

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE  
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**VICERRECTORADO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**



**ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN  
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL ANHIDRO  
PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD EN LA REFINERÍA  
GUILLERMO BELL-SANTA CRUZ**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,  
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS,  
VERSION III**

**JHOJAN BLADIMIR BONILLA**

**Sucre - Bolivia  
2024**

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Jhojan Bladimir Bonilla

Nombres y Apellidos

Sucre, septiembre de 2023

## **DEDICATORIA**

La presente monografía va dedicada con todo mi amor y cariño A DIOS por haberme dado salud y fortaleza para lograr los objetivos planteados a lo largo de mi vida. A mi madre que la quiero infinitamente, ella siempre estuvo a mi lado durante toda esta etapa en la universidad, por estar siempre a mi lado cuando más la necesite, en los buenos y malos momentos de mi vida, por brindarme a cada instante su apoyo incondicional e impulsarme para que estudie y me desarrolle completamente en todos los aspectos de mi vida pues ella me supo guiar sin importar el tiempo ni el espacio. A mis tíos, por acompañarme en cada etapa de mi vida, y brindarme la fortaleza para seguir. A todos ellos GRACIAS por su confianza y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la prestigiosa Universidad Mayor De San Francisco Xavier De Chuquisaca, por brindarme la oportunidad de ser parte de una gran comunidad estudiantil.

A la facultad de Ingeniería y Tecnología, por encargarse de ofrecer una educación y formación de estudiantes académicamente preparados.

A la carrera de Ingeniería Petrolera y Gas Natural, por contribuir a mi educación apoyándome siempre con conocimientos y a través de grandes profesionales que nos transmiten sus experiencias y conocimientos a través de la enseñanza y amistad.

A mis queridos compañeros eh amigos de la carrera que me brindaron su amistad y confianza año tras año motivándome a cumplir mis metas trazadas.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar un análisis técnico para la implementación de un tanque de almacenamiento de etanol anhidro de acuerdo a la norma API 650 y la selección de los componentes necesarios para el debido control del fluido almacenado, el etanol anhidro es una forma pura de etanol que se utiliza ampliamente como combustible en diferentes industrias.

Para el desarrollo de la metodología se realizó encuestas y revisión documental además del análisis cuantitativo que nos proporcionará una base sólida para el diseño de la misma manera será descriptiva ya que permitirá una evaluación detallada de cada variable porque asegura la ingeniería básica del tanque de almacenamiento

Los resultados para la implementación de un nuevo tanque de almacenamiento para etanol anhidro es un proyecto significativo que requiere una planificación cuidadosa y consideración de costos. Con una producción actual de 3 millones de litros y una capacidad de almacenamiento existente de 2.862,43 m<sup>3</sup>, es claro que la expansión es necesaria. Los costos de materiales y la instalación suman aproximadamente 184.506,06 USD, aunque estos pueden variar según el mercado internacional y el tiempo de ejecución del proyecto. Es esencial tener en cuenta estos factores para asegurar una implementación exitosa y rentable del tanque.

En conclusión, la construcción y la implementación del tanque de etanol anhidro son factibles ya que es un paso importante hacia la seguridad energética. Este proyecto asegura la continuidad del suministro, sino que también refuerza la capacidad de la refinería para adaptarse a las demandas futuras del mercado.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

<b>1.1</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
1.1.1	Planteamiento Del Problema.....	5
1.1.2	Formulación Del Problema .....	6
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
1.2.1	Objetivo General.....	6
1.2.2	Objetivos Específicos .....	7
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>7</b>
1.3.1	Justificación Técnica .....	7
1.3.2	Justificación Social .....	7
1.3.3	Justificación Económica .....	7
<b>1.4</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>8</b>
1.4.1	Técnicas.....	8
1.4.1.1	Técnica de la encuesta.....	8
1.4.1.2	Técnica de revisión documental.....	9
1.4.2	Instrumentos .....	9
1.4.2.1	Cuestionario.....	9
1.4.2.2	hoja de análisis .....	9

## CAPÍTULO II: DESARROLLO

<b>2.1</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
2.1.1	Etanol Anhidro .....	10
2.1.1.1	Definición y descripción del etanol anhidro.....	10
2.1.1.2	Importancia en diversas industrias.....	10
2.1.1.3	Propiedades físicas y químicas del etanol anhidro.....	14
2.1.1.4	Mezclas De Etanol Anhidro Con Gasolinas .....	15
2.1.2	Uso Y Aplicaciones Del Etanol Anhidro .....	17
2.1.2.1	En la industria de los biocombustibles .....	17
2.1.2.2	En la industria alimentaria .....	18
2.1.2.3	En la industria farmacéutica .....	19
2.1.3	Diseño De Tanques De Almacenamiento.....	20
2.1.3.1	Materiales utilizados en la construcción de tanques de almacenamiento .....	20

2.1.3.2	Factores a considerar el diseño de tanques de almacenamiento .....	21
2.1.3.3	Cumplimiento con estándares y códigos de construcción.....	22
2.1.4	Normativas Y Regulaciones .....	23
2.1.4.1	Normas de regulación .....	23
2.1.4.2	Normas de construcción de tanques.....	24
<b>2.2</b>	<b>MARCO CONTEXTUAL .....</b>	<b>26</b>
2.2.1	Descripción General De La Refinería.....	26
2.2.2	Ubicación .....	27
2.2.3	Integración Regional Y Nacional.....	27
2.2.4	Aspectos Climatológicos Y Atmosféricos.....	28
2.2.5	Infraestructura Y Servicio .....	29
2.2.6	Procesos De Almacenaje Del Etanol Anhidro.....	31
2.2.7	Necesidad.....	33
<b>2.3</b>	<b>INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS.....</b>	<b>34</b>
2.3.1	Análisis De Las Normas Que Regulan El Diseño, Construcción Y Ensamblaje De Tanques De Almacenamiento .....	35
2.3.1.1	Aplicación de la norma API 650 12va Edición .....	35
2.3.2	Estimación De La Producción Semanal De Gasolina Super Etanol 92 De La Refinería Guillermo Elder Bell .....	36
2.3.2.1	Evaluación del volumen de producción de la gasolina base obtenida en refinería 37	
2.3.2.2	Calculo Del Volumen Semanal De Etanol Anhidro Empleado Para La Producción De Gasolina Super Etanol 92.....	39
2.3.3	Implementación de un Tanque De Almacenamiento Para Etanol Anhidro En Los Predios De La Refinería Guillermo Elder Bell .....	40
2.3.3.1	Tipo de Diseño En General Para El Tanque De Almacenaje.....	40
2.3.3.2	Clasificación De Los Líquidos Y Combustibles Inflamables.....	41
2.3.3.3	Requerimientos Para El Diseño Del Tanque .....	42
2.3.3.4	Volumen Del Tanque.....	43
2.3.3.5	Diseño Y Cálculo Del Anillo Perimetral .....	45
2.3.3.6	Diseño Y Cálculo De La Envolvente Del Tanque (Cuerpo).....	47
2.3.3.7	Diseño Del Contra Viento .....	50
2.3.3.8	Diseño De La Escalera.....	50

2.3.3.9	Diseño Del Techo Flotante .....	51
2.3.4	Viabilidad Económica .....	52
<b>2.4</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO III: CONCLUSIONES</b>		
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Vista general de la Refinería .....	27
<b>Figura 2</b>	Climograma Santa Cruz .....	29
<b>Figura 3</b>	Diagrama de Bloques Objetivos Propuestos .....	35
<b>Figura 4</b>	Tipos De Tanques En Función Del Producto Almacenado .....	41
<b>Figura 5</b>	Clasificación De Los Líquidos Y Combustibles Inflamables.....	42
<b>Figura 6</b>	Tamaños Típicos Correspondientes A Capacidades Nominales En M3, Para Tanques Con Planchas De 1800 Mm (Si).....	43
<b>Figura 7</b>	Esfuerzo Admisible De Las Planchas De Acero.....	45
<b>Figura 8</b>	Espesores De Planchas Para El Anillo Perimetral .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Capacidad de almacenaje por producto.....	2
<b>Tabla 2</b>	Propiedades Químicas del Etanol Anhidro.....	15
<b>Tabla 3</b>	Capacidad de almacenaje .....	30
<b>Tabla 4</b>	Producción promedio .....	31
<b>Tabla 5</b>	Santa Cruz: Parque Automotor, Según Clase De Vehículo, 2018 - 2023 .....	33
<b>Tabla 6</b>	Elaboración de gasolina base 81.....	37
<b>Tabla 7</b>	Volúmenes de Gasolina Super Etanol 92.....	38
<b>Tabla 8</b>	Tanques De Almacenamiento De Etanol Anhidro Santa Cruz .....	40
<b>Tabla 9</b>	Espesores De Los Anillos .....	49
<b>Tabla 10</b>	Parámetros De Diseño De Escaleras.....	51
<b>Tabla 11</b>	Parámetros De Diseño Del Techo Flotante.....	51
<b>Tabla 12</b>	Costo Materiales Y Accesorios Del Tanque De Almacenamiento.....	52
<b>Tabla 13</b>	Costo Instalación De Los Componentes Del Tanque De Almacenamiento ...	53

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A** Consideraciones De Diseño Para Tanques Con Techo Flotante Interno

**ANEXO B** Elaboración De Gasolina Base 81 En Refinerías

**ANEXO C** Volúmenes De Comercialización De Gasolina Super Etanol 92

**ANEXO D** Especificaciones Técnicas Acero Astm A36

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

El uso de combustibles líquidos para el funcionamiento de motores de combustión interna es una de las aplicaciones más importantes que ha desarrollado la industria moderna y ha transformado por completo la forma en la que vivimos los seres humanos. En el caso de Bolivia el incremento del parque automotor se ha evidenciado en las últimas décadas debido a la mayor disponibilidad en la oferta de automóviles y las costumbres de la sociedad que se han direccionado buscando comodidad y premura en el transporte urbano, rural e interdepartamental con motivos de trabajo o esparcimiento. La tendencia en el uso de gasolina para atender las necesidades de la población es un incremento gradual año tras año, sin embargo, Bolivia tiene una deficiencia en cuanto a la producción de gasolina en sus plantas y refinerías debido a que la industria hidrocarburífera en Bolivia es ante todo gasífera, y la producción de gasolina está asociada al condensado extraído de forma conjunta al gas natural y no a la producción directa de petróleo crudo. (Automotriz, 2023)

Durante la gestión 2018 Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos YPFB y la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH han emitido la regulación que permite la comercialización de la gasolina super etanol 92 en estaciones de servicio para su uso en vehículos de combustión interna. Dicho combustible ha tenido buena aceptación en su uso, que a la presente fecha se encuentra disponible en las ciudades de La Paz, Santa Cruz, Cochabamba y Tarija al precio de 4,50 bolivianos. Sin embargo, debido a limitaciones de diversa índole la comercialización de la gasolina super etanol 92 no se ha podido implementar en el resto de los departamentos. (Hidrocarburos, 2022)

En la Tabla 1, se muestra la capacidad de almacenaje operativa en cada una de las plantas de almacenamiento a nivel nacional, donde se cuenta con una capacidad de almacenaje total de 127,462 m<sup>3</sup> , con la operación de 16 plantas de almacenaje.

**Tabla 1***Capacidad de almacenaje por producto*

PLANTAS	CR	DO	ET	GE	GP	IDO	IGE	JF	KE	GB80	GLP	Total general
Santa Cruz	685	14,625	3,363	9,634	422				516			29,245
Senkata		8,581	1,504	3,916		234		2,505	337	4,620	1,037	22,734
Cochabamba		15,542	1,649	143						3,663	811	21,809
Oruro		2,823	344	3,231					289	1,811		8,498
Camiri		2,457		3,613					453			6,523
Villamontes		3,627		2,470					30			6,126
Potosí		3,006		3,030								6,036
Sucre		2,934		1,454		880	448					5,716
Puerto Villarroel		3,130	459						138	1,938		5,666
Tarija		2,072	236	1,280					34	294		3,916
Trinidad		2,215		1,597					49			3,861
Riberalta		1,486		1,372					137			2,995
Tupiza		452		946								1,399
Uyuni		771		479					124			1,374
San José de chiquitos		760		472								1,232
Monteagudo		221		113								334
<b>Total general</b>	<b>685</b>	<b>64,700</b>	<b>7,556</b>	<b>33,751</b>	<b>422</b>	<b>1,114</b>	<b>448</b>	<b>2,505</b>	<b>2,107</b>	<b>12,325</b>	<b>1,848</b>	<b>127,462</b>

Fuente: Datos obtenidos de (YPFB Logística S.A.,2023)

En la actualidad el etanol anhidro cumple un papel importante como aditivo para gasolinas ya que permite oxigenar este combustible disminuyendo así, las emisiones de partículas y gases contaminantes producidos por automóviles y camiones, lo que conlleva a la combinación de gasolina más etanol en diferentes proporciones respectivamente. Este tipo de combustible es relativamente nuevo en Bolivia, pero en países como Brasil y Estados Unidos donde existen estaciones de abastecimiento de este combustible en todas sus ciudades. Por esta razón al ser comercializado en los últimos años en el país, obliga a Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB)

aumentar su capacidad de producción del combustible con aditivo para abastecer la creciente demanda nacional. (YPFB, 2024)

YPFB Logística S.A. destaca la optimización de procesos operativos, consolidando la implementación del Proyecto Etanol Anhidro, el cual se utiliza como aditivo en las gasolinas, en las plantas del eje trocal y con el incremento de la capacidad de almacenaje en las plantas de Senkata y Tarija. (procesos, 2023)

El biocombustible (super etanol 92) es comercializado 4,5 Bs/litro, precio que fue definido mediante Resolución Administrativa RAR-ANH-DJ No 0357/2018 emitida por la Agencia Nacional de Hidrocarburos en fecha 29 de octubre de 2018, que define los márgenes tanto Mayorista y Minorista, además del Precio del Etanol y de manera consecutiva el precio de venta Final. Para tal efecto utilizará información oficial del precio del crudo promedio mensual del West Texas Intermediate (WTI) publicada por S&P Global Platts y la información publicada por el Observatorio Agroambiental y Productivo dependiente del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. (Corporación, 2018)

Es por ello que, para dar solución a la necesidad planteada, se desarrollara un análisis técnico para el diseño de un tanque para almacenamiento de etanol anhidro bajo normas internacionales y nacionales, seleccionando los componentes necesarios para el debido control del fluido almacenado. (PROPIO, 2024)

### **1.1 ANTECEDENTES**

El uso de biocombustibles es una tendencia global que ha ido ganando lugar ya que la industria agrícola se encuentra en crecimiento constante y ha llegado a abarcar otras áreas de interés económico – industrial. En Sudamérica la implementación de biocombustibles está en pleno crecimiento, siendo los líderes en su implementación Brasil, Perú y Paraguay, países que desde el año 2012 han innovado en el desarrollo de herramientas que ayuden en el proceso de mezcla de biocombustibles con diferentes porcentajes de mezcla, para su comercialización, evaluando capacidad de entrega de volúmenes y factibilidad económica de estos proyectos. (Cooperation, 2008)

Por normativa internacional los vehículos que están transitando a nivel Sudamérica, por ponerlo en contexto más próximo, ya consideran características técnicas que demandan combustibles de mayor octanaje, sin plomo y con bajo contenido de azufre y esto se puede ver en países vecinos como Chile, Brasil, Paraguay y Argentina, entre otros,

donde las Estaciones de Servicio, Grifos, etc, manejan más de tres tipos de gasolina de distinto octanaje, entre los cuales destaca la de 97 octanos y 98 octanos, dijo al remarcar la importancia de contar con un combustible de alto octanaje de manera permanente en el país. (Serrano, 2021)

A partir de los años 1990 a la actualidad los vehículos ya no son a carburador ahora tienen una tecnología a inyección con necesidades de gasolina que oscila entre los 90 a 98 octanos y de la misma forma los lubricantes utilizados para esta tecnología ya no son solo de origen mineral ahora son de tipo sintético, es decir se crean motores con bajo consumo de Gasolina y mayor rendimiento, como también mayor potencia.

