

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA PETROLERA**



**PROYECTO DE GRADO**

**“DISEÑO DE UN MÓDULO PARA EL INCREMENTO DEL OCTANAJE DE  
LA GASOLINA EN BASE AL USO DE ACEITE DE LIMONENO DE LA  
CÁSCARA DE NARANJA DENTRO LA PLANTA GUALBERTO  
VILLARROEL”**

**POSTULANTE: UNIV. DIEGO JULIO QUISPE LIMACHI**

**TUTOR: M. SC. ING. MARIO DAZA BLANCO**

**La Paz Bolivia**

**2023**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

"Dedico este proyecto a Dios por darme la vida y salud así poder culminar uno de mis sueños anhelados de ser profesional en el área de ingeniería, y a mis padres Zenobio Julio Quispe Mendoza y Rosa Limachi Sarco, quienes me han brindado su amor, apoyo y orientación durante toda mi vida. Gracias por ser mis pilares en los momentos más difíciles y por celebrar conmigo cada logro. Este proyecto de grado no habría sido posible sin su constante aliento y motivación. Les dedico mi trabajo con todo mi corazón, en agradecimiento por todo lo que han hecho por mí"

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto de grado. En primer lugar, agradezco a mi tutor Ing. Mario Daza Blanco y al tribunal por su guía, orientación y apoyo constante a lo largo de todo el proceso. Sus conocimientos y experiencia fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo con éxito.

También quiero agradecer a mis compañeros de carrera, quienes compartieron conmigo sus ideas y conocimientos, y me brindaron su ayuda en los momentos más críticos.

Agradezco a mis amigos y familiares, quienes siempre estuvieron ahí para escucharme, motivarme y apoyarme en todo momento. Gracias por creer en mí y en mi proyecto.

## RESUMEN

El proyecto de grado consiste en la aplicación de una planta piloto de limonero para mejorar el octanaje de la gasolina. Se han desarrollado los conceptos fundamentales del octanaje, los métodos para su incremento, la selección de equipos, el diseño de un tanque agitador y la determinación de la cantidad de cáscara de naranja necesaria para extraer el compuesto limoneno.

En la parte teórica, se han explorado los conceptos teóricos del limoneno y los procesos de extracción del mismo, destacando el método de extracción por microondas. Se ha detallado el mecanismo de reacción y el incremento del octanaje de la gasolina al añadir un porcentaje de limoneno en volumen obtenido de la cáscara de naranja.

Se ha realizado un análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto propuesto. En conclusión, se ha logrado diseñar un módulo de mezcla para incrementar el octanaje de la gasolina utilizando aceite de limoneno de cáscara de naranja en la planta Gualberto Villarroel. En este caso mezclar el aceite de limoneno que ya fue comprobado científicamente hace unos años para incrementar el octanaje de la gasolina es muy novedoso y es un nuevo proceso.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS .....	XI
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1    Introducción .....	1
1.2    Antecedentes.....	3
1.2.1    Antecedentes generales.....	3
1.2.2    Antecedentes académicos.....	4
1.3    Planteamiento del problema. ....	4
1.3.1    Identificación del problema.....	4
1.3.2    Formulación del problema. ....	5
1.4    Objetivos.....	6
1.4.1    Objetivo general .....	6
1.4.2    Objetivos específicos.....	6
1.5    Justificación.....	6
1.5.1    Justificación técnica.....	6
1.5.2    Justificación económica.....	7
1.5.3    Justificación socio-ambiental .....	7

1.6	Alcance.....	8
1.6.1	Alcance temático.....	8
1.6.2	Alcance económico.....	9
1.6.3	Alcance geográfico.....	9
CAPITULO II.....		11
LA GASOLINA Y EL PROCESO DE INCREMENTO DE OCTANAJE.....		11
2.1	Conceptos Generales.....	11
2.1.1	Características de la Gasolina.....	11
2.1.2	Composición de la Gasolina.....	12
2.1.3	Definición de Volatilidad y RVP.....	13
2.2	Características del Octanaje.....	14
2.2.1	RON.....	16
2.2.2	Número de MON.....	16
2.2.3	Número de Octano Comercial.....	16
2.3	Métodos de Obtención de la Gasolina.....	17
2.3.1	Destilación.....	17
2.4	Procesos Utilizados para Incrementar el Octanaje.....	19
2.4.1	Isomerización.....	19
2.4.2	Reformado Catalítico.....	21
2.4.3	Alquilación.....	22
2.5	Aditivos que Incrementan el Octanaje.....	23
2.5.1	Tetraetilo de Plomo.....	25
2.5.2	MTBE (Metil Ter-Butil Eter).....	26
2.5.3	ETBE.....	26

2.5.4	Etanol .....	27
CAPITULO III.....		29
ACEITE DE LIMONENO PARA INCREMENTAR EL OCTANAJE DE		
LA GASOLINA .....		29
3.1	Antecedentes .....	29
3.2	Análisis Situacional de la Producción de Naranjas.....	29
3.2.1	Producción a nivel Latinoamérica .....	30
3.2.2	Producción nacional .....	31
3.2.3	Industrialización de la naranja .....	33
3.3	Definición de limoneno.....	35
3.4	Características fisicoquímicas del limoneno .....	37
3.4.1	Características físicas .....	37
3.4.2	Características químicas .....	38
3.5	Procesos de extracción del limoneno de la cáscara de naranja .....	39
3.5.1	Extracción por prensado en frio .....	39
3.5.2	Extracción por arrastre con vapor de agua .....	40
3.5.3	Extracción con solventes volátiles .....	41
3.5.4	Extracción con fluidos en estado supercrítico .....	42
3.5.5	Utilización de los Ultrasonidos .....	43
3.5.6	Extracción por Microondas .....	44
3.6	Mecanismo de reacción entre el limoneno y la gasolina.....	48
3.6.1	Preparación de la mezcla de combustible .....	48
3.6.2	Cambios de la composición de hidrocarburos de la gasolina	
	mediante la adición de aceite de limoneno .....	52



3.6.3	Efecto del aditivo en el octanaje en la gasolina .....	54
3.6.1	Efecto del aditivo en la densidad de la gasolina .....	56
3.6.2	Evaluación en el motor e Impacto ambiental .....	58
CAPITULO IV .....		60
INGENIERÍA DEL PROYECTO .....		60
4.1	Referencia .....	60
4.2	Ubicación del modulo.....	60
4.3	Selección del método de extracción.....	61
4.4	Descripción del proceso obtención de aceite de limoneno .....	63
4.5	Rendimiento de aceite de limoneno de la cascara de naranja .....	64
4.6	Diseño del módulo de extracción de limoneno y mezcla con gasolina ....	68
4.6.1	Selección de equipos para la extracción de aceite de limoneno .....	68
4.6.1.1	Equipo de extracción por microondas .....	68
4.6.1.2	Vaso florentino .....	71
4.6.2	Cálculo de la masa necesaria de cáscara de naranja.....	72
4.6.3	Configuración del módulo de extracción de aceite de limoneno .....	76
4.6.4	Diseño del agitador.....	77
4.6.5	Relaciones geométricas para el diseño del mezclador .....	82
4.6.6	Cálculo de la potencia requerida por el agitador .....	86
4.6.7	Cálculo de la tasa de circulación interna.....	90
4.6.8	Tiempo de mezcla .....	92
4.7	Resumen de los cálculos realizados .....	96
CAPITULO V .....		98
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICA .....		98

5.1	Factibilidad técnica .....	98
5.1.1	Análisis FODA .....	98
5.1.2	Beneficios y Desventajas.....	100
5.1.3	Factibilidad Ambiental .....	101
5.1.4	Factibilidad en la seguridad industrial.....	102
5.2	Factibilidad económica.....	103
5.2.1	Estimación de inversión total .....	104
5.2.2	Costo directo o físico .....	104
5.2.3	Costos indirectos.....	106
5.2.4	Estimación del costo total de producción.....	108
5.3	Cálculo de indicadores económicos .....	109
CAPITULO VI .....		114
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		114
6.1	Conclusiones .....	114
6.2	Recomendaciones .....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		117
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....		121
ANEXOS .....		123

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de la Refinería Gualberto Villarroel .....	10
Figura 2.1 Cortes en la destilación del petróleo .....	18
Figura 2.2 Diagrama del proceso de isomerización.....	20
Figura 2.3 Reformado Catalítico .....	22
Figura 2.4 Alquilación .....	23
Figura 3.1 Principales países productores de naranja en Latinoamérica .....	30
Figura 3.2 Producción de cítricos en Bolivia .....	33
Figura 3.3 Prensado en frío.....	40
Figura 3.4 Destilación por arrastre de vapor .....	41
Figura 3.5 Extracción con CO <sub>2</sub> supercrítico.....	43
Figura 3.6. Extracción con microondas .....	47
Figura 3.7. Diseño de una planta a pequeña escala de mezcla de limoneno. ....	49
Figura 3.8. Cambios moleculares de los componentes de los aditivos del aceite de cáscara de naranja dulce: (a) limoneno, (b) triacetina, (c) beta-mirceno y (d) eugenol.....	50
Figura 3.9 Rutas esquemáticas de la ramificación de la cadena recta debido al limoneno .....	51
Figura 3.10 Rutas esquemáticas de la isomerización del b-mirceno. ....	51
Figura 3.11 Composición de la gasolina antes y después de la mezcla .....	53

Figura 3.12 Efecto del limoneno en el octanaje de la gasolina .....	54
Figura 3.13 Efecto del limoneno en la densidad de la gasolina .....	56
Figura 4.1 Ubicación de la Refinería Gualberto Villarroel .....	61
Figura 4.2 Proceso de obtención de aceite de limoneno .....	63
Figura 4.3 Rendimiento de extracción de limoneno vs tiempo .....	65
Figura 4.4 Equipo de extracción por microondas .....	70
Figura 4.5 Mecanismo de separación de aceites esenciales.....	71
Figura 4.6 Mecanismo de separación de aceites esenciales.....	72
Figura 4.7. Relación de masa para adición en volumen .....	74
Figura 4.8 Diagrama P&ID de la extracción de limoneno .....	77
Figura 4.9 Agitador mecánico con deflectores .....	79
Figura 4.10 Selección del tipo de agitador .....	81
Figura 4.11 Relaciones geométricas de un agitador estándar.....	83
Figura 4.12 Medidas del tanque agitador diseñado.....	86
Figura 4.13. Número de flujo en función del número de Reynolds del impulsor para una turbina.....	91
Figura 4.14 Factor de seguridad .....	95

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de la Gasolina Blanca .....	3
Tabla 1.2. Cuadro de las propiedades de la gasolina homogeneizada .....	4
Tabla 3.1 Producción de cítricos en Bolivia.....	31
Tabla 3.2 Empresas dedicadas a la Industrialización de Naranja .....	34
Tabla 3.3 Propiedades de limoneno de cascara de naranja.....	36
Tabla 3.4. Propiedades físicas del limoneno .....	37
Tabla 3.5. Propiedades físicas del limoneno de distintos orígenes .....	37
Tabla 3.6. Propiedades químicas del limoneno. ....	39
Tabla 4.1 Comparación de métodos de extracción .....	62
Tabla 4.2. Datos de relación de rendimiento de obtención de aceite en el tiempo dentro del proceso por radiación por microondas .....	65
Tabla 4.3 Características del equipo de Mileston MAC 75 .....	69
Tabla 4.4. Relación entre k, volumen de gasolina base y cascara de naranja .....	75
Tabla 4.5 Uso de gasolina base 81 y 85 .....	76
Tabla 4.6 Relaciones geométricas del agitador.....	83
Tabla 4.7 Datos de entrada para el cálculo de la potencia .....	88
Tabla 4.8. Valores de las constantes KL y KT para tanques .....	88
Tabla 4.9. Relación entre viscosidad y número de rotaciones.....	92

Tabla 4.10 Resumen de cálculos .....	96
Tabla 4.11 Características del agitador.....	96
Tabla 5.1 Matriz de estrategias FODA. ....	98
Tabla 5.2 Costos fijos. ....	104
Tabla 5.3 Equipos del modulo.....	105
Tabla 5.4. Costos directos o físicos. ....	105
Tabla 5.5 Costos indirectos.....	107
Tabla 5.6 Costos directos, Indirectos e Inversión Total .....	107
Tabla 5.7 Costo de Producción .....	109
Tabla 5.8 Flujo de caja.....	110

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Uno de los objetivos de la industria de refino de petróleo consiste en aumentar la producción de la gasolina, ya que es un combustible más consumido a nivel mundial<sup>1</sup>. La gasolina está formada por varios compuestos de hidrocarburos con diferentes propiedades físicas y químicas que influyen en los procesos de combustión y en las emisiones de los motores de combustión interna de chispa<sup>2</sup>. Estas propiedades dependen de los compuestos del petróleo crudo, los procesos de refinado y los aditivos de la gasolina<sup>3</sup>. Los aditivos son un factor importante en los procesos de refinado del petróleo y pueden mejorar la calidad de la gasolina.

