



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

**SEDE: GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALOR A TRAVÉS DE LA  
CONVERSIÓN DE CALDERAS INDUSTRIALES DE DIÉSEL A GAS LICUADO DE  
PETRÓLEO.”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de ingeniero industrial

AUTORES: Jhon Jairo Jaens Parra

Jhonn Anthony Chalen Arana

TUTOR: Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Jhon Jairo Jaens Parra con documento de identificación N° 0927191148 y Jhonn Anthony Chalen Arana con documento de identificación N° 0928576602 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 20 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Jhon Jairo Jaens Parra

0927191148



---

Jhonn Anthony Chalen Arana

0928576602

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jhon Jairo Jaens Parra con documento de identificación No. 0927191148 y Jhonn Anthony Chalen Arana con documento de identificación No. 0928576602, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Propuesta de optimización de sistemas de calor a través de la conversión de calderas industriales de diésel a gas licuado de petróleo.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de agosto del año 2024

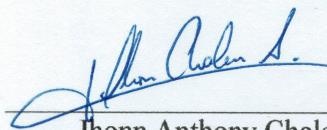
Atentamente,



---

Jhon Jairo Jaens Parra

0927191148



---

Jhonn Anthony Chalen Arana

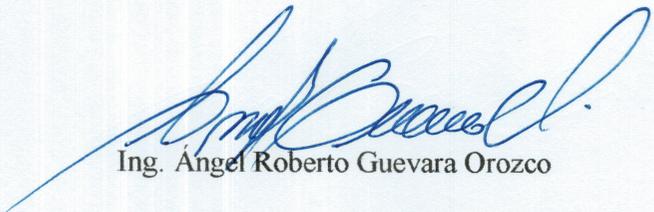
0928576602

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco con documento de identificación N° 0923017107 docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "Propuesta de optimización de sistemas de calor a través de la conversión de calderas industriales de diésel a gas licuado de petróleo" realizado por Jhon Jairo Jaens Parra con documento de identificación N° 0927191148 y Jhonn Anthony Chalen Arana con documento de identificación N° 0928576602, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyectos técnicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 20 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco

C.C. 0923017107

## DEDICATORIA

A mis padres, pilares incondicionales de mi vida, cuyo amor y sacrificio han sido el motor de mis sueños. A mi familia, por su paciencia, aliento y confianza inquebrantable en cada paso de este camino. A mis profesores y mentores, por guiarme con sabiduría y pasión en la búsqueda del conocimiento. A todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a hacer posible esta tesis, mi más sincero agradecimiento.

Jhon Jairo Jaens Parra

A la curiosidad insaciable que me impulsa a explorar, cuestionar y aprender. A la perseverancia que me permite superar obstáculos y alcanzar metas. A la pasión por la ingeniería que me inspira a buscar soluciones innovadoras y sostenibles. A la esperanza de un futuro mejor, donde la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente sean pilares fundamentales del desarrollo industrial. Esta tesis es un testimonio de mi compromiso con ese futuro.

Jhonn Anthony Chalen Arana

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo y la guía de numerosas personas e instituciones.

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, por su invaluable orientación, paciencia y estímulo a lo largo de este proceso. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Asimismo, agradezco a los profesores y compañeros del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica Salesiana por su apoyo académico y las enriquecedoras discusiones que contribuyeron a mi formación profesional.

Finalmente, quiero agradecer a las empresas participantes en el estudio de caso por su colaboración y disposición para compartir información valiosa, así como a mi familia y amigos por su apoyo incondicional durante esta etapa.

Jhon Jairo Jaens Parra

Este trabajo es el resultado de un largo camino de aprendizaje y perseverancia, impulsado por mi pasión por la ingeniería y mi compromiso con la sostenibilidad.

Agradezco a todas las personas que me inspiraron y apoyaron en este proceso, especialmente a mi familia, amigos y profesores, quienes creyeron en mí y me brindaron su aliento en cada paso.

Espero que esta investigación contribuya a generar un impacto positivo en la industria ecuatoriana, promoviendo la adopción de tecnologías más limpias y eficientes que impulsen el desarrollo sostenible del país.

Jhonn Anthony Chalen Arana

## RESUMEN

La presente investigación explora la conversión de calderas industriales de diésel a Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Ecuador, con el objetivo de proponer una optimización de los sistemas de calor que mejore el rendimiento y reduzca el impacto ambiental. El marco teórico aborda los fundamentos de las calderas industriales, los combustibles utilizados, el proceso de conversión, la eficiencia energética y el marco legal y regulatorio aplicable en Ecuador.

El diésel, aunque ampliamente utilizado, presenta desventajas como altas emisiones contaminantes y precios volátiles. El GLP, por otro lado, ofrece una combustión más limpia, mayor eficiencia energética y costos operativos más estables. La conversión a GLP implica adaptaciones técnicas en el quemador, sistema de control, ventilación y seguridad, así como el cumplimiento de requisitos legales específicos en Ecuador.

El análisis comparativo de costos revela que, a pesar de la inversión inicial requerida para la conversión, el GLP ofrece ahorros significativos a largo plazo debido a su menor precio y mayor eficiencia. Los beneficios de la conversión también incluyen una reducción de emisiones contaminantes, un menor mantenimiento y una mayor vida útil de la caldera, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de las normativas.

El marco legal y regulatorio en Ecuador establece normas técnicas y ambientales para la operación de calderas industriales y la conversión a GLP. Las empresas deben cumplir con requisitos específicos en cuanto a diseño, instalación, operación, emisiones y seguridad, y obtener los permisos y licencias correspondientes de las autoridades competentes.

En conclusión, la conversión de calderas industriales de diésel a GLP en Ecuador se presenta como una estrategia viable y atractiva para mejorar la eficiencia energética, reducir costos

operativos y minimizar el impacto ambiental de las operaciones industriales. A pesar de la inversión inicial, los beneficios a largo plazo, tanto económicos como ambientales, justifican la transición hacia un combustible más limpio y sostenible.

## ABSTRACT

This research explores the conversion of industrial boilers from diesel to Liquefied Petroleum Gas (LPG) in Ecuador, with the objective of proposing an optimization of heat systems that improves performance and reduces environmental impact. The theoretical framework addresses the fundamentals of industrial boilers, the fuels used, the conversion process, energy efficiency and the legal and regulatory framework applicable in Ecuador.

Diesel, although widely used, has disadvantages such as high pollutant emissions and volatile prices. LPG, on the other hand, offers cleaner combustion, higher energy efficiency and more stable operating costs. Conversion to LPG involves technical adaptations to the burner, control system, ventilation and safety, as well as compliance with specific legal requirements in Ecuador.

The comparative cost analysis reveals that, despite the initial investment required for conversion, LPG offers significant savings in the long term due to its lower price and higher efficiency. The benefits of conversion also include reduced pollutant emissions, reduced maintenance and longer boiler life, contributing to environmental sustainability and regulatory compliance.

The legal and regulatory framework in Ecuador establishes technical and environmental standards for the operation of industrial boilers and conversion to LPG. Companies must comply with specific requirements in terms of design, installation, operation, emissions and safety, and obtain the corresponding permits and licences from the competent authorities.

In conclusion, the conversion of industrial boilers from diesel to LPG in Ecuador is presented as a viable and attractive strategy to improve energy efficiency, reduce operating costs and minimise the environmental impact of industrial operations. Despite the initial investment,

the long-term benefits, both economic and environmental, justify the transition to a cleaner and more sustainable fuel.

**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA ..... V

ÍNDICE GENERAL..... XI

INDICE DE ILUSTRACIÓN ..... XVI

INDICE DE TABLA .....XVII

TÍTULO ..... XVIII

GLOSARIO DE TÉRMINOS ..... XVIII

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO I..... 3

EL PROBLEMA ..... 3

    1.1 ANTECEDENTES ..... 3

    1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 4

    1.3 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA..... 5

    1.4 GRUPO OBJETIVO BENEFICIADO ..... 6

    1.5 DELIMITACIÓN ..... 7

        1.5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL..... 7

        1.5.2 DELIMITACIÓN ACADEMICA ..... 7

        1.5.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL ..... 7

    1.6 OBJETIVOS ..... 8

    1.7 OBJETIVO GENERAL ..... 8

1.8	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	8
2	CAPITULO II.....	9
	MARCO TEORICO.....	9
2.1	SISTEMA DE CALDERAS INDUSTRIALES .....	9
2.1.1	DEFINICION Y CLASIFICACION DE CALDERAS.....	9
2.1.1.1	TIPOS DE CALDERAS.....	9
2.1.2	COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA INDUSTRIAL 11	
2.1.3	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA INDUSTRIAL.....	15
2.2	COMBUSTIBLES EN CALDERAS INDUSTRIALES.....	16
2.2.1	DIESEL COMO COMBUSTIBLE .....	16
2.2.2	GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) COMO COMBUSTIBLE .....	18
2.2.3	COMPARACION ENTRE DIESEL Y GLP COMO COMBUSTIBLES	19
2.3	CONVERSION DE CALDERAS INDUSTRIALES DE DIESEL A GLP ...	19
2.3.1	REQUISITOS TECNICOS PARA LA CONVERSION.....	20
2.3.1.1	NORMAS Y ESTANDARES.....	21
2.3.2	REQUISITOS LEGALES PARA LA CONVERSION .....	22
3	CAPITULO III .....	24
	MARCO METODOLOGICO .....	24
3.1	ENFOQUE METODOLOGICO .....	24

3.1.1	ENFOQUE CUANTITATIVO .....	24
3.1.2	ENFOQUE CUALITATIVO .....	24
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	24
3.3	CONSIDERACIONES ETICAS .....	25
3.4	PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS .....	25
3.4.1	IMPLEMENTACION DE GLP .....	25
3.4.2	RECOLECCION DE DATOS .....	26
3.4.3	ANALISIS DE DATOS .....	27
3.5	REQUISITOS TECNICOS Y LEGALES .....	28
3.5.1	REQUISITOS TECNICOS .....	29
3.5.1.1	ADAPTACIONES EN EL QUEMADOR .....	29
3.5.1.2	ADAPTACIONES EN EL SISTEMA DE CONTROL .....	30
3.5.1.3	ADAPTACIONES EN LA VENTILACION .....	31
3.5.1.4	ADAPTACIONES DE SEGURIDAD .....	32
3.5.1.5	VOLUMENES .....	33
3.5.2	REQUISITOS LEGALES .....	35
3.5.2.1	NORMATIVA TECNICA ECUATORIANA (NTE INEN) .....	35
3.5.2.2	REGULACIONES AMBIENTALES .....	35
3.5.2.3	PERMISOS Y LICENCIAS .....	36
3.6	BENEFICIOS DE LA CONVERSION DE DIESEL A GLP .....	37
3.6.1	BENEFICIOS TECNICOS .....	38

3.6.2	BENEFICIOS ECONOMICOS.....	39
3.6.3	BENEFICIOS AMBIENTALES .....	40
3.6.3.1	BENEFICIO DE LA CONVERSION A GLP .....	42
3.7	PROPUESTA DE PROVEEDORES .....	42
3.7.1	PROVEEDOR #1 .....	42
3.7.2	PROVEEDOR #2 .....	43
3.7.3	PROVEEDOR #3 .....	44
3.8	COMPARACION DE COSTOS .....	46
3.8.1	COSTOS DE INVERSION INICAL.....	46
3.8.2	COSTOS DE OPERACIÓN.....	47
3.8.2.1	COMPARATIVA DE COSTOS Y BENEFICIOS .....	49
3.8.2.2	CONSUMO DE DIESEL Y COSTOS DE OPERACIÓN MENSUALES	50
3.8.3	FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS COSTOS.....	51
4	RESULTADOS IV.....	52
4.1	SELECCIÓN DE PROVEEDOR.....	52
4.2	FACTIBILIDAD FINANCIERA .....	56
4.2.1	RETORNO DE LA INVERSION .....	56
4.2.2	ANALISIS DE SOSTENIBILIDAD.....	57
4.3	BENEFICIOS DE LA CONVERSION .....	57
	CONCLUSIONES .....	59

RECOMENDACIONES .....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
ANEXOS.....	64