SODERAL y CODANA constituyen el grupo productor de alcohol con más experiencia y el más importante del Ecuador. (ESPOL, 2008)

La producción promedio diaria de etanol anhidro de esta compañía es de aproximadamente 30000 litros los cuales cubren la demanda actual de sus clientes. Desafortunadamente la infraestructura actual no permite el almacenamiento de producto de contingencia, la capacidad de producción diaria puede ser mayor a los 30000 litros y previendo un incremento de la demanda la compañía dispone incrementar su capacidad y por ello ha decidido elaborar un estudio para el diseño de un tanque de almacenamiento para cubrir una futura demanda. (ESPOL, 2008)

En nuestro país se tiene la gasolina Premium que tiene 95 de octanaje, sin embargo, su producción es limitada en cantidad y en frecuencia, lo que hace que su permanencia en el mercado no sea continua. Del mismo modo, no es comercializada en todas las gasolineras a nivel nacional, la ofrecen solamente algunas estaciones. Es por esta razón, que consideramos acertado el proyecto, ya que con este nuevo producto las gasolineras tienen la posibilidad de atender un sector del mercado que estaba desatendido, ya que existen vehículos que ya requieren de gasolina de mayor octanaje y que no estaban siendo abastecidos a cabalidad en Bolivia.

Actualmente la comercialización de gasolina super etanol 92, se realiza en las ciudades de Santa Cruz con 49 surtidores, Cochabamba con 20 surtidores, La Paz con 8 Surtidores y Tarija con 4 surtidores autorizados para la venta de este combustible en dichas ciudades (Hidrocarburos, 2022)

El biocombustible (super etanol 92) es comercializado 4,5 Bs/litro, precio que fue definido mediante Resolución Administrativa RAR-ANH-DJ No 0357/2018 emitida por la Agencia Nacional de Hidrocarburos en fecha 29 de octubre de 2018, que define los márgenes

tanto Mayorista y Minorista, además del Precio del Etanol y de manera consecutiva el precio de venta Final. (Corporación, 2018)

El Decreto Supremo No. 3672 determina que los combustibles a ser comercializados en el país con contenido de etanol anhidro tendrán una proporción volumétrica de hasta 12% de dicho aditivo de origen vegetal. Desde noviembre de 2018, se inició la comercialización de la Gasolina Súper Etanol 92 con la dosificación correspondiente y que, a la fecha, se mantiene vigente.

La gasolina Super Etanol 92 se convirtió en un combustible más amigable con el medio ambiente. YPFB Refinación es el ente encargado de realizar la dosificación y mezcla de este combustible el cual se lo produce en sus dos sedes centrales como son la refinería Gualberto Villarroel de Cochabamba y la refinería Guillermo Elder Bell de Santa Cruz.

En el año 2024 se hace una investigación para que la composición sea 25% etanol anhidro y 75% gasolina base, la investigación titulada: “Estudio y análisis de la influencia del uso de etanol en biocombustibles” fue elaborado por el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y estableció que no causa daño en la vida útil del motor y que mejora el rendimiento de los vehículos. (YPFB, 2024)

La investigación dirigida por el ingeniero mecánico Jaime Sánchez Guzmán llegó a probar mezclas hasta 25% de etanol anhidro en motorizados que no presentaron ningún problema en su rendimiento. (YPFB, 2024)

### **1.1.1 Planteamiento Del Problema**

El proyecto descrito aborda un desafío importante en la industria energética la adecuada gestión del etanol anhidro. La falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento de este biocombustible es una preocupación que se está abordando mediante la implementación de un sistema de recepción y almacenamiento que garantiza la calidad del etanol.

YPFB Refinación, la empresa estatal boliviana encargada de la refinación de hidrocarburos, ha estado en el centro de debates sobre la calidad del octanaje de sus combustibles. Según la información disponible, YPFB Refinación ha realizado inversiones y proyectos para mejorar sus procesos de refinación y asegurar que sus productos cumplan con las regulaciones nacionales e internacionales. Además, se ha mencionado que la producción de combustibles en las plantas de almacenaje de YPFB cumple con la normativa nacional e internacional, siendo fiscalizada por entidades

reguladoras. Estas acciones son fundamentales para adaptarse a las necesidades de los vehículos modernos, que requieren combustibles con especificaciones de octanaje más altas para un rendimiento óptimo. La evolución tecnológica de los automóviles implica una demanda constante de mejoras en la calidad de los combustibles, lo que representa un desafío continuo para las refinerías en su esfuerzo por mantenerse al día con los estándares internacionales y las expectativas del mercado.

La Refinería Guillermo Elder Bell, con una capacidad de procesamiento de 24.000 barriles de petróleo crudo por día, ha sido un pilar en la producción de combustibles estratégicos en Bolivia desde su inauguración en 1979. Ante el crecimiento del parque automotor en Santa Cruz y la posibilidad de aumentar la mezcla de etanol anhidro al 25% en la gasolina, lo cual podría requerir una mayor capacidad de almacenaje si los estudios en curso y las pruebas realizadas por la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) demuestran ser viables y son aprobados, la expansión de la capacidad de almacenamiento será un aspecto crucial para acomodar el aumento en la producción y suministro de etanol, lo que subraya la importancia de una infraestructura adecuada para respaldar la transición energética del país.. Además, el compromiso del gobierno de adquirir 200 millones de litros de etanol anhidro para impulsar el uso de biocombustibles refleja un esfuerzo por diversificar la matriz energética del país y promover prácticas más sostenibles. Esta transición hacia el etanol anhidro no solo busca reducir la dependencia de fuentes no renovables, sino también mejorar el rendimiento de los vehículos y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, según los estudios realizados. Las pruebas de calidad son esenciales para asegurar que la concentración de etanol y la ausencia de impurezas cumplan con los estándares requeridos.

### **1.1.2 Formulación Del Problema**

¿De qué manera se podrá mejorar la disponibilidad inmediata de etanol anhidro en la refinería Guillermo Elder Bell de la ciudad de Santa Cruz?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Analizar técnicamente la implementación de un tanque de almacenamiento de etanol anhidro, que permita ampliar la capacidad de procesamiento de gasolina super etanol 92 en la refinería Guillermo Elder Bell ciudad de Santa Cruz.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Diagnosticar las condiciones actuales de la refinería Guillermo Elder Bell- Santa Cruz.
- ✓ Analizar las normas que regulan el diseño, construcción y ensamblaje de tanques de almacenamiento.
- ✓ Realizar los cálculos que determinen la dimensión del tanque y satisfaga las necesidades estimadas.
- ✓ Realizar una estimación económica de la propuesta del tanque en la refinería Guillermo Elder Bell.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 Justificación Técnica**

La implementación de un tanque de almacenamiento de etanol anhidro para la refinería de Santa Cruz debe cumplir con una serie de condiciones técnicas esenciales para garantizar su funcionalidad y seguridad. Estas condiciones incluyen la selección de materiales resistentes a la corrosión, el cálculo de la capacidad adecuada para satisfacer la demanda, la implementación de sistemas de detección y contención de fugas, y el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad vigentes. Con estos aspectos técnicos bien definidos y aplicados, el proyecto no solo contribuirá al eficiente almacenamiento del etanol anhidro, sino que también fortalecerá el conocimiento en el manejo de estas estructuras, lo cual es vital para la industria y la región.

### **1.3.2 Justificación Social**

La implementación de proyectos que mejoran la cadena de suministro de combustibles es crucial para la eficiencia energética y el desarrollo económico. Al incrementar la producción de gasolina con aditivos, se beneficia a toda la cadena de valor, desde la reducción en los tiempos de entrega hasta la mejora en la disponibilidad para el consumidor final. Además, la creación de empleo en áreas como el transporte y procesamiento del etanol anhidro es un motor de crecimiento para la economía local, impulsando tanto el empleo directo como el desarrollo de sectores industriales conexos.

### **1.3.3 Justificación Económica**

La implementación y construcción de tanques de almacenamiento en Bolivia representa un paso significativo hacia la autosuficiencia energética y el desarrollo económico. Estas operaciones no solo son cruciales para la economía, sino que también plantean desafíos

técnicos y ambientales, destacando la importancia de adoptar tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles. Al introducir un combustible especial de mayor valor de mercado que la gasolina regular, se abre una ventana de oportunidad para mejorar la rentabilidad de los productores locales y fortalecer la independencia energética del país. La disminución de las importaciones de gasolina puede influir positivamente en la balanza comercial y, por consiguiente, en la economía nacional. Además, la oferta de un combustible de alta calidad puede fomentar la innovación y el uso de tecnologías más limpias y eficientes, reflejando un enfoque estratégico que beneficia tanto a nivel local como nacional.

#### **1.4 METODOLOGÍA**

El siguiente trabajo se desarrollará mediante un paradigma positivista en el análisis de un tanque de almacenamiento de etanol anhidro ya que representa un desafío técnico significativo, pero también una oportunidad emocionante para aplicar un enfoque positivista en la ingeniería. Porque la implementación en la refinería Guillermo Elder Bell no solo mejorará la capacidad de almacenamiento, sino que también garantizará la seguridad y eficiencia operativa. Mediante la encuesta y revisión documental que son pasos esenciales para establecer la ingeniería básica y asegurar que todas las variables, desde las condiciones ambientales de Santa Cruz, se consideren cuidadosamente junto a los estándares de seguridad industrial aplicables. Además, el análisis cuantitativo proporcionará una base sólida para el diseño, permitiendo una representación precisa de los datos necesarios para un almacenamiento seguro y efectivo. Este proyecto no solo es crucial para la refinería, sino que también establece un precedente para futuras iniciativas de infraestructura industrial en la región. De la misma manera será descriptiva y no experimental ya que permitirá una evaluación detallada de cada variable, porque asegura la ingeniería básica del tanque de almacenamiento sea sólida y confiable.

##### **1.4.1 Técnicas**

###### **1.4.1.1 Técnica de la encuesta**

Me permitió la obtención de la información de forma significativa, sobre el parque automotor y el crecimiento poblacional de la ciudad de Santa Cruz con el uso de la gasolina Super Etanol 92 para nuevos motorizados.

También se realizó entrevistas estructuradas a los trabajadores de la refinería Guillermo Elder Bell sobre la implementación de un tanque de almacenamiento, si generaría un

mayor abastecimiento a la ciudad de Santa Cruz y las posibilidades de aumentar la mezcla de etanol a más del 12%.

#### **1.4.1.2 Técnica de revisión documental**

En la revisión documental se realizó a partir de la síntesis de la literatura especializada para este tema, básicamente se usaron fuentes secundarias, Normas API, tal como: libros tesis y artículos científicos.

#### **1.4.2 Instrumentos**

##### **1.4.2.1 Cuestionario**

Se realizó un formulario de cuestionario con una serie de preguntas relativas al crecimiento del parque automotor, el uso de gasolina Super Etanol 92, la implementación de un tanque de almacenamiento de etanol anhidro y si abastecería con el incremento de la producción de etanol del ingenio para su almacenamiento.

##### **1.4.2.2 hoja de análisis**

Este instrumento corresponde a la técnica de revisión documental y se emplea a lo largo del desarrollo del trabajo.

Para el estudio técnico, referido al proceso de almacenaje, se recopilan los datos de los parámetros de operación referidos al flujo volumétrico, a las normas API, a la capacidad del tanque, etc.

Para el estudio económico, se emplea para recopilar información contable referida al total de costos que se incurre en una refinería industrial de etanol anhidro.

## CAPÍTULO II: DESARROLLO

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 Etanol Anhidro

##### 2.1.1.1 Definición y descripción del etanol anhidro

El etanol anhidro (también conocido como alcohol anhidro o EA) es un compuesto químico obtenido a partir de la deshidratación limpia del alcohol rectificado. Su grado de pureza mínima es del 99,6%. Se obtiene mediante la eliminación del agua del alcohol rectificado. La mayoría de las plantas utilizan tamices moleculares para capturar las partículas de agua contenidas en el etanol después del proceso de destilación. Es un tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener bajo contenido de agua y ser compatible para mezclar con gasolinas en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características o sea es aquel etanol con un contenido del 100,0% en volumen. El etanol anhidro requiere tener por lo menos 99,5 grados Gay Lussac. El etanol se utiliza como combustible cuando se mezcla con gasolina en cierta proporción en volumen. Las distintas proporciones de etanol en la gasolina definirán al combustible, y le darán características de funcionamiento diferentes. El etanol anhidro se requiere debido a que existen datos que demuestran que el agua puede ocasionar la separación de la fase gasolina alcohol, que originaría problemas de fallas mecánicas de vehículos por gasificación en la bomba de gasolina. (CERPA, 2005)

##### 2.1.1.2 Importancia en diversas industrias

El etanol anhidro desempeña un papel crucial en varias industrias debido a su alta pureza y propiedades versátiles. A continuación, destacaré su importancia en algunos sectores:

#### I. **Industria Automotriz:**

- **Combustible:** El etanol anhidro, al mezclarse con gasolina, crea lo que se conoce como combustibles oxigenados. Estos combustibles son una parte importante de los esfuerzos para reducir la contaminación del aire porque contienen oxígeno, lo que permite una combustión más completa del combustible y, por ende, reduce las emisiones de gases nocivos como los monóxidos de carbono y los hidrocarburos no quemados. Además, el uso de etanol en los combustibles puede mejorar la eficiencia del motor y aumentar el octanaje, lo que resulta en un mejor rendimiento del vehículo. Sin embargo, es importante

considerar que la producción y el uso de etanol también tienen impactos ambientales y económicos que deben ser evaluados cuidadosamente. (etanol, 2024)

- **Biocombustibles:** El etanol anhidro es un biocombustible que se obtiene principalmente de la fermentación de azúcares provenientes de cultivos como la caña de azúcar o el maíz. Este compuesto orgánico se mezcla con gasolina para crear E85, un combustible alternativo utilizado en vehículos flex-fuel, que pueden operar tanto con gasolina convencional como con mezclas de etanol. La utilización de etanol anhidro no solo ayuda a disminuir la emisión de gases contaminantes, sino que también promueve una mayor diversificación energética y estimula la economía agrícola. Además, al ser una fuente de energía renovable, el etanol anhidro reduce significativamente la dependencia de los combustibles fósiles, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático y apoyando los esfuerzos hacia una mayor sostenibilidad ambiental. (etanol, 2024)

## II. Industria Farmacéutica:

- **Excipiente:** El etanol anhidro es un componente vital en la industria farmacéutica, utilizado comúnmente como excipiente debido a su capacidad para disolver y estabilizar los ingredientes activos en la formulación de medicamentos. Actúa como un solvente eficaz que facilita la mezcla de componentes que de otro modo no se combinarían fácilmente, mejorando así la biodisponibilidad de los medicamentos y permitiendo que el cuerpo los absorba de manera más eficiente. Además, el etanol anhidro contribuye a la conservación de los productos farmacéuticos, ayudando a mantener su eficacia y seguridad durante el almacenamiento y uso prolongado. Su uso como excipiente está bien establecido y es crucial para la creación de medicamentos confiables y efectivos. (etanol, 2024)
- **Desinfectante:** El etanol anhidro es reconocido por sus propiedades desinfectantes, lo que lo hace un componente crucial en la formulación de soluciones antisépticas y desinfectantes. Su eficacia se debe a su capacidad para inactivar una amplia gama de microorganismos, incluyendo bacterias y virus, lo que lo convierte en una herramienta valiosa en la prevención de enfermedades infecciosas. Además, el etanol es un alcohol que se evapora rápidamente sin dejar residuos, lo que facilita su uso en entornos médicos y de limpieza. Las

soluciones que contienen etanol anhidro son especialmente útiles en situaciones donde el acceso al agua es limitado o se requiere una acción rápida y efectiva. Por ejemplo, durante la pandemia de COVID-19, el uso racional y efectivo del etanol como desinfectante ha sido fundamental para controlar la propagación del virus. (etanol, 2024)

### III. **Industria Alimentaria:**

- **Bebidas Alcohólicas:** El etanol anhidro es un componente esencial en la producción de bebidas alcohólicas, actuando como el principal agente alcohólico en vinos, cervezas y licores. Este compuesto químico, conocido también como alcohol etílico, es un líquido incoloro, volátil y altamente inflamable, con una fórmula química de  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ . Es miscible con agua en cualquier proporción, lo que facilita su uso en diversas concentraciones según el tipo de bebida. Por ejemplo, el vino suele contener alrededor de un 13% de alcohol, mientras que la cerveza tiene cerca de un 5% de etanol. En el caso de los licores, la concentración puede elevarse hasta un 50%. El proceso de obtención del etanol anhidro implica la fermentación anaeróbica de azúcares por levaduras, seguido de una destilación que elimina el agua residual, resultando en un alcohol de alta pureza. Además de su uso en bebidas, el etanol anhidro también se emplea como aditivo para combustibles y en la industria farmacéutica y de perfumería.. (etanol, 2024)
- **Extractos y Aromas:** El etanol es ampliamente reconocido por su eficacia como disolvente en la extracción de sabores y aromas naturales. Su capacidad para disolver compuestos orgánicos lo hace ideal para obtener esencias y extractos de plantas. En la industria alimentaria, por ejemplo, se utiliza para capturar los sabores intensos y los aromas delicados de frutas y especias. Además, en la producción de perfumes y esencias, el etanol ayuda a extraer los aceites esenciales que forman la base de muchos productos fragantes. Esta versatilidad también se extiende al ámbito medicinal, donde el etanol se emplea para extraer principios activos de plantas que serán utilizados en la formulación de medicamentos. Su uso es tan extendido que se considera un solvente estándar en muchas técnicas de extracción debido a su eficiencia y relativa seguridad en comparación con otros disolventes más volátiles o tóxicos. (etanol, 2024)