Un aditivo prometedor para la gasolina es el aceite de la cáscara de naranja, una fuente abundante de compuestos orgánicos. Este aditivo potencial también tiene características similares a los hidrocarburos y a la gasolina. Está formado por hidrocarburos ramificados y compuestos oxigenados que pueden mejorar el rendimiento de la combustión del combustible<sup>4</sup>.

La gasolina, en comparación, suele estar compuesta por un 88% de isooctano y un 12% de n-heptano, en el que el isooctano tiene propiedades favorables como hidrocarburo ramificado. Sin embargo, el n-heptano es un hidrocarburo simple de

---

<sup>1</sup> V.K. Kareddula, R.K. 2017

<sup>2</sup> N. Mittal, R.L. Athony, R. Bansal, C. Ramesh Kumar, 2013

<sup>3</sup> S. Sukanuma, N. Katada, 2020

<sup>4</sup> A. Zare, M.N. Nabi, T.A. Bodisco, F.M. Hossain, M.M. Rahman, Z.D. Ristovski, R.J. Brown, 2016.

cadena recta, lo que facilita el golpeteo. Además, las cadenas rectas son termodinámicamente menos estables que las ramificadas<sup>5</sup>

El compuesto dominante, que compone hasta el 90%, del aceite de cáscara de naranja dulce es el limoneno ( $C_{10}H_{16}$ )<sup>6</sup>, que se clasifica como un hidrocarburo ramificado que consiste en un monoterpeno con una estructura cíclica que tiene dobles enlaces y ramificaciones de metilo.

El limoneno puede mejorar la calidad antidetonante del combustible, como indica el aumento del número de octano<sup>7</sup>. Otros compuestos del aceite de cáscara de naranja dulce son el b-mirceno ( $C_{10}H_{16}$ ) con estructura alifática, el eugenol y la triacetina, que se caracterizan por ser oxigenados y tener estructuras ramificadas.

Estos compuestos del aceite de naranja están contenidos de forma natural en las plantas de cítricos, y su abundante disponibilidad tiene un potencial de producción de aceite como aditivo de combustible. Más de 66,97 millones de toneladas de cítricos producen 33,4 millones de toneladas de residuos de piel de naranja<sup>8</sup>. La producción de aceite de naranja puede alcanzar unas 210.000 toneladas al año aplicando un método de extracción eficaz y adecuado para obtener el aceite de naranja, como la hidrodifusión por microondas y gravedad<sup>9</sup>. En la actualidad, no existe ninguna otra demanda para el uso del aceite de naranja aparte de las industrias alimentaria y cosmética.

---

<sup>5</sup> D.H. Ess, S. Liu, F. De Proft, (2010) .

<sup>6</sup> Kumar, M. Kannan, G. Nataraj, (2020)

<sup>7</sup> Mack, V.H. Rapp, M. Broeckelmann, T.S. Lee, R.W. Dibble, 2013

<sup>8</sup> M.S. Ladaniya. (2008)

<sup>9</sup> N. Bousbia, M.A. Vian, M.A. Ferhat, B.Y. Meklati, F. Chemat, (2009)



La demanda total de este aceite esencial no cubre la producción total de residuos de cáscara de naranja<sup>10</sup>. Sólo 2-3 toneladas de las 210.000 toneladas son utilizadas por estas industrias.

Además, estudios recientes informaron de la viabilidad de la utilización de los residuos de la cáscara de naranja como combustible o aditivo de combustible mediante enfoques de ingeniería metabólica<sup>11</sup>. Demostraron que el proceso de utilización de los residuos de la cáscara de naranja como combustible o aditivo<sup>12</sup> de combustible era relativamente más fácil en comparación con otros materiales, tanto química como físicamente.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Antecedentes generales

La gasolina blanca que viene de la refinería Gualberto Villarroel, tiene las siguientes características como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Características de la Gasolina Blanca

	<b>GASOLINA BLANCA</b>
Octanaje	45
TVR	12
Color	Ligero amarillo
Apariencia	Cristalina

Fuente: Laboratorista de YPFB Logística

---

<sup>10</sup> M. Ortiz-Sanchez, J.C. Solarte-Toro, C.E. Orreg C.A. Cardona-Alzate, (2021)

<sup>11</sup> D. Jeong, S. Ye, H. Park, S.R. Kim, 2019

<sup>12</sup> L.C. Martins, C.C. Monteiro, P.M. Semedo, I. Sa´-Correia, (2020)

La gasolina homogeneizada producto de la transferencia al tanque tiene las siguientes características como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Cuadro de las propiedades de la gasolina homogeneizada

	<b>GASOLINA HOMOGENEIZADA</b>
Octanaje	83 a 86
TVR	variable entre 8 – 9
Color	Incolora a Ligeramente amarillo
Apariencia	Cristalina

Fuente: Laboratorista de YPF Logística

### **1.2.2 Antecedentes académicos**

El Methanol Institute (MI) (2013), en su publicación: “El Uso del Metanol en la Gasolina”, realiza la descripción de la propuesta de la mezcla entre metanol y gasolina como un reactivo para incrementar el octanaje de dicho combustible a través de un proceso de mezcla en un tanque desde la llegada del líquido hasta el almacenamiento del mismo, describiendo las particularidades y el incremento del octanaje con dicho líquido orgánico. Actualmente este proceso se lleva a cabo en Estados Unidos y en otras refinerías del mundo.

### **1.3 Planteamiento del problema.**

#### **1.3.1 Identificación del problema.**

La necesidad de adquirir un aditivo para aumentar el octanaje de la gasolina en Bolivia y disminuir la dependencia de la importación de este combustible. Actualmente Bolivia enfrenta altos costos económicos de suministro debido a su gran dependencia de la importación de gasolina para cubrir la demanda nacional.

Hay muchas razones para abordar el problema. En primer lugar, aumentar el octanaje de la gasolina es fundamental para mejorar el rendimiento de los motores y evitar el golpeteo, especialmente para vehículos de alta compresión, lo cual impacta directamente en la eficiencia y la reducción de emisiones contaminantes. Además, reducir la cantidad de gasolina importada ayudaría a fortalecer la autonomía energética del país y aumentar la seguridad energética.

La investigación y desarrollo de un aditivo nacional que aumente el octanaje de la gasolina tendría múltiples beneficios. Por un lado, permitiría maximizar el rendimiento de los motores, aumentar su eficiencia y reducir las emisiones de los contaminantes.

En esta situación, se enfatiza la necesidad de encontrar soluciones económicas y respetuosas con el medio ambiente. Además, se aprovecha el incremento en el consumo de naranjas y limones por las últimas enfermedades respiratorias se ha incrementado de manera que la producción de cítricos ocupa un alto lugar en la sociedad, así como la existencia de desechos orgánicos de la cascara de estos frutos que no se están utilizando adecuadamente. Se sugiere que agregar un aditivo de aceite de limoneno ya comprobado en laboratorio para incrementar el octanaje de la gasolina se presenta como una opción recomendable.

### **1.3.2 Formulación del problema.**

¿Se puede extraer aceite de limoneno a partir de los residuos orgánicos de la cascara de naranja para incrementar el octanaje de la gasolina que produce la refinería Gualberto Villarroel?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un módulo a pequeña escala para el incremento del octanaje de la gasolina en la Planta Gualberto Villarroel.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Describir los conceptos fundamentales del octanaje y los métodos para el incremento del mismo.
- Delinear los conceptos teóricos del aceite de cascara de naranja y los procesos de extracción del mismo.
- Detallar el mecanismo de reacción e incremento de octanaje de la gasolina utilizando aceite de la cáscara de naranja.
- Diseñar un módulo de mezcla de limoneno y gasolina en la refinería Gualberto Villarroel.
- Realizar un análisis de factibilidad técnica y económica del proyecto propuesto.

## **1.5 Justificación.**

### **1.5.1 Justificación técnica.**

Desarrollar un sistema de mezclas de gasolina y aceite de limoneno para incrementar el octanaje de combustible que produce la refinería Gualberto Villarroel. Este proyecto permitirá el incremento del octanaje en la gasolina de manera factible y además de que tendrá un gran aporte el sistema operativo de YPFB.

Analizar los mecanismos de reacción entre el limoneno extraído de la cáscara de naranja y la gasolina permitirá identificar las cantidades y valores con los que se deberá trabajar para mejorar los procesos de producción en la refinería de Gualberto Villarroel.

### **1.5.2 Justificación económica.**

El incremento del octanaje beneficia en el rendimiento del uso de combustibles reduciendo costos operativos y el daño en los motores que utilicen este recurso, también, cómo es un recurso renovable el limoneno fácilmente se puede obtener del reciclado de cáscaras o de contrato con empresas que produzcan estos frutos. El uso de recursos renovables siempre representa un beneficio económico tanto para la empresa que lo utiliza como para la empresa que lo distribuye generando un ciclo económico constante efectivo.

### **1.5.3 Justificación socio-ambiental**

El uso de aceite de cascara de naranja como aditivo para la gasolina tiene varias implicaciones ambientales positivas. En primer lugar, al mejorar la calidad de la combustión y aumentar el rendimiento del octanaje, el uso de este aditivo puede reducir la cantidad de combustible necesario para alcanzar el mismo nivel de rendimiento, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de escape y la huella de carbono del vehículo. Además, los compuestos monoterpénicos e hidrocarburos oxigenados presentes en el aceite de cascara de naranja pueden reducir las emisiones de CO y otros contaminantes en los gases de escape, lo que contribuye a una mejor calidad de aire.

(Musyaroh, Wijayanti, & Sasongko, 2021) afirma: se encontró que la adición de aditivos de aceite de cascara de naranja a la gasolina premium redujo el CO en un 37,7% y el O<sub>2</sub> restante en un 17% lo que demuestra el potencial de este aditivo para mejorar la calidad del aire al reducir las emisiones de gases de escape. Además, la adición de este aditivo redujo el consumo de combustible en un 3,3% en promedio, lo que implica una reducción en el uso de recursos naturales y una disminución de huella de carbono.

El proyecto es amigable con el medio ambiente ya que este aceite de limoneno se obtiene de recursos renovables que no dañan al medio ambiente y qué beneficia al ser humano ya que no es tóxico y el control de esta planta generaría más empleos para ingenieros químicos y petroleros.

## **1.6 Alcance**

### **1.6.1 Alcance temático.**

El alcance temático del proyecto de grado se concentra en dos aspectos principales: la selección del equipo para la extracción de aceite de limoneno de la cascara de naranja y el diseño de un tanque agitador para la mezcla de este aceite con gasolina base.

Dentro de este alcance, se realizará una investigación sobre los diferentes métodos de extracción y tecnologías disponibles para la extracción del aceite de limoneno de cascará de naranja, considerando aspectos como la extracción por microondas, la extracción con disolventes y los equipos de destilación. Se evaluarán el

rendimiento de extracción de cada método para seleccionar el más adecuado para el módulo a pequeña escala.

Se diseñará un tanque agitador, definiendo las especificaciones necesarias para lograr una mezcla homogénea. Se determinará aspectos como potencia, tiempo, tipo de agitación, así como la capacidad del tanque para garantizar un proceso óptimo.

Obtener una explicación teórica fundamentada de los beneficios del limoneno respecto al incremento del octanaje y su mecanismo de reacción de cómo este mejore las características de dicho combustible hidrocarbúrfero.

