabajo una VRU en la Refinería La Libertad, de la misma forma garantiza el cumplimiento ambiental, de seguridad y operativo conforme a la legislación ecuatoriana vigente.

4.5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES DE COV Y DE LA TECNOLOGÍA VRU.

Para poder realizar un impacto ambiental de estas emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento es importante revisar a detalle cada factor como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 26. Impacto ambiental de las emisiones de COV's.

FACTORES	IMPACTO
Contaminación del Aire	Las emisiones de COV contribuyen a la creación de ozono troposférico (smog) o niebla tóxica que afecta la calidad del aire, además libera otros componentes que son cancerígenos.
Contribución al cambio climático	El metano es uno de los componentes más comunes de las emisiones, son gases de efecto invernadero que aumenta el calentamiento global.
Riesgo de explosión o incendios	Estos vapores emitidos de los tanques son inflamables lo cual presenta un peligro, a pesar de que las emisiones sean mínimas puede generar situaciones peligrosas para las instalaciones y las zonas aledañas.
Riesgo a la salud de personal	Las emisiones de estos compuestos pueden provocar graves problemas en la salud a largo plazo, en especial al personal que toma mediciones de emisiones fugitivas a estos tanques.

Elaborado por: Erika Suárez

Por más mínimas que sean las emisiones implican pérdidas económicas y perjuicios a la atmósfera que contribuyen al calentamiento global. Por ejemplo, una molécula de CH₄ necesita 51 años para degradarse en la atmósfera y el metano es catalogado como uno de los seis gases de efecto invernadero. Además, actualmente existen entre 8000 a 10000 unidades de recuperación de vapores instaladas en el sector de producción de petróleo, de los cuales cada uno está conectada a mínimo 4 tanques de almacenamiento cumpliendo su función.

El impacto ambiental de las VRU es medible y significativas, su principal contribución es la reducción de emisiones de COV's y metano a la atmósfera, mejorando los cambios climáticos y la calidad del aire.

Las mediciones del impacto se realizan a través de:

1. Monitoreo continuo de emisiones: esta tecnología está diseñada para monitorear las emisiones antes y después del proceso de recuperación, lo cual permite cuantificar la reducción de emisiones alcanzadas.
2. Inventario de emisiones: se puede llevar un control o historial de las emisiones totales de los tanques como son las mediciones que se realizan por trimestres y estimar un porcentaje reducido por la VRU.
3. Análisis de calidad del aire: se puede realizar estudios de calidad del aire en las zonas cercanas a la instalación de la VRU y de zonas externas a ella donde no estén aplicadas para poder evaluar el impacto en la concentración de contaminantes en el aire.

De acuerdo con la tabla 27 el total de emisiones que puede reducir una VRU aplicada en estos cuatro tanques es de aproximadamente 322,624 kg de un total de 306,533 kg, es decir que las emisiones provenientes de estos tanques disminuirán a un 16,091 kg un valor mínimo que se esparciría en la atmosfera anualmente, tomando en cuenta que puede reducirse aún más aplicando un sistema adicional a los tanques con mayor proveniencia de emisiones.

Tabla 27. Total de emisiones reducidas con una VRU.

Volumen de vapores emitidos en kg	Masa recuperada con VRU (95%)	Volumen de emisiones luego de aplicar una VRU en kg
12.800	12.200	0.600
4.242	4.030	0.212
0.314	0.298	0.016
305.268	290.005	15.263
322.624	306.533	16.091