#### IV. **Industria Química y Cosmética:**

- **Solvente:** El etanol anhidro es un compuesto químico de gran pureza que se utiliza ampliamente en la industria debido a su capacidad para actuar como disolvente. Su principal característica es que carece de agua, lo que lo hace ideal para la fabricación de productos químicos, tintas y cosméticos, donde la presencia de humedad puede afectar la calidad del producto final. Además, el etanol anhidro se emplea en la síntesis de medicamentos y soluciones inyectables, así como en la producción de perfumes y lociones, donde su volatilidad y pureza son altamente valoradas. Este alcohol se obtiene mediante un proceso de deshidratación que elimina el agua del alcohol rectificado, resultando en un etanol con un grado de pureza mínimo de 99,6%. (etanol, 2024)
- **Perfumería:** El etanol anhidro es un ingrediente crucial en la industria de la perfumería, donde actúa como solvente para diluir y mezclar esencias y fragancias. Este compuesto químico, conocido por su alta pureza y la ausencia de agua, permite que los perfumes mantengan su potencia aromática y estabilidad a lo largo del tiempo. Además, el etanol anhidro se utiliza en la fabricación de colonias y perfumes debido a su capacidad para disolver ingredientes oleosos y volátiles, facilitando la liberación de las notas olfativas al aplicar el producto sobre la piel. Su uso no se limita solo a la perfumería, sino que también es un componente esencial en la industria farmacéutica y en la producción de disolventes. La elección del tipo de alcohol, como el etanol anhidro, es una decisión importante para los maestros perfumistas, ya que influye directamente en la calidad y características de la fragancia final. (etanol, 2024)

#### V. **Energías Renovables:**

- **Biocombustibles Avanzados:** El etanol anhidro representa una alternativa prometedora en la búsqueda de fuentes de energía renovables y sostenibles. Este biocombustible, obtenido principalmente de la fermentación de cultivos como el maíz y la caña de azúcar, puede mezclarse con gasolina para mejorar la calidad del aire al reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero. Además, su producción fomenta el desarrollo económico y la creación de empleo en áreas rurales, contribuyendo así a la independencia energética de los países. Sin embargo, es importante considerar los impactos ambientales asociados a su producción, como el uso intensivo de agua y energía,

y los posibles conflictos con la producción de alimentos. A pesar de estos desafíos, el etanol anhidro sigue siendo una opción valiosa para avanzar hacia un futuro energético más limpio y renovable. (etanol, 2024)

### 2.1.1.3 Propiedades físicas y químicas del etanol anhidro

El etanol anhidro (también conocido como alcohol anhidro o EA) es un compuesto químico con propiedades interesantes. A continuación, te presento algunas de sus características físicas y químicas:

- **Punto de Ebullición:** El etanol anhidro tiene un punto de ebullición de 78,2 °C (172,8 °F). Esto significa que se evapora a esta temperatura cuando se calienta.
- **Densidad:** La densidad del etanol anhidro en estado líquido es de aproximadamente 785,3 kg/m<sup>3</sup>. Es más denso que el agua.
- **Gas:** En estado gaseoso, su densidad es de alrededor de 0,145 kg/m<sup>3</sup>.
- **Solubilidad en Agua:** El etanol anhidro es completamente miscible con agua. Esto significa que se mezcla fácilmente con agua en cualquier proporción.
- **Toxicidad:** El etanol anhidro es tóxico y afecta el sistema nervioso central. Por lo tanto, su consumo debe ser controlado y regulado.
- **Flamabilidad:** Tanto en estado líquido como gaseoso, el etanol anhidro es inflamable. Su punto de inflamación es de 13 °C (55 °F).
- **Calor de Evaporación:** El calor necesario para evaporar el etanol anhidro es de aproximadamente 919 kJ/kg. Esto es importante en procesos de destilación y evaporación.
- **Autoignición:** La temperatura de autoignición del etanol anhidro es de 363 °C (685 °F). Es la temperatura a la cual se encenderá espontáneamente en presencia de oxígeno.
- **Entalpía de Combustión:** La entalpía de combustión (calor liberado durante la combustión) del etanol anhidro es de aproximadamente 29.017 kJ/kg.
- **Entalpía de Formación:** La entalpía de formación (energía liberada durante la formación del compuesto) es de alrededor de -5.079 kJ/kg. (toolbox, 2024)

En la Tabla N° 2, presentada a continuación se muestra las propiedades y características más importantes del etanol anhidro, tomando como referencia la gasolina regular.

**Tabla 2***Propiedades Químicas del Etanol Anhidro*

<b>PROPIEDADES</b>	<b>GASOLINA</b>	<b>ETANOL</b>
Formula química	$C_8H_{16}$	$C_2H_5(OH)$
Masa molecular	114	46
Composición gravimétrica C/H/O	0,855/0,145/0	0,52/0,13/0,35
Relación estequiométrica(kg/kg)	14,7	9,0
Densidad (20°C),(kg/L)	0,71 – 0,76	0,79
Poder calorífico inferior(Mj/kg)	42,5 – 44,0	26,8
Poder calorífico inferior(Mj/L)	30,75	21,17
Temperatura de ebullición (°C)	25 -215	78,3
Calor latente de vaporización (Kj/kg)	315	904
Presión de vapor Reid (PVR)	≤69	17
N° de Octano (RON)	84 - 98	107
Temperatura de autoencendido (°C)	300 – 400	420
Límites de inflamabilidad (% en volumen)	0,6 – 8	3,5 - 15

Fuente: Propiedades Químicas del etanol Anhidro,2018

**2.1.1.4 Mezclas De Etanol Anhidro Con Gasolinas**

La mezcla de gasolina más alcohol puede ser realizada con alcohol etílico (etanol) o con alcohol metílico (metanol), aunque el etanol es el tipo de alcohol que ha sido más utilizado comercialmente. En el presente trabajo se realizó aplicando alcohol anhidro (etanol). (QUIMICA, 2015)

La proporción de mezcla entre ambos combustibles se suele indicar con el porcentaje de etanol precedido por una E mayúscula. De esta manera, el E10 se compone de un 10 % de etanol y un 90 % de gasolina, y el E85 se obtiene mezclando el 85 % de etanol y el 15 % de gasolina. En 2011 más de veinte países alrededor del mundo utilizan el combustible E10 o mezclas de menor contenido de etanol. En 2010, casi el 10% de la gasolina vendida en Estados Unidos fue mezclada con etanol. Los vehículos de combustible flexible en Estados Unidos y Europa utilizan E85, mientras que los carros en Brasil usan E100 o etanol puro. (QUIMICA, 2015)

El E10 es una mezcla del 10 % de etanol y el 90 % de gasolina que puede usarse en los motores de la mayoría de automóviles modernos sin producir daños en ellos, si bien no se conoce el efecto exacto sobre los motores más antiguos. Son parecidas las mezclas E5 y E7, con el 5 y el 7 % de etanol, respectivamente. (QUIMICA, 2015)

El E15 es una mezcla de 15 % de etanol y de 85 % de gasolina. Ésta es la mayor proporción de alcohol generalmente recomendada por los fabricantes de automóviles en los Estados Unidos, aunque el valor indicado en el manual de los vehículos es 10%. (QUIMICA, 2015)

El E20 contiene el 20 % de etanol y el 80 % de gasolina y el E25 contiene 25 % de etanol. Estas mezclas han sido ampliamente usadas en el Brasil desde la década de 1970. (QUIMICA, 2015)

El E70 es una mezcla de un 70% de etanol y un 30% de gasolina, y el E75 contiene el 75 % de etanol. Esta mezcla es conocida en Estados Unidos y Europa como E85 de invierno, debido a que la mezcla es utilizada en sustitución del combustible E85 de los vehículos de combustible flexible con la finalidad de evitar problemas con el arranque del motor en frío cuando prevalecen bajas temperaturas, sin embargo, el E70 o E75 es vendido al consumidor como si fuera E85. Esta reducción estacional del contenido de etanol es utilizada en las regiones donde las temperaturas de invierno normalmente llegan a ser inferiores a 0 °C. (QUIMICA, 2015)

El E85 es una mezcla de 85 % de etanol y de 15 % de gasolina. Esta mezcla tiene un octanaje cercano a 105, significativamente inferior al del etanol puro, pero aún mucho más alto que la gasolina normal. La adición de una pequeña cantidad de gasolina ayuda a arrancar al motor convencional usando este combustible bajo condiciones de bajas

temperaturas. El E85 no siempre contiene exactamente el 85 % de etanol. En el invierno, especialmente en los climas más fríos, se añade más gasolina con el mismo fin de facilitar el arranque. (QUIMICA, 2015)

El E95 contiene el 95 % de etanol y ha sido utilizado en autobuses con motores diésel modificados que requieren el 5 % de aditivo para mejorar la ignición, ya que emplean alta compresión para encender la mezcla, en contraste al funcionamiento de los motores de gasolina en los que se usan bujías. (QUIMICA, 2015)

El E100 es etanol puro, y es utilizado principalmente en el Brasil. El alcohol o etanol usado como combustible en ese país es el azeótropo y contiene menos del 5 % de agua. Sin embargo, dado que la nomenclatura E no está adoptada en el país, puede denominarse el etanol hidratado como E100 para indicar que no contiene gasolina. (QUIMICA, 2015)

## **2.1.2 Uso Y Aplicaciones Del Etanol Anhidro**

### **2.1.2.1 En la industria de los biocombustibles**

El etanol anhidro es un componente esencial en la industria de los biocombustibles, y su versatilidad se refleja en varios usos y aplicaciones. A continuación, exploraremos cómo se emplea este tipo de etanol en el contexto de los biocombustibles:

Biocombustibles como Alternativa Ecológica:

El etanol anhidro se produce a partir de fuentes renovables, como la caña de azúcar o el maíz. Es una alternativa más sostenible y ecológica en comparación con los combustibles fósiles. Se utiliza como combustible en vehículos, especialmente en mezclas con gasolina. El bioetanol (etanol anhidro) puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles derivados del petróleo. (maldonado, 2021)

#### **➤ Mezcla con Gasolina:**

El etanol anhidro, al mezclarse con gasolina para formar gasohol, se convierte en un biocombustible que puede ayudar a reducir significativamente la contaminación del aire. Esta mezcla, que puede variar en proporción dependiendo de las regulaciones y estándares de cada país, permite que los automóviles emitan menos gases nocivos como los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. Además, el uso de etanol, que se produce a partir de cultivos como el maíz o la caña de azúcar, promueve una

economía más sostenible al depender menos de los combustibles fósiles. Sin embargo, es importante considerar el balance energético total y los posibles efectos en el uso de la tierra y los precios de los alimentos al evaluar el impacto ambiental y social del gasohol. (maldonado, 2021)

➤ **Reducción de Contaminación Ambiental:**

La producción de etanol anhidro a partir de la caña de azúcar es un proceso que involucra varios pasos, incluyendo la recolección de la caña, la molienda para extraer el jugo, y la fermentación donde los azúcares se transforman en etanol mediante levaduras. Este biocombustible es una alternativa más limpia a los combustibles fósiles, ya que su uso puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el etanol anhidro puede mezclarse con gasolina para mejorar la calidad del combustible y reducir la contaminación. Países como Brasil han liderado la producción de etanol a partir de caña de azúcar, aprovechando su abundancia de recursos naturales y su experiencia en la industria de la caña. El uso de etanol como fuente de energía no solo ayuda a mitigar el cambio climático, sino que también puede ofrecer beneficios económicos al reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados. (maldonado, 2021)

➤ **Perspectiva Sustentable:**

El etanol anhidro es reconocido por su contribución al desarrollo sostenible, especialmente en el contexto de la preservación ambiental y la reducción de la dependencia de energías no renovables. Este biocombustible se produce a partir de la fermentación de cultivos de biomasa y puede mezclarse con gasolina para mejorar la calidad del combustible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el uso del etanol anhidro fomenta la economía agrícola y puede generar empleo en áreas rurales, impulsando así el crecimiento económico sostenible. Su implementación como alternativa ecológica a los combustibles fósiles refleja un paso significativo hacia un futuro más limpio y menos dependiente de recursos limitados. (maldonado, 2021)

### **2.1.2.2 En la industria alimentaria**

El etanol anhidro tiene aplicaciones significativas en la industria alimentaria. A continuación, exploraremos algunos de sus usos más relevantes:

➤ **Disolvente y Agente de Extracción:**

El etanol anhidro se utiliza como disolvente en la industria alimentaria. Es empleado para extraer compuestos aromáticos, colorantes y sabores de diversas materias primas. En la producción de extractos y saborizantes, el etanol anhidro desempeña un papel fundamental. Por ejemplo, es un ingrediente común en el extracto de vainilla, que se utiliza en postres, pasteles y otros productos de repostería. (Chile, 2023)

➤ **Producción de Bioetanol:**

El etanol anhidro también se utiliza en la producción de bioetanol a partir de biomasa. Fuentes como el maíz, la caña de azúcar y la remolacha azucarera se emplean para obtener bioetanol. Este bioetanol, al ser una alternativa más sostenible, contribuye a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones contaminantes. (Chile, 2023)

### **2.1.2.3 En la industria farmacéutica**

El etanol anhidro desempeña un papel fundamental en la industria farmacéutica, y su versatilidad se refleja en varios usos y aplicaciones. A continuación, exploraremos cómo se emplea este tipo de etanol en el contexto farmacéutico:

➤ **Disolvente y Agente de Extracción:**

El etanol anhidro se utiliza como disolvente en la industria farmacéutica. Es empleado para extraer compuestos aromáticos, colorantes y sabores de diversas materias primas. En la producción de extractos y saborizantes, el etanol anhidro desempeña un papel fundamental. Por ejemplo, es un ingrediente común en el extracto de vainilla, que se utiliza en postres, pasteles y otros productos de repostería. (Nedstar, 2022)

➤ **Producción de Medicamentos y Desinfectantes:**

El etanol anhidro es un componente importante en muchos productos farmacéuticos. Sirve como disolvente, conservante y estabilizador en la formulación de pomadas médicas, soluciones de primeros auxilios y otros medicamentos tópicos. Además, actúa como un disolvente para muchos ingredientes farmacéuticos, facilitando la mezcla de compuestos y garantizando su biodisponibilidad. (Nedstar, 2022)

➤ **Cumplimiento de Estándares de Calidad:**

Es crucial destacar que el uso de etanol en la industria farmacéutica debe cumplir con estrictas regulaciones y estándares de calidad. Se requiere un proceso de fabricación riguroso que garantice la pureza y seguridad del etanol utilizado en la elaboración de

medicamentos y productos sanitarios. En resumen, el etanol anhidro es un recurso valioso en la industria farmacéutica, ya que actúa como disolvente, agente de extracción y componente clave en la producción de sabores, extractos y medicamentos. (Nedstar, 2022)

### **2.1.3 Diseño De Tanques De Almacenamiento**

#### **2.1.3.1 Materiales utilizados en la construcción de tanques de almacenamiento**

Los tanques de almacenamiento son fundamentales en la producción industrial, ya que permiten el acopio de distintas materias primas y productos. Estos tanques se utilizan en diversas industrias, como la relacionada con los combustibles, el sector químico, la alimentación y las refinerías. A continuación, exploraremos los materiales comúnmente utilizados en la construcción de tanques de almacenamiento:

➤ **Acero al Carbono:**

Los tanques de almacenamiento de acero al carbono son muy comunes para conservar productos derivados del petróleo. Son resistentes y duraderos. Se emplean para almacenar aceites y otros elementos contaminantes producidos por sectores como la construcción y la metalurgia. (Acura, 2021)

➤ **Acero Inoxidable:**

El acero inoxidable es otro material utilizado en la construcción de tanques. Ofrece resistencia a la corrosión y es apto para almacenar líquidos y productos químicos. Los tanques de acero inoxidable son ideales para aplicaciones en las que se requiere alta higiene y durabilidad. (Acura, 2021)

➤ **Aluminio:**

El aluminio se utiliza en tanques de almacenamiento cuando se necesita un material más ligero. Aunque no es tan resistente como el acero, es adecuado para ciertas aplicaciones. Los tanques de aluminio son comunes en la industria alimentaria y en aplicaciones donde la movilidad es importante. (Acura, 2021)

➤ **Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio:**

Los tanques de plástico reforzados con fibra de vidrio son ligeros, resistentes y no se corroen. Son ideales para almacenar productos químicos y líquidos corrosivos. Su versatilidad y capacidad para resistir ambientes agresivos los hacen una elección popular en diversas industrias. En resumen, la elección del material para la construcción de un tanque de almacenamiento depende del tipo de líquido a almacenar y sus

propiedades. Cada material tiene sus ventajas y consideraciones específicas, y se selecciona según las necesidades de la aplicación. (Acura, 2021)

### **2.1.3.2 Factores a considerar el diseño de tanques de almacenamiento**

El diseño de tanques de almacenamiento es un proceso crítico que requiere considerar varios factores para garantizar la seguridad, eficiencia y durabilidad. A continuación, menciono algunos de los aspectos clave a tener en cuenta durante el diseño:

#### **➤ Capacidad y Volumen:**

Determinar la capacidad requerida del tanque es fundamental. Debe ser suficiente para almacenar la cantidad de líquido o material prevista.