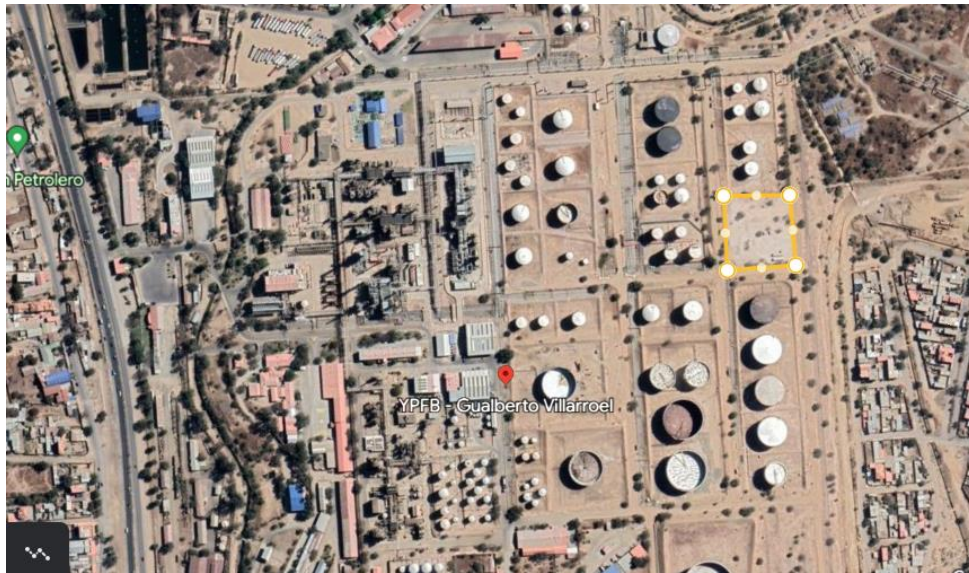
### **1.6.2 Alcance económico**

El alcance económico de este diseño de un módulo para el incremento de octanaje de la gasolina tiene como objetivo principal establecer el presupuesto estimado para la construcción. El alcance económico incluirá la determinación de los costos asociados con la adquisición de equipos, mano de obra y los gastos generales. Se buscará optimizar el costo total del proyecto sin comprometer la calidad y seguridad del módulo.

### **1.6.3 Alcance geográfico.**

El proyecto se aplicará en la Refinería Gualberto Villarroel ubicada en la Avenida Petrolera carretera antigua a, Santa Vera Cruz, Cochabamba. A una altitud promedio de 2616 m.s.n.m., se encontrará ubicado en latitud (-17.4516667) y longitud (-66,1202777777). En la Figura 1.1 se puede ver la imagen satelital.

Figura 1.1 Ubicación de la Refinería Gualberto Villarroel



Fuente: Google Earth, 2022





## CAPITULO II

### LA GASOLINA Y EL PROCESO DE INCREMENTO DE OCTANAJE

#### 2.1 Conceptos Generales

##### 2.1.1 Características de la Gasolina

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos alifáticos obtenida del petróleo por destilación fraccionada, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido por chispa convencional o por compresión (DiesOtto), así como en estufas, lámparas, limpieza con solventes y otras aplicaciones. En Argentina, Paraguay y Uruguay, la gasolina se conoce como «nafta» (del árabe «naft»), y en Chile, como «bencina».

Tiene una densidad de 680 g/L (un 20 % menos que el gasóleo, que tiene 850 g/L. El gasoil A tiene una densidad de 845 g/L, es amarillento y se usa para turismos, el gasoil B tiene una densidad de 855 g/L, es rojizo y es para uso agrícola, y el gasoil C es azulado y tiene un uso doméstico). Un litro de gasolina proporciona, al arder, una energía de 34,78 megajulios, aproximadamente un 10 % menos que el gasoil, que proporciona 38,65 megajulios por litro de carburante. Sin embargo, en términos de masa, la gasolina proporciona un 3,5 % más de energía.

En general se obtiene a partir de la gasolina de destilación directa, que es la fracción líquida más ligera del petróleo (exceptuando los gases). La nafta también se obtiene a partir de la conversión de fracciones pesadas del petróleo (gasoil de vacío) en

unidades de proceso denominadas FCC (craqueo catalítico fluidizado) o hidro craqueo.

La gasolina es una mezcla de cientos de hidrocarburos individuales desde  $C_4$  (butanos y butenos) hasta  $C_{11}$  como, por ejemplo, el metilnaftaleno.

Debe de cumplir una serie de condiciones, unas para que el motor funcione bien y otras de tipo ambiental, ambas reguladas por ley en la mayoría de los países. La especificación más característica es el índice de octano (en inglés: MON, “motor octane number”, RON “research octane number” o el promedio de los anteriores que se llama PON “pump octane number”) que indica la resistencia que presenta el combustible a producir el fenómeno de la detonación. (Flores, 2014)

### **2.1.2 Composición de la Gasolina**

La gasolina está compuesta por una mezcla de hidrocarburos que van desde los que poseen 4 átomos de carbono hasta los que tienen 10 u 11 átomos de carbono; estos hidrocarburos pueden ser parafínicos, isoparafínicos, olefínicos, nafténicos y aromáticos, obtenidos de diversos procesos de refinación como destilación, craqueo térmico y catalítico, reformación catalítica, alquilación, e isomerización.

De las cuatro (4) clases en que se subdividen los hidrocarburos (parafínicos, nafténicos, aromáticos y olefínicos), la que predomina en el petróleo bruto es la clase de los hidrocarburos parafínicos (parafinas), que pueden ser de cadena lineal (n- parafinas) o ramificada (isoparafinas). La n-parafina posee un octanaje inferior a la correspondiente a las isoparafinas y las mezclas de n-parafinas e isoparafinas, presentes en el petróleo bruto en estado de equilibrio.

### 2.1.3 Definición de Volatilidad y RVP

La capacidad de vaporización de la gasolina se llama volatilidad, esta generalmente es determinada a través de la medición de la presión de vapor Reid RVP, que a su vez es una medida indirecta de la presión de vapor real de la gasolina.

Este parámetro es muy importante ya que pueden darse dos tipos de fenómenos dependiendo si la volatilidad es baja o muy alta. Si la gasolina no es lo suficientemente volátil (algo común en los años sesenta), el encendido del motor se dificulta, la temperatura de operación del motor es baja lo que trae como consecuencia que la distribución del carburante en el cilindro no sea homogénea y se incrementen los depósitos en el motor. Si por el contrario es muy volátil (tendencia de los años ochenta) se vaporiza muy rápidamente y ebulle en las bombas que la transportan al carburador o inyector, lo cual puede causar que se pierda poder y el motor se “ahogue”, este fenómeno es conocido como Vapor lock (sello de vapor).

Este parámetro también es de gran importancia debido a que está relacionado estrechamente con las pérdidas debidas a la evaporación, tanto en el transporte, almacenamiento del distribuidor, así como en el vehículo. Por esta razón las regulaciones actuales en diversos países tienen una marcada tendencia a reducir el valor de la RVP en las gasolinas comerciales.

El equipo en el que se mide la presión de vapor Reid, que dependerá de la temperatura a la cual se encuentra la gasolina, comprende un recipiente en el que se coloca la muestra, una cámara de aire de más o menos cuatro veces el volumen

del recipiente, un baño a temperatura constante y un medidor de presión o manómetro. Se llena la cámara con la muestra y se conecta a la cámara de aire. El conjunto se agita periódicamente y el manómetro es colocado en la parte superior de la cámara de aire dando la lectura de una presión que se estabiliza cuando el equilibrio se alcanza.

El valor que se obtiene es el de la tensión del vapor Reid de la gasolina que se expone en gramos por centímetro cuadrado o libras por pulgada cuadrada. Así una gasolina de 10 RVP tiene una presión de vapor Reid de 10 libras/pulgada. La prueba de presión de vapor es muy importante ya que de manera indirecta indica el contenido de productos muy volátiles que condicionan la seguridad en el transporte, pérdidas en almacenamiento y volatilidad de la gasolina.

## **2.2 Características del Octanaje**

La calidad de la nafta y gasolina se expresa en octanaje o número octano. El octanaje o índice de octano, de una gasolina, es el porcentaje de 2,2,4 – trimetilpentano (isooctano) que, mezclado con heptano, da un combustible de las mismas características detonantes que la gasolina en cuestión. Las diferentes gasolinas se diferencian por su volatilidad, densidad y sus propiedades “antidetonaantes”. Una mezcla de vapor de gasolina y aire arde con violencia casi explosiva en el cilindro de un motor de combustión interna. Cuanto más comprimida se encuentre la mezcla en la ignición, mayor es el rendimiento del motor, pero si se utiliza una compresión muy elevada la mezcla arde con excesiva rapidez y el resultado es una violenta sacudida contra el émbolo, el motor detona y el rendimiento es menor.

Este fenómeno está vinculado con la composición de la nafta. Si esta contiene hidrocarburos ramificados, resiste una mayor compresión sin detonar y se dice que tiene mayor poder antidetonante. Por esta razón, se ideó una escala en la que el 0 corresponde al heptano lineal y el 100 al 2,2,4-trimetil pentano, que es un isómero del octano, por lo cual se lo llama isooctano.

Se denomina nafta de octanaje 90 a cualquier mezcla de hidrocarburos que se comporta dentro de un motor, igual que la formada por el 90 % de isooctano y el 10 % de n-heptano.

La nafta obtenida por destilación tiene un bajo octanaje (alrededor de 50). Es, aproximadamente, un 30 % del petróleo crudo del cual se obtiene y no alcanza para satisfacer la demanda.

Con el desarrollo de los motores de alta compresión, se hizo necesario el empleo de aditivos que aumentaran el poder antidetonante de las naftas. Hasta hace poco tiempo, se le agregaban aditivos como el tetraetilo plomo  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$ . La creciente preocupación por la incidencia del uso de carburantes sobre la salud de los ciudadanos, condujo a la progresiva eliminación de aditivos que contuviesen metales; en la actualidad, están prohibidos en la mayor parte de los países.

Otra alternativa para no tener que agregar aditivos a la nafta es convertir las moléculas lineales de hidrocarburos en cadenas ramificadas con la misma fórmula molecular; es decir, isómeros, por lo que a este proceso se lo llama isomerización.

En la isomerización, el hidrocarburo lineal en estado de vapor se calienta con un catalizador apropiado. Por ejemplo, el n-hexano se transforma en su isómero, el 2,4-dimetil butano.

Para determinar la calidad antidetonante de una gasolina, se efectúan corridas de prueba en un motor, de donde se obtienen dos parámetros diferentes:

### **2.2.1 RON**

El Research Octane Number (Número de Octano de Investigación) que se representa como RON o simplemente R y que se determina efectuando una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y a una temperatura de entrada de aire de 125°F (51.7°C)

### **2.2.2 Número de MON**

El Motor Octane Number (Número de Octano del Motor) que se representa como MON o simplemente M y se obtiene mediante una corrida de prueba en una máquina operada a una velocidad de 900 revoluciones por minuto y con una temperatura de entrada de aire de 300°F (149°C).

### **2.2.3 Número de Octano Comercial**

Para propósitos de comercialización y distribución de las gasolinas, los productores determinan el octanaje comercial, como el promedio de los números de octano de investigación (RON) y el octano del motor (MON), como se muestra en la siguiente ecuación 2.1:

$$\text{Número de octano comercial} = \frac{RON + MON}{2} \quad ( 2.1 )$$

### 2.3 Métodos de Obtención de la Gasolina

La gasolina se obtiene a partir del petróleo a través de las siguientes etapas generales:

- Proceso de destilación separación física de los componentes del petróleo por diferencia de volatilidad entre cada uno de ellos, de este proceso se obtiene la gasolina natural.
- Proceso de desintegración de los componentes pesados del petróleo, para convertirlos en gasolina y gas licuado.
- Procesos que se emplean para mejorar las características de las gasolinas como el de reformado catalítico, isomerización, alquilación y adición de compuestos oxigenantes como el metilterbutil éter (MTBE), metilteramil éter (TAME), y más recientemente etanol carburante.
- Procesos de purificación que permitan obtener gasolinas más limpias, tales como la hidro desulfuración.