Elaborado por: Erika Suárez

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Al revisar varias alternativas de tecnología y sistemas para reducción de emisiones de vapores, la mejor alternativa son las Unidades recuperación de vapores (VRU) son sostenibles y sustentables, comparada a otras alternativas que solo reducirán las emisiones, una VRU no solo reduce, sino que recupera estas emisiones siendo el principal factor que lo eleva con respecto a las demás.
- La aplicación de las VRU es beneficioso en varios sentidos como es ambiental y económicamente, aunque la RLL maneja menor cantidad de tanques comparadas a las demás refinerías principales de Ecuador, este puede disminuir el factor de impacto ambiental y el factor económico puede maximizarse tomando en cuenta todos los tanques de la RLL.
- La ventaja de aplicar una o más VRU en las instalaciones de la RLL conlleva un gran ahorro económico, la evaluación que se planteó de la reducción de emisiones en cuanto a la eficiencia de una VRU solo se evalúan cuatros tanques que emiten estos gases, mas no se toma en cuenta los vapores internos dentro del tanque que se e pueden recuperar, es necesario tomar en cuenta que una misma VRU no se puede aplicar a estos cuatro tanques evaluados porque simplemente no contienen los mismo, esta puede manejar el mismo contenido con similitud de volumen para que no exista problemas.
- En cuanto a que no existe un sistema de reducción de emisiones para controlar estas emisiones, solo cuenta con la existencia de tanques de techo flotante que se aplica solo para cierto producto, lo cual solo disminuye estas emisiones de COV, además solo es aplicaba en ciertos tanques de crudo y gasolina con son los productos más inflamables.

- El impacto ambiental es medible evaluando sin y con la aplicación de una tecnología de VRU y es bastante significativa y medible, en el capítulo IV presenta mediblemente cuanto puede reducir una VRU las emisiones, como se muestra en la tabla 21 del capítulo IV (ítem 4.4.1), donde se evalúa las emisiones en volumen anual de pérdida por cada producto y cuanto ha reducido significativamente el volumen de estas emisiones aplicando una VRU con eficiencia de 0.95. dichos resultados nos muestran un total de volumen perdido de 322,628 kg y recuperados 306,427 kg con una VRU, que equivale a 16,091 kg que se perderían anualmente de estos cuatro tanques siendo esta una pérdida mínima.
- El ámbito de seguridad va de la mano con este tipo de emisiones provenientes de los tanques de almacenamiento, estos gases emitidos son altamente inflamables ampliamente en área de tanques con mayor contenido de gasolinas, el hecho de no dar un mantenimiento continuo a estos tanque puedes causar graves accidentes como el antes mencionado el caso de la explosión de dos tanque de fuel oil en la Refinería Esmeralda, que trae consecuencias como el deterioro una instalación cercana, el paro de esta infraestructura por varios días e inclusive meses y además la gran contaminación ambiental en el entono a las zonas aledañas por este incendio.

5.2. RECOMENDACIONES

- Los resultados plateados en la tabla 20 de volumen aproximado de cada producto evaluado, se realizaron en base a datos anteriores del año 2022, siendo estas las ultimas actualizaciones publicadas por la página oficial y se estimó el volumen de cada producto en base a esto, para futuras investigaciones es necesario evaluar la perdida de emisiones anuales que pueden ser recuperadas con valores actualizados, además de evaluar la eficiencia de recuperación en cuanto a los vapores que existen dentro de los tanques de almacenamiento..

- Se recomienda poder realizar una evaluación y análisis de las composiciones de estas emisiones, que nos permitiría realizar un análisis de impacto ambiental detallado.
- Es necesario realizar una investigación más exacta acerca de cada una de las VRU disponible en el Mercado debido a que en la actualidad esta tecnología ha revolucionado con el pase de los años, diferentes empresas encargadas de la construcción estos equipos han adaptado diferente manera de mejorar la tecnología por ejemplo el tipo de compresores.
- Sería factible poder realizar un análisis exacto siempre y cuando se tenga a disposición las características básicas de cada tanque a evaluar para poder obtener un valor estimado de emisiones anuales y las emisiones reducidas con un sistema de reducción en este caso podría aplicarse el software Tanks 4.09.
- Es pertinente realizar un análisis costos- beneficios de medida de mitigación adicionales, este sistema nos brinda una reducción del 95%, sin embargo, se puede incrementar esta eficiencia agregando medidas adicionales como son los sellos, control térmico, aplicación de techos flotantes internos en los de techo fijo esto nos brindaría una eficiencia mayor junto con una VRU, es decir una reducción de estas emisiones y a su vez la recuperación de estas.
- Hay que involucrarse más en este tema y darle más relevancia en el tema de emisiones de vapores, en la actualidad se centran más en las emisiones provenientes de las plantas que es lo más notorio a nivel de la comunidad ha presentado su queja acerca de ellos, sin embargo, estas emisiones también provienen de los tanques de almacenamiento, aunque no es una cifra elevada, representa un gran porcentaje si se mide anualmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos . (2024). *Emisión de resolución de aprobación, registro y autorización de uso de tablas de calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos y aguas de formación*. GOB.EC.