El volumen del tanque también afecta su tamaño y forma. Se debe equilibrar la capacidad con las restricciones de espacio.

#### **➤ Tipo de Producto Almacenado:**

El tipo de líquido o material que se almacenará influye en el diseño. Por ejemplo, los productos químicos corrosivos requieren materiales resistentes a la corrosión.

Considerar la compatibilidad del material del tanque con el producto almacenado es crucial.

#### **➤ Material del Tanque:**

Seleccionar el material adecuado es esencial. Los tanques pueden estar hechos de acero al carbono, acero inoxidable, aluminio o plásticos reforzados con fibra de vidrio. (SagaFluid, 2023)

La elección del material debe basarse en la resistencia química, la durabilidad y la facilidad de mantenimiento.

#### **➤ Diseño Estructural:**

El diseño estructural debe considerar la carga máxima que el tanque soportará, incluyendo el peso del contenido y las condiciones ambientales (viento, nieve, etc.).

La forma del tanque también afecta su resistencia y estabilidad.

#### **➤ Ubicación y Fundación:**

La ubicación del tanque es crucial. Debe estar cerca de la fuente o destino del líquido. La fundación debe ser sólida y nivelada para soportar el peso del tanque y su contenido.

#### **➤ Acceso y Mantenimiento:**

Planificar accesos para inspección, limpieza y mantenimiento. Las escaleras, plataformas y pasarelas son importantes.

Considerar la seguridad del personal durante las operaciones de mantenimiento.

➤ **Normativas y Regulaciones:**

Cumplir con las normativas locales e internacionales es esencial. Esto incluye códigos de construcción, estándares de seguridad y requisitos medioambientales.

➤ **Sistemas de Control y Monitoreo:**

Integrar sistemas de control y monitoreo para detectar fugas, niveles de llenado y condiciones anormales.

Los sensores de nivel, alarmas y sistemas de prevención son parte de esto.

➤ **Aislamiento Térmico:**

Si el contenido es sensible a la temperatura, se debe considerar el aislamiento térmico para evitar cambios bruscos en la temperatura.

➤ **Costo y Viabilidad Económica:**

Evaluar el costo total del diseño, construcción y mantenimiento del tanque.

La viabilidad económica debe ser parte de la decisión final. En resumen, el diseño de tanques de almacenamiento debe ser un proceso integral que abarque desde la selección del material hasta la consideración de factores técnicos, normativos y económicos. (SagaFluid, 2023)

### **2.1.3.3 Cumplimiento con estándares y códigos de construcción**

El cumplimiento con los códigos de construcción es esencial para garantizar que los edificios se construyan de manera segura y funcional. Estos códigos son regulaciones establecidas por los gobiernos estatales o locales para asegurar que las estructuras cumplan con estándares mínimos de salud y seguridad. A continuación, describo algunos aspectos clave relacionados con el cumplimiento de códigos de construcción:

➤ **Diseño Cumplimiento del Código de Construcción:**

El proceso de diseño cumplimiento del código de construcción implica crear un edificio que cumpla con los requisitos específicos establecidos en los códigos locales y nacionales. Los códigos abarcan diversos aspectos, como la integridad estructural, la seguridad contra incendios, la accesibilidad y la eficiencia energética.

## **I. Fases del Diseño Cumplimiento del Código:**

- **Planificación:** Durante esta etapa, se determina el uso previsto del edificio y se revisan los códigos para asegurar el cumplimiento.
- **Diseño Esquemático:** Se crea un diseño aproximado, identificando posibles problemas de cumplimiento y realizando ajustes según sea necesario.
- **Desarrollo del Diseño:** Se elaboran planos detallados, especificando materiales y acabados para cumplir con los códigos y regulaciones. (ricardo, 2020)

## **II. Material del Tanque:**

Los materiales utilizados en la construcción de tanques deben cumplir con los códigos aplicables. Por ejemplo:

- **Acero al Carbono:** Común para tanques de productos derivados del petróleo.
- **Acero Inoxidable:** Resistente a la corrosión, ideal para almacenar líquidos y productos químicos.
- **Aluminio:** Más ligero, adecuado para ciertas aplicaciones.
- **Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio:** Ligeros y resistentes, ideales para productos corrosivos. (ricardo, 2020)

## **III. Seguridad y Longevidad:**

El diseño que cumple con el código de construcción garantiza la seguridad de los ocupantes y la longevidad del edificio. La aprobación por las autoridades locales de construcción es necesaria antes de comenzar la construcción. En resumen, el cumplimiento con los códigos de construcción es fundamental para crear edificios seguros y funcionales, y el proceso de diseño debe considerar cuidadosamente estos requisitos. (ricardo, 2020)

### **2.1.4 Normativas Y Regulaciones**

#### **2.1.4.1 Normas de regulación**

El Decreto Supremo N° 24721 de Bolivia, emitido el 23 de julio de 1997, es un reglamento esencial para la construcción y operación de plantas de almacenaje de combustibles líquidos. Este decreto establece las condiciones legales, técnicas y de seguridad que deben cumplir las empresas interesadas en la construcción y operación de estas instalaciones. Además, regula la comercialización de hidrocarburos y sus derivados, permitiendo que cualquier persona individual o colectiva, nacional o extranjera, pueda realizar esta actividad, siempre y cuando cumpla con las disposiciones legales vigentes.

Es importante destacar que el decreto también incluye regulaciones específicas para el almacenamiento de etanol anhidro, un aditivo de origen vegetal que se mezcla con gasolinas base para su comercialización como combustible. La normativa boliviana, por tanto, juega un papel crucial en asegurar la seguridad y eficiencia en el manejo de combustibles líquidos, incluyendo el etanol anhidro, en el país. (ANH, 2018)

➤ **Competencia de Autoridades:**

La Superintendencia de Hidrocarburos es responsable de vigilar la prestación de servicios por las empresas reguladas del sector y velar por la calidad de los productos derivados del petróleo. La Secretaría Nacional de Energía elabora y aprueba los reglamentos correspondientes a las actividades del sector hidrocarburos.

➤ **Solicitud y Requisitos:**

Las empresas interesadas en la construcción y operación de plantas de almacenaje deben cumplir con los requisitos legales y técnicos establecidos en esta norma.

Se consideran aspectos como la construcción de tanques, la instalación según la norma NFPA N° 30, y la construcción de barreras y diques para el control de derrames.

➤ **Seguridad y Cumplimiento:**

La norma busca garantizar la seguridad en la manipulación y almacenamiento de combustibles líquidos, así como el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes.

En resumen, el Decreto Supremo N° 24721 es la norma que regula los tanques de almacenamiento en Bolivia, asegurando su correcta construcción, operación y seguridad. (ANH, 2018)

#### **2.1.4.2 Normas de construcción de tanques**

La norma API 650 establece los requisitos mínimos para el material, diseño, fabricación, montaje y pruebas para tanques de almacenamiento soldados verticales, cilíndricos, sobre el suelo, cerrados y abiertos en varios tamaños y capacidades para presiones internas que se aproximan a la presión atmosférica (presiones internas que no excedan el peso de las placas del techo), pero se permite una mayor presión interna cuando se cumplen requisitos adicionales. Esta norma se aplica solo a los tanques cuyo fondo completo está apoyado uniformemente y a los tanques en servicio no refrigerado que tienen una temperatura máxima de diseño de 93 °C (200 °F) o menos.

A continuación, se hace una breve descripción de la Norma API 650, indicando cada sección, cada apéndice y su utilidad.

- **Sección 1:** En esta sección se describen las generalidades, limitaciones y responsabilidades que se deben tomar al momento de diseñar o construir un tanque de almacenamiento, además de una breve descripción de las fórmulas usadas indicándose que éstas no son limitativas.
- **Sección 2:** Si se desea poner un tanque totalmente operativo además de usar la Norma API 650 se debe de utilizar otras normas relacionadas que tienen que ver directamente con el funcionamiento, ya sea para la interconexión de éste, de la protección catódica, entre otras. En esta sección el API nos da las normas a consultar para diseñar y construir el tanque.
- **Sección 3:** En esta sección hay un glosario de términos y definiciones que ayudarán a una mejor comprensión de la Norma API 650.
- **Sección 4:** En esta sección se describe las especificaciones de los materiales utilizados para la fabricación del tanque, aquí se especifican las normas para las planchas de acero al carbono, para las bridas, para las tuberías, tipos de soldaduras, etc.
- **Sección 5:** En esta sección se describe detalladamente las fórmulas, consideraciones, especificaciones, entre otros para un eficiente diseño del tanque para almacenamiento, además en esta sección se pueden encontrar tablas de datos con las medidas para tipos de boquillas, espesores de planchas, tipos de juntas, entre otros.
- **Sección 6:** En esta sección se indica cómo se debe proceder para construir eficientemente el tanque diseñado en la sección 5, aquí se indican los parámetros, los tipos de soldaduras, las inspecciones, entre otros para la fabricación de las piezas a utilizar.
- **Sección 7:** En esta sección se detalla las consideraciones para el izado, el montaje y el soldeo del tanque; en esta sección se describen los detalles de soldadura, inspecciones y reparaciones de darse el caso y tolerancias dimensionales en el caso de desviaciones locales y cualquier deformación que sea producto del calor originado por la soldadura.
- **Sección 8:** En esta sección se detalla los métodos de inspección de las juntas soldadas y las consideraciones a tener para cada una de las inspecciones

realizadas, además de indicar qué pruebas de inspección pueden sustituir a otras.

- **Sección 9:** Aquí se detalla los procedimientos de soldadura a utilizarse y las calificaciones de los soldadores que trabajarán en el proceso de montaje y soldeo del tanque.
- **Sección 10:** En esa sección se detallan todas las marcas que debe tener el tanque ya fabricado, como la placa identificatoria de éste, lo que se debe indicar en él, los rótulos. (INSTITUTE., 2013)

Las normas de construcción de tanques de almacenamiento en Bolivia están definidas por varios documentos y regulaciones. A continuación, se proporciona información relevante:

- **Guía Boliviana de Construcción de Edificaciones:**

Este documento, aprobado a través de la Resolución Ministerial N° 186 del 17 de julio de 2014 del MOPSV, establece preceptos técnicos para la construcción de edificaciones en Bolivia. Contiene disposiciones generales, condiciones básicas de construcción, roles de los participantes en el proceso de diseño y construcción, regulaciones sobre espacios públicos y otros bienes, autorizaciones, restricciones y requerimientos del proyecto arquitectónico. Este reglamento establece las condiciones técnicas y legales para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y abandono de plantas de almacenaje de hidrocarburos líquidos en Bolivia. Define el ámbito de aplicación y los servicios públicos relacionados con estas plantas. (ANH, 2018)

- **Requisitos Técnicos para Tanques de Almacenaje de Combustible:**

El Decreto Supremo N° 28511 de 16/12/2005 y la Resolución Administrativa ANH N° 1768/2014 de 04/07/2014 (Anexo II) establecen los requisitos técnicos específicos para la construcción y operación de tanques de almacenaje de combustible en Bolivia. Estos requisitos garantizan la seguridad y la adecuada gestión de estos tanques. (ANH, 2018)

## **2.2 MARCO CONTEXTUAL**

### **2.2.1 Descripción General De La Refinería**

La Refinería Guillermo Elder Bell es un pilar fundamental en la industria petrolera de Bolivia. Con una capacidad de procesamiento de 24,000 barriles de petróleo crudo diarios, esta refinería no solo satisface una parte significativa de la demanda interna de combustibles, sino que también contribuye a la economía nacional. Las unidades de

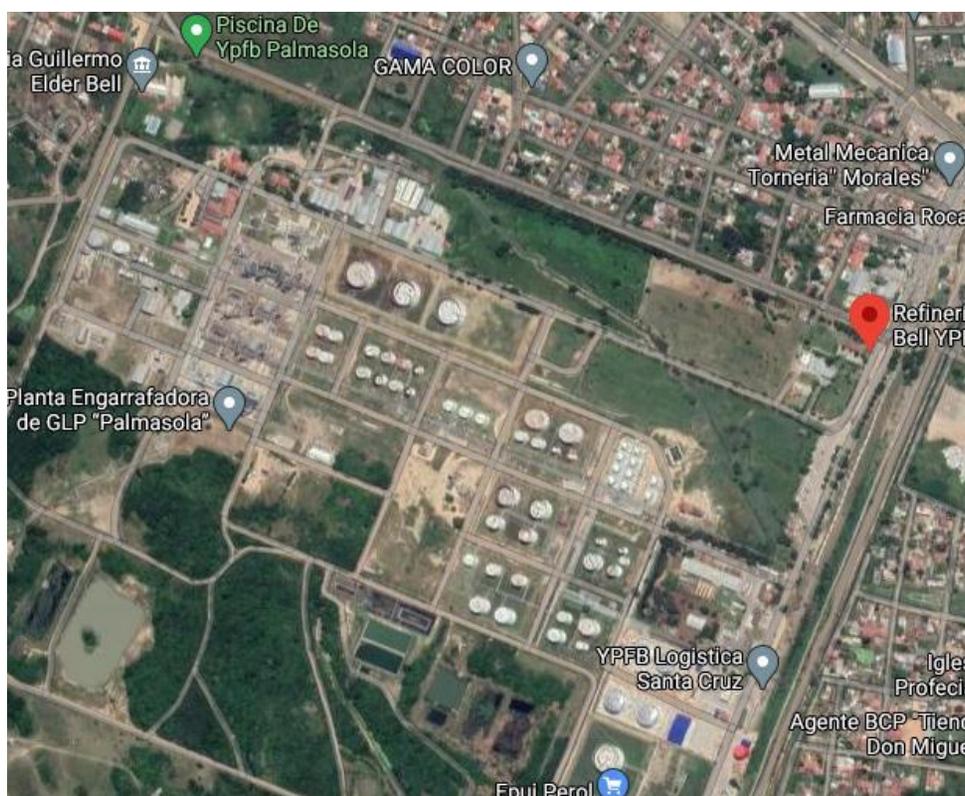
crudo del Área 301 y el Área 300, junto con las dos plantas de Reformación Catalítica y la Unidad de Isomerización, permiten la producción eficiente de gasolinas y diésel. Desde su apertura en 1979, la refinería ha jugado un rol crucial en el suministro de productos petrolíferos y en la autonomía energética del país. Su operación continua es testimonio de la importancia estratégica que tiene para Bolivia y su compromiso con el progreso y la autosuficiencia energética. (REFINACION, 2021)

### 2.2.2 Ubicación

La refinería de Guillermo Elder Bell se encuentra ubicado a doce kilómetros del centro de la ciudad de Santa Cruz, provincia Andrés Ibáñez sector zona sur, final avenida Santos Dumont.