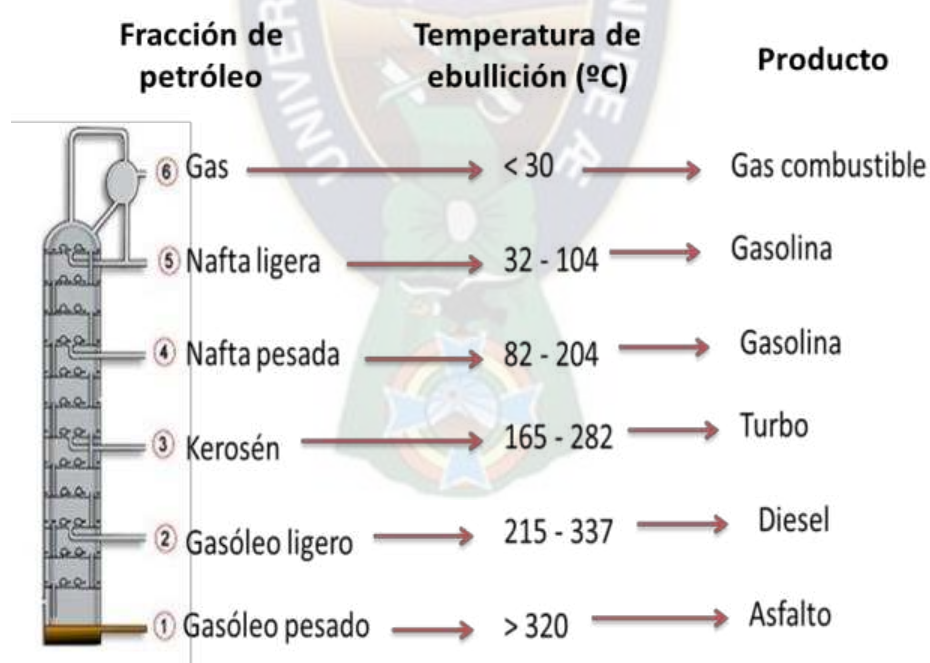
#### 2.3.1 Destilación

Los productos necesarios para obtener gasolina comercial se tienen en primera instancia, por destilación fraccionada del petróleo bruto (crudo), esta destilación se lleva a cabo a presión atmosférica y se obtienen diversos productos de acuerdo con la fracción que se tome dentro de la columna de destilación y la temperatura que se emplee para realizar la separación física de los componentes.

La destilación es el proceso en el cual, por efecto de la temperatura, los diferentes componentes de una sustancia se van separando debido a las diferencias entre sus volatilidades, la cual depende de la distribución de estos componentes entre una fase vapor y una líquida, estando ambos componentes presentes en ambas fases. El grado de separación de estos compuestos está directamente relacionado con sus puntos de ebullición ya que la fase vapor se origina de la fase líquida por vaporización en dicho punto.

El requisito básico para separar los componentes por destilación (Figura 2.1), consiste en que la composición del vapor sea diferente de la composición del líquido con el cual está en equilibrio en el punto de ebullición.

Figura 2.1 Cortes en la destilación del petróleo



Fuente: Norma Venezolana 1534:1996. Petróleo crudo y sus derivados [Documento en línea] Disponible: <http://www.sencamer.gob.ve/>



La destilación del petróleo se produce en columnas de platos o empacadas, donde los diferentes compuestos se desplazan a través de la torre, de modo que los componentes ligeros se mueven hacia el tope de la torre; mientras que los más pesados salen por el fondo, como se muestra en la Figura 2.1.

## **2.4 Procesos Utilizados para Incrementar el Octanaje**

Los procesos de mejora generan cambios químicos que reorganizan o combinan las moléculas en los flujos de menor valor, con el objetivo de producir flujos de mayor valor. Uno de los principales productos obtenidos a través de estos procesos es una mezcla de componentes de gasolina con alto octanaje y bajo contenido de azufre.

Dentro de los procesos de mejora, se destacan el reformado catalítico, la alquilación, la isomerización y la polimerización. A continuación, se proporcionará una breve descripción de cada uno de estos procesos.

### **2.4.1 Isomerización**

Convierte las moléculas de cadena lineal ( $C_6$ ,  $C_5$ ,  $C_4$ ) en hidrocarburos de cadenas ramificadas con el mismo número de carbonos, con el propósito de incrementar el número de octano, debido a que las cadenas lineales poseen menor número de octano que las ramificadas.

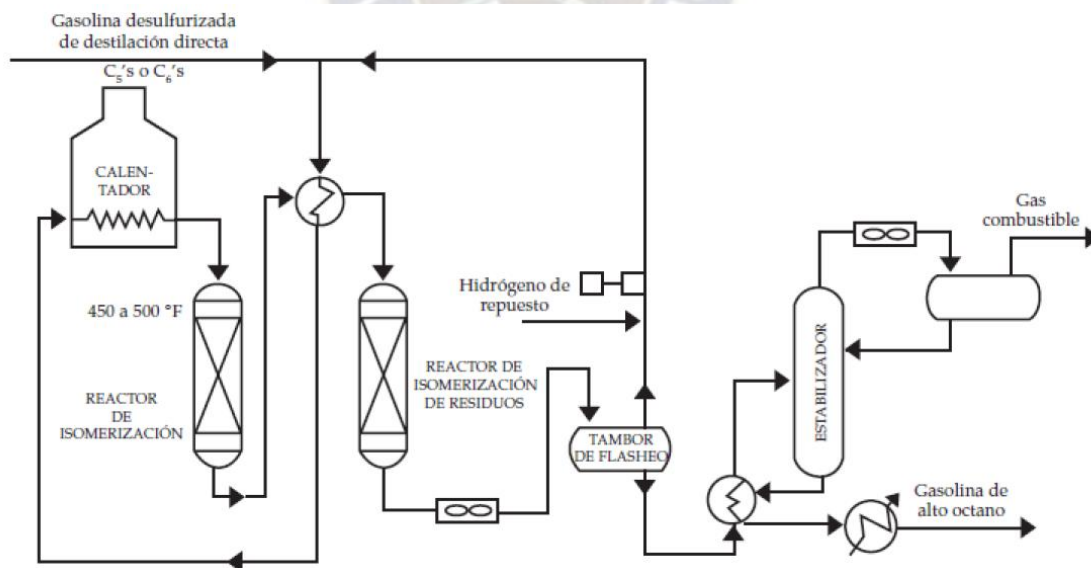
El proceso es una fuente alterna para incrementar el octanaje de la gasolina y generalmente su materia prima es la nafta liviana que se separa del crudo por destilación, haciendo que las moléculas más volátiles (como las parafinas lineales), sean modificadas y la volatilidad de la mezcla disminuya.

Existen dos procesos de isomerización (Figura 2.2) que se han identificado el de butano C<sub>4</sub> y el de pentano/hexano C<sub>5</sub>/C<sub>6</sub>. En la isomerización del butano se produce para la corriente de entrada para la alquilación, y la isomerización de pentano/hexano se utiliza para elevar el índice de octano.

En la Figura 2.2 el diagrama del proceso de isomerización está compuesta por dos secciones:

- HTN (Hidrotratamiento de naftas): tiene como objetivo la separación del corte de pentanos y hexanos de la carga, y su posterior tratamiento con hidrogeno para eliminar contaminantes del catalizador.
- PENEX (Reacción de isomerización): tiene como objetivo la isomerización de las parafinas lineales de pentanos y hexanos.

Figura 2.2 Diagrama del proceso de isomerización



Fuente: L. Zurita; Procesos industriales [Online] Disponible en:

<http://saludyseguridad.blogspot.com/2015/01/20stereter20ón-i.html>

### 2.4.2 Reformado Catalítico

Este proceso nació en los años 30 y la primera planta fue construida en 1940. Inicialmente el proceso no se concibió para obtener gasolina sino para producir tolueno, con el cual se genera el trinitrotolueno, el explosivo TNT.

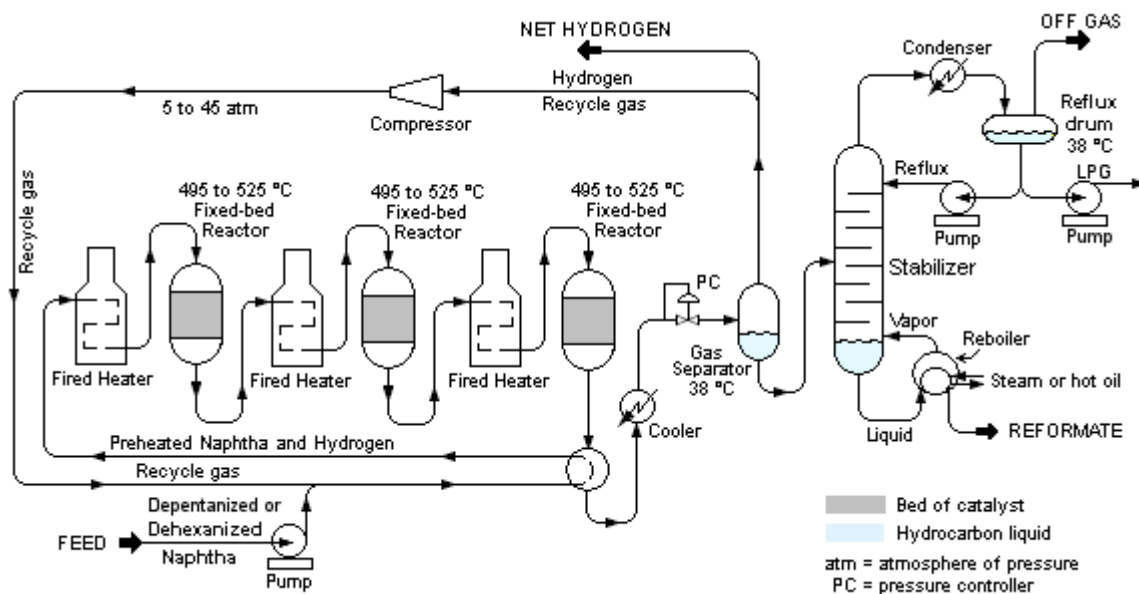
El reformado catalítico (Figura 2.3) es un proceso que aumenta el octanaje de una corriente denominada nafta pesada ( $C_7 - C_{10}$ ) y su destino es formar parte de la gasolina; el proceso convierte los hidrocarburos lineales de bajo octanaje (parafinas) en alcanos ramificados (isoparafinas) y los naftenos cíclicos, que luego se deshidrogenan parcialmente para producir hidrocarburos aromáticos de alto octanaje.

Hay muchas reacciones químicas que ocurren en el proceso de reformado catalítico (Figura 2.3), todas las cuales ocurren en presencia de un catalizador y una alta presión de hidrogeno. Dependiendo del tipo o versión de reformado catalítico usado, así como de la severidad de la reacción deseada, las condiciones de reacción oscilan entre temperaturas de aproximadamente 495 a 525°C y presiones de aproximadamente 5 a 45 atm.

Los catalizadores de reformado catalítico comúnmente usados contienen metales nobles como platino y/o renio, que son muy susceptibles al envenenamiento por compuestos de azufre y nitrógeno. Por tanto, la materia prima de nafta para un reformado catalítico siempre se procesa previamente en una unidad de hidrodesulfuración que elimina tanto el azufre como los compuestos de nitrógeno. La

mayoría de los catalizadores requieren que el contenido de azufre y nitrógeno sea inferior a 1ppm.