Autora. (16 de 04 de 2025). *Refinería La Libertad*. Google Earth: <https://earth.google.com/web/@-2.2211312,-80.9015248,19.02354964a,1914.45784019d,35y,22.5396238h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwoICiExNVNtakxacTdmV8wdVhCbWlUWDdSM0IEX29RcFA5TXQgAToDCgEwQgIIAEoIClqWnrsGEAE>

Autora. (2025). *Refinería La Libertad*.

Bfaqua. (s.f.). *¿Qué es un filtro de Carbón Activado?* blog bfaqua: <https://www.bfaqua.com/blog/que-es-un-filtro-de-carbon-activado/>

BORSING. (s.f.). *Unit Vapour Recovery*. Borsing: <https://www.borsig.de/en/products-and-services/membrane-technology-for-emission-control/vapour-recovery-units/>

Budiman, H., Sefilra, A., & rham, D. (07 de marzo de 2023). EL USO DE LA UNIDAD DE RECUPERACIÓN DE VAPOR (VRU) PARA CUBRIR LA PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN TANQUE DE CONDENSADO Y Y Z EN PT SHI PRABUMUL. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2, 7. bajangjournal.

Deha Tech. (s.f.). *Tanques de techo flotante interno y externo*. Cooperativo dehatech: <https://dehatech.com/service/internal-and-external-floating-roof-of-tank/>

Empresa Condorchem . (s.f.). *Filtros de carbón activo para el control de COV, olores y gases*. Condorchem Envitech: <https://condorchem.com/es/filtros-de-carbon-activo/>

Enric, G. (10 de Septiembre de 2019). *¿Qué son los compuestos orgánicos volátiles y cómo evitarlos?* interempresas.

Environmental protection agency. (Enero de 2025). *TANKS Emissions Estimation Software, Version 4.09D*. environmental protection agency. environmental protection agency.

EPA. (2006). *Instalación De Unidades De Recuperación De Vapores En Tanques De Almacenamiento De Petróleo (Installing Vapor Recovery Units on Crude Oil Storage Tanks)* . National Service Center for Environmental Publications (NSCEP): <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1004FDT.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>

EPA. (27 de 09 de 2016). *Software de Estimación de Emisiones TANKS, Version 4.09D*. united states environmental protection agency.

EPPETROECUADOR. (Septiembre de 2018). *EP Petroecuador controla siniestro en la Refinería Esmeraldas*. EPPETROECUADOR. EPPETROECUADOR: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=6356>

EPPETROECUADOR. (26 de 05 de 2025). *EP Petroecuador controla siniestro en la Refinería Esmeraldas*. EPPETROECUADOR.

EPPetroecuador. (s.f.). *REFINERÍA LA LIBERTAD*. flickr: <https://www.flickr.com/photos/191230739@N06/albums/72157717755345653/>

Ferreira, G. (31 de Mayo de 2025). *Refinería de Esmeraldas: se reutilizan equipos de la misma planta y de la Refinería La Libertad para reducir costos y acortar el tiempo de reparación*. EL UNIVERSO.