#### Figura 1

*Vista general de la Refinería*



Fuente: Google Maps, Bolivia 2020

### 2.2.3 Integración Regional Y Nacional

La Refinería Guillermo Elder Bell, ubicada en Santa Cruz, desempeña un papel crucial en la integración regional y nacional de Bolivia. Esta refinería es un componente vital de

la infraestructura energética del país y contribuye significativamente al desarrollo económico y la autosuficiencia en la producción de combustibles. (REFINACION, 2021)

**Producción de Combustibles:** La refinería procesa crudo y produce una variedad de productos, incluyendo gasolina, diésel, gas licuado de petróleo (GLP) y otros derivados. Estos combustibles son esenciales para el funcionamiento de la economía y el transporte en Bolivia. (REFINACION, 2021)

- **Integración Regional:** Las refinerías son un componente crucial en la infraestructura energética de cualquier nación, y Bolivia no es la excepción. La conexión de una refinería con oleoductos y gasoductos a otras regiones facilita enormemente la distribución eficiente de combustibles, lo que es vital para mantener la economía en movimiento. Además, esta interconexión promueve la integración económica al permitir que diferentes regiones del país se beneficien de los recursos energéticos disponibles. En el caso de Bolivia, esto también fortalece la soberanía energética del país, permitiendo una mayor independencia y control sobre sus recursos naturales y su gestión. (REFINACION, 2021)
- **Impacto Socioeconómico:** La Refinería Guillermo Elder Bell genera empleos directos e indirectos, lo que beneficia a la comunidad local y a la economía en general. En resumen, la Refinería Guillermo Elder Bell es un activo fundamental para la soberanía energética de Bolivia y desempeña un papel crucial en la integración y desarrollo del país.

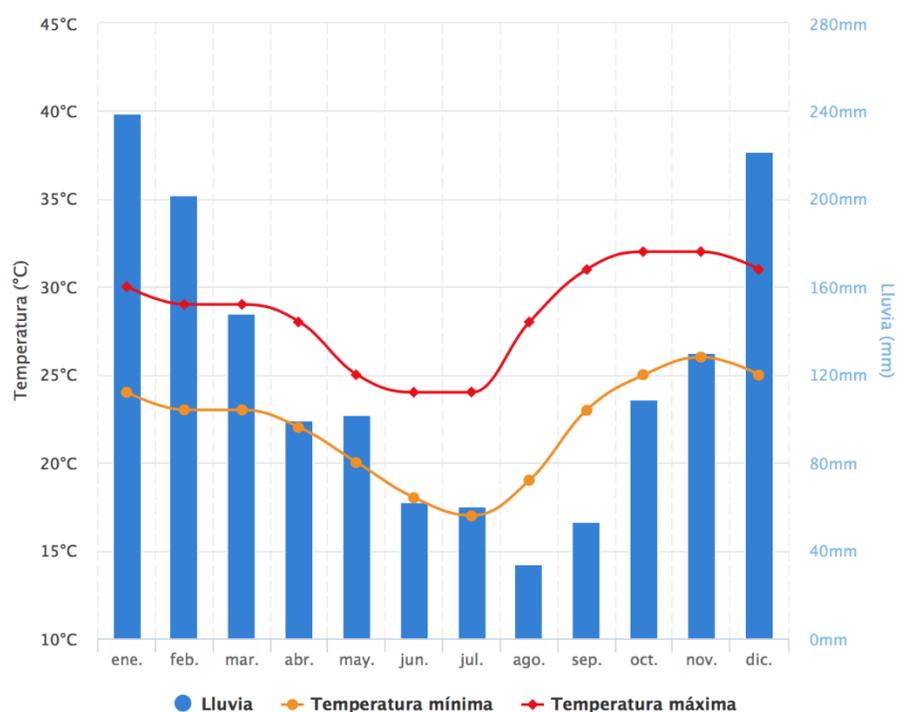
#### **2.2.4 Aspectos Climatológicos Y Atmosféricos**

El clima de Santa Cruz, con sus altas temperaturas y estación lluviosa pronunciada, presenta desafíos únicos para el almacenamiento de tanques. Las fluctuaciones de temperatura pueden afectar la integridad estructural de los tanques y la calidad del material almacenado. Por ejemplo, el calor extremo puede causar la expansión de los líquidos, lo que requiere tanques con capacidad para acomodar cambios de volumen. Además, la humedad y las lluvias intensas aumentan el riesgo de corrosión, lo que hace esencial el uso de materiales resistentes a la corrosión y sistemas de drenaje eficientes. La ventilación adecuada es también crucial para contrarrestar la presión interna y prevenir la acumulación de gases peligrosos. Por lo tanto, el diseño de tanques en esta región debe incorporar materiales de alta calidad, tecnología de control de temperatura

y medidas de seguridad robustas para asegurar un almacenamiento seguro y eficiente en un clima tan variable. El clima en Santa Cruz es cálido y tropical. Durante el año, las temperaturas varían significativamente. Los veranos son calurosos, con máximas que pueden superar los 39°C. Además, en las últimas cuatro décadas, la temperatura promedio en Santa Cruz ha aumentado en 1.1°C, lo que indica un ritmo más acelerado de cambio climático. (Chile, 2023)

**Figura 2**

*Climograma Santa Cruz*



Fuente: climate-data.org, 2023

### 2.2.5 Infraestructura Y Servicio

Cuenta con una superficie de 370 km<sup>2</sup>, La infraestructura es compleja y bien equipada. Con dos unidades de destilación atmosférica, la planta tiene la capacidad de procesar un total de 25,000 barriles por día (BPD), lo que permite una separación eficiente de los hidrocarburos en diferentes fracciones. La isopentanizadora, aunque más pequeña con 800 BPD, es crucial para la producción de isopentano, un componente valioso para la formulación de gasolinas de alta calidad.

La unidad de fraccionamiento y la de recuperación de gases amplían la capacidad de procesamiento de la planta, con 8,600 BPD y 1,800 BPD respectivamente, mejorando la eficiencia y la recuperación de productos. Las dos unidades de tratamiento de jet-fuel indican una especialización en la producción de combustibles para aviación, con sistemas modernos y antiguos que proporcionan flexibilidad operativa.

Las unidades de reformación catalítica, ambas con capacidades de 3,200 BPD, son esenciales para aumentar el octanaje de la gasolina. Finalmente, el área de almacenamiento de tanques con tanques de techo fijo, flotante y esféricos, ofrece una variedad de opciones para el almacenamiento de productos refinados y materias primas, asegurando la integridad del producto y la eficiencia en la logística. Esta infraestructura refleja una operación refinada que puede adaptarse a las demandas del mercado y las especificaciones del producto.

Los servicios que ofrece esta refinería es la de producir, almacenar y transportar a los diferentes surtidores la gasolina especial, diesel oil, gasolina Premium, Kerosene, jet fuel, GLP, Crudo reconstituido, gasolina base 81. (REFINACION, 2021)

En la siguiente tabla se podrá apreciar la capacidad de almacenaje de la refinaría.

**Tabla 3**

*Capacidad de almacenaje*

PRODUCTO	TK	CAPACIDAD NOMINAL(M3)	CARGA MUERTA (M3)
Petróleo crudo	TK-10002	16.000	1.500
Petróleo crudo	TK-2900	16.000	1.500
Petróleo crudo	TK-2901	16.000	1.500
Crudo reconstituido (B)	TK-2913	9.000	300
Gasolina especial	TK-2912	9.000	300
Gasolina especial	TK-2915	4.000	150
Gasolina especial	TK-2916	4.000	150
Gasolina premium	TK-2938	700	20
Jet fuel	TK-2920	6.000	200
Jet fuel	TK-2927	1.800	70
Jet fuel	TK-2928	1.800	70

Diesel oíl	TK-2918	9.000	300
Diesel oíl	TK-2919	9.000	300
GLP	TK-2934	700	30
GLP	TK-2947	700	30
Etanol anhidro	TK-2923	2.156	111
Etanol anhidro	TK-2929	1.374	57

Fuente: Datos obtenidos de (YPFB Logística S.A.,2021)

En la siguiente tabla se podrá apreciar la producción promedio.

**Tabla 4**

*Producción promedio*

PLANTA DE CARBURANTES	UNIDAD	PRODUCCION PROMEDIO	ENTREGAS PROMEDIO
Gasolina especial	m3/mes	29.170	29.937
Diesel oil	m3/mes	22.205	22.070
Gasolina premium	m3/mes	230,4	226,2
kerosene	m3/mes	769	769
Jet fuel	m3/mes	4.330	4.111
GLP	m3/mes	118	117
Crudo reconstituido	m3/mes	2.116	2.390
Gasolina base 81	m3/mes	7.416	7.377
Super etanol 92	m3/mes	2.714	2.640

Fuente: Datos obtenidos de (YPFB Logística S.A.,2021)

### 2.2.6 Procesos De Almacenaje Del Etanol Anhidro

El almacenaje del etanol anhidro es un proceso crítico para garantizar la seguridad y la calidad del producto. A continuación, se describe algunos aspectos relevantes relacionados con el almacenamiento de etanol anhidro en la refinería:

➤ **Tanques de Almacenamiento:**

Los tanques de almacenamiento de etanol anhidro son fundamentales en la industria, ya que deben mantener el etanol en condiciones óptimas para evitar pérdidas por

evaporación y garantizar la seguridad. El diseño de estos tanques suele seguir normativas estrictas, como la API 650, que establece los estándares para la fabricación, montaje y pruebas hidrostáticas, entre otros aspectos críticos. Un tipo común de tanque es el de techo flotante con Domo Geodésico, que ofrece ventajas como una estructura liviana y autosustentable, resistencia a la corrosión y facilidad de montaje, lo que acelera la implementación del proyecto. Además, estos tanques están diseñados para operar sin necesidad de soportes internos, lo que maximiza su capacidad y reduce los costos de mantenimiento. Las características adicionales, como los sistemas de venteo, son esenciales para manejar las fluctuaciones de presión y temperatura, asegurando así la integridad del etanol almacenado y la seguridad del entorno.

➤ **Eliminación de Humedad:**

La eliminación de la humedad en el etanol anhidro es un paso crítico en la producción de un combustible de alta calidad. La presencia de agua puede no solo disminuir la eficiencia del etanol como combustible, sino también causar corrosión en los sistemas de almacenamiento y distribución. La resina zeolita, conocida por su capacidad de absorción y su estabilidad térmica, es un desecante efectivo que ayuda a alcanzar ese nivel de pureza del 99.70%. Este proceso asegura que el etanol anhidro cumpla con los estándares de calidad para su uso en diversas aplicaciones, incluyendo como aditivo en gasolinas para aumentar el octanaje y reducir las emisiones contaminantes.

➤ **Buenas Prácticas de Manejo:**

Para controlar la contaminación durante el almacenamiento, se deben seguir buenas prácticas, como la remoción de sedimentos y la instalación de sistemas de filtración.

El almacenamiento se realiza en tanques de gran capacidad, generalmente de 5,000,000 litros, para su posterior distribución y venta.

➤ **Suficientes tomas de agua:**

Debe haber un número adecuado de tomas de agua con mangueras correspondientes. El agua se utiliza en forma de rocío para enfriar el contenedor y proteger al personal en caso de incendio. El etanol es inflamable, por lo que es importante mantenerlo a una temperatura segura y evitar la exposición al calor extremo.

### 2.2.7 Necesidad

El aumento en la producción de etanol anhidro en Bolivia refleja un compromiso significativo con los biocombustibles, en respuesta al crecimiento del parque automotor y la búsqueda de alternativas más sostenibles a los combustibles fósiles. La expansión de la capacidad de producción de etanol, que incluye el incremento de la mezcla de etanol en la gasolina hasta un 25%, es una medida proactiva para mejorar la autosuficiencia energética y reducir las importaciones de combustibles.

Los convenios entre el gobierno y los ingenios azucareros han permitido aumentar la producción de etanol anhidro, con un objetivo de 250 millones de litros, lo que representa un aumento significativo respecto a los 180 millones de litros obtenidos en la gestión anterior. Además, la diversificación de las materias primas para la producción de etanol, como el sorgo y el maíz, contribuye a la expansión del mercado y a la viabilidad económica del etanol como biocombustible.

Sin embargo, este crecimiento en la producción plantea desafíos logísticos, La capacidad actual de la refinería es de 3300 m<sup>3</sup>, y existe una necesidad creciente de ampliar la capacidad de almacenamiento debido al incremento en la producción de etanol anhidro y al aumento del consumo de la gasolina súper etanol 92. En respuesta a esta demanda, hay diseños de tanques con capacidades significativamente mayores, como los tanques de 5000 barriles con membrana flotante y domo geodésico, que cumplen con normativas como la API 650 para la fabricación, montaje y pruebas hidrostáticas.

Estos tanques no solo permiten una mayor capacidad de almacenamiento, sino que también incorporan tecnologías avanzadas para el control del fluido y la protección del medio ambiente. La expansión de la infraestructura de almacenamiento es un paso crucial para satisfacer la demanda proyectada y apoyar el crecimiento sostenible de la producción de biocombustibles.

**Tabla 5**

*Santa Cruz: Parque Automotor, Según Clase De Vehículo, 2018 - 2023*

<b>CLASE DE VEHÍCULO</b>	<b>2018</b>	<b>2023</b>
<b>TOTAL</b>	<b>647.028</b>	<b>885.380</b>
<b>Particular</b>	<b>614.439</b>	<b>847.971</b>

<b>Público</b>	<b>28.296</b>	<b>32.306</b>
<b>Oficial</b>	<b>4.293</b>	<b>5.103</b>

Fuente: Registro Único para la Administración Tributaria Municipal

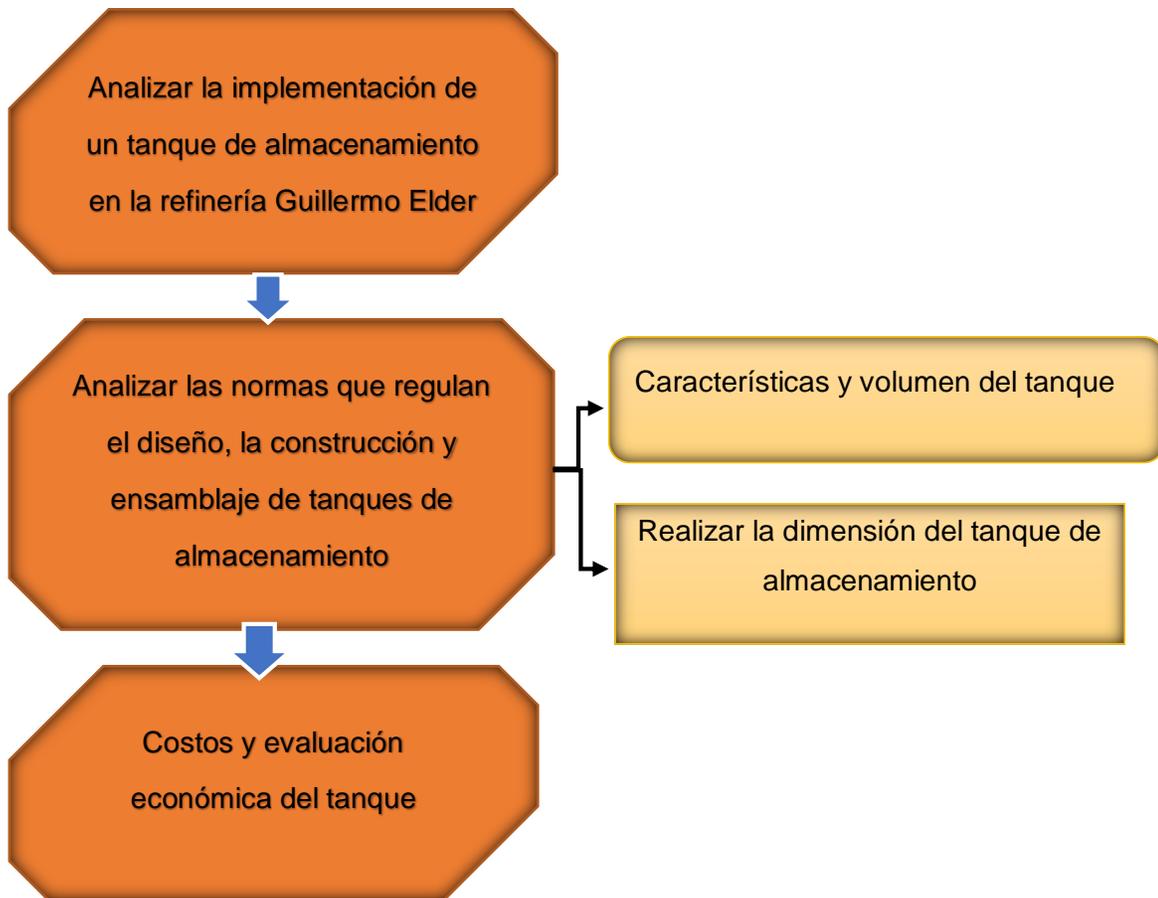
La expansión del etanol en el mercado de combustibles de Santa Cruz refleja una tendencia creciente hacia alternativas energéticas más sostenibles. Desde 2019, con un 37.5% de los surtidores ofreciendo etanol, hasta alcanzar 41 estaciones de servicio en 2023, se evidencia un compromiso con la diversificación energética y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. La adecuación de las estaciones para la distribución del Super Etanol 92, que incluye la instalación de tanques especializados, es un paso significativo en este proceso. Además, la colaboración con YPFB y las terminales de almacenaje para optimizar la logística de transporte es crucial para garantizar la disponibilidad y accesibilidad del producto.