Figura 2.3 Reformado Catalítico



Fuente: Improvement of Light Cycle Oil by Solvent Extraction; Sotirios L; [Online]

Disponible: [researchgate.net/publication/335404771\\_Improvement\\_of\\_Light\\_Cycle\\_Oil\\_by\\_Solvent\\_Extraction](https://www.researchgate.net/publication/335404771_Improvement_of_Light_Cycle_Oil_by_Solvent_Extraction)

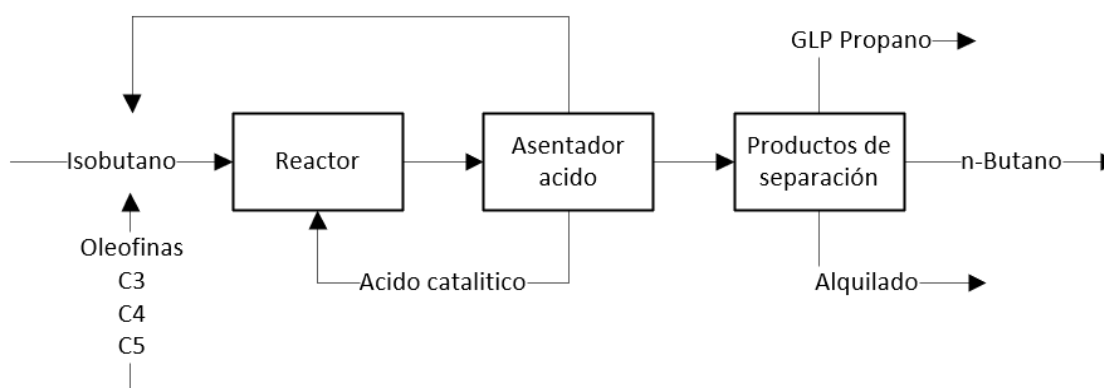
### 2.4.3 Alquilación

En la alquilación (Figura 2.4) se hacen reaccionar olefinas con isoparafinas para hacer crecer la cadena de hidrocarburos y ramificarla. Generalmente el producto que se obtiene está dentro del rango de las gasolinas y contribuye en forma importante.

Proceso para la producción de un componente de gasolinas de alto octanaje por síntesis de butilenos con isobutano. El proceso de alquilación es una síntesis química por medio de la cual se une un alcano ramificado al doble enlace de un

alqueno, extraído del cracking o segunda destilación. Al resultado de la síntesis se le denomina alquilado o gasolina alquilada, producto constituido por componentes isoparafínicos. Su objetivo es producir una fracción cuyas características tanto técnicas (alto octano) como ambientales (bajas presión de vapor y reactividad fotoquímica) la hacen hoy en día, uno de los componentes más importantes de la gasolina reformulada. La alquilación (Figura 2.4) es un proceso catalítico que requiere de un catalizador de naturaleza ácida fuerte, y se utilizan para este propósito ya sea ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico (Steemit, 2017).

Figura 2.4 Alquilación



Fuente: Refinerías de Petróleo: Alquilación, Steemit, 2017

## 2.5 Aditivos que Incrementan el Octanaje

Los aditivos desempeñan un papel crucial en la industria de la gasolina, ya que se utilizan para mejorar y optimizar las propiedades del combustible. Estos compuestos se agregan a la gasolina durante el proceso de refinamiento con el objetivo de cumplir con los estándares de calidad, mejorar el rendimiento del motor, reducir las emisiones contaminantes y proteger los sistemas de combustible.

Existen diversos tipos de aditivos utilizados en la gasolina, cada uno con su función específica. Algunos de los aditivos comunes incluyen:

- **Mejoradores del número de octano:** Estos aditivos aumentan el número de octano de la gasolina, lo que mejora la capacidad del combustible para resistir la detonación o el golpeteo del motor. El uso de aditivos de octanaje permite utilizar gasolinas de menor octanaje sin comprometer el rendimiento del motor.
- **Detergentes:** Los detergentes se agregan para mantener limpios los sistemas de combustible al prevenir la acumulación de depósitos y residuos. Estos aditivos ayudan a mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones contaminantes al mantener las partes internas del motor limpias.
- **Estabilizadores de combustible:** Estos aditivos ayudan a prevenir la degradación y oxidación del combustible durante su almacenamiento. Al mantener el combustible estable, se evita la formación de sedimentos y se prolonga la vida útil del mismo.
- **Anticorrosivos:** Los aditivos anticorrosivos protegen los sistemas de combustible y los componentes metálicos del motor contra la corrosión causada por la presencia de agua y otros contaminantes.
- **Antioxidantes:** Estos aditivos previenen la degradación del combustible debido a la exposición al oxígeno y el calor. Ayudan a mantener la calidad y la estabilidad del combustible a lo largo del tiempo.

Los aditivos desempeñan un papel importante en la mejora del octanaje de la gasolina, permitiendo un mejor rendimiento y protección del motor. El octanaje es

una medida de la capacidad de resistencia a la detonación del combustible en los motores de combustión interna. Un octanaje más alto significa una mayor capacidad para soportar altas presiones sin detonar prematuramente.

Para mejorar el octanaje de la gasolina, se utilizan aditivos específicos. Estos aditivos actúan como mejoradores del octano al alterar las propiedades químicas del combustible. A continuación, se proporcionará una breve descripción de cada uno de estos aditivos.

### **2.5.1 Tetraetilo de Plomo**

El tetraetilo de plomo  $Pb(C_2H_5)_4$  es un compuesto químico tóxico utilizado como aditivo de la gasolina para aumentar el octanaje desde la década de 1920 hasta la década de 1970. El TEL es un líquido incoloro e inodoro que se mezcla fácilmente con la gasolina. Se estima que TEL podía aumentar el octanaje de la gasolina en 5-10 puntos, lo que permitía a los automóviles de la época prevenir el ruido de detonación en el motor. Sin embargo, su uso ha sido ampliamente cuestionado debido a sus efectos negativos en la salud y en el medio ambiente. El TEL puede contaminar el aire y el suelo, y su inhalación o ingestión puede causar graves daños al sistema nervioso y al cerebro. Además, se ha demostrado que la exposición al plomo tiene efectos a largo plazo en la función cognitiva y en el desarrollo infantil. Afortunadamente, su uso ha sido prohibido en muchos países y se están utilizando sustitutos más seguros en su lugar.

### **2.5.2 MTBE (Metil Ter-Butil Eter)**

El MTBE es un aditivo que se utiliza en la gasolina para aumentar su octanaje y mejorar su capacidad de combustión. Es un compuesto químico que se produce a partir del metanol y del isobutileno. El MTBE fue un aditivo popular en la década de 1990 debido a que reducía las emisiones tóxicas de los automóviles en el aire.

Sin embargo, el MTBE ha sido relacionado con problemas de contaminación del agua, ya que es altamente soluble en el agua y puede filtrarse en el suelo. Debido a esto, muchos han comenzado a prohibir el uso de MTBE en la gasolina en favor de otros aditivos más seguros.

### **2.5.3 ETBE**

El ETBE (Etil Tert-Butyl Ether) es un compuesto químico utilizado como aditivo de la gasolina. Se produce mezclando etanol y ácido isobutírico y se utiliza para aumentar el número de octano de la gasolina y mejorar la eficiencia del combustible.

Entre las ventajas del ETBE como aditivo se encuentra su capacidad para aumentar la eficiencia del motor mediante la reducción de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros contaminantes. El ETBE también tiene algunos inconvenientes. El ETBE tiene una menor densidad energética que la gasolina, lo que significa que por galón de combustible se obtiene menos energía. Además, es más costoso que otros aditivos utilizados en la gasolina.



#### 2.5.4 Etanol

El etanol es un aditivo comúnmente utilizado en la gasolina debido a su capacidad para aumentar el octanaje y reducir emisiones de contaminantes, como el monóxido de carbono y los hidrocarburos no quemados. El etanol es un alcohol líquido, incoloro e inflamable que se produce a partir de la fermentación de materiales vegetales, como la caña de azúcar, el maíz y la remolacha azucarera.

Cuando se utiliza como aditivo de gasolina, el etanol se mezcla con la gasolina en diferentes proporciones, que pueden variar desde 5% hasta un 85%, dependiendo de la normativa y reglamentación local.

El etanol como aditivo de gasolina tiene varias ventajas ambientales y de rendimiento, como las siguientes:

- Reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero
- Mejora del rendimiento del motor
- Reducción de la dependencia del petróleo: el etanol es una alternativa renovable al petróleo y puede ayudar a reducir la dependencia a combustibles fósiles.

A pesar de esas ventajas, el uso de etanol como aditivo de la gasolina también presenta algunos desafíos y preocupaciones, como los siguientes:

- Costos de producción y transporte: el etanol puede ser más costoso de producir y transportar que la gasolina convencional, lo que puede aumentar los costos de la gasolina.

- Impacto ambiental: el cultivo de las plantas para la producción de etanol puede tener un impacto ambiental negativo, como la deforestación y la pérdida de biodiversidad



## CAPITULO III

### ACEITE DE LIMONENO PARA INCREMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA

#### 3.1 Antecedentes

El aceite de limoneno, extraído de la cáscara de naranja, es un aditivo de interés para mejorar el octanaje de la gasolina. Para evaluar su viabilidad como aditivo y determinar la cantidad necesaria, es importante conocer la situación de la naranja a nivel mundial y en Bolivia.

En el caso específico de Bolivia, es importante evaluar la situación de la naranja en el país. Se debe analizar la producción nacional, la capacidad de abastecimiento. Esto permitirá determinar si Bolivia cuenta con una cantidad suficiente de naranjas para obtener una cantidad significativa de aceite de limoneno que pueda ser mezclado con la gasolina y mejorar su octanaje.

#### 3.2 Análisis Situacional de la Producción de Naranjas

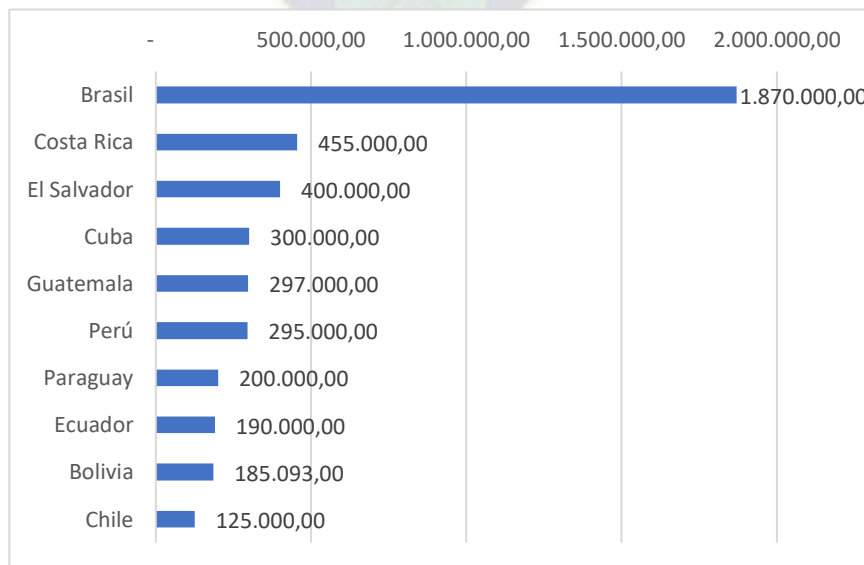
Según FAUTAPO en el año 2014, los cítricos se originaron hace unos 20 millones de años en el sudeste asiático, en una zona que incluye la vertiente meridional del Himalaya, China meridional, Indochina, Tailandia, Malasia e Indonesia. Actualmente, su cultivo se ha extendido a la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales. En Bolivia, los cítricos fueron introducidos por los españoles y los árabes, especialmente los comerciantes de la época, y se extendieron a áreas como Tarija, Los Yungas y parte del Chaco Chuquisaqueño. Desde allí, se extendió a

otros departamentos del país. A nivel comercial, se cultivan en los departamentos de Cochabamba (Chapare) y Santa Cruz (Yapacaní, Porongo y la Zona Sur de la Chiquitania), así como en otras comunidades.

### 3.2.1 Producción a nivel Latinoamérica

El gráfico de barras de la Figura 3.1 muestra la producción de naranjas en algunos países latinoamericanos durante el año 2018. Costa Rica fue el país que tuvo la mayor producción de naranjas sin contar Brasil, alcanzando un total de 455.000 toneladas métricas, en comparación con los demás países representados en la Figura 3.1 Guatemala, con una producción de 297.000 toneladas métricas, y Perú, con una producción de 295.000 toneladas métricas, son algunos de los países que también producen grandes cantidades de naranjas en Latinoamérica, sin incluir a Brasil, que es el mayor productor de naranjas en América, seguido por Estados Unidos en segundo lugar, México en tercero, y Costa Rica en cuarto lugar.