- Franko. (s.f.). *Serie 1080: valvula de tank blanketing*. FRANCO INSTRUMENTACIÓN: <https://franko.com.mx/productos/alivio-de-presion/valvula-de-tank-blanketing/funcionamiento>
- GENERON. (5 de Junio de 2019). *What Is a VRU, and How Does a Vapor Recovery Unit Work?* GENERON: <https://www.generon.com/what-is-a-vru-how-does-a-vapor-recovery-unit-work/>
- GOB.EC. (2007). *Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades hidrocarburíferas*. Acuerdo ministerial, pag 10, Art 1.
- GRUPO GARO. (s.f.). *Unidades de recuperación de vapores (VRU)*. garocompressors: <https://www.garocompressors.com/es-ar/applications/vapor-recovery-units>
- honeyWell. (s.f.). *MINIRAE Portable Handheld VOC Monitor*. Industrial Automation: https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/his/en-us/products/gas-and-flame-detection/documents/Datasheet_MiniRAE2030002B_EN.pdf
- IQAir Staff. (julio de 2017). *Compuestos orgánicos volátiles*. IQAir: <https://www.iqair.com/es/newsroom/volatile-organic-compounds>
- JOHN ZINK. (s.f.). *Vapor Recovery Units (VRUs)*. Koch Engineered Solutions: [https://www.johnzink.com/resources-training/knowledge-hub/understanding-vapor-recovery-units-\(vrus\)-and-how-they-work](https://www.johnzink.com/resources-training/knowledge-hub/understanding-vapor-recovery-units-(vrus)-and-how-they-work)
- Juan Carlos Jahn y Jorge Alejandro Garde. (febrero de 2008). Refinería Shell Capsa.: *Petrotecnia*, 32. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas: <http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnia/2006-1/RefineriaShell.pdf>
- laindustriasite. (Julio de 2017). *La industria del lugar*. wordpress: <https://laindustriasite.wordpress.com/2017/01/10/conoce-los-4-tipos-de->

tanques-de-almacenamiento-de-hidrocarburos-que-existe-en-la-industria/

laindustriasite. (Enero de 2017). *LOS 4 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS QUE EXISTE EN LA INDUSTRIA.* La industria del lugar: <https://laindustriasite.wordpress.com/2017/01/10/conoce-los-4-tipos-de-tanques-de-almacenamiento-de-hidrocarburos-que-existe-en-la-industria/>

Meyer, J. A. (septiembre de 2018). *Control de unidades de recuperación de vapores orgánicos (VRU).* LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/control-de-unidades-recuperaci%C3%B3n-vapores-org%C3%A1nicos-vru-j%C3%B6rg-meyer/>

Ministerio de Energía y Minas. (Diciembre de 2019). *Planta Cautivo de Refinería La Libertad inicia mantenimiento programado.* Ministerio de Energía y Minas. Ministerio de Energía y Minas.

Ministerio de Energía y Minas. (Enero de 2025). *Ecuador impulsa el Plan de Inversiones del sector de Hidrocarburos que marcará el futuro del petróleo y el gas del país.* Ministerio de Energía y Minas.

Morken group. (s.f.). *Unidad automatizada de recuperación de vapores.* Morken group: <https://morkengroup.com/unidad-automatizada-de-recuperacion-de-vapores/>

Noomcpk. (s.f.). *FREEPIK.* FREEPIK: https://www.freepik.es/fotos-premium/industria-quimica-tanque-almacenamiento-combustible-techo-flotante_16049485.htm

Predictiva 21. (Abril de 2022). *La revista digital de Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos.* La revista digital de Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos.: <https://predictiva21.com/proceso-de-evaporacion-de-petroleo-y-sus-derivados-en-tanques-de-almacenamiento>

Quintero Duran, E. D., Bayona Gómez, J. C., Grave Capistran, M. A., Moreno Pacheco, L. A., Martínez Trinidad, J., & y García León, R. A. (2024). Análisis bibliométrico sobre las tendencias actuales de la normativa utilizada en tanques de almacenamiento de petróleo. *Revista Ingenio*, 21, 45-53. DIALNET.