Este progreso no solo beneficia al medio ambiente, sino que también ofrece a los consumidores una opción comprobada de alta calidad, lo que probablemente continuará impulsando su popularidad y adopción en los próximos años.

### **2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS**

En la siguiente figura Nro. 3 se presenta la secuencia de pasos que ilustra el cumplimiento de los objetivos propuestos. Cada etapa resalta el progreso hacia el logro final, ofreciendo una visión clara y tangible del proceso.

**Figura 3**  
*Diagrama de Bloques Objetivos Propuestos*



Fuente: Elaboración Propia, 2024

### **2.3.1 Análisis De Las Normas Que Regulan El Diseño, Construcción Y Ensamblaje De Tanques De Almacenamiento**

Para el análisis de las normas que regulan el diseño, construcción y ensamblaje de tanques de almacenamiento se desarrollaran los siguientes puntos.

#### **2.3.1.1 Aplicación de la norma API 650 12va Edición**

Como las siglas de la Norma lo indican este es recopilado, publicado y actualizado por el Instituto Americano del Petróleo, API (American Petroleum Institute). actualmente existen diez códigos desarrollados por el API relacionados con tanques de almacenamiento.

Para el desarrollo del presente proyecto, se utilizará la Norma API 650, Decimo Segunda Edición publicada en marzo de 2013, Apéndice 1 septiembre 2014, Apéndice 2 enero 2016, Apéndice 3 agosto 2018.

La norma API 650 presenta los procedimientos que rigen el diseño, fabricación, levantamiento, inspección y soldadura para tanques de almacenamiento de petróleo. Está conformado por 10 secciones y 27 apéndices.

Los puntos que desarrolla esta norma, rigen para el diseño de tanques atmosféricos bajo ciertas condiciones:

- La presión de diseño es aproximadamente la presión atmosférica a 1 atm o 101,3 KPa o 14,7 psi, con un alcance de presión interna de hasta 18 KPa o 2,6 psi.
- La temperatura de operación máxima del tanque es de 93 °C (200 °F). sin embargo, el Apéndice M provee requerimientos para tanques que operen a una temperatura de diseño mayor a 93 °C, pero que no excedan los 260 °C (500 °F).
- El tanque que se diseñara, operara con una presión interna menor a 18 KPa (2,6 psi) y con una temperatura máxima de 93 °C (200 °F), como se indica en el punto 1.1.20 de la norma API 650.

De esta manera la Norma API 650 proporciona tanques más seguros, cumpliendo con las necesidades de acuerdo a las especificaciones del fluido almacenado.

A pesar que esta norma ha sido utilizada como una fuente muy confiable para el diseño de tanques de almacenamiento, claramente señala que los tanques diseñados deben cumplir con ciertos aspectos mínimos y deja a criterio del diseñador la ingeniería de detalle del mismo.

### **2.3.2 Estimación De La Producción Semanal De Gasolina Super Etanol 92 De La Refinería Guillermo Elder Bell**

Para la estimación de la producción semanal de gasolina Super Etanol 92 de la refinería Guillermo Elder bell, se procederá a la revisión de datos de producción proporcionados por la Dirección de Producción y Unidades de Proceso y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

### 2.3.2.1 Evaluación del volumen de producción de la gasolina base obtenida en refinería

Para la evaluación del volumen de producción de la gasolina base obtenida en la refinería Guillermo Elder bell, se tomarán en cuenta los siguientes datos de producción de la gestión 2021 y 2022, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 6**

*Elaboración de gasolina base 81*

ELABORACIÓN DE GASOLINA BASE 81 EN REFINERÍAS												
(Expresado en m <sup>3</sup> /mes)												
Refinería	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BASE 81 (m <sup>3</sup> )2021	3.960,5	0,0	0,0	3.325,3	1.191,5	0,0	0,0	6.084,0	15.026,8	1.209,5	0,0	11.585,8
total	42.383,4											
BASE 81 (m <sup>3</sup> )2022	11.960,2	8.165,7	6.340,7	19.325,5	18.754,2	26.114,4	14.089,6	13.988,4	4.461,5	12.932,1	0,0	7.607,3
total	143.739,6											

Fuente: Dirección de Producción y Unidades de Proceso (ANH), 2021 y 2022

La gasolina base 81, producida en la refinería Guillermo Elder bell de la ciudad de Santa Cruz como se muestra en la tabla 6, es empleada en la producción de gasolina regular y gasolina super etanol 92, dando como promedio de producción en la gestión 2021 un total de 3.532,0 m3/mes, y en la gestión 2022 un total de 11.978,3 m3/mes.

Para la elaboración de gasolina super etanol 92, la refinería emplea un porcentaje determinado de gasolina base 81, la cual pasa por un sistema de mezclado donde se le agrega un 12 % de etanol anhidro para así obtener la gasolina super etanol 92.

Para verificar el volumen de gasolina super etanol comercializado en la ciudad de Santa Cruz se utilizó datos proporcionados por la ANH, en la cual se detalla el volumen en litros de este combustible comercializado en la ciudad.

A partir de los siguientes datos mostrados en la tabla 7 (ver original en Anexo C), se determinará los volúmenes de producción de super etanol 92 y además el volumen de etanol anhidro requerido para la producción de dicho combustible.

**Tabla 7**

*Volúmenes de Gasolina Super Etanol 92*

VOLÚMENES DE GASOLINA SUPER ETANOL 92 COMERCIALIZADOS												
(EXPRESADO EN LITROS)												
Refinería	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2021	1.14	1.09	1.34	1.30	1.28	1.18	1.37	1.42	1.51	1.53	1.20	1.73
	2.04	9.33	8.17	3.72	8.54	4.77	9.26	6.94	7.09	1.22	0.17	9.35
	9	3	7	7	6	6	1	3	0	4	2	5
total	16.160.654											
2022	1.50	1.61	1.65	1.65	1.70	1.57	1.38	1.86	1.83	1.79	860.	2.21
	4.51	9.02	9.65	6.71	2.52	5.22	9.85	5.67	5.56	4.22	777	6.20
	1	7	5	3	1	4	2	7	5	7		9
total	19.679.959											

Fuente: Dirección de Producción y Unidades de Proceso (ANH), 2021 Y 2022

De acuerdo con la tabla 7, se tiene un volumen total comercializado en la gestión 2022 de 19.679.959 litros de gasolina super etanol 92 y mensualmente se produce 1.639.996,5 litros y en la gestión 2021 de 16.160.654 litros de gasolina super etanol 92. A partir de este volumen comercializado se realizará una prospección de la producción total de este combustible en la refinería Guillermo Elder bell, como también se determinará la cantidad de etanol anhidro empleada para este fin y de acuerdo a esta estimación se tendrá el volumen total de etanol anhidro utilizado en la refinería y por consiguiente la capacidad total del tanque de almacenamiento del mismo.

### 2.3.2.2 Cálculo Del Volumen Semanal De Etanol Anhidro Empleado Para La Producción De Gasolina Super Etanol 92

Para el cálculo del volumen semanal de etanol anhidro empleado en la refinería Gualberto Villarroel se tomarán como dato la producción mensual de gasolina super etanol 92.

Volumen mensual de super etanol 92 producido: 1.639.996,5 litros

$$\text{volumen de producción semanal} = \frac{1.639.996,5 \text{ litros}}{4 \text{ semanas}} = 409.999,125 \text{ l/semana}$$

La producción semanal de gasolina super etanol 92 es de 409.999,125 litros, a partir de este dato se determinará el volumen de etanol anhidro empleado para la producción de la misma.

A: Vol. de producción semanal de super etanol 92: 409.999,125 litros

B: Porcentaje de aditivo empleado para producir gasolina super etanol 92: 12%

Volumen de aditivo empleado semanalmente=A x B

Volumen de aditivo empleado semanalmente=409.999,125 x 12%

Volumen de aditivo empleado semanalmente=49.199,895 **litros**

Ahora que se tiene el volumen de etanol anhidro empleado semanalmente se calculará el volumen anual del mismo empleado en la refinería Guillermo Elder bell y una vez obtenido este dato se procederá a la conversión de barriles de etanol anhidro.

Volumen anual de etanol anhidro empleado en la refinería=Vol. De aditivo semanal x 52,14 semanas

Vol. Anual de aditivo empleado en la refinería=49.199,895 litros/sem x 52,14 sem

Vol. Anual de aditivo empleado en la refinería=2.565.282,525 litros

#### Convirtiendo de litros a barriles:

1 litro = 0.006289811US bbl oil

$$\frac{2.565.282,525 \text{ litros}}{0.006289811 \text{ US bbl oil}} = 16.135,14 \text{ US bbl} \approx 17000 \text{ bbl}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos la capacidad total del tanque de almacenamiento para etanol anhidro será de **17000 barriles anuales**, mismo que satisface la producción del año 2022 de gasolina super etanol 92 en la refinería Guillermo Elder bell y alcanza la capacidad de los tanques de almacenamiento de etanol anhidro

en la siguiente tabla 8 se observa la capacidad de los tanques de la refinería Guillermo Elder bell.

**Tabla 8**

*Tanques De Almacenamiento De Etanol Anhidro Santa Cruz*

Nro. Tanque	Producto	Estado Actual	Capa. Max Operativa De Almacenaje (m3)	Vol. Carga Muerta (m3)	Capac. Disponible (m3)
2923	Etanol anhidro	En operación	2.156,00	111,00	2.045,00
2929	Etanol anhidro	En operación	874.43	57,00	817,43

Fuente: tanques YPFB LOGISTICA S.A. "SANTA CRUZ ",2019

La capacidad disponible de la refinería Guillermo Elder bell es de 2.862,43 m3 los 17.000 bbl convertidos a m3 es 2.702,784 m3 lo cual alcanza la capacidad de almacenaje.

En el año 2024 el volumen anual del aditivo empleado en la refinería será de 3.000.000 de litros con lo cual supera la capacidad de almacenaje del etanol anhidro a 3.000 m3 lo cual en la refinería se cuenta con 2.862,43 m3 esto supera la capacidad de almacenaje por lo cual se realizará el diseño de un tanque para subsanar el almacenamiento de etanol anhidro con la capacidad de 5500 bbl ya que se tiene un tanque similar en la refinería Guillermo Elder bell.

### **2.3.3 Implementación de un Tanque De Almacenamiento Para Etanol Anhidro En Los Predios De La Refinería Guillermo Elder Bell**

#### **2.3.3.1 Tipo de Diseño En General Para El Tanque De Almacenaje**

Para la selección del diseño general del tanque de almacenamiento, se parte de la necesidad por parte de YPFB refinación de contar con un tanque de almacenamiento para etanol anhidro en sus instalaciones más claramente la refinería Guillermo Elder bell

Para la selección de este diseño se tomará como referencia la figura 4, mostrada a continuación, donde indica el tipo de tanque de almacenamiento en función del fluido almacenado.

**Figura 4**

*Tipos De Tanques En Función Del Producto Almacenado*

<b>Producto Almacenado</b>	<b>Tipo de Tanque (Práctica recomendada)</b>
<b>Productos claros: gasolina y nafta. petróleo crudo</b>	-Tanque atmosférico de techo flotante externo
	- Tanque atmosférico de techo fijo con techo flotante interno
	-Tanque atmosférico para baja presión interna (API 650 Apéndice F)
	- Tanque para baja presión con techo fijo (API 620)
<b>Gasolina de Aviación</b>	- Tanque atmosférico de techo flotante interno
	-Tanque atmosférico para baja presión interna (API 650 Apéndice F)
	- Tanque para baja presión con techo fijo (API 620)
<b>Etanol hidratado Metanol</b>	- Tanque atmosférico de techo flotante externo
	- Tanque atmosférico de techo fijo con techo flotante interno
<b>Biodiesel</b>	-Tanque atmosférico de techo flotante interno
	-Tanque atmosférico para baja presión interna (API 650 Apéndice F)
<b>Etanol anhidro</b>	- Tanque atmosférico de techo flotante interno

Fuente: Norma API 650, 2013

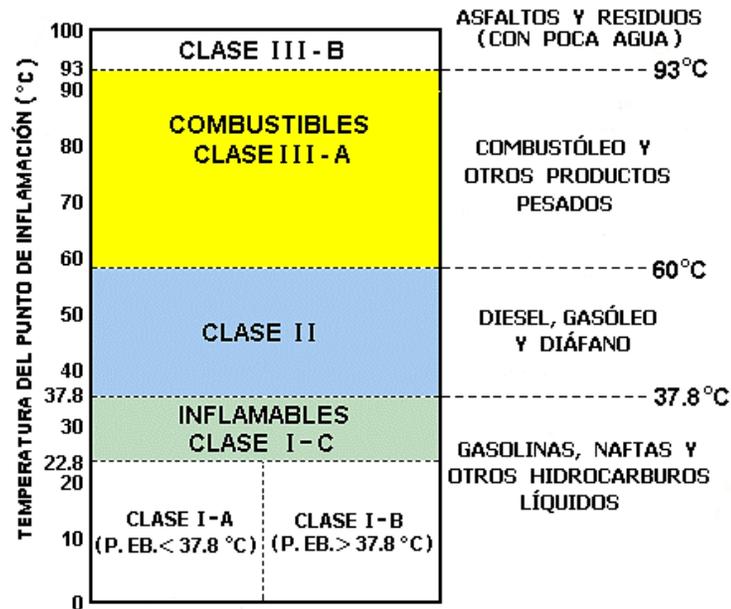
El diseño general del tanque se lo realizara de acuerdo a la figura 4, la cual indica que para el etanol anhidro se necesita un tanque de almacenamiento del tipo atmosférico de techo flotante interno, además se considerara el volumen requerido, el cual fue calculado a partir de los volúmenes de comercialización de super etanol 92 y la producción de gasolina base 81 de la refinería, para los cálculos posteriores.

### **2.3.3.2 Clasificación De Los Líquidos Y Combustibles Inflamables**

El tanque de almacenamiento a ser diseñado, almacenara etanol anhidro el cual entra en la clase IB según la figura 5, que se muestra a continuación.

**Figura 5**

*Clasificación De Los Líquidos Y Combustibles Inflamables*



Fuente: Norma NFPA 30, 2018

De acuerdo con la figura N° 5, el etanol anhidro entra en la clasificación I-B ya que el punto de inflamación del mismo es de 13°C, bajo este razonamiento y según la figura que se muestra anteriormente el etanol anhidro es un líquido con clasificación I-B ya que su punto de inflamación del etanol anhidro no supera los 37,8°C.

### **2.3.3.3 Requerimientos Para El Diseño Del Tanque**

En esta parte se estudian las especificaciones, parámetros y demás requisitos para la implementación del proyecto:

- La capacidad de almacenaje neta del tanque de almacenamiento necesitada será de 5.500 barriles.
- El volumen del tanque debe ser de acuerdo al espacio asignado para éste en la refinería, por condiciones de diseño y espacio el diámetro del tanque no debe exceder los 30 metros, sin embargo, la altura de este se calculará de acuerdo a la cantidad de líquido que se desea almacenar.

- Según estudios realizados anteriormente en el proyecto, se determinó que el tipo de techo requerido para el tanque es un techo flotante interno, determinado a partir del líquido a almacenar.
- La velocidad del viento promedio en la ciudad de Santa Cruz es de 12,7 Km/h.
- El líquido a almacenar en el tanque es etanol anhidro, el cual tiene una densidad de 789 kg/m<sup>3</sup> o 0,789 gr/cm<sup>3</sup>, este dato sirve para hallar la gravedad específica que se usara para hallar la envolvente del tanque y hallar el nivel de corrosión del mismo.
- Las boquillas del tanque (servicio, producción, agua, espuma, etc.) deben de estar dimensionadas y ubicadas de acuerdo a las especificaciones de la refinería Guillermo Elder bell.