Figura 3.1 Principales países productores de naranaja en Latinoamerica



Fuente: Elaborado en base a datos de la FAO, 2018

### 3.2.2 Producción nacional

La producción de frutos cítricos en Bolivia ha sido impresionante en los últimos años, en particular la producción de naranjas que ha aumentado significativamente. Según el Instituto Nacional de Estadística, la naranja y la mandarina son los principales cítricos producidos a nivel nacional, con 225.712 toneladas métricas de mandarina y 185.093 toneladas métricas de naranja en el año agrícola 2015-2016. Bolivia cultiva cinco tipos de cítricos: naranjas, mandarinas, limones, limas y toronjas.

La Tabla 3.1 muestra una tendencia creciente en la producción de cítricos en el país. Dado el aumento sostenido en la producción de naranjas en los últimos años, es fundamental buscar opciones para la industrialización y el aumento del valor agregado de este producto, como la producción de zumos, mermeladas, jaleas, concentrados, alimentos balanceados, aceites esenciales, entre otros. En la actualidad, estas opciones de industrialización se desarrollan en baja escala en Bolivia.

Tabla 3.1 Producción de cítricos en Bolivia

<b>Año</b>	<b>Pomelo Tn</b>	<b>Mandarina Tn</b>	<b>Naranja Tn</b>	<b>Limón – Lima Tn</b>
<b>2005</b>	-	41	69	13
<b>2006</b>	-	41	74	11
<b>2007</b>	-	29	76	56
<b>2008</b>	-	30	78	58
<b>2009</b>	-	31	82	60
<b>2010</b>	26	40	84	55
<b>2011</b>	26	43	88	58
<b>2012</b>	27	48	94	59
<b>2013</b>	28	48	92	60
<b>2014</b>	28	50	94	61

<b>2015</b>	29	50	99	62
<b>2016</b>	29	48	101	61
<b>2017</b>	29	48	102	62
<b>2018</b>	30	49	102	62

Fuente: Adaptado con base en datos del departamento de información y estadística FAO-2018

Según los datos del Censo Agropecuario 2013, la producción total de cítricos a nivel nacional alcanza las 220.738 toneladas métricas. De este total, la naranja representa el 57.1%, con una producción de 125.989 toneladas métricas. Además, se estima que el país cuenta con una superficie de cultivo de cítricos de aproximadamente 51.211 hectáreas, siendo el 42.2% destinado al cultivo de naranjas.

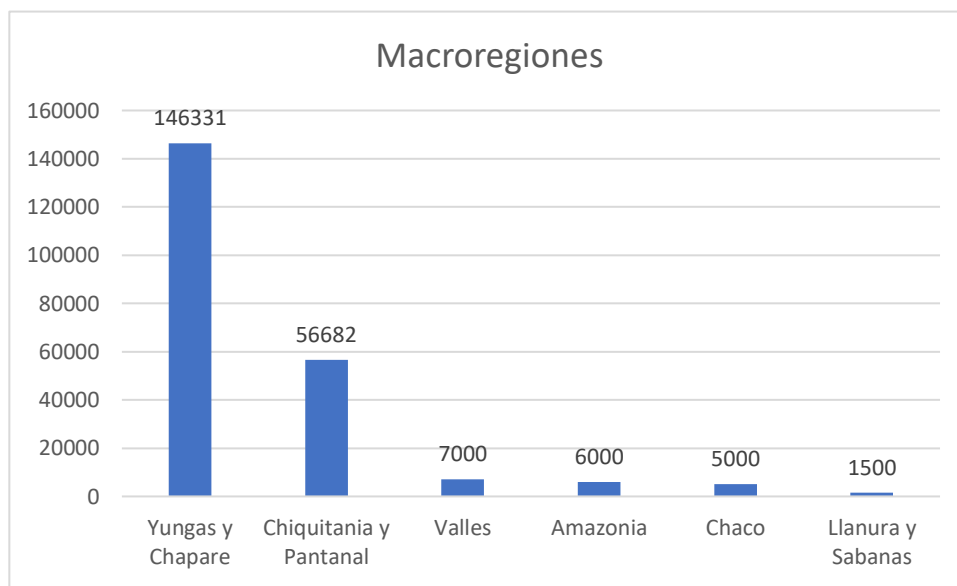
En cuanto al número de árboles dispersos de cítricos, el censo reportó un total de 3.158.246 árboles en todo el país, de los cuales 1.218.460 corresponden a naranjas. Estos datos reflejan la importancia y presencia significativa de la producción de naranjas en Bolivia.

En términos de unidades productivas, se registraron un total de 43.568 unidades en el país. El departamento de Cochabamba cuenta con la mayor cantidad de unidades productivas, alcanzando las 17.727. Le sigue el departamento de La Paz con 13.809 unidades y Santa Cruz con 6.684 unidades.

**Producción de cítricos en macro regiones:** en la Figura 3.2 se muestra la macro región con mayor producción de cítricos es Yungas y Chapare, que representa 66,3% del total nacional y equivale a 146.331 toneladas métricas, le sigue la macro región Chiquitania y Pantanal con 25,7% correspondiente a 56.682 toneladas

métricas. La naranja registra mayor producción en la macro región Yungas y Chapare con 108.471 toneladas métricas, mientras que en la macro región Chiquitania y Pantanal, la mandarina predomina con 34.549 toneladas métricas.

Figura 3.2 Producción de cítricos en Bolivia



Fuente: Elaborado en base a datos de la FAO,2018

### 3.2.3 Industrialización de la naranja

La industria de los jugos cítricos, especialmente el de naranja, ha experimentado un gran crecimiento en todo el mundo. En nuestro país, la demanda de jugos y zumos naturales ha aumentado considerablemente debido a la preferencia de los consumidores por los productos naturales. Los zumos concentrados de naranja son utilizados como materia prima para la elaboración de otro tipo de bebidas.

En Bolivia, varias empresas privadas se dedican a la industrialización de frutas cítricas, en particular de la naranja, para darle un valor agregado y aprovechar todas las partes de la fruta. En Santa Cruz, dos empresas destacan en este tipo de

producción: Santa María, que cuenta con 280 hectáreas de producción de naranjas para el mercado local, y Totalí Citrus, que exporta su producción de limón y cuenta con 1.800 hectáreas cultivadas en el municipio de Cuatro Cañadas.

Delizia es otra empresa que se dedica a la industrialización de la naranja y adquiere hasta ocho millones de frutos al año, aunque este año solo podrán entregar 6,5 millones debido a problemas de producción. La generación de residuos, como la cáscara de naranja, es un problema que surge debido al alto nivel de industrialización de la naranja.

La empresa Boliviana de Alimentos, en su planta de cítricos en Villa 14 de septiembre, procesa 1.2 millones de litros de jugo de frutas y otros productos. Además de estas empresas, existen otras medianas y pequeñas empresas que producen jugos de frutas a partir de cítricos en el país.

Es importante tener en cuenta que, más allá de los volúmenes de producción e industrialización de la naranja en Bolivia, es necesario conocer los volúmenes de producción de residuos, como la cáscara de naranja, que generan las distintas empresas que utilizan este fruto en sus procesos productivos. A continuación, se muestran en la Tabla 3.2 las empresas dedicadas a la Industrialización de Naranja.

Tabla 3.2 Empresas dedicadas a la Industrialización de Naranja

<b>Empresa</b>	<b>Rubro</b>	<b>Localización</b>
<b>Escarcha</b>	Elaboración de jugos de fruta, jugos de durazno, jugos de naranja, jugos de cereza	Cochabamba
<b>Productos Quid</b>	Producción de jugos naturales de 8 sabores distintos, entre los cuales se encuentra el jugo de naranja.	Tarija
<b>Rama SRL</b>	Embotelladora de agua y productora de jugos naturales	La Paz



<b>Egal Ltda.</b>	Producción de bebidas carbonatadas, jugos y aguas naturales	La Paz
<b>Mi Llajta</b>	Elaboración de jugos naturales sin azúcar con Stevia, sin aditivos ni conservantes químicos.	Cochabamba
<b>NEC-FRUT</b>	Producción y comercialización de pulpas de frutas, néctares concentrados y néctares 100% natural y jugos.	Santa Cruz
<b>Madidi A.I.E.</b>	Elaboración de jugos y gaseosas	La Paz
<b>Corporación Boliviana de Bebidas S.A.</b>	Producción de jugos, gaseosas y envasar franquicias como ser Pepsi Cola.	Cochabamba
<b>K – lidering SRL</b>	Producción de jugos naturales	Cochabamba
	Producción de bebidas refrescantes	La Paz
<b>Productos SOL</b>	Elaboración de yogurt frutado, flan, gelatina, jugos naturales.	Tarija
<b>Productos DESERET</b>	Producción de refrescos y jugos Naturales	Oruro
<b>Cristal</b>	Producción de aguas, jugos y venta de materia prima reciclada de PET	Cochabamba
<b>Catuformes</b>	Purificación y embotellado de agua y elaboración de jugos naturales isotrópicos	La Paz
<b>Ricafrut</b>	Producción de jugos y extractos naturales de frutas	Santa Cruz
<b>Al Natural</b>	Elaboración de productos alimenticios nutritivos y naturales sin conservantes.	Potosí
<b>Embotelladora Campos</b>	Purificación y tratado de agua, como también la elaboración de jugos en diferentes prestaciones.	La Paz

Fuente: Elaborado en base a datos del directorio empresarial del Grupo Rimont,2018

### 3.3 Definición de limoneno

El limoneno es una sustancia natural que se extrae del aceite de las cáscaras de los cítricos y que da el olor característico a los mismos, su fórmula química es  $C_{10}H_{16}$ . Pertenece al grupo de los terpenos, en concreto a de los limonoides, que constituyen una de las más amplias clases de alimentos funcionales y Fito

nutrientes, funcionando como antioxidantes, posee un carbono asimétrico como estereocentro. Existen dos isómeros ópticos: el D-limoneno y el L-limoneno. La nomenclatura IUPAC correcta es R-limoneno y S-limoneno, respectivamente, pero se emplean más los prefijos D y L; El limoneno puede ser destilado de este aceite por diferentes técnicas y usado en alimentación y como desengrasante natural.

En la Tabla 3.3. se detallan las características de este aceite:

Tabla 3.3. Propiedades de limoneno de cascara de naranja

<b>Propiedades del aditivo de aceite de cáscara de naranja dulce</b>	
<b>Temperatura de ebullición (°C)</b>	177
<b>Punto de inflamación (°C)</b>	74
<b>Valor calorífico (cal/g)</b>	8964
<b>Densidad @ 25 _C (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0.8
<b>Viscosidad (cSt)</b>	3.29
<b>Solubilidad en agua</b>	insoluble

Fuente: Datos de laboratorio por Musyaroh, Widya Wijayanti, 2021

En los últimos años ha adquirido una singular importancia debido a su demanda como disolvente biodegradable. Aparte de disolvente industrial también tiene aplicaciones como componente aromático y es ampliamente usado para sintetizar nuevos compuestos. Puesto que es un derivado de los cítricos, el limoneno se considera un agente de transferencia de calor limpio y ambientalmente inocuo con lo cual es utilizado en muchos procesos farmacéuticos y de alimentos. El limoneno es usado, por ejemplo, en disolvente de resinas, pigmentos, tintas, en la fabricación de adhesivos, etc. También es usado por las industrias farmacéutica y alimentaria

como componente aromático y para dar sabor, siendo usado, por ejemplo, en la obtención de sabores artificiales de menta y en la fabricación de dulces y goma de mascar.