RAMÍREZ, C. G. (2016). *Elaboración de un sistema de gestión Ambiental en base a la Norma ISO 14001: 2004 para mejorar el desempeño ambiental en la refinería la libertad en el área de no catalíticas conformado por los sitios operativos Planta Parsons, Universal y Planta Cautivo*. Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/3618>

Registro Oficial 561. (Abril de 2009). *REGLAMENTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES HIDROCARBURIFERAS*. GOB.EC.

Registro Oficial Organo de la Rpublica del Ecuador. (4 de noviembre de 2015). Acuerdo N° 97/A - Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas (Anexo 3, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). *FAO, FAOLEX*.

Rejiglass. (s.f.). *¿Que son los tanques horizontales?* rejiglass: <https://rejiglass.com.mx/tanques-horizontales/#:~:text=Un%20tanque%20horizontal%2C%20a%20diferencia,su%20dise%C3%B1o%20y%20su%20prop%C3%B3sito>.

rejiglass. (s.f.). *rejiglass*. rejiglass: https://rejiglass.com.mx/tanques-de-techo-flotante/#Tanques_con_techo_fijo

Rodríguez, M. (27 de abril de 2024). *Emisiones en tanques: Control y seguridad en almacenamiento*. INSPENET.

Scientific, I. (s.f.). *Techecuador industrial*. Techecuador industrial: https://techecuadorindustrial.com/industrial-scientific/?gad_source=1&gad_campaignid=14859926599&gbraid=0AAAAAoLWTtmcuwOX3S4wKnkaqthMk0mPI&gclid=Cj0KCQjw0LDBBhCnA

RIsAMpYIAqTybv5BKvNu4MCIBYzw0YpBOM_WoocxqMYe3b1MTXW5
uUGtLRSTxsaAhHGEALw_wcB

Sheplay, S. (JUNE de 2020). ZEECO. ZEECO:
https://info.zeeco.com/hubfs/Zeeeco-En_June_2020/pdf/zeeco-keeping-control-vapour.pdf?hsLang=en

Tecam. (Enero de 2022). *Tecam News*. TECAM:
https://tecamgroup.com/es/tecam-ha-ganado-un-nuevo-proyecto-de-tecnologia-medioambiental-en-latinoamerica/?utm_source=chatgpt.com

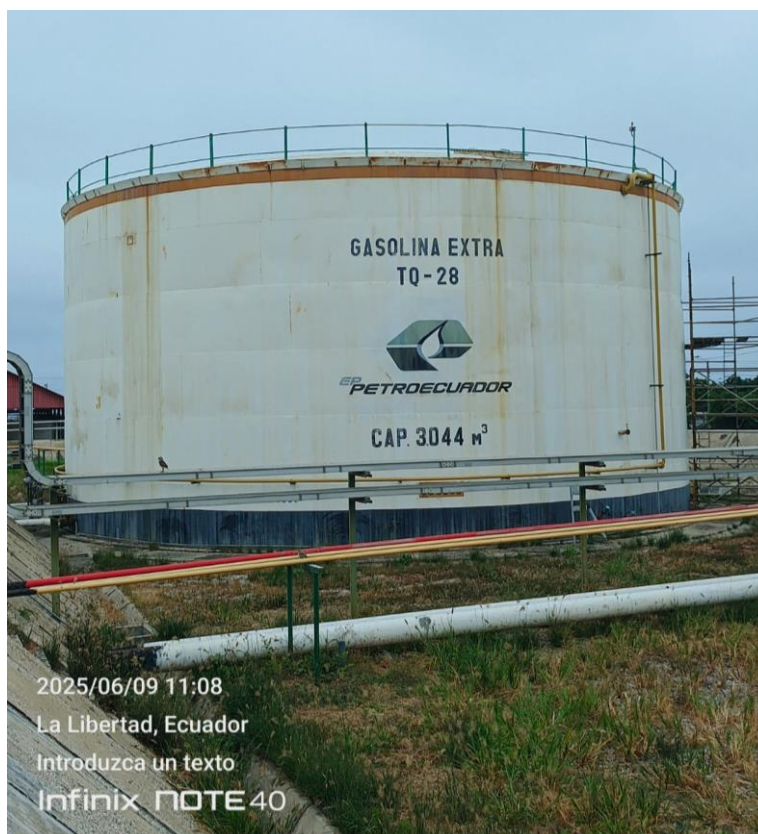
WILLIAM, V. C. (2011). "ESTUDIO DISEÑO Y COSTOS PARA IMPLEMENTAR DUCTOS". Repositorio Digital UNACH:
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/786/1/UNACH-EC-IET-2011-0004.pdf>