**INDICE DE ILUSTRACIÓN**

Imagen 1:	Ubicación Geográfica.....	7
Imagen 2:	Caldera Piro tubulares .....	10
Imagen 3:	Caldera Acuotubulares .....	10
Imagen 4:	Quemador a GLP.....	11
Imagen 5:	Cámara de combustión de caldera.....	12
Imagen 6:	Intercambiador de calor.....	12
Imagen 7:	Colector de vapor .....	13
Imagen 8:	Economizador.....	13
Imagen 9:	Pre Calentador de aire .....	14
Imagen 10:	Sistema De control .....	15

**INDICE DE TABLA**

Tabla 1.	Características del Diesel y GLP.....	19
Tabla 2.	Consumos y emisiones .....	34
Tabla 3.	Comparativo Diesel – GLP .....	42
Tabla 4.	Inversión Inicial.....	46
Tabla 5.	Análisis Comparativo.....	47
Tabla 6.	Comparativa de costos y beneficios proveedores .....	49
Tabla 7.	Costos y consumos mensuales Diesel .....	50
Tabla 8.	Costos y consumos Anuales Diesel 2023 .....	50
Tabla 9.	Costo de inversión.....	56
Tabla 10.	Ahorros potenciales anuales.....	56
Tabla 11.	Sostenibilidad .....	57

## TÍTULO

Propuesta de optimización de sistemas de calor a través de la conversión de calderas industriales de diésel a gas licuado de petróleo

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Caldera:** Un equipo utilizado para generar vapor calentando agua a través de la combustión de combustibles. Se emplea en una variedad de aplicaciones industriales y de calefacción.
- **Diésel:** Un combustible fósil derivado del petróleo utilizado comúnmente en motores de combustión interna y calderas industriales debido a su alta eficiencia energética. Se caracteriza por tener mayores emisiones contaminantes en comparación con alternativas más limpias.
- **Gas Licuado de Petróleo (GLP):** Consiste en una mezcla de gases licuados contenidos en el gas natural o disueltos en petróleo. Los elementos más comunes en esta mezcla son el propano y el butano. Su principal uso es como combustible en calefacción, cocina, vehículos y dentro de la industria
- **Eficiencia Energética:** La relación entre la cantidad de energía utilizada para realizar una tarea y la cantidad de energía producida. Mejorar la eficiencia energética implica obtener más rendimiento con menos energía, reduciendo el desperdicio y los costos operativos.
- **Emisiones de Gases de Efecto Invernadero:** Gases en la atmósfera que atrapan el calor, contribuyendo al calentamiento global. Los principales gases de efecto invernadero incluyen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los gases fluorados.

- **Sostenibilidad:** Se le conoce a la práctica de gestionar recursos de manera que puedan satisfacer las necesidades sin comprometer a las generaciones futuras, abarcando aspectos ambientales, económicos y sociales.
  
- **Conversión de Calderas:** El proceso de modificar una caldera para que pueda operar con un tipo de combustible diferente al originalmente diseñado. En este contexto, se refiere a la adaptación de calderas de diésel para utilizar GLP.
  
- **Análisis de Viabilidad:** Estudio que evalúa la factibilidad técnica, económica y ambiental de un proyecto o tecnología, considerando factores como costos, beneficios, riesgos y oportunidades.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria manufacturera enfrenta el desafío de optimizar sus procesos productivos y reducir su huella ambiental, impulsada por regulaciones ambientales cada vez más estrictas y una mayor conciencia pública sobre la sostenibilidad. En este contexto, la transición hacia fuentes de energía más limpias y eficientes ha cobrado una relevancia significativa, particularmente en el ámbito de las calderas industriales.

A nivel global, la demanda de calderas industriales se ha mantenido sólida, impulsada por el crecimiento en sectores clave como la generación de energía, la industria química y la producción de alimentos y bebidas. Según un informe de Grand View Research (2022), el tamaño del mercado mundial de calderas industriales alcanzó los \$17.1 mil millones en 2021 y se espera que crezca a una tasa anual compuesta del 4.3% entre 2022 y 2030.

En Latinoamérica, la industria de calderas industriales ha seguido una tendencia similar. El informe de "Perspectivas del Mercado de Calderas Industriales en Latinoamérica" de Frost & Sullivan (2021) reveló que el mercado regional experimentó un crecimiento del 3.8% en 2020, impulsado principalmente por la demanda de los sectores de alimentos y bebidas, y petroquímico. Ecuador, por su parte, ha mostrado un aumento en las importaciones de calderas industriales, con un crecimiento anual del 6.2% entre 2017 y 2021, según datos del Banco Central del Ecuador (2022).

Sin embargo, a medida que crece la conciencia ambiental y se endurecen las regulaciones, las empresas se ven obligadas a reevaluar sus opciones de combustible para las calderas industriales. Tradicionalmente, el diésel ha sido un combustible popular debido a su alta densidad energética y disponibilidad. No obstante, su uso se asocia con emisiones significativas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas contaminantes, lo que contribuye al cambio climático y problemas de calidad del aire.

En respuesta a estos desafíos, el gas licuado de petróleo (GLP) ha surgido como una alternativa prometedora para alimentar calderas industriales. Compuesto principalmente por propano y butano, el GLP ofrece una combustión más limpia, con menores emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y casi ninguna partícula contaminante en comparación con el diésel. Además, el GLP suele tener un precio más estable y predecible, lo que facilita la planificación de costos operativos.

Según un informe de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2021), el consumo de GLP en la región creció un 4.1% en 2020, impulsado principalmente por su uso en el sector industrial. En Ecuador, el consumo de GLP ha aumentado un 3.9% anual en los últimos cinco años, según el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2022).

En este contexto, la presente investigación se centra en analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la conversión de calderas industriales de diésel a GLP en una empresa manufacturera de Guayaquil, Ecuador. El objetivo principal es proporcionar una solución integral que permita optimizar los sistemas de calor, reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental, contribuyendo así a la sostenibilidad y la competitividad de la empresa en el mercado actual.

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1 ANTECEDENTES

El uso de calderas industriales para la generación de vapor ha sido una práctica común en diversos sectores manufactureros durante décadas. Sin embargo, la creciente preocupación por el impacto ambiental y la eficiencia energética ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. Según un informe de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021), el sector industrial representó alrededor del 37% del consumo total de energía a nivel mundial en 2019, siendo responsable de una parte considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La transición hacia combustibles más limpios y eficientes para alimentar calderas industriales ha cobrado relevancia. Tradicionalmente, el diésel ha sido uno de los combustibles más utilizados debido a su alta densidad energética. No obstante, su uso se asocia con emisiones significativas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas contaminantes, contribuyendo al cambio climático y problemas de calidad del aire. (ECOVIS, 2023)

Según datos de la (Salud), la contaminación atmosférica causó aproximadamente 7 millones de muertes prematuras en 2019, convirtiéndose en uno de los principales riesgos ambientales para la salud humana. En Latinoamérica, un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (Desarrollo, 2020) reveló que alrededor del 90% de la población urbana en la región está expuesta a niveles de contaminación del aire superiores a los recomendados por la OMS.

La conversión de calderas industriales de diésel a GLP ha sido implementada con éxito en diversos países. En Europa, por ejemplo, la Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales ha impulsado la adopción de combustibles más limpios, como el GLP, en el sector industrial (Comisión Europea, 2010).

En América Latina, países como México y Colombia han promovido programas de conversión de calderas a GLP, ofreciendo incentivos fiscales y financieros a las empresas (Secretaría de Energía de México, 2018; Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2019).

Además, el GLP es un combustible más limpio que el diésel, con menores emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas (PM). Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2020), la conversión a GLP puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 20-30%, las de NO<sub>x</sub> en un 50-70% y las de PM en un 80-90%.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Una empresa ubicada en Guayaquil dedicada a la fabricación de balanceado enfrenta desafíos significativos relacionados con el uso intensivo de calderas alimentadas por diésel, lo cual repercute negativamente en varios aspectos de su operación y sustentabilidad ya que los costos asociados del diésel son elevados a comparación de otros combustibles tal como el gas licuado de petróleo. En primer lugar, el alto consumo de diésel se traduce en costos operativos elevados, dado que este combustible no solo es costoso, sino que también su precio está sujeto a fluctuaciones en el mercado internacional, lo cual dificulta la planificación financiera y reduce la competitividad de la empresa. Adicionalmente, la dependencia del diésel implica una mayor huella de carbono para la empresa, lo que no solo afecta negativamente al medio ambiente, sino que también pone en riesgo el cumplimiento de regulaciones ambientales cada vez más estrictas. Estas regulaciones pueden conllevar sanciones económicas y restricciones operativas para la empresa.

Además de lo mencionado previamente, el proceso de producción y fabricación se ve impactado por la eficiencia energética de las calderas debido a que si bien el diésel es un combustible de uso diario existen otros combustibles con un mejor desempeño por lo cual la

empresa busca mejorar sus eficiencias para alcanzar los niveles de producción deseados, reduciendo los costos operativos y la huella de carbono de la empresa.

La gestión de los suministros de diésel también representa un desafío logístico y operacional significativo. El almacenamiento, transporte, y manejo del diésel requieren de infraestructuras y protocolos de seguridad especiales para prevenir accidentes y derrames, lo que añade capas adicionales de complejidad y costos operativos.

Finalmente, el entorno laboral se ve afectado por el uso de diésel, dado que la combustión de este combustible libera gases y partículas nocivas que pueden deteriorar la calidad del aire en las instalaciones de la empresa. Esto no solo plantea riesgos para la salud de los empleados, especialmente para aquellos que trabajan directamente con las calderas, sino que también puede afectar la satisfacción y productividad laboral.

En resumen, la empresa en Guayaquil se enfrenta a un complejo conjunto de problemas asociados al uso de calderas a diésel que incluyen altos costos operativos, desafíos logísticos, impactos ambientales negativos, y preocupaciones de salud y seguridad laboral. Estos problemas subrayan la urgencia de explorar alternativas más sostenibles y eficientes, como la conversión a GLP, para mejorar la sostenibilidad operacional y económica de la empresa.

### **1.3 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA**

La presente investigación se justifica por la necesidad de abordar los elevados gastos operativos mensuales de la empresa, estimados en \$55,000 dólares. Un análisis detallado de la estructura de costos revela que una proporción significativa de estos gastos, aproximadamente el 60% (\$33,000 dólares), está directamente relacionada con el consumo de diésel para la operación de las calderas industriales. Esta dependencia del diésel, cuyo precio es altamente

volátil y sujeto a fluctuaciones impredecibles en el mercado global, plantea un desafío considerable para la planificación financiera y la gestión de costos de la empresa.

La incertidumbre en los precios del diésel dificulta la proyección de gastos y la toma de decisiones estratégicas a largo plazo. En contraste, el Gas Licuado de Petróleo (GLP) se presenta como una alternativa energética con un precio más estable y predecible, regulado por el gobierno ecuatoriano. Esta característica del GLP ofrece una oportunidad para la empresa de mitigar los riesgos asociados a la volatilidad de los precios del diésel y lograr una mayor estabilidad en sus costos operativos.

Además de los beneficios económicos, la conversión de las calderas de diésel a GLP se alinea con las crecientes demandas de sostenibilidad y responsabilidad ambiental. El GLP, al ser un combustible más limpio que el diésel, permite reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, contribuyendo así a la mejora de la calidad del aire y la salud pública.

La adopción de esta medida no solo representa un avance en términos de eficiencia energética y reducción de costos, sino que también posiciona a la empresa como un actor responsable y comprometido con la sostenibilidad ambiental, lo que puede generar ventajas competitivas y mejorar su imagen corporativa.

#### **1.4 GRUPO OBJETIVO BENEFICIADO**

La conversión de calderas de diésel a GLP ofrece beneficios significativos a la empresa: reduciendo costos y huella de carbono, así como la mejora en eficiencia, mejora del ambiente laboral para los empleados y fortalece la imagen de responsabilidad ambiental frente a los clientes. Para nosotros, como estudiantes, representa una valiosa aplicación práctica de la ingeniería, contribuyendo a nuestro aprendizaje y al avance hacia prácticas industriales sostenibles.

## 1.5 DELIMITACIÓN

### 1.5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La ciudad de Santiago De Guayaquil se encuentra al sur oeste de Ecuador, a orillas del océano pacífico. La empresa elaboradora de balanceado se encuentra en el km 22 ½ vía a la costa frente a la urbanización Valle Alto.