#### **2.3.3.4 Volumen Del Tanque**

Para el dimensionamiento del tanque, y para que cumpla con los parámetros mencionados anteriormente, sabiendo la capacidad útil del tanque que es de 5.500 barriles de etanol anhidro.

Primero convertimos el volumen de barriles a metros cúbicos, se obtiene:

1 m<sup>3</sup>=6,2898 barriles

Entonces:

$$\text{Vol.m}^3 = \frac{5.500 \text{ barriles}}{6,2898}$$

$$\text{Vol.} = 874,432 \text{ m}^3$$

Eligiendo las dimensiones aproximadas en el Apéndice A de la norma API 650, 12va Edición, en la tabla A.1a, donde se indica las dimensiones que deben tener los tanques de acuerdo a una capacidad aproximada a la necesitada se obtiene:

#### **Figura 6**

*Tamaños Típicos Correspondientes A Capacidades Nominales En M3, Para Tanques Con Planchas De 1800 Mm (Si)*

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11
Tank Diameter m	Capacity per m of Height m <sup>3</sup>	Tank Height (m) / Number of Courses in Completed Tank								
		3.6 / 2	5.4 / 3	7.2 / 4	9 / 5	10.8 / 6	12.6 / 7	14.4 / 8	16.2 / 9	18 / 10
3	7.07	25	38	51	64	76	—	—	—	—
4.5	15.9	57	86	115	143	172	—	—	—	—
6	28.3	102	153	204	254	305	356	407	—	—
7.5	44.2	159	239	318	398	477	557	636	716	795
9	63.6	229	344	458	573	687	802	916	1,031	1,145
10.5	86.6	312	468	623	779	935	1,091	1,247	1,403	1,559
12	113	407	611	814	1,018	1,221	1,425	1,629	1,832	2,036
13.5	143	515	773	1,031	1,288	1,546	1,804	2,061	2,319	2,576
15	177	636	954	1,272	1,590	1,909	2,227	2,545	2,863	3,181
18	254	916	1,374	1,832	2,290	2,748	3,206	3,664	4,122	4,580

*D = 18*

Fuente: Norma API 650, 2013

De acuerdo con la figura N° 6, para la capacidad requerida, el diámetro del tanque indicada en la misma es de 18 metros y una altura de 3,6 metros.

Para calcular la altura de líquido, se la obtendrá a partir de la fórmula del volumen y de esta manera hallar la altura requerida para almacenar etanol anhidro:  
volumen del liquido

$$VOLUMEN\ liquido = \frac{\pi D^2}{4} H \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

D = Diámetro del Tanque  
H = Altura del liquido

Despejando "H" y reemplazando en la fórmula:

$$H = \frac{VOLUMEN\ liquido}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$H = \frac{874,432}{\frac{\pi(18)^2}{4}}$$

H = 3,44 m

El cálculo del tanque esta con las medidas adecuadas para poder incluir el sobre llenado del tanque, considerando que el nivel mínimo del tanque es de 500 mm y el máximo de 3.440 mm.

### 2.3.3.5 Diseño Y Cálculo Del Anillo Perimetral

Para calcular estos datos se acude a la tabla 5.1a contenida en la Norma API 650, 12va Edición, Sección 5, en ella se elige el espesor mínimo del anillo perimetral en función al espesor de las planchas que conforman el primer anillo de la envolvente (anillo inferior) o el Esfuerzo Admisible para las condiciones hidrostáticas. Como aún no se tienen definidos los espesores de los anillos que conforman la envolvente del tanque, así que se procede a usar el Esfuerzo Admisible que es dado por el material a usarse para el diseño del tanque.

A continuación, se muestra un extracto de la tabla 5.2a de la Norma API 650, 12va Edición, donde se representa el esfuerzo admisible del material.

**Figura 7**

*Esfuerzo Admisible De Las Planchas De Acero*

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness $t$ mm	Minimum Yield Strength MPa	Minimum Tensile Strength MPa	Product Design Stress $S_d$ MPa	Hydrostatic Test Stress $S_T$ MPa
<b>ASTM Specifications</b>						
A283M	C		205	380	137	154
A285M	C		205	380	137	154
A131M	A, B		235	400	157	171
A36M	—		250	400	160	171
A131M	EH 36		360	490 <sup>a</sup>	196	210
A573M	400		220	400	147	165
A573M	450		240	450	160	180

Fuente: Norma API 650, 2013

La figura N° 7, muestra el esfuerzo admisible de acuerdo al acero utilizado en este caso es el ASTM A36, entonces el esfuerzo admisible es de 160 MPa, el cual se utilizará como dato en cálculos posteriores.

Entonces tenemos:

**Sd=160MP**

**a**

**St=171MP**

**a**

La tabla 5.1a de la Norma API 650, 12va edición, se seleccionará los espesores mínimos de la envolvente, como se muestra en la figura N° 8:

### Figura 8

*Espesores De Planchas Para El Anillo Perimetral*

Plate Thickness <sup>a</sup> of First Shell Course (mm)	Stress <sup>b</sup> in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
<b><math>t \leq 19</math></b>	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

Fuente: Norma API 650, 2013

No obstante, se debe recordar el espesor de seguridad por corrosión dado inicialmente (de 1 mm), entonces el espesor del anillo perimetral del fondo del tanque es de 7 mm, adicionalmente la norma API 650, 12va Edición, indica que debe tener 1 mm de más para soportar las cargas que se generen en el perímetro del tanque.

Entonces:

**anillo perimetral=8 mm**

Ya obtenidos los espesores de las planchas que conforman el anillo perimetral, reemplazamos en la ecuación 2, calculando así el ancho del anillo perimetral:

Ancho Del Anillo Perimetral

$$L = 2tb \sqrt{\frac{Fy}{2\gamma GH}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

L = Ancho mínimo del anillo perimetral, mm.

Fy = Limite elástico del material del anillo a temperatura ambiente, MPa.

Tb = Espesor de diseño del anillo perimetral, mm.

Y = Factor de densidad del agua, MPa/m.

H = Altura de diseño del líquido, m.

G = Gravedad específica del líquido almacenado, gr/cm<sup>3</sup> (American Petroleum Institute, 2013).

Reemplazando:

$$L = 2(8) \sqrt{\frac{250}{2 * 0,00981 * 1 * 3,44}}$$

$$L=973,78 \text{ mm}$$

### 2.3.3.6 Diseño Y Cálculo De La Envolvente Del Tanque (Cuerpo)

El diámetro es de 18 m, entonces se puede decir que el espesor mínimo para el diseño de la envolvente del tanque es de 6 mm.

Con estos datos se hace el cálculo de espesores por el método de Un Pie (One Foot):

Espesores Del Primer Anillo

$$t_d = \frac{4,9D(H-0,3)G}{S_d} + CA \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

t<sub>d</sub> = Espesor de diseño del cuerpo, mm.

t<sub>t</sub> = Espesor del cuerpo en prueba hidrostática, mm.

D = Diámetro nominal del tanque, mm.

G = Gravedad específica de diseño del líquido a almacenar, gr/cm<sup>3</sup>.

H = Nivel de diseño del líquido, m.

CA = Tolerancia por corrosión, mm.

S<sub>d</sub> = Esfuerzo admisible para la condición de diseño, MPa.

St = Esfuerzo admisible para las condiciones de prueba hidrostática, MPa (American Petroleum Institute, 2013).

td =

$$\frac{4,9*18*(3,44-0,3)*1}{160} + 1$$

**td=2,73**

**mm**

Esesores Del Segundo Anillo

$$tt = \frac{4,9D(H-0,3)}{St} \quad \text{Ec. 5}$$

tt =

$$\frac{4,9*18(3,44-0,3)}{171}$$

**tt=1,62**

**mm**

El esesor disponible comercialmente es de 8 mm.

**Calculo del segundo anillo:**

$$td = \frac{4,9D(H-0,3)G}{Sd} + C \quad \text{Ec. 4}$$

$$td = \frac{4,9 * 18 * (3,44 - (2,4 - 0,3)) * 1}{160} + 1$$

**td=1,41 mm**

$$tt = \frac{4,9D(H-0,3)}{St} \quad \text{Ec. 5}$$

$$tt = \frac{4,9 * 18(3,44 - (2,4 + 0,3))}{171}$$

**tt=0,38 mm**

El esesor disponible comercialmente es de **6 mm**.

**Tabla 9***Espesores De Los Anillos*

TABLA DE ESPESORES DE LOS ANILLOS						
NRO de anillo	Material	Espesor calculado		Dimensiones		Espesor adoptado (mm)
		td (mm)	tt (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	
1	A36	2,73	1,62	2400	Por Definir	8
2	A36	1,41	0,38	2400	Por Definir	6

Fuente: Elaboración propia en base a cálculos realizados previamente, 2024

En cuanto a las medidas de planchas adoptado se ha considerado el ancho de 2400 mm que es la medida comercial dada por la norma API 650, sin embargo, el largo se debe considerar calcular cuantas planchas se requieren para cubrir en su totalidad del tanque, para esto se aplica:

$$\text{Desarrollo} = \pi * D \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{Desarrollo} = \pi * 18$$

$$\text{Desarrollo} = 56,55 \text{ metros}$$

En cuanto a largos comerciales se tienen planchas de 12 y 6 metros respectivamente, estos largos provienen de fabricantes peruanos ya que en nuestro país no se cuenta con la manufactura de los mismos. Por lo tanto, la medida a utilizar serán las planchas de 12 metros de largo.

Para hallar el número de planchas se tiene:  
Numero De Planchas

$$N^{\circ} = \frac{\text{Desarrollo}}{\text{Largo}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$N^{\circ} = \frac{56,55}{12}$$

$$N^{\circ} = 4,71 \text{ planchas}$$

deben ser colocadas con una distancia mínima de 5 veces el espesor del anillo más grueso.

Distancia De Las Planchas

$$d=5*t \quad \text{Ec. 8}$$

$$d=5*8$$

$$\mathbf{d=40 \text{ mm}}$$

Entonces con esto se define que la distancia entre uniones verticales debe tener como mínimo 40 mm.

### 2.3.3.7 Diseño Del Contra Viento

Según la Norma API 650, sección 5, punto 5.9.6, se establece que el Módulo de sección mínimo necesario para la rigidez del tanque ante el golpe de viento de la zona se calculará con la siguiente ecuación:

Diseño Del Contra Viento

$$Z = \frac{D^2 H^2}{17} * \left(\frac{V}{190}\right)^2 \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

Z = Modulo de sección mínima requerida, cm<sup>3</sup>.

D = Diámetro nominal del tanque, m.

H2 = Altura total del tanque, incluye el angular de coronación, m.

V = Velocidad del viento de diseño, km/h.

$$Z = \frac{18^2 * 3,44}{17} * \left(\frac{12,7}{190}\right)^2$$

$$\mathbf{Z=0,30 \text{ cm}^3}$$

### 2.3.3.8 Diseño De La Escalera

Se diseña la escalera según la Ecuación de Blonde, detallada en la Norma NTP 404, la cual indica los parámetros de diseño de escaleras.

**Tabla 10***Parámetros De Diseño De Escaleras*

<b>MAGNITUD</b>	<b>VALOR RECOMENDADO</b>
<b>Inclinación <math>\alpha</math> (<math>\text{tg } \alpha = t/h</math>)</b>	45° - 60°
<b>Distancia vertical entre peldaños (contrahuella)</b>	20 – 30 cm
<b>Huella mínima h</b>	15 cm
<b>Ancho libre mínimo</b>	60 cm
<b>Altura del pasamanos x</b>	90 cm
<b>Espacio libre z</b>	165 – 200 cm

Fuente: Norma NTP 404, 1995

La Norma NTP 404 indica que la altura de los pasamanos debe ser de 90 cm y que la distancia entre postes debe ser de 30 cm, y según la Norma API 650, 12va Edición, la barrera intermedia entre el pasamanos y el piso será de la mitad de la altura del pasamanos y que el espacio libre mínimo entre la pared del tanque y el pasamanos será de 40 mm.

**2.3.3.9 Diseño Del Techo Flotante**

Para diseñar el techo primero se dimensiona, el diámetro del techo domo no debe ser igual que el tanque, ya que se debe dejar un espacio para que encaje el sello que será el que se encargue de que no se produzca una chispa producto del rozamiento del techo con la pared del tanque.

**Tabla 11***Parámetros De Diseño Del Techo Flotante*

<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>1</b>	Diámetro interior del tanque (Di)	17400	mm
<b>2</b>	Altura del tanque (H)	3600	mm

3	Densidad del producto almacenado ( $\rho_0$ )	789	kg/m <sup>3</sup>
4	Densidad de cálculo exigido por API 650 ( $\rho_0$ )	700	Kg/m <sup>3</sup>
5	Espacio entre el techo y la envolvente	200	mm
6	Diámetro exterior del techo ( $D_{er}$ )	17000	mm
7	Ancho de los pontones ( $W_p$ )	2250	mm
8	Diámetro de la membrana ( $D_m$ )	12500	mm
9	Altura exterior de los pontones ( $H_e$ )	900	mm
10	Altura interior de los pontones ( $H_i$ )	500	mm

Fuente: Datos realizados por YPFB LOGISTICA, 2021

#### 2.3.4 Viabilidad Económica

Este apartado permitirá conocer a detalle la viabilidad económica del proyecto, a partir del costo para la fabricación del tanque de almacenamiento para etanol anhidro y que servirá de guía para el desarrollo del mismo, cabe resaltar que los costos de los componentes se los realizó evaluando precios internacionales de los materiales y accesorios.

A continuación, en la tabla 12 y 13 respectivamente, se presentan los costos de los materiales y mano de obra para la implementación y construcción del tanque de almacenamiento para etanol anhidro.

**Tabla 12**

*Costo Materiales Y Accesorios Del Tanque De Almacenamiento*

<b>COSTO DE LOS MATERIALES</b>	
--------------------------------	--

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (USD)	DESCRIPCIÓN
Cuerpo Anillo 1	2.443,09	Kg	2,9	7.084,96
Anillo 2	2.443,09	Kg	2,9	7.084,96
Fondo (base)	7.513,45	Kg	2,9	21.789,00
Sumidero	1	Unidad	650,26	650,26
Bocas del cuerpo (entrada y salida)	1	Unidad	70,93	70,93
Boca del Sumidero	1	Unidad	55,88	55,88
Cleanout	1	Unidad	1.255,68	1.255,68
Manhole	1	Unidad	821,77	821,77
Escalera	1	Unidad	4.119,51	4.119,51
Plataforma	1	Unidad	3.689,95	3.689,95
Pasarela	1	Unidad	15.950,14	15.950,14
Techo flotante	1	Unidad	39.807,34	39.807,34
Membrana flotante	1	Unidad	17.065,94	17.065,94
<b>TOTAL</b>				<b>115.756,37</b>

Fuente: Datos realizados por YPFB LOGISTICA, 2021

**Tabla 13**

*Costo Instalación De Los Componentes Del Tanque De Almacenamiento*

COSTO DE INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (USD)	DESCRIPCIÓN
Cuerpo Anillo 1	2.443,09	Kg	2,51	6.132,16
Anillo 2	2.443,09	Kg	2,51	6.132,16
Fondo (base)	7.513,45	Kg	2,51	18.858,76
Sumidero	1	Unidad	422,54	422,54
Bocas del cuerpo (entrada y salida)	1	Unidad	50,78	50,78
Boca del Sumidero	1	Unidad	42,37	42,37

<b>Cleanout</b>	1	Unidad	754,15	754,15
<b>Manhole</b>	1	Unidad	792,26	792,26
<b>Escalera</b>	1	Unidad	1.866,49	1.866,49
<b>Plataforma</b>	1	Unidad	2.652,05	2.652,05
<b>Pasarela</b>	1	Unidad	8.021,20	8.021,20
<b>Techo flotante</b>	1	Unidad	15.418,40	15.418,40
<b>Membrana flotante</b>	1	Unidad	7.606,37	7.606,37
<b>TOTAL</b>				<b>68.749,69</b>

Fuente: Datos realizados por YPFB LOGISTICA, 2021

## 2.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el marco del análisis y la discusión sobre la propuesta de análisis y implementación de un tanque de almacenamiento de etanol anhidro en la refinería Guillermo Elder bell Es importante señalar que antes de iniciar el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se conozcan muy bien los parámetros de operación como el tipo de líquido a almacenar, temperatura de almacenaje del producto, caudal de ingreso, caudal de salida, conocimiento todos estos parámetros se procede a la elección del tipo de tanque de almacenamiento y el material necesario para el diseño del mismo.