ZEECO. (s.f.). ZEECO. ZEECO: [https://www.zeeco.com/products/vapor-recovery-units#:~:text=A%20vapor%20recovery%20unit%20\(VRU,and%20during%20the%20loading%20process](https://www.zeeco.com/products/vapor-recovery-units#:~:text=A%20vapor%20recovery%20unit%20(VRU,and%20during%20the%20loading%20process)

ANEXOS



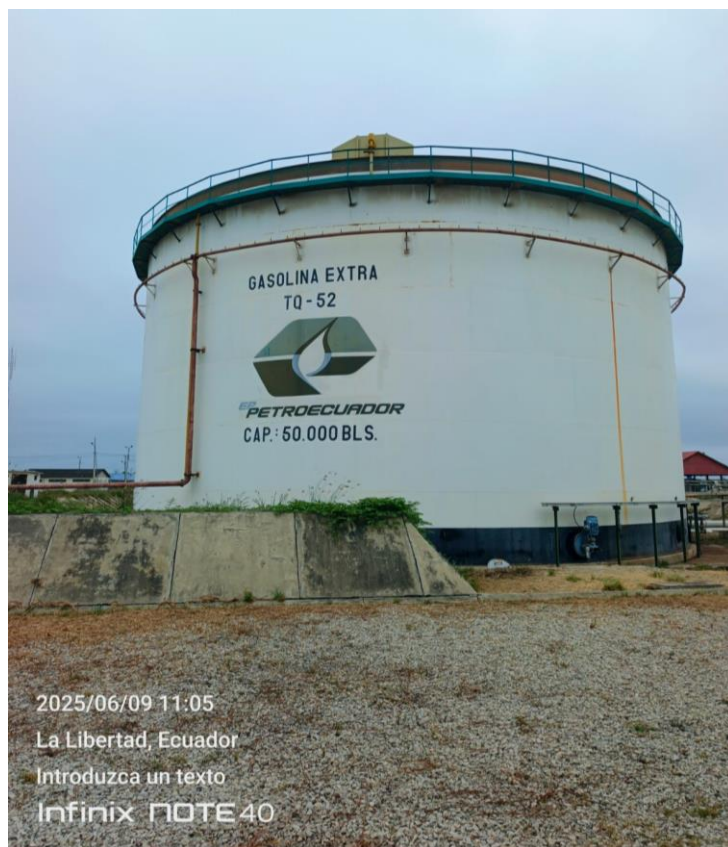
Gráfica 29. Tanque 20 – Gasolina base, EPPETROECUADOR.



Gráfica 30. Tanque 28, Gasolina Extra, RLL.



Gráfica 31. Tanque 88.



Gráfica 32. Tanque 52, RLL.

Tabla 28. Precios de venta de productos derivados, EPPETROECUADOR.



**PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS
CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL**

PERIODO DE VIGENCIA: DEL 12 DE MAYO AL 11 DE JUNIO DE 2025

DECRETOS EJECUTIVOS No. 308

PRODUCTO	Unidad de medida	PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 15% del I.V.A.) Expresado en US\$
SECTOR PETROLERO MINERO		
ABSORVER PETROLERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL 1 PETROLERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL 2 PETROLERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL PREMIUM PETROLERO	Galones	\$ 2.834161
FUEL OIL PETROLERO	Galones	\$ 1.606043
GASOLINA EXTRA PETROLERO	Galones	\$ 2.655228
EXTRA CON ETANOL PETROLERO	Galones	\$ 2.655228
GASOLINA SUPER PREMIUM 95 PETROLERO	Galones	\$ 2.822367
SECTOR INDUSTRIAL		
DIESEL 1 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.435593
DIESEL 2 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.435593
DIESEL PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.834161
EXTRA INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.655228
EXTRA CON ETANOL INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.655228
SUPER PREMIUM 95 PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.822367
FUEL OIL No. 6 INDUSTRIAL	Galones	\$ 1.603839
FUEL OIL LIVIANO	Galones	\$ 1.606043
GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) INDUSTRIAL	Kilogramos	\$ 0.921223
GAS NATURAL	Millón de BTUs	\$ 4.336075
GAS NATURAL LICUADO	Millón de BTUs	\$ 9.367813
RESIDUO INDUSTRIAL	Galones	\$ 0.910468
MINERAL TURPENTINE	Galones	\$ 1.924645
RUBBER SOLVENT	Galones	\$ 1.859459
CEMENTOS ASFALTICOS NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.460000
ASFALTOS INDUSTRIALES NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.460000
CEMENTOS ASFALTICOS OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.306475
ASFALTOS INDUSTRIALES OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.306475
GASOLINA EXTRA CAMARONERO	Galones	\$ 2.655228
GASOLINA EXTRA CON ETANOL CAMARONERO	Galones	\$ 2.655228
DIESEL 2 CAMARONERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL PREMIUM CAMARONERO	Galones	\$ 2.834161

Tabla 29. Crudo procesado en refinerías del País, EPPETROECUADOR.

Año	Período	Esmeraldas	Libertad	Amazonas	TOTAL	Otros (a)	Planta de Gas Shushufindi Gas asociado M.PC (b)
2022	Primer trimestre	9,12	3,34	1,75	14,21	0,07	1.052,69
	Segundo trimestre	9,30	3,55	1,70	14,54	0,07	1.004,39
	Tercer trimestre	8,79	3,16	1,83	13,78	0,00	944,47
	Cuarto trimestre	8,43	3,65	1,75	13,83	0,07	763,59
	TOTAL	35,64	13,70	7,03	56,37	0,21	3.765,15
2023	Primer trimestre	8,85	3,00	1,81	13,66	0,07	876,80
	Segundo trimestre	8,47	3,37	1,83	13,67	0,06	884,04
	Tercer trimestre	7,96	2,88	1,66	12,50	0,06	870,85
	Cuarto trimestre	8,42	3,47	1,66	13,55	0,08	902,24
	TOTAL	33,71	12,71	6,95	53,38	0,27	3.533,93
2024	Primer trimestre	7,24	2,90	1,81	11,96	0,07	974,89
	Segundo trimestre	6,97	3,39	1,76	12,11	0,07	1.057,76
	TOTAL	14,21	6,29	3,57	24,07	0,14	2.032,65

Notas:

(a) Otros: Refinería Lago Agrio que se destina a autoconsumo.

(b) M.PC: Millones de pies cúbicos

Tabla 30, Producción de derivados en la RLL 2022, EPPETROECUADOR.