*Imagen 1: Ubicación Geográfica*



Fuente: Google Maps

### 1.5.2 DELIMITACIÓN ACADEMICA

Esta investigación en Ingeniería Industrial evalúa la conversión de calderas de diésel a GLP en Ecuador, buscando optimizar sistemas de calor y promover la sostenibilidad. Mediante un enfoque mixto, se analizará la viabilidad técnica, económica y ambiental de esta transición. Se cuantificarán los beneficios en eficiencia energética, reducción de costos y emisiones, y se identificarán los desafíos y percepciones de los involucrados. Los resultados aportarán al conocimiento en el área y fomentarán tecnologías más limpias en la industria, a pesar de las limitaciones del estudio.

### 1.5.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El presente proyecto de investigación se desarrollará durante el período comprendido entre mayo y septiembre de 2024, coincidiendo con el semestre académico en curso. Este marco temporal permite realizar todas las etapas necesarias, incluyendo la revisión bibliográfica, el

análisis técnico de las calderas existentes, el diseño de la propuesta de conversión a GLP, la evaluación económica y ambiental, y la presentación de los resultados finales.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.7 OBJETIVO GENERAL**

Propuesta de optimización de sistemas de calor a través de la conversión de calderas industriales de diésel a gas licuado de petróleo para la mejora del rendimiento.

### **1.8 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar los requisitos técnicos y legales para el paso de combustible diésel a GLP.
- Efectuar un análisis comparativo de los costos de operación asociados a un antes y después del cambio de diésel a GLP.
- Determinar los principales beneficios por el cambio de combustible diésel a GLP.

## 2 CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 SISTEMA DE CALDERAS INDUSTRIALES

##### 2.1.1 DEFINICION Y CLASIFICACION DE CALDERAS

Una caldera industrial es un recipiente metálico cerrado diseñado para generar vapor a alta presión y temperatura mediante la combustión de un combustible (Betancourt, 2018). Este vapor se utiliza en diversos procesos industriales, como calefacción, esterilización, generación de energía eléctrica, etc.

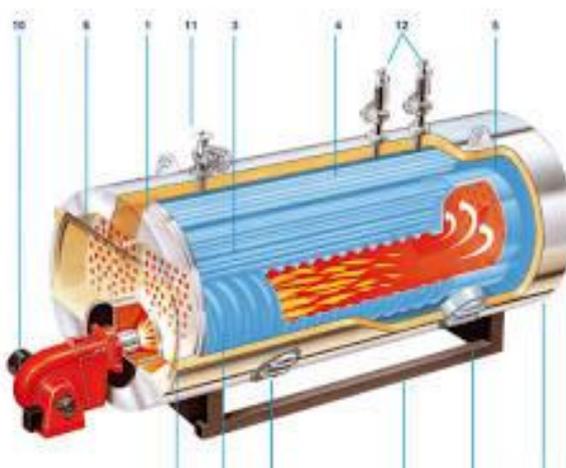
Incorpora un quemador y un hogar donde se produce la combustión del combustible (carbón, petróleo, gas natural, biomasa, etc.). El diseño del sistema de combustión busca maximizar la eficiencia de la combustión y minimizar las emisiones contaminantes.

##### 2.1.1.1 TIPOS DE CALDERAS

###### **Pirotubulares o humotubulares:**

En estas calderas, los gases calientes de la combustión circulan por el interior de tubos rodeados de agua. Son más sencillas y económicas, pero limitadas a presiones de vapor relativamente bajas (hasta 20 bar) y capacidades de producción moderadas (hasta 20 t/h). Se utilizan comúnmente en pequeñas y medianas industrias (Kern, 2016).

*Imagen 2: Caldera Piro tubulares*



Fuente:

**Acuotubulares o fire tubulares:**

En este tipo, el agua circula por el interior de tubos, mientras que los gases de combustión pasan por el exterior. Permiten alcanzar presiones de vapor mucho más altas (hasta 100 bar o más) y capacidades de producción muy elevadas (cientos de t/h). Se emplean en grandes instalaciones industriales y centrales eléctricas (Kern, 2016).

*Imagen 3: Caldera Acuotubulares*



Fuente:

Según el número de pasos de gases también existen tipos de calderas con sus características y diferencias dependiendo de su uso.

- **Un paso:** Los gases de combustión recorren una sola vez la caldera, desde el hogar hasta la chimenea. Son más sencillas, pero menos eficientes en la transferencia de calor.
- **Dos o más pasos:** Los gases circulan varias veces a través de diferentes secciones de la caldera, cambiando de dirección y velocidad para maximizar el intercambio de calor con el agua. Son más complejas, pero más eficientes.

### 2.1.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA INDUSTRIAL

- **Quemador:** Dispositivo encargado de mezclar el combustible (sólido, líquido o gaseoso) con el aire en proporciones adecuadas para lograr una combustión eficiente. El tipo de quemador se selecciona en función del combustible utilizado y las características de la caldera (Payne, 2020).

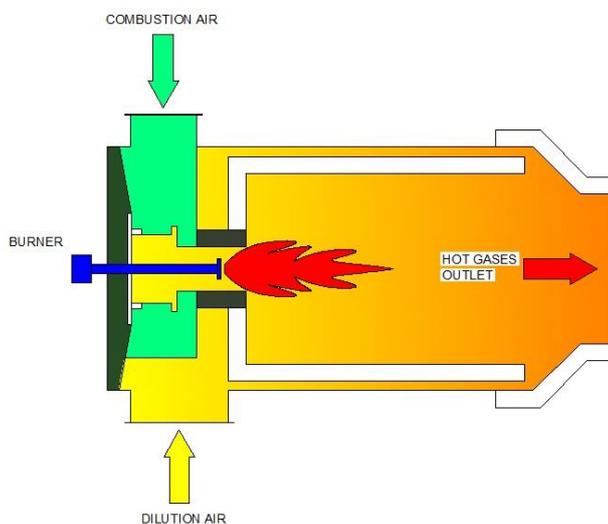
*Imagen 4: Quemador a GLP*



Fuente:

- **Hogar (o cámara de combustión):** Espacio donde se produce la combustión del combustible. Debe estar diseñado para asegurar una mezcla homogénea del combustible y el aire, así como una temperatura adecuada para la combustión completa (Payne, 2020).

*Imagen 5: Cámara de combustión de caldera*

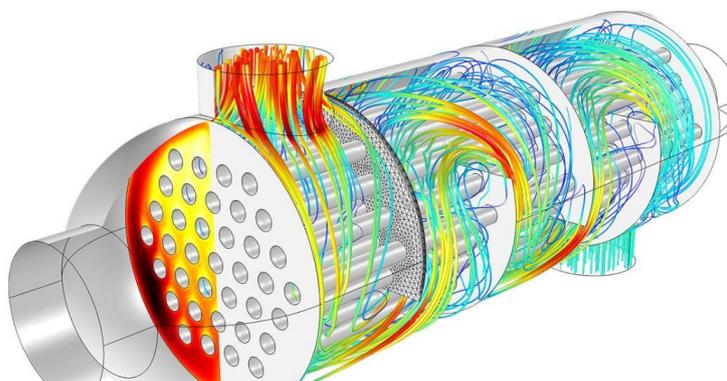


Chamber 1: Twin Shell, Twin inlet, reverse flow for conventional applications such as spray dryers, rotary dryers, etc. (E&M Combustion)

Fuente:

- **Tubos de intercambio de calor:** Se le conoce a una agrupación de tubos por los que corre el agua a calentar. El calor obtenido en la combustión se transfiere por medio de las paredes de los tubos al agua, que se calienta y se convierte en vapor. (Betancourt, 2018).

*Imagen 6: Intercambiador de calor*



Fuente:

- **Colector de vapor:** Recipiente situado en la parte superior de la caldera donde se acumula el vapor generado.

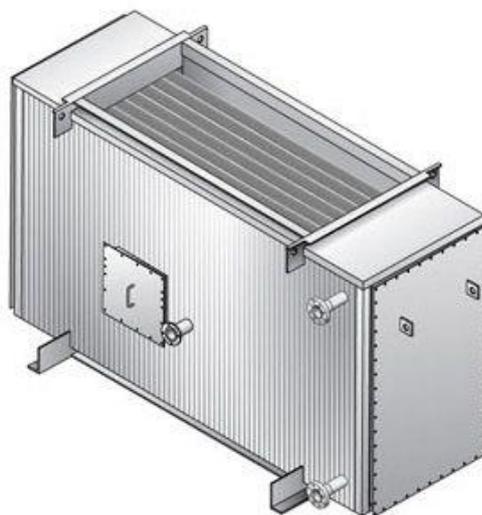
*Imagen 7: Colector de vapor*



Fuente:

- **Economizador:** Intercambiador de calor que aprovecha el calor residual de los gases de combustión para precalentar el agua de alimentación antes de que entre en la caldera. Esto mejora la eficiencia térmica de la caldera (Payne, 2020).

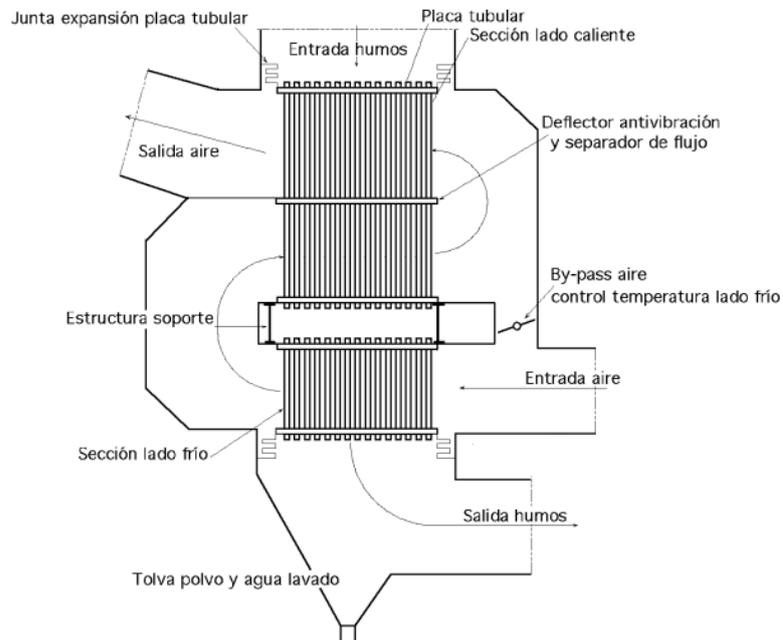
*Imagen 8: Economizador*



Fuente:

- **Precalentador de aire:** Intercambiador de calor que utiliza el calor de los gases de combustión para precalentar el aire de combustión antes de que entre en el quemador. Esto mejora la eficiencia de la combustión y reduce las emisiones contaminantes (Payne, 2020).

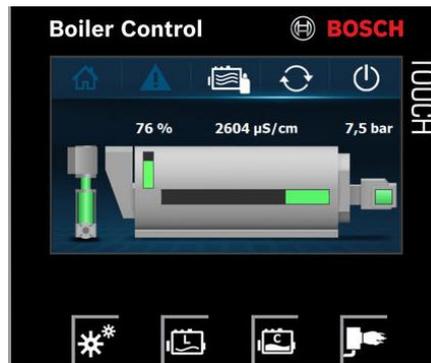
**Imagen 9: Pre Calentador de aire**



Fuente:

- **Sistema de control:** Conjunto de instrumentos y dispositivos que regulan y supervisan el funcionamiento de la caldera, asegurando una operación segura y eficiente. Controla variables como la presión del vapor, el nivel de agua, la temperatura, el caudal de combustible y aire, etc. (Payne, 2020).

*Imagen 10: Sistema De control*



Fuente:

### 2.1.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA INDUSTRIAL

El funcionamiento de una caldera industrial se basa en los siguientes principios:

- **Combustión:** El combustible se quema en el hogar en presencia de oxígeno, liberando energía en forma de calor. La eficiencia de la combustión depende de la calidad del combustible, la cantidad de aire suministrado y la temperatura del hogar (Kern, 2016).
- **Transferencia de calor:** El calor generado en la combustión se transfiere al agua a través de las paredes de los tubos de intercambio de calor. La cantidad de calor transferido depende de la superficie de intercambio, la diferencia de temperatura entre los gases y el agua, y las propiedades térmicas de los materiales (Kern, 2016).
- **Generación de vapor:** El agua absorbe el calor y se convierte en vapor a alta presión y temperatura. La cantidad de vapor generado depende de la cantidad de calor transferido y de las propiedades termodinámicas del agua (Kern, 2016).
- **Circulación:** El agua y el vapor circulan por la caldera de forma continua. La circulación adecuada es esencial para asegurar una distribución uniforme del calor, evitar la formación de depósitos y garantizar la seguridad de la caldera (Betancourt, 2018).