### 3.4 Características fisicoquímicas del limoneno

#### 3.4.1 Características físicas

Las propiedades físicas tomadas como norma del limonero se muestran a continuación en la Tabla 3.3, mientras que las propiedades físicas del limoneno proveniente de los países con mayor producción de la misma se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3. Propiedades físicas del limoneno

<b>Características Físicas de la esencia del Limonero</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad a 15°</b>	0,8419 a 0,852
<b>Poder rotatorio a 20°</b>	92° a 99
<b>Índice de refracción a 20°</b>	1,4710 a 1,4750
<b>Residuo fijo</b>	1,5% a 4%

Fuente: (Retamar, 2008)

Tabla 3.4. Propiedades físicas del limoneno de distintos orígenes

<b>Origen</b>	<b>Procesos de extracción</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Índice de refracción</b>	<b>Rotación óptica</b>
<b>Italia</b>	Prensado a mano	0,848-0,853	1,473-1,475	95°31'-98°
<b>Jamaica</b>	Prensado a mano	0,8481-0,8491	1,446984	97°43'-98°2'
<b>Rep. Dominicana</b>	Prensado a mano	0.8486		98°21'

<b>California</b>	Prensado a mano	0,8413-0,8482	1,4730-1,4742	96°-99°
<b>Florida</b>	Prensado a mano	0,84-0,85	1,4737- 1,4747	94°50'-96°50'
<b>Palestina</b>	Prensado a mano	0,8425	1,4734	95°50'

Fuente: Bravermen, 2010.

Un complemento para la apreciación comercial, aunque no constituye una prueba concluyente, es que la esencia de naranjas se disuelve muy bien en 7 a 8 volúmenes de alcohol 90°.

### 3.4.2 Características químicas

Se ha visto que, en esta clase de esencias, no son químicamente simples, sino que están compuestos por varios elementos con propiedades físico-químicas diferentes. Estas propiedades le comunican a la esencia determinadas características que definen su calidad y valor comercial.

La esencia de naranja dulce es un líquido de color amarillo a pardo rojizo con un aroma característico de naranja. Químicamente esta esencia está constituida, en su mayoría por un terpeno, el limoneno dextrógiro, en proporciones de 90 a 97% de su peso total. En anteriores publicaciones se menciona a este compuesto como el único hidrocarburo presente en la esencia, pero recientes estudios encontraron otro hidrocarburo en los capullos de la naranja dulce, este compuesto es el d-canfeno.

La esencia contiene también diversas sustancias oxigenadas que influyen en la calidad y aroma, cuya proporción varía entre 1 y 1,5%. Por último, contiene también una masa amorfa, blanca, poco conocida, que comprende del 1,5 hasta 4%.

En la Tabla 3.5 se muestra la fracción correspondiente de los principales componentes oxigenados que forman parte de la esencia de naranja.

Tabla 3.5. Propiedades químicas del limoneno.

<b>Compuesto oxigenado</b>	<b>Fracción en %</b>
<b>Linanol</b>	40
<b>Terpineol</b>	30
<b>Aldehído decílico</b>	5
<b>Éster caprílico</b>	8
<b>Alcohol nonílico</b>	8
<b>Aldehído decílico</b>	7
<b>Otros</b>	Trazas

Fuente: Retamar, 2008.

El principal componente odorífero es el aldehído n-decílico aunque recientemente se han identificado trazas de capraldehído y citral. Los alcoholes d-linanol y n-nonílico se encuentran en la esencia de la naranja en estado libre y en forma de ésteres de los ácidos fórmico, acético, caprílico y caprílico.

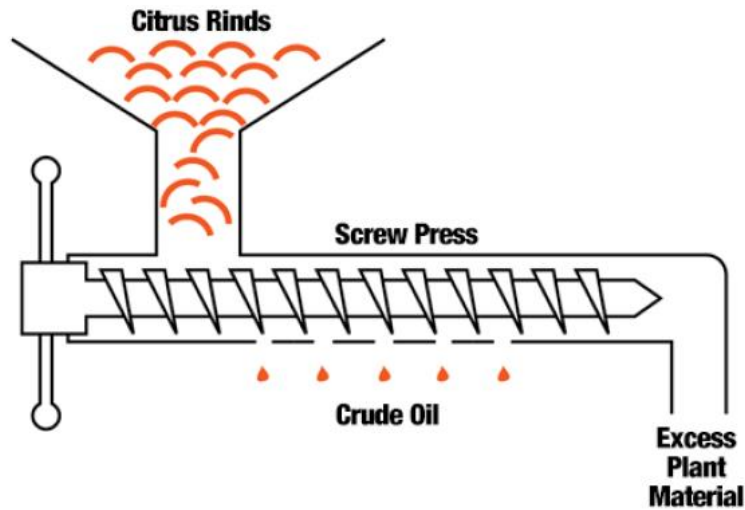
### **3.5 Procesos de extracción del limoneno de la cáscara de naranja**

#### **3.5.1 Extracción por prensado en frío**

Esta es una técnica de extracción basada en la destrucción de las glándulas que contienen aceite para liberar el aceite mostrado en la Figura 3.3. Este aceite liberado es retirado mecánicamente mediante prensado en frío, lo que da como

resultado una emulsión acuosa. Posteriormente, el aceite se recupera por centrifugación.

Figura 3.3 Prensado en frío



Fuente: Process of essential oil Extraction; A. C. Stratakos & A. Koidis, 2015

### 3.5.2 Extracción por arrastre con vapor de agua

En la extracción por arrastre con vapor de agua (Figura 3.4), la muestra vegetal generalmente fresca y cortada en trozos pequeños, se coloca en un recipiente cerrado y sometida a una corriente de vapor de agua, la esencia así arrastrada es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa. Esta técnica es muy utilizada especialmente para esencias muy volátiles. Se utiliza a nivel industrial debido a su alto rendimiento a la pureza del aceite obtenido y porque no requiere tecnología sofisticada.

La destilación por arrastre con vapor que se emplea para extraer la mayoría de los aceites esenciales es una destilación de mezclas de dos líquidos inmiscibles y consiste en una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada

uno de los componentes volátiles por efecto de una corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar tensión de vapor a la de los componentes volátiles del aceite esencial; los vapores que salen de la cámara extractora se enfrían en un condensador donde regresan a la fase líquida, los dos productos inmiscibles, agua y aceites finalmente se separan en un dispositivo decantador o vaso florentino.

Figura 3.4 Destilación por arrastre de vapor



Fuente: Destilación por arrastre; Muñoz Pinto; 2016

### 3.5.3 Extracción con solventes volátiles

En este método, la muestra seca y molida se pone en contacto con solventes tales como alcohol, cloroformo, etc. Estos solventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniéndose al final una esencia impura. Se utilizan a escala de laboratorio pues a nivel industrial resulta costoso por el vapor comercial de los solventes, pues se obtienen esencias

impuras con otras sustancias, y además por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos solventes orgánicos volátiles.

#### **3.5.4 Extracción con fluidos en estado supercrítico**

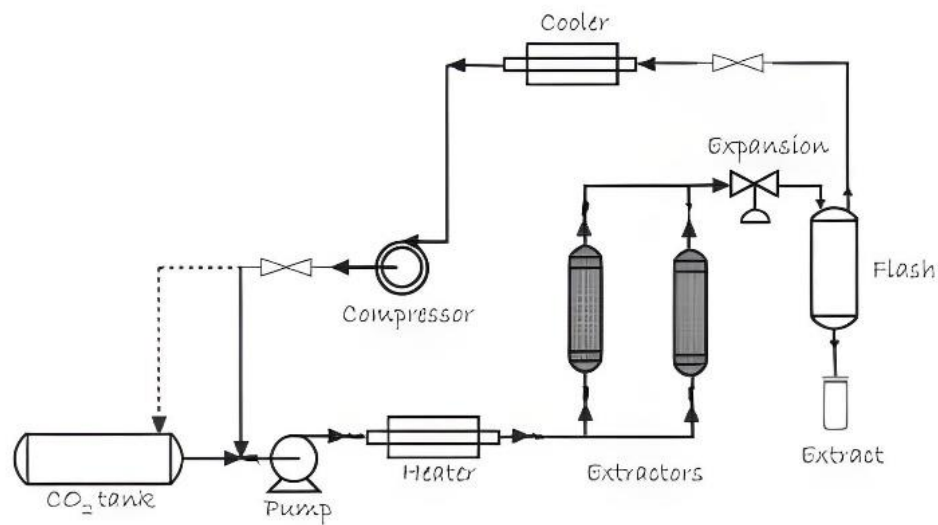
El principio básico de esta técnica se basa en el cambio de propiedades de transporte y de solubilidad que presenta un solvente en este estado. Para el caso de dióxido de carbono como fluido en estado supercrítico dos factores compiten la influencia de la solubilidad de los solutos. Al incrementar la temperatura se incrementa la presión de vapor del soluto y por lo tanto su solubilidad; Sin embargo simultáneamente a un incremento en la temperatura se disminuye la densidad del CO<sub>2</sub> con lo cual tiende a decrecer la solubilidad del soluto; Conforme la presión se incrementa por encima del punto crítico del dióxido de carbono (7.38 Mpa), la densidad del fluido se vuelve menos dependiente de la temperatura y la presión de vapor del soluto se vuelve dominante, de manera que la solubilidad del soluto se incrementa con la temperatura.

El método de extracción con fluidos supercríticos (Figura 3.5), es de desarrollo más reciente. El material vegetal cortado en trozos pequeños, licuados o molidos, se empaca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un fluido en estado supercrítico (por ejemplo CO<sub>2</sub>), las esencias son así solubilizadas y arrastradas y el fluido supercrítico, que actúa como solvente extractor, se elimina por descomposición progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente finalmente se obtiene una esencia cuyo grado de pureza depende de las condiciones de extracción. Aunque presenta varias ventajas como alto rendimiento, es ecológicamente compatible, el solvente se elimina fácilmente e



inclusive se puede reciclar y las bajas temperaturas utilizadas para la extracción no cambian químicamente los componentes de la esencia, sin embargo, el equipo requerido es relativamente costoso ya que se necesitan bombas de alta presión y sistemas de extracción también resistentes a las altas presiones.

Figura 3.5 Extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico



Fuente: Extracción mediante CO<sub>2</sub> supercrítico; Calvo Garrido; 2015

### 3.5.5 Utilización de los Ultrasonidos

La aplicación del ultrasonido facilita la liberación del aceite esencial de las paredes celulares de la materia vegetal sometida al proceso extractivo, se caracteriza por transmitir cantidades sustanciales de energía por la acción de vibraciones de las partículas presentes en el medio de extracción, la aplicación del ultrasonido depende de la composición del fenómeno acústico que se produce dentro del tipo del material al cual es aplicado además que las presiones acústicas causan fenómenos de cavitación aunado a microcorrientes en los líquidos, calentamiento y fatiga en los sólidos así mismo hay que tomar en cuenta que la aceleración

ultrasónica es responsable de la inestabilidad que ocurre en la interface líquido-líquido y líquido-gas.

### **3.5.6 Extracción por Microondas**

A finales de la década de los 80 se utilizó por primera vez la energía de microondas para la extracción de compuestos orgánicos, empleando un horno de microondas doméstico. Desde entonces se ha incrementado significativamente el uso de microondas para la extracción de compuestos bioactivos a partir de material vegetal, como resultado de sus inherentes ventajas: reducción del tiempo de extracción (alrededor de los 30 min) y del volumen de solvente orgánico requerido.

La tecnología se basa en una combinación de energía de microondas como medio para aumentar la temperatura y esterilizar a presión atmosférica (sin agregar agua ni solventes adicionales). Para esta destilación se aprovecha la humedad contenida en el interior de la planta. Cuando se aplican las microondas (Figura 3.6), la planta se calienta debido a la evaporación de su humedad interna, y este vapor de agua provoca la ruptura de las glándulas que contienen el aceite. Cuando queda este aceite libre, se evapora inmediatamente debido a la destilación azeotrópica que se produce al entrar en contacto con el agua del interior de la alimentación.

Hay que resaltar que, contrariamente a lo que sucede en un calentamiento convencional, las microondas tienen la capacidad de interactuar con las moléculas de solvente y no con los recipientes contenedores (generalmente vidrio). Así, el calentamiento es directo y es posible alcanzar con rapidez el punto de ebullición, disminuyendo el tiempo de extracción.

## Parámetros que afectan el proceso de extracción por microondas

Los parámetros más comúnmente estudiados para la optimización de las condiciones de extracción son: temperatura, presión (en equipos de vasos cerrados), potencia de microondas, tiempo de extracción y características de la matriz.