Año 2022													
Cifras en barriles													
MES	Gasolina Extra	Gasolina Súper	Gasolina Ecopais	Gasolina Premezcla	Diésel 1	Diésel 2	Fuel Oil #4	Jet A-1	G L P	Solventes (S2, M.T)	Nafta Base a Terminales	TOTAL RLL	TOTAL PARA PRODUCCIÓN NACIONAL (b)
Enero	8.123	18.196	38.713	161.464	4.291	150.246	587.304	22.435	-	13.127	74.950	1.078.849	824.239
Febrero	7.173	13.276	42.377	112.651	9.628	180.025	728.845	45.964	411	13.431	106.547	1.260.328	1.027.855
Marzo	10.010	20.349	47.880	183.510	10.620	194.733	770.449	62.037	438	14.771	88.495	1.403.292	1.110.938
Abril	6.242	27.566	45.977	225.224	10.146	169.306	747.059	73.338	280	7.754	82.123	1.395.016	1.060.103
Mayo	3.452	8.735	45.371	211.606	7.324	210.840	761.021	58.040	-	10.076	105.674	1.422.140	1.096.125
Junio	7.169	20.558	36.484	137.408	11.113	176.440	696.701	46.718	1.010	12.130	93.753	1.239.484	987.765
Julio	7.158	11.425	42.109	202.556	5.832	117.117	481.428	38.363	723	10.793	19.241	936.744	703.522
Agosto	7.140	9.830	45.189	192.423	-	178.297	763.580	73.757	358	13.747	80.770	1.365.090	1.082.067
Septiembre	8.607	10.255	42.492	174.475	12.428	163.700	731.531	60.843	795	12.219	98.299	1.315.645	1.032.616
Octubre	7.800	12.676	40.540	203.694	10.399	189.591	799.184	45.937	1.592	10.602	81.148	1.403.164	1.105.646
Noviembre	6.194	15.260	40.027	157.056	11.513	180.358	773.749	57.725	1.016	16.727	90.720	1.350.345	1.087.308
Diciembre	8.629	9.934	46.751	206.602	15.181	174.932	729.792	36.628	1.210	15.444	85.581	1.330.683	1.028.566
TOTAL	87.697	178.060	513.909	2.168.671	108.475	2.085.584	8.570.644	621.785	7.833	150.822	1.007.300	15.500.780	12.146.749
Ene - Dic 2021	64.614	294.158	492.528	1.787.065	101.256	2.422.316	8.471.445	189.060	2.635	164.496	1.249.819	15.239.393	11.908.350
Var. % 22/21	35,72	-39,47	4,34	21,35	7,13	-13,90	1,17	228,88	197,27	-8,31	-19,40	1,72	2,00

Notas:

a) Se refiere a producción en planta de derivados terminados y productos intermedios importados para mezcla en refinería. No se consideran consumos internos.

b) Total para Producción Nacional no incluye nafta base y gasolina premezcla que se envía a terminales para preparación de gasolinas; ni gasolina súper que se calcula aparte como "Disponibilidad de Súper al Mercado Interno"

Fuente: Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR

Tabla 31. Cálculos realizados en Excel del volumen anual estimado de derivados, Erika Suárez.

Producto	Porcentaje estimado (%)	Volumen Barriles	Volumen m ³	Producto	Porcentaje estimado (%)	Volumen Barriles	Volumen m ³
Crudo	100	13.699.367	2178199,35	Crudo	100	12710000	2020890
Nafta (gasolinas):	7,35	1.007.300	160160,70	Nafta (gasolinas):	7,35	9.341.850	1485354
gas base	15,83	2.168.671	344818,69	gas base	15,83	1.455.740	231463
Gas extra	8,71	87.697	13943,82	Gas extra	8,71	11.070.410	1760195
Total		16.963.035	2697122,57	Total		34.578.000	5497902

1barril	0,159	0,735	0,15583	0,871
---------	-------	-------	---------	-------

Tabla 32 Cálculos en Excel para la evaluación de la eficiencia de la VRU, Erika Suárez.

	volumen anual en barriles	Tks	Emisiones anuales (ppm)	Densidad (kg/m ³)	Volumen anual (m ³)	Fracción de COV	Volumen de COV (m ³)	Volumen de vapores emitidos en kg	Masa recuperada con VRU (95%)
0,159	12.710,00	88 (Crudo)	7,2	870	2020,890	0,0000072	0,0146	12,7	12,0
1.000.000	934,185	20 (Nafta)	42	680	148,535	0,000042	0,0062	4,24217	4,03006
0,95	2.011,99	52 (Gasolina extra)	33,7	700	319,907	0,0000337	0,0108	7,54660	7,16927
	81,344	28 (Gasolina base)	1.344	680	12,934	0,001344	0,0174	11,82036	11,22935
	15737,522		1426,9		2502,266			36,268	34,455