En respuesta a este nuevo reto de almacenar mas etanol anhidro en la refinería Guillermo Elder bell se procedió a diagnosticarla, como también la infraestructura y espacio adecuados, para la implementación de un tanque de almacenamiento ya que con este nuevo tanque se podría dar solución al aumento de producción de etanol anhidro si bien este nuevo tanque podría dar solución al aumento de etanol anhidro, este también presenta nuevos inconvenientes en cuanto a su almacenamiento por su elaboración y composición química que presenta características corrosivas, también Se debe tener cuidado al momento de la elección del tipo de techo ya que este va de acuerdo al tipo de líquido almacenado en el tanque, y si no se realiza un cálculo eficiente del mismo puede causar complicaciones al momento que entre en operación.

Existiendo una producción anual de 3.000.000 de litros de etanol anhidro teniendo un reabastecimiento por medio de cisterna, que recarga los tanques de almacenamiento con todo esto se propuso la capacidad del tanque de 5500 bbl ya que con esto se garantiza el almacenamiento de etanol anhidro en la refinería Guillermo Elder bell siguiendo las normas API 650

Es fundamental considerar la variabilidad de los costos en las etapas de desarrollo y ejecución de un proyecto. Los costos de fabricación de los materiales son un factor crítico que puede influir significativamente en el presupuesto total. Estos costos están sujetos a fluctuaciones debido a cambios en el mercado o en el tiempo de ejecución del proyecto. Por lo tanto, es prudente realizar una evaluación continua y ajustes en el presupuesto para asegurar que el proyecto se mantenga dentro de los márgenes financieros previstos. La implementación de un proceso de revisión periódica de costos puede ayudar a identificar y mitigar posibles incrementos antes de que afecten la viabilidad del proyecto.

### **CAPÍTULO III: CONCLUSIONES**

- Se diagnóstico las condiciones actuales de la refinería Guillermo Elder Bell se encuentra en un estado de funcionamiento regular, pero presenta algunos problemas y desafíos. En términos de producción, la capacidad de almacenamiento de etanol anhidro se encuentra al 80% de su capacidad total, lo que indica un nivel aceptable de operatividad. Sin embargo, se ha observado un deterioro generalizado en la infraestructura y los equipos. Se han identificado fugas en algunos tanques y tuberías, lo que representa un riesgo para la seguridad y el medio ambiente. Además, se ha detectado un bajo rendimiento en los procesos de producción, lo que ha llevado a una disminución en la calidad y cantidad de los productos finales.
- La presente monografía ha sido realizado usando casi en su totalidad la norma API 650, 12va Edición, Año 2013 la cual es empleada siempre y cuando se requiera un proyecto de este tipo, si bien la norma hace referencia a varios métodos para calcular los espesores de la envolvente (cuerpo) del tanque, el más utilizado es el Método de Un Pie (One Foot) ya que este facilita el cálculo y la fiabilidad que brinda al momento del mismo, como también este método vincula directamente con el material usado para la fabricación de acuerdo al liquido almacenado en este caso Etanol Anhidro, cuyo material empleado es el Acero ASTM A36.
- Para el cálculo del diseño del tanque de almacenamiento requerida por parte de la refinería Guillermo Elder bell de la ciudad de Santa Cruz, se recurrió a datos

proporcionados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos y YPFB logística, mismos datos que reflejan la producción de gasolina base 81, la producción de super etanol 92 cuyo aditivo es el etanol Anhidro y los cálculos ya realizados por parte de YPFB para el tanque que permitió el cálculo del dimensionamiento del tanque de almacenamiento de **5.500 barriles anuales** para la producción de gasolina super etanol 92, los cálculos realizados de los diversos componentes del tanque de almacenamiento, permitió determinar no solo las dimensiones de los mismos, sino también la capacidad que tienen los materiales contra la corrosión ya que el etanol anhidro al ser un fluido con una mínima presencia de agua en su composición se debe tener en cuenta el grado de corrosión que podría generar esta, los cálculos realizados permitieron prever esta situación agregando a los cálculos un factor de corrosión adicional de 1 mm.

- Los costos previstos para la ejecución del proyecto, se las realizo en base a costos de proyectos similares tomando en cuenta precios internacionales de las piezas y aceros empleados para el diseño del tanque de almacenamiento para Etanol Anhidro, los cuales después de su valoración dieron los siguientes costos totales de los materiales empleado fue de **115.756,37** dólares y el costo total de la instalación de cada una de las partes del tanque fue de **68.749,69** dólares, haciendo una inversión estimada total para la implementación del tanque en la refinería Guillermo Elder bell de **184.506,06 dólares**.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. (20 de Enero de 2022). ANH. Obtenido de <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=40&R=1&D=0>
- 2) AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. (2013). Welded Tanks for Oil Storage. Washington DC, USA: American Petroleum Institute.
- 3) CERPA, M. (2005). PRODUCCIÓN DEL ETANOL ANHIDRO COMO ADITIVO PARA LA GASOLINA. España: Dpto. de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente.
- 4) CORTES DEL PINO, A. (Abril de 2014). PROCESO DE REFINO DEL PETRÓLEO PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES. Barcelona, España: Facultad Nautica de Barcelona.
- 5) DE LA CADENA RAMOS, C. A., & Larrea Esparza, P. X. (Agosto de 2012). DISEÑO DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO TIPO TECHO FLOTANTE. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Militar.
- 6) ETHANOLRESPONSE. (2017). Características Físicas y Químicas del Etanol y Combustibles de Hidrocarburos. Estados Unidos de America: Renewable Fuels Association.
- 7) PAGINA SIETE. (4 de Agosto de 2019). Paginasiete.bo. Obtenido de <https://www.paginasiete.bo/inversion/2019/8/4/ypfb-ahorrara-us-30-millones-con-la-super-etanol-92-en-el-inicio-226339.html#!>
- 8) QUIMICA.ES. (2015). Obtenido de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Gasohol.html>

9) YPFB LOGISTICA. (22 de Noviembre de 2022). YPFB. Obtenido de <https://www.ypfb.gob.bo/es/informacion-tecnica/tanques/992-ypfb-construccion-de-tanques-de-etanol-anhidro-s%C3%BAper-etanol-92-de-Santa-Cruz.html>

## ANEXOS

### ANEXO A

#### Consideraciones De Diseño Para Tanques Con Techo Flotante Interno

##### 5.2 Design Considerations

###### 5.2.1 Loads

Loads are defined as follows.

- a) **Dead Load ( $D_L$ ):** The weight of the tank or tank component, including any corrosion allowance unless otherwise noted.
- b) **Design External Pressure ( $P_e$ ):** Shall not be less than 0.25 kPa (1 in. of water) except that the Design External Pressure ( $P_e$ ) shall be considered as 0 kPa (0 in. of water) for tanks with circulation vents meeting Annex H requirements. Refer to Annex V for design external pressure greater than 0.25 kPa (1 in. of water). Requirements for design external pressure exceeding this value and design requirements to resist flotation and external fluid pressure shall be a matter of agreement between the Purchaser and the Manufacturer (see Annex V). Tanks that meet the requirements of this standard may be subjected to a partial vacuum of 0.25 kPa (1 in. of water), without the need to provide any additional supporting calculations. 4  
14
- c) **Design Internal Pressure ( $P_i$ ):** Shall not exceed 18 kPa (2.5 lbf/in.<sup>2</sup>).
- d) **Hydrostatic Test ( $H_t$ ):** The load due to filling the tank with water to the design liquid level.
- e) **Internal Floating Roof Loads:**
  - 1) Dead load of internal floating roof ( $D_f$ ) including the weight of the flotation compartments, seal and all other floating roof and attached components.
  - 2) Internal floating roof uniform live load ( $L_{f1}$ ) (0.6 kPa [12.5 lbf/ft<sup>2</sup>] if no automatic drains are provided, [0.24 kPa (5 lbf/ft<sup>2</sup>)] if automatic drains are provided).

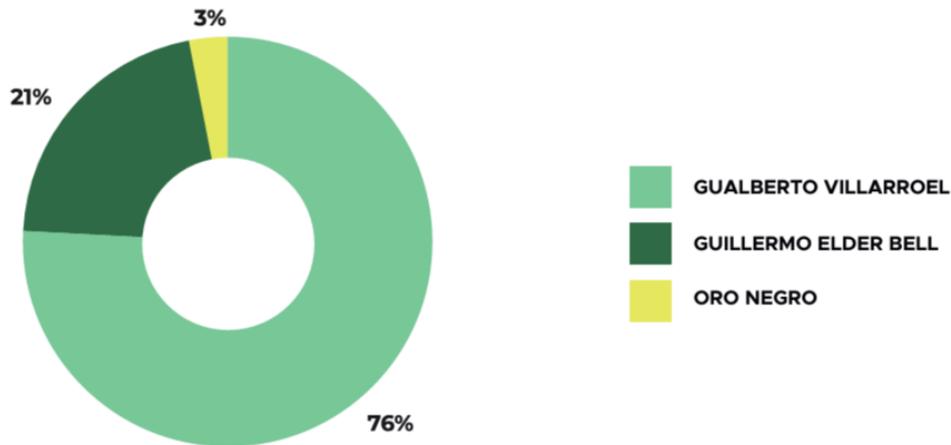
Fuente: Norma API 650, 2013

## ANEXO B

### Elaboración De Gasolina Base 81 En Refinerías

ELABORACIÓN DE GASOLINA BASE 81 EN REFINERÍAS GESTIÓN 2022 (Expresado en m3/mes)														
REFINERÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROM.
GUALBERTO VILLARROEL	38.369,4	38.606,7	41.307,2	47.851,3	48.431,9	45.850,7	46.911,6	44.685,0	41.612,3	39.903,3	35.255,8	49.035,0	517.820,2	43.151,7
GUILLERMO ELDER BELL	11.960,2	8.165,7	6.340,7	19.325,5	18.754,2	26.114,4	14.089,6	13.988,4	4.461,5	12.932,1	0,0	7.607,3	143.739,6	11.978,3
ORO NEGRO	1.556,9	1.579,7	2.390,6	0,0	2.446,7	3.361,8	0,0	3.375,9	0,0	0,0	3.485,6	0,0	18.197,1	1.516,4
<b>TOTAL (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>51.886,5</b>	<b>48.352,1</b>	<b>50.038,5</b>	<b>67.176,8</b>	<b>69.632,8</b>	<b>75.326,9</b>	<b>61.001,2</b>	<b>62.049,3</b>	<b>46.073,8</b>	<b>52.835,4</b>	<b>38.741,4</b>	<b>56.642,3</b>	<b>679.756,9</b>	<b>56.646,4</b>
<b>TOTAL (BPD)</b>	<b>10.527,6</b>	<b>10.861,6</b>	<b>10.152,6</b>	<b>14.084,3</b>	<b>14.128,3</b>	<b>15.793,0</b>	<b>12.376,9</b>	<b>12.589,6</b>	<b>9.659,8</b>	<b>10.720,1</b>	<b>8.122,5</b>	<b>11.492,5</b>	<b>140.509,0</b>	<b>11.709,1</b>
<b>RENDIMIENTO (%)</b>	<b>26,3</b>	<b>28,1</b>	<b>26,4</b>	<b>36,3</b>	<b>36,1</b>	<b>39,0</b>	<b>31,6</b>	<b>34,3</b>	<b>27,1</b>	<b>31,3</b>	<b>24,0</b>	<b>31,2</b>	<b>371,6</b>	<b>31,0</b>

### ELABORACIÓN DE GASOLINA BASE 81 EN REFINERÍAS - GESTIÓN 2022 (Distribución Porcentual)



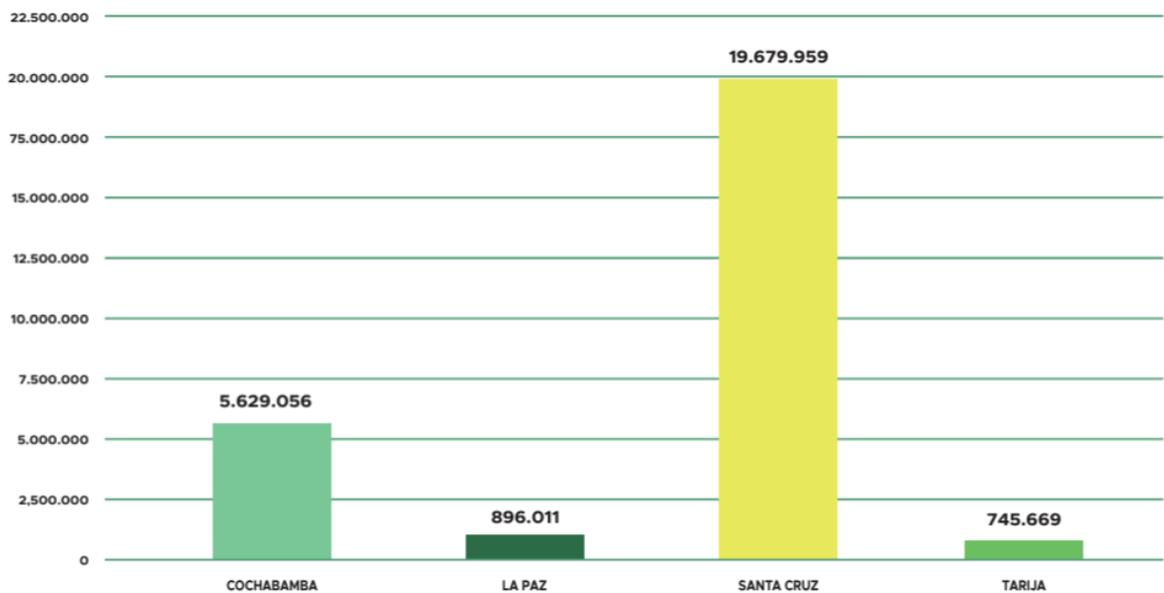
Fuente: ANH, 2022

## ANEXO C

Volúmenes De Comercialización De Gasolina Super Etanol 92

VOLÚMENES COMERCIALIZADOS DE GASOLINA SUPER ETANOL 92 EN ESTACIONES DE SERVICIO GESTIÓN 2022 (Expresado en Litros)													
DEPTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
COCHABAMBA	281.996	408.867	445.946	458.056	482.616	457.732	459.149	443.807	435.983	514.650	597.851	642.404	5.629.056
LA PAZ	53.034	52.437	55.576	67.964	90.480	66.925	72.843	80.432	79.935	93.030	79.460	103.895	896.011
SANTA CRUZ	1.504.511	1.619.027	1.659.655	1.656.713	1.702.521	1.575.224	1.389.852	1.865.677	1.835.565	1.794.227	860.777	2.216.209	19.679.959
TARIJA	65.639	67.633	72.612	75.906	60.444	50.284	54.500	56.532	54.055	62.154	59.221	66.690	745.669
<b>TOTAL</b>	<b>1.905.180</b>	<b>2.147.965</b>	<b>2.233.789</b>	<b>2.258.639</b>	<b>2.336.061</b>	<b>2.150.165</b>	<b>1.976.344</b>	<b>2.446.448</b>	<b>2.405.537</b>	<b>2.464.060</b>	<b>1.597.310</b>	<b>3.029.197</b>	<b>26.950.695</b>

**VOLÚMENES DE GASOLINA SUPER ETANOL 92 COMERCIALIZADOS EN ESTACIONES DE SERVICIO - GESTIÓN 2022 (Expresado en Litros)**



Fuente: ANH, 2022

## ANEXO D

### Especificaciones Técnicas Acero Astm A36

#### Acero ASTM A36.

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

#### Composición química de la colada.

Carbono (C)	0.26% máx
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0.04% máx
Azufre (S)	0.05% máx
Silicio (Si)	0.40% máx
* Cobre (Cu)	0.20% mínimo

\*Cuando se especifique

#### Propiedades

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPA (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 plg (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 ksi), y el mismo límite de rotura.

#### Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550

#### Formas

El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluye:

Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas.

#### Métodos de unión

Las piezas hechas a partir de acero A36 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura. Los más comúnmente usados para el A36 son los menos costosos y rápidos como la Soldadura por arco metálico protegido (SMAW, Shielded metal arc welding), Soldadura con arco metálico y gas (GMAW, Gas metal arc welding), y soldadura oxiacetilénica. El acero A36 es también comúnmente atornillado y remachado en las aplicaciones estructurales: edificios, puentes, torres, etc.

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>, 2018