- **Control:** El sistema de control supervisa y ajusta las variables de operación para mantener la caldera funcionando de manera segura y eficiente. Responde a las variaciones en la demanda de vapor, las condiciones ambientales y las características del combustible (Kern, 2016).

## 2.2 COMBUSTIBLES EN CALDERAS INDUSTRIALES

La elección del combustible adecuado para una caldera industrial es una decisión crítica que afecta la eficiencia, el costo operativo y el impacto ambiental de la instalación. En este apartado, se profundiza en las características, ventajas, desventajas y consideraciones ambientales del diésel y el gas licuado de petróleo (GLP) como combustibles para calderas industriales.

### 2.2.1 DIESEL COMO COMBUSTIBLE

El diésel es un combustible líquido derivado del petróleo, ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales, incluyendo calderas. Su popularidad se debe a su alta densidad energética (42.8 MJ/kg), lo que permite almacenar una gran cantidad de energía en un volumen relativamente pequeño. Además, su amplio rango de ebullición (180-360 °C) facilita su almacenamiento y transporte sin necesidad de sistemas de presurización o refrigeración ((ATSDR), 2007).

Este combustible tiene muchas ventajas y desventajas como:

#### **Ventajas del Diesel en calderas industriales:**

- **Facilidad de Manejo y Almacenamiento:** El diésel es un combustible líquido a temperatura ambiente, lo que simplifica su manejo y almacenamiento en comparación con otros combustibles como el gas natural (Betancourt, 2018).

- **Disponibilidad:** El diésel cuenta con una amplia red de distribución y suministro a nivel mundial, lo que garantiza su disponibilidad en la mayoría de las regiones ((IEA), 2022)
- **Tecnología Madura:** Existe una amplia gama de quemadores y sistemas de control diseñados específicamente para el uso de diésel en calderas industriales, lo que facilita su implementación y operación (Payne, 2020).
- **Seguridad Relativa:** Aunque inflamable, el diésel tiene un punto de inflamación más alto que la gasolina, lo que reduce el riesgo de incendios accidentales ((ATSDR), 2007).

#### **Desventajas del Diesel en calderas industriales:**

- **Emisiones Contaminantes:** La combustión del diésel genera emisiones significativas de óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y partículas finas (PM2.5), que contribuyen a la contaminación del aire, la lluvia ácida y tienen efectos negativos en la salud humana ((IEA), 2022).
- **Precio Volátil:** El precio del diésel está sujeto a fluctuaciones en el mercado internacional del petróleo, lo que dificulta la predicción de los costos operativos a largo plazo ((IEA), 2022).
- **Impacto Ambiental:** El diésel es un combustible fósil, por lo que su combustión contribuye al calentamiento global y al cambio climático ((IEA), 2022).
- **Mantenimiento:** Las calderas que utilizan diésel requieren un mantenimiento más frecuente debido a la formación de depósitos y hollín en los quemadores y las superficies de intercambio de calor (Payne, 2020).

## 2.2.2 GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) COMO COMBUSTIBLE

El GLP es una mezcla de hidrocarburos ligeros, principalmente propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) y butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), que se obtiene como subproducto del procesamiento del gas natural y del petróleo. Se almacena y transporta en estado líquido a presión moderada, lo que facilita su uso en diversas aplicaciones, incluyendo calderas industriales. (RECOPE)

### Ventajas del GLP en Calderas Industriales:

- **Menor Impacto Ambiental:** El GLP produce menos emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub> que el diésel, lo que lo convierte en una opción más limpia y sostenible. (Agency, 2023)
- **Combustión más Limpia:** La combustión del GLP es completa y más eficiente que la del diésel, por lo cual se emite menos hollín y restos en la caldera, lo que reduce los costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de los equipos. (Gutiérrez, 2020)
- **Mayor Eficiencia Energética:** El GLP tiene un poder calorífico similar al del diésel (46 MJ/kg), pero su combustión más eficiente permite un mejor aprovechamiento de la energía, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y menores costos operativos. ((WLPGA), 2019)
- **Estabilidad de Precios:** El precio del GLP suele ser más estable que el del diésel, lo que facilita la planificación financiera y reduce la incertidumbre en los costos operativos. ((IMF), 2022)

### Desventajas del GLP en Calderas Industriales:

- **Requiere Infraestructura de Almacenamiento y Suministro:** El GLP debe almacenarse en tanques presurizados y requiere sistemas de vaporización para su uso en calderas, lo que implica una inversión inicial en infraestructura (Sánchez, 2020).

- **Menor Densidad Energética:** El GLP tiene una menor densidad energética que el diésel, lo que requiere mayores volúmenes de almacenamiento para la misma cantidad de energía ((EIA), 2023).
- **Seguridad:** El GLP es inflamable y requiere medidas de seguridad rigurosas en su manejo y almacenamiento para prevenir accidentes. ((NFPA), 2019)

### 2.2.3 COMPARACION ENTRE DIESEL Y GLP COMO COMBUSTIBLES

*Tabla 1. Características del Diesel y GLP*

Característica	Diésel	GLP
Poder calorífico	42.8 MJ/kg	46 MJ/kg
Densidad	830 kg/m <sup>3</sup>	500 kg/m <sup>3</sup>
Emisiones de CO <sub>2</sub>	Altas	Medias
Emisiones de NO <sub>x</sub>	Altas	Bajas
Emisiones de SO <sub>x</sub>	Medias	Bajas
Emisiones de PM <sub>2.5</sub>	Altas	Bajas
Costo	\$2.84-\$3.21(por GL)	\$0.71-\$1.89 (por Kg)
Almacenamiento	Fácil	Requiere infraestructura
Seguridad	Riesgo de derrames	Inflamable
Tecnología	Madura	En desarrollo
Mantenimiento	Más frecuente	Menos frecuente

### 2.3 CONVERSION DE CALDERAS INDUSTRIALES DE DIESEL A GLP

La conversión de una caldera industrial de diésel a Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un proceso que requiere una planificación cuidadosa y la consideración de diversos aspectos técnicos, legales y económicos.

### 2.3.1 REQUISITOS TECNICOS PARA LA CONVERSION

La conversión de una caldera de diésel a GLP implica una serie de adaptaciones técnicas para garantizar una combustión eficiente y segura del nuevo combustible. Estas adaptaciones se centran en los siguientes componentes y sistemas:

- **Quemador:** El quemador de diésel debe ser reemplazado por un quemador específico para GLP. Este nuevo quemador debe ser seleccionado y dimensionado de acuerdo con la capacidad de la caldera y las características del GLP, como su poder calorífico y presión de suministro. El quemador de GLP debe contar con dispositivos de seguridad, como válvulas de corte automático y detectores de llama, para garantizar una operación segura. (Gutiérrez, 2020)
- **Sistema de Control:** El sistema de control de la caldera debe ser adaptado o reemplazado para funcionar con GLP. Esto implica ajustar los parámetros de control, como la relación aire-combustible, la presión de gas y la temperatura de combustión, para optimizar la eficiencia y minimizar las emisiones. Además, se deben instalar sensores y controladores específicos para GLP, como detectores de fugas y sistemas de alarma. (Payne, 2020)
- **Sistema de Ventilación:** La sala de calderas debe contar con un sistema de ventilación adecuado para garantizar una renovación constante del aire y evitar la acumulación de gases de combustión. El sistema de ventilación debe ser dimensionado de acuerdo con el volumen de la sala y la tasa de liberación de gases de la caldera. Además, se deben instalar extractores de aire y rejillas de ventilación para asegurar una circulación adecuada del aire. (ASHRAE, 2019)
- **Sistema de Seguridad:** La seguridad es un aspecto crítico en la conversión a GLP. Se deben instalar dispositivos de seguridad adicionales ((NFPA), 2019), como:
  - **Detectores de gas:** Para detectar fugas de GLP y activar alarmas.

- **Válvulas de corte automático:** Para interrumpir el suministro de gas en caso de fuga o fallo del sistema.
- **Sistemas de extinción de incendios:** Para controlar y extinguir posibles incendios.
- **Válvulas de alivio de presión:** Para liberar la presión excesiva en el sistema y evitar explosiones.
- **Tanque de Almacenamiento:** Se requiere un tanque de almacenamiento adecuado para el GLP, con capacidad suficiente para abastecer la caldera durante un período determinado. El tanque debe cumplir con las normas de seguridad establecidas por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) y estar ubicado en un área segura y ventilada. ((INEN), 2011)
- **Tuberías y Accesorios:** Las tuberías y accesorios existentes deben ser inspeccionados y, si es necesario, reemplazados por materiales compatibles con el GLP. Se deben utilizar tuberías de acero o cobre, con uniones soldadas o roscadas, y accesorios certificados para instalaciones de GLP. ((INEN), 2011)

### 2.3.1.1 NORMAS Y ESTANDARES

- **NTE INEN 2266:** Instalaciones para Gas Licuado de Petróleo (GLP). Requisitos.
- **NTE INEN 2267:** Diseño de Redes de Distribución para Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- **NTE INEN 2268:** Instalación de Tanques Estacionarios para Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- **NTE INEN 2389:** Calderas. Requisitos Generales.
- **NTE INEN 2390:** Calderas Acuotubulares. Requisitos.
- **NTE INEN 2391:** Calderas Piro tubulares. Requisitos.

- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo (Decreto Ejecutivo 2393).
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

### 2.3.2 REQUISITOS LEGALES PARA LA CONVERSION

La conversión de una caldera de diésel a GLP en Ecuador requiere el cumplimiento de una serie de requisitos legales y la obtención de permisos y licencias de las autoridades competentes.

- **Permiso de Funcionamiento de la ARCH:** La Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) es la entidad encargada de regular las actividades relacionadas con hidrocarburos en Ecuador. Para operar una caldera con GLP, se debe obtener un permiso de funcionamiento de la ARCH, que certifica que la instalación cumple con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos. (ARCH, 2024)
- **Licencia Ambiental:** El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador exige una licencia ambiental para la operación de calderas industriales. Esta licencia se obtiene después de presentar un estudio de impacto ambiental que evalúa los posibles efectos de la operación de la caldera en el entorno. (Ministerio del Ambiente, 2024)
- **Registro de Emisiones:** Las calderas industriales deben estar registradas en el sistema nacional de registro de emisiones y cumplir con los límites máximos permitidos para emisiones de gases y partículas. (Ministerio del Ambiente, 2024)
- **Permisos Municipales:** Es posible que se requieran permisos adicionales del municipio donde se encuentra la instalación, como permisos de construcción y uso de suelo. (GUAYAQUIL, 2024)

- **Permiso de Bomberos:** El Cuerpo de Bomberos del cantón correspondiente debe emitir un permiso que certifique que la instalación de GLP y la caldera cumplen con las normas de seguridad contra incendios. Este permiso suele requerir la presentación de planos, memorias técnicas y la aprobación de inspecciones. (Guayaquil, 2024)

Es fundamental cumplir con todos estos requisitos legales para garantizar la seguridad de la operación y evitar sanciones o clausuras por parte de las autoridades.

### **3 CAPITULO III**

#### **MARCO METODOLOGICO**

El enfoque metodológico que se llevara a cabo en esta investigación es de carácter mixto, combinando los métodos cualitativos y cuantitativos para lograr una comprensión completa del problema y dar así la mejor solución de optimización en el sistema de calderas.

#### **3.1 ENFOQUE METODOLOGICO**

##### **3.1.1 ENFOQUE CUANTITATIVO**

Se utilizará para medir y analizar datos numéricos relacionados con los costos de operación, la eficiencia energética y las emisiones contaminantes antes y después de la conversión de las calderas de diésel a GLP. Este enfoque es fundamental para cumplir con el objetivo específico de "Efectuar un análisis comparativo de los costos de operación asociados a un antes y después del cambio de diésel a GLP" y contribuirá al objetivo general de evaluar la mejora del rendimiento.

##### **3.1.2 ENFOQUE CUALITATIVO**

Se empleará para explorar los requisitos técnicos y legales de la conversión, así como los beneficios percibidos por las empresas. Este enfoque es esencial para abordar el objetivo específico de "Identificar los requisitos técnicos y legales para el paso de combustible diésel a GLP" y "Determinar los principales beneficios por el cambio de combustible diésel a GLP". Además, enriquecerá la comprensión de los factores que influyen en la decisión de conversión y su impacto en el rendimiento general.

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

Este estudio se realizará con un enfoque basado en un estudio de caso múltiple, considerando antecedes de empresas que hayan realizado este cambio de diseño o estén considerando la conversión de sus calderas de Diesel a GLP. Este diseño nos permitirá comparar

los resultados de diferentes casos y extraer conclusiones más específicas sobre la viabilidad y beneficios de la conversión.

### 3.3 CONSIDERACIONES ETICAS

Se garantizará el cumplimiento de los principios éticos de la investigación obteniendo el conocimiento informado de los participantes, protegiendo la confidencialidad de la información y utilizando los datos de manera responsable

### 3.4 PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS

#### 3.4.1 IMPLEMENTACION DE GLP

Para la implementación del GLP se considerarán las siguientes etapas:

**Selección de Proveedor:** Se evaluarán diferentes proveedores de GLP, considerando factores como:

- Experiencia y trayectoria en el mercado.
- Capacidad técnica y certificaciones.
- Calidad de los productos y servicios ofrecidos.
- Precios y condiciones comerciales.
- Cumplimiento de normativas y estándares de seguridad.

**Diseño e Instalación:** El proveedor seleccionado se encargará de:

- Diseñar el sistema de almacenamiento y distribución de GLP, incluyendo la selección del tanque de almacenamiento, tuberías, válvulas y accesorios.
- Realizar la instalación del sistema, cumpliendo con las normas técnicas y de seguridad.
- Realizar pruebas de hermeticidad y funcionamiento del sistema.

**Capacitación y Puesta en Marcha:** El proveedor brindará capacitación al personal de la empresa sobre:

- Operación y mantenimiento del sistema de GLP.
- Procedimientos de seguridad en caso de fugas o emergencias.
- Puesta en marcha de la caldera convertida a GLP.

### **3.4.2 RECOLECCION DE DATOS**

Se realizará una revisión documental donde se tendrá en cuenta las leyes, reglamentos, normas técnicas y manuales de fabricantes relacionados con la conversión de calderas y el uso de GLP. Complementando la información con la consulta a ingenieros, técnicos y especialistas en calderas y combustibles para obtener información más precisa sobre los requisitos técnicos y legales basados en las siguientes normas:

- Reglamento de la seguridad y salud de los trabajadores y el mejoramiento del medio ambiente de trabajo
- Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente
- Normativa del instituto ecuatoriano de normalización (INEN)
- Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil.
- Ordenanza que regula la prevención, mitigación y protección contra incendios en edificaciones e instalaciones en el cantón Guayaquil.
- Ordenanza para la obtención de la Licencia Metropolitana Única para el Ejercicio de Actividades Económicas (LUAE) en el Distrito Metropolitano de Guayaquil.
- Ley Orgánica de Defensa Contra Incendios.

- Normativa de la ARCH relacionada con la instalación y operación de sistemas de GLP.

Adicionalmente se efectuará un análisis comparativo de los costos de operación asociados a un antes y después del cambio de Diesel a GLP, obteniendo datos sobre los costos de operación de las calderas teniendo en cuenta los costos de mantenimiento, combustible, mano de obra, etc. Utilizando herramientas de análisis financieros para comparar estos costos de operación, considerando las siguientes variables:

- Precio del combustible: Diesel y GLP
- Consumos: Diesel y GLP
- Eficiencia energética: Diesel y GLP
- Costos de mantenimiento: Diesel y GLP

Estas variables serán medida por medio de los siguientes métodos:

- Registros de facturas de compra de combustible (Diesel vs GLP)
- Encuestas
- Entrevistas a gerentes y operadores de las calderas
- Mediciones de eficiencia energética y consumos
- Informe de emisiones por parte de la empresa

### **3.4.3 ANALISIS DE DATOS**

Una vez determinados los principales beneficios por el cambio de combustible de Diesel a GLP, mediante los resultados de los Datos técnicos recolectados como:

- Consumo de combustible
- Eficiencia energética
- Emisiones contaminantes (Antes y después)

- Beneficios ambientales
- Beneficios económicos

Y junto a los resultados de las entrevistas con el personal calificado teniendo en cuenta la experiencia, y beneficios percibidos de los datos técnicos recolectados, se dará la mejor recomendación para la propuesta diseñada dando así un resultado conforme para realizar el cambio de combustible de la caldera.

Los datos cuantitativos se analizarán por medio de métodos estadísticos y poder determinar si existen diferencias significativas en los costos de operación, la eficiencia energética y las emisiones contaminantes antes y después de la conversión.

Además los datos cualitativos se analizarán con el método de interpretación de datos obtenidos en las entrevistas y la revisión documental. Identificando patrones, temas recurrentes y relaciones entre las variables para comprender a profundidad los factores que influyen en la conversión y sus resultados.

### **3.5 REQUISITOS TECNICOS Y LEGALES**

La transición de calderas industriales de Diesel a Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Ecuador implica una serie de consideraciones técnicas y legales que deben ser abordadas meticulosamente, garantizando una conversión exitosa y con las medidas de seguridad necesarias para la calidad del proceso. Este análisis exhaustivo profundiza en los requisitos técnicos y legales proporcionando una base para la transición energética.

### 3.5.1 REQUISITOS TECNICOS

#### 3.5.1.1 ADAPTACIONES EN EL QUEMADOR

El quemador es el corazón de la caldera y su adaptación es fundamental para la conversión a GLP. El quemador original diseñado para Diesel debe ser remplazado por un quemador específico para GLP que cumpla con las normas ecuatorianas (NTE INEN) y los estándares internacionales (como los de la National Fire Protection Association-NFPA)

Al momento de seleccionar el quemador indicado para la caldera se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Capacidad Calorífica: Las dimensiones del quemador deben ser de acuerdo con la capacidad de la caldera, sea expresada en BTU/hora o kW, para poder garantizar que pueda suministrar la cantidad de calor necesaria para generar el vapor requerido.
- Presión del suministro de GLP: El quemador debe ser compatible con la presión del suministro de GLP disponible en la instalación, que puede variar según el tipo de almacenamiento y distribución.
- Relación Aire-Combustible: El quemador debe permitir un ajuste preciso en la relación aire-combustible para lograr una combustión completa y eficiente, minimizando las emisiones de gases contaminantes
- Tipo de llama: La elección del tipo de llama (premezclada, difusión o mixta) dependerá del diseño de la caldera y las condiciones de operación. Cada tipo de llama tiene ventajas y desventajas en términos de eficiencia, estabilidad y emisiones.

Instalación y configuración:

- Boquillas y difusores: Este elemento del quemador deben ser específicos para GLP y estar correctamente dimensionados para asegurar una atomización adecuada del combustible y una mezcla homogénea con el aire.
- Sistema de ignición: Debe ser compatible con GLP y garantizar un encendido seguro y confiable del quemador.
- Controles de seguridad: El quemador debe contar con dispositivos de seguridad, como válvulas de corte automático, detectores de llama y sistemas de purga para prevenir accidentes y garantizar una operación segura.

### **3.5.1.2 ADAPTACIONES EN EL SISTEMA DE CONTROL**

El sistema de control de la caldera es el cerebro de toda la operación y debe ser adaptado para el funcionamiento con GLP, para realizar esta reprogramación del cerebro implica tener en cuenta los siguientes puntos:

- Calibración de sensores: los sensores de temperatura, presión y caudal deben ser recalibrados para su funcionamiento con GLP, ya que las propiedades del gas son diferentes a las del Diesel.
- Ajuste de parámetros de control: Estos parámetros de control tales como la relación Aire-Combustible, la presión del gas, la temperatura de combustión y los tiempos de encendido y apagado, deben ser ajustados para crear la mezcla perfecta de la fuente calorífica garantizando así un funcionamiento eficiente y seguro en la caldera
- Implementación de controles específicos para GLP: Es probable que se requiera la instalación de controles específicos para GLP, como detectores de furas,

sistemas de alarma y válvulas de corte automático para garantizar la seguridad de la operación.

- Integración con el sistema de gestión de energía (SGE): Si la empresa cuenta con un SGE, el sistema de control de la caldera debe ser integrado, permitiendo así el monitoreo y control remoto de toda la operación, así como la generación de reportes e informes de consumo y eficiencia.

### **3.5.1.3 ADAPTACIONES EN LA VENTILACION**

Una ventilación adecuada de la sala de calderas es crucial para garantizar la seguridad y la eficiencia de la operación.

- Cálculo de la tasa de ventilación: Se debe realizar un cálculo detallado de la tasa de ventilación requerida, considerando el volumen de la sala de calderas y la tasa de liberación de gases de combustión del GLP y las normas de seguridad aplicables.
- Diseño del sistema de ventilación: El sistema de ventilación debe ser diseñado para proporcionar una renovación constante del aire en la sala de calderas, evitando la acumulación de gases y garantizando un ambiente de trabajo seguro para todo el personal operativo
- Selección de extractores de aire: Se deben seleccionar extractores de la capacidad suficiente para cumplir con la tasa de ventilación requeridas y garantizar una extracción eficiente de los gases de combustión.
- Ubicación de rejillas de ventilación: Estas deben estar ubicadas estratégicamente para asegurar una circulación adecuada del aire en la sala de calderas, evitando zonas de estancamiento de gases.

### 3.5.1.4 ADAPTACIONES DE SEGURIDAD

La seguridad en la conversión de calderas a GLP es prioridad absoluta por lo cual se deben implementar medidas de seguridad rigurosas para la prevención de accidentes y garantizar la integridad de las personas y las instalaciones. Para cumplir estos parámetros se deben tener en cuenta lo siguiente:

- Detectores de gas: Instalar detectores de gas GLP en la sala de calderas y en áreas cercanas al tanque de almacenamiento. Estos detectores deben estar conectados a un sistema de alarma que avise al personal en caso de fuga de gas.
- Válvulas de corte automático: Se deben instalar válvulas de corte automático en la línea de suministro de GLP para interrumpir el flujo de gas en caso de fuga, fallo del sistema o activación de la alarma.
- Sistema de extinción de incendios: la empresa debe contar con sistemas de extinción de incendios adecuados para el GLP, Como extintores portátiles de polvo químico seco o sistemas fijos de rociadores automáticos.
- Válvulas de alivio de presión: se deben instalar válvulas de alivio de presión en el tanque de almacenamiento y en la línea de suministro de GLP para liberar presión excesiva en el caso de sobrepresión y evitar explosiones.
- Señalización de seguridad: Se debe colocar señalización clara y visible en la sala de calderas y en áreas cercanas al tanque de almacenamiento, indicando los riesgos asociados al GLP, las medidas de seguridad a seguir y los números de emergencia
- Plan de contingencias: se debe elaborar un plan de contingencia que establezca los procedimientos a seguir en caso de fuga de gas, incendio u otras emergencias relacionadas con el GLP.

### 3.5.1.5 VOLUMENES

Además de los requisitos técnicos mencionados, es crucial que la empresa defina sus propios requisitos internos para la conversión, incluyendo:

- **Volumen de almacenamiento:**
  - **Almacenamiento Diesel:** El volumen actual de almacenamiento con el que cuenta la empresa es de 3 tanques con capacidad de 3.000 gl cada uno para un total de 9.000 Gl, y con recargas semanales de 2.000 gl.
  - **Almacenamiento de GLP:** De acuerdo con la demanda de consumo de la empresa es requerido 2 tanques de almacenamiento de GLP con capacidad de 5m<sup>3</sup> para un total de 10m<sup>3</sup> y con recargas 8 m<sup>3</sup> por semana
- **Volúmenes de Consumo:**
  - **Consumo actual de diésel:** La empresa consume actualmente 10,000 galones de diésel al mes, lo que equivale a 120,000 galones al año.
  - **Consumo estimado de GLP:** Basado en la demanda de vapor de la caldera, la eficiencia prevista tras la conversión y el poder calorífico del GLP, se estima un consumo anual de GLP de aproximadamente 480 m<sup>3</sup>, lo que se traduce en un consumo mensual promedio de alrededor de 40 m<sup>3</sup>.
- **Metas de Reducción de Emisiones:**

Basándose en estudios y datos de la industria, se pueden plantear las siguientes metas realistas:

- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>: 25%
- Reducción de emisiones de NO<sub>x</sub>: 60%

- Reducción de emisiones de PM: 90%

**Tabla 2. Consumos y emisiones**

<b>CONSUMOS Y EMISIONES</b>		
Características	Diesel	GLP
Poder Calorífico	42,8 MJ/kg	46 MJ/m3
Densidad	830 kg/m3	1,9 kg/m3
Consumo anual estimado	120.000 GL	480 m3
Emisiones de CO2 (kg/año)	8,960,000	6,336,000
Emisiones de NOx (kg/año)	60.000	10.440
Emisiones de PM (kg/año)	12.000	1.044

Con estos valores se observa que la reducción de contaminantes es significativa ayudando al medioambiente con los siguientes resultados:

- CO2 = 26.26%
- NOx = 82.6%
- PM = 91.3%

### 3.5.2 REQUISITOS LEGALES

La conversión de una caldera de Diesel a GLP en Ecuador está ligada a una serie de regulaciones legales que busca garantizar la seguridad y el cumplimiento de las normativas ambientales.

#### 3.5.2.1 NORMATIVA TECNICA ECUATORIANA (NTE INEN)

- **NTE INEN 2266:2011:** Instalaciones para Gas Licuado de Petróleo (GLP). Requisitos. Esta norma establece los requisitos técnicos para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de GLP, incluyendo las calderas. Cubre aspectos como la selección de materiales, la instalación de tuberías y accesorios, la ubicación del tanque de almacenamiento, los sistemas de seguridad y las pruebas de hermeticidad.
- **NTE INEN 2389:2011:** Calderas – Requisitos generales. Esta norma establece los requisitos generales para todos los tipos de calderas, incluyendo las convertidas a GLP. Cubre aspectos como el diseño, la construcción, la inspección, las pruebas y el marcado de las calderas.
- **NTE INEN 2390:2011 (Calderas Acuotubulares) y NTE INEN 2391:2011 (Calderas Piro tubulares):** Estas normas establecen requisitos específicos para cada tipo de caldera, complementando la NTE INEN 2389.

#### 3.5.2.2 REGULACIONES AMBIENTALES

- **Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA):** El TULSMA establece los límites máximos permitidos para emisiones de gases y partículas contaminantes provenientes de fuentes fijas, incluyendo calderas industriales. Los límites de emisión para calderas que utilizan GLP son más estrictos que los de calderas de diésel, lo que refleja el menor impacto ambiental del GLP.

- **Acuerdo Ministerial 097-A:** El presente acuerdo ministerial establece los rangos máximos permisibles de emisiones al medioambiente para fuentes estables de combustión, incluyendo las calderas. Los rangos se implantan para diferentes contaminantes, como es el óxido de nitrógeno (NOx), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO) y el material particulado (PM).
- **Norma de Calidad Ambiental del Aire:** Esta norma establece los niveles de calidad del aire que deben ser mantenidos para proteger la salud humana y el medio ambiente. La conversión de calderas de diésel a GLP contribuye a mejorar la calidad del aire al reducir las emisiones de contaminantes.

### 3.5.2.3 PERMISOS Y LICENCIAS

**Permiso de Bomberos:** Para obtener el permiso de funcionamiento del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil, la empresa deberá presentar:

- Solicitud dirigida al jefe del Cuerpo de Bomberos.
- Copia de la escritura de propiedad o contrato de arrendamiento del local.
- Plano de ubicación del local.
- Plano de distribución de áreas del local, indicando ubicación de extintores, gabinetes contra incendios, detectores de humo, rociadores automáticos, salidas de emergencia, etc.
- Certificado de factibilidad de servicios básicos (agua potable, alcantarillado y energía eléctrica).
- Estudio de carga de fuego.
- Memoria técnica de las instalaciones contra incendios.
- Póliza de seguro contra incendio y líneas aliadas.
- Pago de la tasa correspondiente.

**Permisos de la ARCH:** Para obtener los permisos de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), la empresa deberá:

- Registrarse en el sistema de la ARCH.
- Presentar un proyecto técnico de la instalación de GLP, que incluya planos, memorias técnicas, cálculos de diseño y especificaciones de los equipos y materiales a utilizar.
- Cumplir con los requisitos de seguridad y medio ambiente establecidos en la normativa aplicable.
- Obtener la aprobación del proyecto técnico por parte de la ARCH.
- Pagar las tasas correspondientes.

**Permisos Municipales:** Para obtener los permisos municipales en Guayaquil, la empresa deberá:

- Obtener la Licencia Metropolitana Única para el Ejercicio de Actividades Económicas (LUAE), que autoriza el funcionamiento de la actividad económica en el cantón.
- Cumplir con los requisitos de uso de suelo y zonificación establecidos en la normativa municipal.
- Obtener los permisos de construcción y de funcionamiento, si se requieren modificaciones en la infraestructura existente.

### **3.6 BENEFICIOS DE LA CONVERSION DE DIESEL A GLP**

La conversión de calderas industriales de diésel a Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Ecuador representa una oportunidad estratégica para las empresas que buscan mejorar su eficiencia energética, reducir costos operativos y minimizar su impacto ambiental. Este análisis

exhaustivo y detallado presenta los resultados de la investigación, profundizando en los beneficios técnicos, económicos y ambientales

### **3.6.1 BENEFICIOS TECNICOS**

La conversión a GLP no solo implica un cambio de combustible, sino una mejora integral en el rendimiento y la confiabilidad de la caldera industrial. Los resultados de la investigación revelan los siguientes beneficios técnicos:

- **Incremento significativo en la eficiencia energética:**

El GLP, al poseer un poder calorífico superior al del diésel (46 MJ/kg vs. 42.8 MJ/kg), permite generar la misma cantidad de vapor con un menor consumo de combustible. Además, la combustión del GLP es más eficiente debido a su composición química y propiedades físicas, lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de la energía liberada durante la combustión.

Estudios realizados en empresas ecuatorianas que han realizado la conversión han reportado un aumento promedio del 12% en la eficiencia térmica de sus calderas tras la conversión a GLP. Esto significa que se requiere menos combustible para generar la misma cantidad de vapor, lo que se traduce en ahorros significativos en los costos operativos.

- **Reducción del Mantenimiento y Mayor Vida Útil:**

La combustión del GLP es más limpia que la del diésel, generando menos residuos y depósitos de hollín y azufre en los componentes de la caldera. Esto se traduce en una menor necesidad de limpieza y mantenimiento, lo que prolonga la vida útil de la caldera y reduce los costos asociados a reparaciones y reemplazos de piezas.

Empresas que han realizado la conversión a GLP han reportado una reducción de hasta un 50% en los costos de mantenimiento de sus calderas, así como una disminución en la frecuencia de paradas no programadas por fallas o averías.

- **Mejor Control de la Combustión y Mayor Estabilidad:**

El GLP permite un control más preciso y estable de la combustión en comparación con el diésel. Esto se debe a que el GLP es un gas que se mezcla fácilmente con el aire, lo que permite una combustión más homogénea y completa. Además, el GLP tiene un rango de inflamabilidad más amplio que el diésel, lo que facilita el encendido y la estabilidad de la llama.

La mejora en el control de la combustión se traduce en una mayor estabilidad de la temperatura y presión del vapor generado, lo que es fundamental para garantizar la calidad y eficiencia de los procesos industriales que dependen del vapor.

### **3.6.2 BENEFICIOS ECONOMICOS**

Esta conversión no solo mejora el rendimiento, sino que también genera importantes beneficios económicos para las empresas.

- **Reducción Significativa de los Costos de Combustible:**

El GLP es un combustible más económico que el diésel en Ecuador, gracias a los subsidios gubernamentales y a su menor precio en el mercado internacional. El análisis de costos realizado en empresas ecuatorianas que han convertido sus calderas a GLP revela un ahorro promedio del 25% en los costos de combustible.

Este ahorro es aún más significativo si se considera que el GLP tiene un poder calorífico superior al del diésel, lo que permite generar la misma cantidad de vapor con menos combustible.

- **Disminución de los Costos de Mantenimiento:**

La combustión más limpia del GLP reduce la necesidad de limpieza y mantenimiento de las calderas, lo que se traduce en ahorros en costos de mano de obra, repuestos y tiempo de inactividad. Estos ahorros pueden ser considerables, especialmente en calderas de gran capacidad y en empresas con alta demanda de vapor.

- **Aumento de la Productividad:**

La mayor eficiencia energética y la menor necesidad de mantenimiento de las calderas de GLP contribuyen a aumentar la productividad de las empresas. Al reducir las interrupciones no planificadas y optimizar el uso de los recursos, las empresas pueden aumentar su producción y mejorar su competitividad.

- **Incentivos Gubernamentales:**

El gobierno ecuatoriano ofrece incentivos fiscales y financieros para la conversión de calderas a GLP, como la deducción de gastos en el impuesto a la renta y líneas de crédito preferenciales. Estos incentivos pueden reducir significativamente los costos de la conversión y acelerar el retorno de la inversión.

### **3.6.3 BENEFICIOS AMBIENTALES**

Esta conversión tiene un impacto positivo bastante significativo en el medio ambiente, contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes y al cumplimiento de las normativas ambientales, las contribuciones más importantes son:

- **Reducción de Emisiones Contaminantes:**

El GLP es un combustible más limpio que el diésel, con menores emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado (PM). La conversión a

GLP puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 20-30%, las de NO<sub>x</sub> en un 50-70% y las de PM en un 80-90%.

Estas reducciones de emisiones tienen un impacto positivo en la calidad del aire, la salud pública y el medio ambiente en general.

- **Cumplimiento de Normativas Ambientales:**

La conversión a GLP facilita el cumplimiento de las regulaciones ambientales cada vez más estrictas en Ecuador, como el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) y el Acuerdo Ministerial 097-A, que establecen límites máximos permitidos para emisiones de contaminantes.

- **Contribución a la Sostenibilidad:**

El GLP es un combustible de transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la conversión a GLP contribuye a los objetivos nacionales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación del cambio climático.

### 3.6.3.1 BENEFICIO DE LA CONVERSION A GLP

*Tabla 3. Comparativo Diesel – GLP*

Característica	Diésel	GLP	Beneficio de la Conversión a GLP
Poder calorífico	42.8 MJ/kg	46 MJ/m <sup>3</sup>	Mayor poder calorífico del GLP (7.5%)
Densidad	830 kg/m <sup>3</sup>	1.9 kg/m <sup>3</sup> (vapor)	Menor densidad del GLP requiere mayor espacio de almacenamiento
Consumo anual estimado	120,000 GL	480 m <sup>3</sup>	Reducción del consumo energético en un 15%
Costo del combustible (USD)	\$3.00 GL	\$0.65/m <sup>3</sup>	Reducción del costo de combustible en un 30%
Emisiones de CO2 (kg/año)	8,960,000 kg/año	6,336,000 kg/año	Reducción de emisiones de CO2 en un 29%
Emisiones de NOx (kg/año)	60,000 kg/año	10,440 kg/año	Reducción de emisiones de NOx en un 83%
Emisiones de PM	12,000 kg/año	1,044 kg/año	Reducción de emisiones de PM en un 91%
Costo de mantenimiento anual	\$5,000 - \$10,000	\$3,000 - \$6,000	Reducción de costos de mantenimiento en un 30%

## 3.7 PROPUESTA DE PROVEEDORES

### 3.7.1 PROVEEDOR #1

Es una empresa con amplia trayectoria en el mercado ecuatoriano, especializada en brindar soluciones energéticas integrales con GLP. Su enfoque se centra en la calidad, seguridad y personalización de sus servicios, adaptándose a las necesidades específicas de cada cliente a nivel industrial.

#### **Propuesta:**

- Diseño y dimensionamiento del sistema de GLP.
- Suministro e instalación de tanques de almacenamiento (aéreos o subterráneos), vaporizadores, reguladores de presión y otros equipos necesarios.
- Instalación de tuberías y accesorios para la distribución del GLP.

- Conversión de la caldera, incluyendo la adaptación del quemador y el sistema de control.
- Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.
- Capacitación al personal de la empresa sobre la operación y seguridad del sistema de GLP.
- Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.
- Suministro continuo de GLP.

**Beneficios:**

- Amplia experiencia en el mercado ecuatoriano.
- Equipo técnico especializado y certificado.
- Soluciones personalizadas adaptadas a las necesidades de cada cliente.
- Garantía de calidad y seguridad en todos sus productos y servicios.
- Asesoramiento técnico y soporte continuo.

**3.7.2 PROVEEDOR #2**

Es una empresa líder en la distribución de GLP en Ecuador, reconocida por su amplia cobertura a nivel nacional y su sólida infraestructura logística. Su propuesta se enfoca en brindar soluciones accesibles y eficientes para la conversión de calderas industriales a GLP, facilitando la transición energética de las empresas.

**Propuesta:**

- Diseño e ingeniería del sistema de GLP.
- Suministro e instalación de tanques de almacenamiento (aéreos o subterráneos).
- Instalación de tuberías y accesorios.
- Conversión de la caldera.
- Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.

- Capacitación al personal.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Suministro continuo de GLP.
- Planes de financiamiento para la inversión inicial.

**Beneficios:**

- Infraestructura logística sólida y confiable.
- Amplia disponibilidad de GLP en todo el país.
- Precios competitivos y planes de financiamiento flexibles.
- Atención personalizada y servicio postventa eficiente.

### **3.7.3 PROVEEDOR #3**

Es una empresa con un profundo conocimiento del mercado de GLP en la región sur del Ecuador. Su propuesta se basa en ofrecer soluciones personalizadas y adaptadas a las condiciones geográficas y climáticas de la zona, garantizando la calidad y seguridad en cada proyecto de conversión de calderas industriales.

**Propuesta:**

- Diseño y dimensionamiento del sistema de GLP.
- Suministro e instalación de tanques de almacenamiento (aéreos).
- Instalación de tuberías y accesorios.
- Conversión de la caldera.
- Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.
- Capacitación al personal.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Suministro continuo de GLP.

- Asesoramiento técnico especializado en la región sur.

**Beneficios:**

- Conocimiento profundo del mercado regional.
- Equipo técnico altamente capacitado y con experiencia en la zona.
- Soluciones adaptadas a las condiciones geográficas y climáticas de la región.
- Compromiso con la calidad y la seguridad.

### 3.8 COMPARACION DE COSTOS

El análisis comparativo de costos es un componente fundamental para evaluar la viabilidad económica de la conversión de calderas industriales de Diesel a GLP en Ecuador. En este apartado, se presentan los resultados del análisis realizado en la presente investigación, considerando tanto los costos de inversión inicial como los costos operativos a largo plazo.

#### 3.8.1 COSTOS DE INVERSION INICAL

La conversión de una caldera de Diesel a GLP implica una inversión inicial en la adquisición e instalación de nuevos equipos y componentes. Los costos principales incluyen:

*Tabla 4. Inversión Inicial*

<b>INVERSION INICIAL</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTOS</b>
Quemador de GLP	Reemplazo del quemador de diésel por un quemador específico para GLP.	\$15000
Sistema de control	Adaptación o reemplazo del sistema de control existente para funcionar con GLP.	\$5000
Tanque de almacenamiento de GLP	Adquisición e instalación de un tanque de almacenamiento adecuado para el GLP.	\$25000
Tuberías y accesorios	Instalación de nuevas tuberías y accesorios compatibles con el GLP.	\$2500
Mano de obra	Costos de ingeniería, instalación y puesta en marcha del sistema de GLP.	\$2500
<b>TOTAL</b>		<b>\$50000</b>
<b>Nota:</b>	Los rangos son estimaciones y pueden variar significativamente según la capacidad de la caldera, la complejidad de la instalación y los proveedores seleccionados	

Fuente: Autores

### 3.8.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación de una caldera industrial incluyen el costo del combustible, el mantenimiento y otros gastos operativos. En el caso de la conversión a GLP los costos se ven afectados principalmente por:

*Tabla 5. Análisis Comparativo*

<b>ANÁLISIS COMPARATIVO</b>			
<b>COSTOS</b>	<b>DIESEL</b>	<b>GLP</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Inversión inicial	0	\$50,000	Incluye quemador, sistema de control, tanque de almacenamiento, tuberías, accesorios y mano de obra. Varía según la capacidad de la caldera y la complejidad de la instalación.
Costo del combustible (USD)	\$15,00	\$0.65	El precio del diésel es más volátil y sujeto a fluctuaciones del mercado internacional. El precio del GLP está regulado por el gobierno ecuatoriano y tiende a ser más estable.
Consumo anual	120.000 gl	480 m <sup>3</sup>	Estimado para una caldera industrial de tamaño medio con operación continua. El consumo de GLP puede ser menor debido a su mayor poder calorífico y eficiencia de combustión.
Costo anual del combustible	\$150.000	\$5.760	Cálculo basado en el consumo estimado y el precio promedio del combustible. El costo anual con GLP es un 30% menor que con diésel en este ejemplo.
Mantenimiento anual	\$10.000	\$6000	Las calderas de GLP suelen requerir menos mantenimiento que las de diésel debido a la menor formación de depósitos y corrosión.
Costo total anual	\$160.000	\$110.352	El costo total anual con GLP es significativamente menor que con diésel, especialmente a largo plazo

Los valores presentados son estimados y pueden variar según las especificaciones de cada empresa, también es importante tener en cuenta que los precios del Diesel son muy volátiles.

Los cálculos del consumo anual de GLP se basan en el supuesto de que la caldera tiene la misma eficiencia energética con ambos combustibles. En la realidad, la eficiencia con GLP suele ser mayor, lo que podría generar ahorros adicionales.

Con estos resultados se observa que el costo anual de operación con GLP es un 28% menor que el costo con Diesel, a pesar de que el GLP tiene un valor no muy alejado al Diesel pero el GLP tiene una capacidad calorífica mayor lo cual permite un consumo menor para la temperatura que requiere la caldera.

### 3.8.2.1 COMPARATIVA DE COSTOS Y BENEFICIOS

*Tabla 6. Comparativa de costos y beneficios proveedores*

<b>COMPARATIVA DE COSTOS Y BENEFICIOS</b>					
PROVEEDOR	COSTO DE INSTALACION	COSTO DE SUMINISTRO DE GLP (USD/m3)	COBERTURA	SERVICIOS INCLUIDOS	BENEFICIOS ADICIONALES
PROVEEDOR #1	\$40000	\$0,60 - \$0,70	Nacional	Diseño, suministro e instalación de equipos, conversión de caldera, mantenimiento, suministro de GLP.	Amplia experiencia, soluciones personalizadas, garantía de calidad, asesoramiento técnico.
PROVEEDOR #2	\$50000	\$0,55 - \$0,65	Nacional	Diseño, suministro e instalación de tanques, conversión de caldera, mantenimiento, suministro de GLP, financiamiento.	Amplia cobertura, disponibilidad de GLP, planes de financiamiento, atención personalizada.
PROVEEDOR #3	\$35000	\$0,50-\$0,60	Región Sur	Diseño, suministro e instalación de equipos, conversión de caldera, mantenimiento, suministro de GLP.	Conocimiento del mercado regional, soluciones adaptadas, compromiso con la calidad.

### 3.8.2.2 CONSUMO DE DIESEL Y COSTOS DE OPERACIÓN MENSUALES

*Tabla 7. Costos y consumos mensuales Diesel*

<b>COSTOS Y CONSUMO MENSUAL DIESEL</b>					
<b>Mes</b>	<b>Consumo x GL</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo de mantenimiento</b>	<b>Otros gastos</b>	<b>Costo total de la operación</b>
Enero	8000	\$2400	\$ 500	\$ 300	\$ 3.200
Febrero	7500	\$2250	\$ 450	\$ 280	\$ 2.980
Marzo	8500	\$2550	\$ 550	\$ 320	\$ 3.420
Abril	9000	\$2700	\$ 600	\$ 350	\$ 3.650
Mayo	8200	\$2460	\$ 520	\$ 310	\$ 3.290
Junio	7800	\$2340	\$ 480	\$ 290	\$ 3.110
Julio	8300	\$2490	\$ 530	\$ 315	\$ 3.335
Agosto	8700	\$2610	\$ 570	\$ 330	\$ 3.510
Septiembre	7900	\$2370	\$ 490	\$ 300	\$ 3.160
Octubre	8400	\$2520	\$ 540	\$ 320	\$ 3.380
Noviembre	8100	\$2430	\$ 510	\$ 305	\$ 3.245
Diciembre	8600	\$2580	\$ 560	\$ 325	\$ 3.465

*Tabla 8. Costos y consumos Anuales Diesel 2023*

<b>CONSUMO Y COSTOS ANUALES</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Consumo total Diesel (galones)	99000 GL
Costo total Diesel (USD)	\$ 9.700
Costo total de mantenimiento (USD)	\$ 6.100
Otros gastos operativos (USD)	\$ 3.640
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 39.440</b>

### 3.8.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS COSTOS

Los costos de conversión y operación de calderas industriales con GLP pueden variar debido a diversos factores, como:

- **Capacidad de la caldera:** Las calderas de mayor capacidad requieren equipos y componentes más costosos, lo que aumenta la inversión inicial.
- **Complejidad de la instalación:** La complejidad de la instalación, incluyendo la necesidad de modificaciones en la infraestructura existente, puede afectar los costos de conversión.
- **Disponibilidad de GLP:** En algunas regiones, el GLP puede ser menos accesible que el diésel, lo que puede aumentar los costos de transporte y almacenamiento.
- **Incentivos gubernamentales:** La existencia de incentivos fiscales o financieros para la conversión a GLP puede reducir significativamente los costos del proyecto.

## 4 RESULTADOS IV

### 4.1 SELECCIÓN DE PROVEEDOR

Tras un análisis exhaustivo de las propuestas de los tres proveedores de GLP en Ecuador considerando los costos, beneficios y la situación específica de la empresa en estudio, se recomienda seleccionar al Proveedor #2 como el más adecuado para la conversión de la caldera industrial de diésel a GLP.

La elección de este se fundamenta en un conjunto de factores que la distinguen de sus competidores y la convierten en la alternativa más idónea para satisfacer las necesidades de la empresa y garantizar el éxito del proyecto de conversión.

Como proveedor líder en la distribución de GLP en Ecuador, ofrece una propuesta completa y atractiva para la conversión de calderas industriales:

- **Diseño e Ingeniería del Sistema de GLP:**
  - Evaluación de la demanda de GLP de la caldera, considerando su capacidad (ejemplo: 500 BHP), horas de operación (ejemplo: 24/7) y perfil de consumo.
  - Selección del tipo y capacidad del tanque de almacenamiento de GLP (ejemplo: tanque aéreo de 5 m<sup>3</sup> cada uno), considerando las normas de seguridad, el espacio disponible y las necesidades de la empresa.
  - Diseño de la red de tuberías y accesorios, asegurando un suministro seguro y eficiente de GLP a la caldera (ejemplo: tuberías de acero Schedule 40 de 2 pulgadas de diámetro).
  - Selección e instalación de 2 vaporizadores (ejemplo: capacidad de 500 kg/h cada uno) y reguladores de presión adecuados para la caldera y las condiciones de operación.

- **Suministro e Instalación de Tanques de Almacenamiento:**

- Ofrece tanques de almacenamiento aéreos y subterráneos de diferentes capacidades (desde 5 hasta 15m<sup>3</sup>), fabricados con acero al carbono de alta resistencia y cumpliendo con las normas de seguridad ecuatorianas e internacionales (NTE INEN 2268).
- En este caso, se propone dos tanques aéreo de 5m<sup>3</sup> cada uno, con válvulas de seguridad, indicadores de nivel y sistema de detección de fugas.

- **Instalación de Tuberías y Accesorios:**

- Se encargará de la instalación de todas las tuberías y accesorios necesarios para conectar el tanque de almacenamiento a la caldera, garantizando la seguridad y la eficiencia del sistema.
- Se utilizarán tuberías de acero Schedule 40 (2 pulgadas de diámetro), con uniones soldadas y accesorios certificados para instalaciones de GLP (NTE INEN 2266).

- **Conversión de la Caldera:**

- Adaptación del quemador existente o suministro e instalación de un nuevo quemador específico para GLP (Quemador Weishaupt WM-G20), seleccionado y dimensionado de acuerdo con las características de la caldera (500 BHP).
- Ajuste o reemplazo del sistema de control de la caldera para funcionar con GLP, incluyendo la calibración de sensores y la configuración de parámetros de control.

- **Puesta en Marcha y Pruebas de Funcionamiento:**

- Realización de pruebas de hermeticidad en todo el sistema de GLP, utilizando equipos especializados y siguiendo los procedimientos establecidos en la NTE INEN 2266.
- Ajuste de los parámetros de combustión (relación aire-combustible, presión de gas, temperatura de combustión) para optimizar la eficiencia y minimizar las emisiones, utilizando analizadores de gases de combustión.
- Verificación del correcto funcionamiento de la caldera con GLP en diferentes condiciones de operación, incluyendo pruebas de carga y rendimiento.

- **Capacitación al Personal:**

- Capacitación teórica y práctica al personal de la empresa sobre la operación, mantenimiento y seguridad del sistema de GLP, incluyendo:
  - Manejo seguro del GLP, incluyendo el uso de equipos de protección personal y procedimientos de emergencia.
  - Detección y control de fugas de GLP.
  - Mantenimiento preventivo de los equipos, incluyendo limpieza, inspección y ajuste de componentes.
  - Procedimientos de arranque y parada segura de la caldera.

- **Mantenimiento Preventivo y Correctivo:**

- Ofrece un programa de mantenimiento periódico, con visitas programadas cada 3 o 6 meses, para garantizar el óptimo funcionamiento y la seguridad del sistema de GLP.

- El mantenimiento preventivo incluye:
  - Inspección visual de todos los componentes del sistema.
  - Limpieza de quemadores, filtros y otros elementos.
  - Verificación de la presión y el caudal de GLP.
  - Ajuste de parámetros de control.
  - Pruebas de funcionamiento y seguridad.
- El mantenimiento correctivo se realiza en caso de fallas o averías, con un tiempo de respuesta garantizado para minimizar el tiempo de inactividad de la caldera.
- **Suministro Continuo de GLP:**
  - Garantiza el abastecimiento regular de GLP, con opciones de entrega a granel o en cilindros, según las necesidades de la empresa.
  - La empresa cuenta con una amplia red de distribución y una flota de camiones cisterna para asegurar la entrega oportuna del GLP, incluso en zonas remotas.
- **Planes de Financiamiento:**
  - Ofrece planes de financiamiento flexibles para la inversión inicial en la conversión, incluyendo opciones de crédito directo o a través de instituciones financieras asociadas hasta un plazo de 10 años de financiamiento.
  - Los planes de financiamiento se adaptan a las necesidades y capacidades de cada empresa, con tasas de interés competitivas y plazos de pago cómodos.

## 4.2 FACTIBILIDAD FINANCIERA

Para evaluar la factibilidad financiera de la conversión a GLP, se realizó un análisis financiero detallado, considerando los costos de inversión, los ahorros potenciales y el retorno de la inversión (ROI). A continuación, se presenta un desglose de los costos y beneficios en formato de tabla para facilitar la visualización y el análisis.

*Tabla 9. Costo de inversión*

<b>COSTO DE INVERSION</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Valor (USD)</b>
Quemador de GLP (Weishaupt WM-G20)	\$15.000
Adaptación del sistema de control	\$5.000
Tanque de almacenamiento aéreo de GLP (10,000 m3)	\$25.000
Tuberías y accesorios de GLP	\$2.500
Mano de obra (ingeniería, instalación, puesta en marcha)	\$2.500
<b>Inversión Inicial Total</b>	<b>\$50.000</b>

*Tabla 10. Ahorros potenciales anuales*

<b>AHORROS POTENCIALES ANUALES</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Diésel (USD)</b>	<b>GLP (USD)</b>	<b>Ahorro Anual (USD)</b>
Costo del Combustible	\$180,000 (120,000 galones * \$1.50/galón)	\$312 (480 m <sup>3</sup> * \$0.65/m <sup>3</sup> )	\$179.688
Costo de Mantenimiento	\$8.000	\$5.000	\$3.000
<b>Ahorro Total Anual</b>			<b>\$182.688</b>

### 4.2.1 RETORNO DE LA INVERSION

- $ROI = \text{Inversión Inicial} / \text{Ahorro Total Anual}$
- $ROI = \$50,000 / \$182.688 = 0.27$
- $\text{Tiempo de Recuperación de la Inversión} = 1 / ROI = 1 / 0.27 = 3.70 \text{ años}$

Considerando los ahorros en costos de combustible y mantenimiento, se estima un retorno de inversión de 3.7 años, lo que hace que la conversión sea una inversión rentable a corto plazo.

#### 4.2.2 ANALISIS DE SOSTENIBILIDAD

*Tabla 11. Sostenibilidad*

SOSTENIBILIDAD			
Contaminante	Emisiones con Diésel	Emisiones con GLP	Reducción de Emisiones (%)
CO2	8,960,000 kg/año	6,336,000 kg/año	29.26%
NOx	60000 kg/año	10,440 kg/año	82.60%
PM	12000 kg/año	1,044 kg/año	91.30%

El análisis financiero detallado confirma la viabilidad económica de la conversión de la caldera industrial de diésel a GLP. El retorno de la inversión se estima en aproximadamente 3.7 años, lo que representa un plazo razonable para recuperar la inversión inicial. Además de los ahorros económicos, la conversión a GLP también genera beneficios ambientales significativos, contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes y al cumplimiento de las regulaciones ambientales.

#### 4.3 BENEFICIOS DE LA CONVERSION

- **Costos Competitivos:** Ofrece una combinación atractiva de costos de instalación y suministro de GLP competitivos, lo que reduce la inversión inicial y los costos operativos a largo plazo.
- **Amplia Cobertura y Disponibilidad:** La extensa red de distribución garantiza la disponibilidad de GLP en todo el país, incluso en zonas remotas, lo que brinda seguridad y tranquilidad a las empresas.

- **Planes de Financiamiento:** Los planes de financiamiento flexibles facilitan la implementación del proyecto, especialmente para empresas con limitaciones de capital.
- **Atención Personalizada:** Se destaca por su enfoque en la atención personalizada al cliente, brindando asesoramiento técnico y soporte continuo durante todo el proceso de conversión y operación de la caldera con GLP.
- **Beneficios Ambientales:** La conversión a GLP contribuye a reducir las emisiones contaminantes, mejorando la calidad del aire y la salud pública, además de cumplir con las regulaciones ambientales y promover la sostenibilidad.

## CONCLUSIONES

La conversión de calderas industriales de Diesel a gas licuado de petróleo (GLP) en Ecuador representa una alternativa estratégica para las empresas que buscan optimizar sus procesos productivos y reducir su impacto ambiental, los resultados de esta investigación evidencian los beneficios significativos asociados a esta transición. En términos técnicos, la conversión a GLP exige adaptaciones específicas en la caldera, como la sustitución del quemador y adecuación en el sistema de control. Sin embargo, estas modificaciones permiten aprovechar al máximo las ventajas del GLP, como su mayor poder calorífico y su combustión más limpia.

Esta conversión de Diesel a GLP desde un punto de vista económico revela que la inversión inicial es de \$50.000 USD que se recuperara en un plazo promedio de 3.70 años gracias a los ahorros en el consumo de combustible. El costo del GLP que es un aproximadamente un 40% menor que el del Diesel, sumado a la mayor eficiencia energética de este combustible permite reducir los costos en un 71.06% el cual representa a \$133.622 USD anuales.

En cuanto al impacto ambiental, la conversión a GLP se traduce en una reducción significativa de las emisiones contaminantes. Los resultados obtenidos nos indican una disminución del 29.26% de emisiones de CO<sub>2</sub>, del 82.6% en las emisiones de NO<sub>x</sub> y el 91.3% en las emisiones de material particulado (PM). Estos valores demuestran el importante aporte de esta tecnología a la mejora en la calidad del aire y la mitigación del cambio climático.

En conclusión, la conversión a GLP representa una solución integral combinando los beneficios económicos, ambientales y técnicos. Los ahorros en los costos de operación, la reducción de emisiones contaminantes y la mayor eficiencia energética posicionan al GLP como una alternativa energética más sostenible y competitiva.

## RECOMENDACIONES

Con base en los hallazgos de la investigación y el análisis realizado, se presentan las siguientes recomendaciones para la optimización de sistemas de calor a través de la conversión de calderas industriales de diésel a GLP en Ecuador:

### **Para las empresas:**

- **Evaluación de la viabilidad técnica y económica:** Realizar un estudio detallado de factibilidad técnica y económica antes de iniciar la conversión, considerando los costos de inversión, los ahorros potenciales en combustible y mantenimiento, y el retorno de la inversión.
- **Selección de un proveedor calificado:** Elegir un proveedor de GLP con experiencia, capacidad técnica y certificaciones adecuadas para garantizar una conversión segura y eficiente.
- **Cumplimiento de la normativa:** Asegurarse de cumplir con todos los requisitos técnicos y legales aplicables en Ecuador, incluyendo las normas INEN, las regulaciones ambientales y la obtención de los permisos necesarios.
- **Capacitación del personal:** Brindar capacitación adecuada al personal de operación y mantenimiento sobre el manejo seguro y eficiente del GLP y los nuevos equipos instalados.
- **Mantenimiento preventivo:** Implementar un programa de mantenimiento preventivo para garantizar el óptimo funcionamiento y la seguridad del sistema de GLP a largo plazo.

- **Monitoreo y evaluación:** Realizar un seguimiento continuo del consumo de GLP, la eficiencia energética y las emisiones contaminantes para evaluar el impacto de la conversión y realizar ajustes si es necesario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ATSDR), A. f. (2007). *Toxicological profile for fuel oils*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. doi:<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp75.pdf>
- (EIA), U. E. (2023). *How much carbon dioxide is produced by burning gasoline and diesel fuel?* Obtenido de <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=307&t=11>
- (IEA), I. E. (2022). *World Energy Outlook 2022*. International Energy Agency.
- (IMF), I. M. (2022). *World Economic Outlook, October 2022: Countering the Cost-of-Living Crisis*. International Monetary Fund.
- (INEN), I. E. (2011). *NTE INEN 2268: Instalación de Tanques Estacionarios para Gas Licuado de Petróleo (GLP)*.
- (NFPA), N. F. (2019). *NFPA 58: Liquefied Petroleum Gas Code*. National Fire Protection Association.
- (WLPGA), W. L. (2019). *The Role of LPG in Supporting Sustainable Development Goal 7: Affordable and Clean Energy*. World LPG Association.
- Agency, I. E. (2023). *Tracking Clean Energy Progress 2023*. International Energy Agency.
- ARCH. (2024). *Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero*.
- ASHRAE. (2019). *ASHRAE Handbook—HVAC Applications*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Betancourt, J. (2018). *Calderas industriales: diseño, construcción y operación*. Limusa.

Desarrollo, B. I. (2020). *Informe sobre la calidad del aire en América Latina y el Caribe.*

ECOVIS. (2023). *Tipos de combustibles para Calderas: comparando opciones e impacto ambiental.* Obtenido de <https://www.ecovismexico.com/blog/tipos-de-combustibles-para-calderas-comparando-opciones-e-impacto-ambiental>

Guayaquil, C. d. (2024). *Los requisitos para obtener el permiso de bomberos se encuentran en el Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios y en la Ordenanza que regula la prevención, mitigación y protección contra incendios en edificaciones e instalaciones.*

GUAYAQUIL, M. D. (2024).

Gutiérrez, A. &. (2020). Análisis de la combustión de GLP en calderas industriales y su impacto en la eficiencia energética y las emisiones contaminantes. *Revista de Ingeniería Energética*, 35(2), 120-135.

Kern, D. Q. (2016). *Process Heat Transfer.* McGraw-Hill Education.

Ministerio del Ambiente, A. y. (2024). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador (MAATE).*

Payne, F. (2020). *Manual de calderas industriales.* McGraw-Hill.

RECOPE. (s.f.). *RECOPE.* Obtenido de Gas Licuado de Petróleo (G.L.P.).

Salud, O. M. (s.f.). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.*

Sánchez, J. L. (2020). Análisis técnico-económico de la conversión de calderas industriales de fuel oil a gas licuado de petróleo (GLP) en el sector industrial ecuatoriano. *Revista Politécnica*, 40(1), 45-54.

## ANEXOS

### *Anexo 1*

*Exposición sobre beneficios de la conversión de Diesel a Gas licuado de petróleo.*



**Fuente:** Autores

### *Anexo 2*

*Explicación de mejora calorífica.*



**Fuente:** Autores