- **Disolvente**

El volumen del disolvente de extracción es también un factor crítico. Debe ser suficientemente para asegurar que la matriz vegetal este completamente sumergida en el mismo durante todo el tiempo de irradiación. En la bibliografía existe una gran variación de relaciones solvente/muestra reportadas. A menudo se utilizan entre 10 y 30 ml del solvente por cada 1 – 10g de muestra. En general, en los métodos convencionales de extracción una mayor relación disolvente/matriz puede ser muy eficaz. Sin embargo, en MAE una relación más alta puede producir menores recuperaciones, debido a una distribución y exposición no uniforme de las microondas.

- **Temperatura /Presión**

La relación entre la potencia del microondas y la temperatura de operación es crucial, por lo que es importante tener precaución al trabajar con sistemas de recipientes cerrados. En los sistemas cerrados, es posible que la temperatura supere el punto de ebullición normal del disolvente debido al aumento de presión dentro del recipiente. Las altas temperaturas permiten una extracción más eficiente al aumentar la extracción de aceites esenciales. Además, a temperaturas más altas,

el disolvente tiene una mayor capacidad para disolver los aceites, ya que la tensión superficial y la viscosidad del disolvente disminuyen, lo que mejora la humectación de la muestra y su penetración en la matriz. Sin embargo, es importante seleccionar correctamente la potencia para evitar temperaturas excesivas que puedan degradar el aceite, así como altas presiones en el interior de los recipientes.

- **Tiempo de extracción**

Como en otras técnicas de extracción, el tiempo es otro parámetro cuya influencia necesita ser tomada en cuenta. Generalmente, la cantidad de aceite extraído se incrementa con el tiempo de extracción, aunque existe el riesgo de que se pueda producir degradación del material procesado.

En la literatura se reporta una gran variabilidad en los tiempos de extracción, lo que puede atribuirse en parte al tipo de matriz vegetal procesada. A menudo 15 – 30 minutos son suficientes, aunque se han reportado excelentes recuperaciones incluso con 40 segundos.

- **Naturaleza de la matriz**

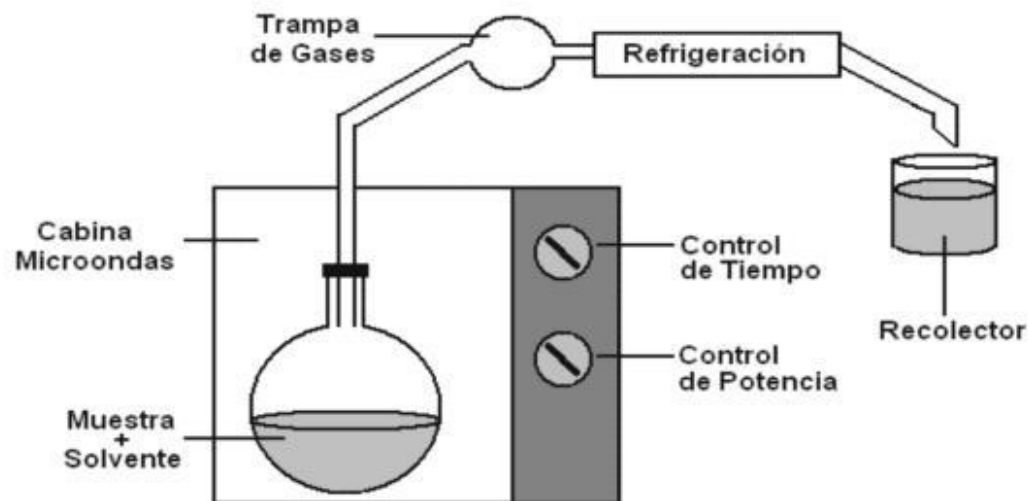
El tamaño de partícula del material procesado y el estado en el que se presenta pueden tener un efecto importante en los porcentajes de recuperación de los compuestos de interés.

El polvo fino puede mejorar la extracción, proporcionando una mayor área superficial y por ende un mejor contacto entre la matriz vegetal y el disolvente. Las partículas más finas también permiten una mejor penetración de las microondas.

Sin embargo, una de las desventajas asociadas con el uso de partículas finas es la dificultad para separar la matriz con el disolvente después de la extracción.

El tratamiento previo de la muestra antes de la extracción puede producir un calentamiento más efectivo y selectivo de la misma. En muchos casos el contenido de humedad natural de la matriz mejora las recuperaciones, como sucede en la extracción de aceites esenciales. En algunos casos, una estrategia que mejora la eficiencia del proceso es remojar el material vegetal seco con el disolvente, antes de la extracción.

Figura 3.6. Extracción con microondas



Fuente: (Z. Liu, B. Deng, S. Li, & Z. Zou, Optimization of solvent-free microwave assisted)

La extracción con microondas sin disolvente añadido ha sido empleada a escala de laboratorio para extraer una gran variedad de aceites esenciales de distintos tipos de plantas. Esta técnica permite obtener unos rendimientos mayores con un tiempo de extracción mucho menor que con una técnica convencional. Esta reducción de tiempo de operación conlleva una gran reducción en el coste energético. Para el

empleo de este método es importante conocer la humedad interior de la planta para que al someterla al tratamiento con microondas ésta no se llegue a degradar (pirólisis).

### **3.6 Mecanismo de reacción entre el limoneno y la gasolina**

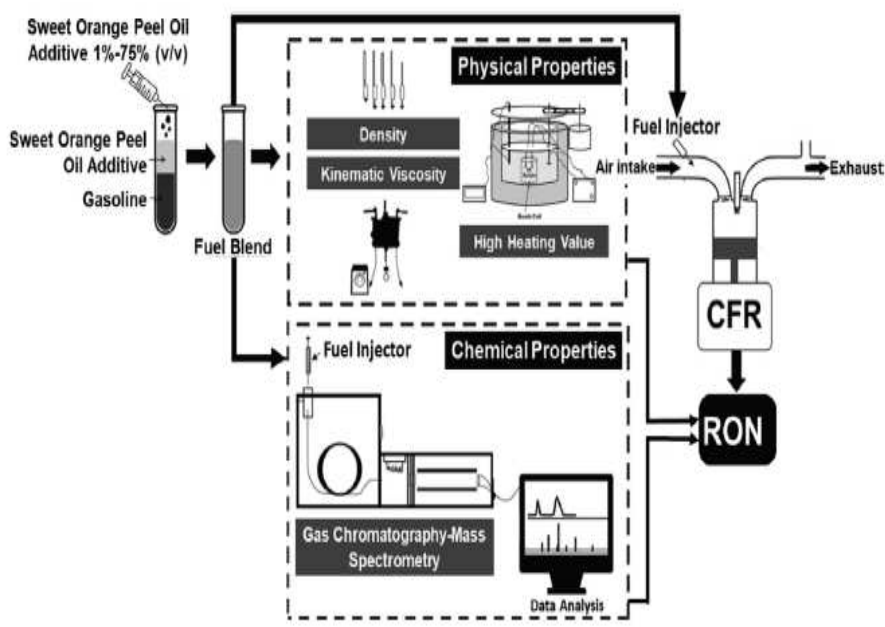
Las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de combustible deben medirse para determinar los porcentajes de aditivos adecuados, de manera que las mezclas de combustible sigan teniendo las propiedades requeridas por la normalización del motor de encendido.

Las mezclas de combustible consistirán en gasolina y aditivo de aceite de cáscara de naranja dulce. El aditivo se extrae de la piel de la naranja dulce (*Citrus sinensis*) mediante un proceso de prensado en frío. El aditivo está compuesto por un 90% de limoneno ( $C_{10}H_{16}$ ), un 2,35% de  $\beta$ -mirceno ( $C_{10}H_{16}$ ), un 1,00% de eugenol ( $C_{10}H_{12}O_2$ ) y un 4,59% de triacetina ( $C_9H_{14}O_6$ ).

#### **3.6.1 Preparación de la mezcla de combustible**

La Figura 3.7 Muestra el montaje experimental para agregar el aditivo en la gasolina, concretamente el aumento del octanaje.

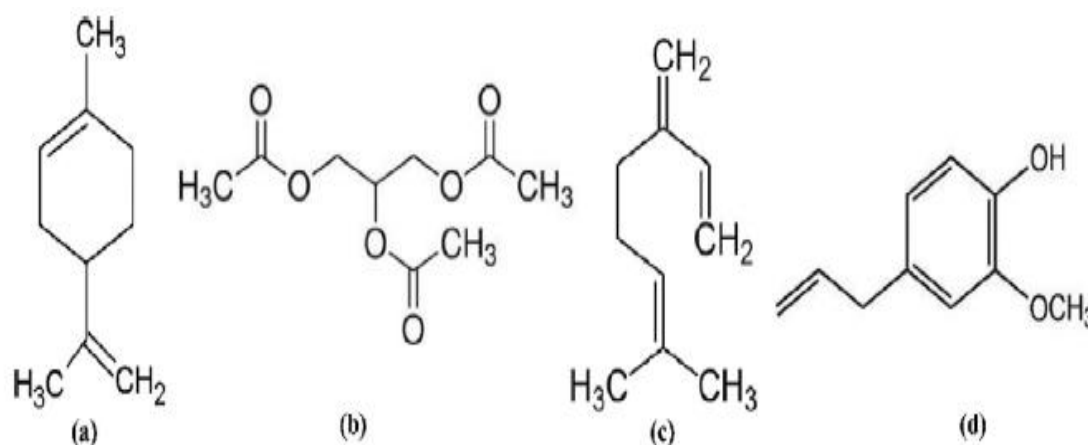
Figura 3.7. Diseño de una planta a pequeña escala de mezcla de limoneno.



Fuente: A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: (2009).

El limoneno y el  $\beta$ -mirceno son los dos compuestos dominantes en el aditivo. Ambos compuestos tienen una fórmula molecular de  $C_{10}H_{16}$ , con diferentes formas de estructura molecular, como se muestra en la Figura 3.8. El limoneno es cíclico con ramificaciones de metilo y dobles enlaces, mientras que el  $\beta$ -mirceno es acíclico con cadenas laterales alifáticas. Sin embargo, el limoneno y el  $\beta$ -mirceno tienen propiedades no polares e insaturadas similares. Debido a estas características, el limoneno y el  $\beta$ -mirceno tienen electrones dinámicos que pueden influir en la formación de dipolos instantáneos y dipolos inducidos. Las fuerzas de dispersión de London resultantes en el limoneno estimulan entonces la abstracción de los átomos de H internos, lo que debilita aún más los grupos metilo laterales.

Figura 3.8. Cambios moleculares de los componentes de los aditivos del aceite de cáscara de naranja dulce: (a) limoneno, (b) triacetina, (c) beta-mirceno y (d) eugenol.

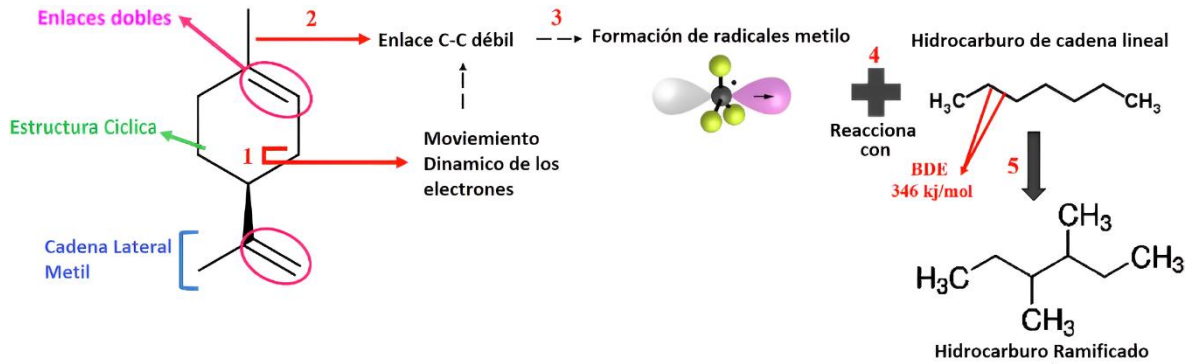


Fuente: A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity, J. Food Eng. 90 (3) (2009).

Se espera que las reacciones entre el limoneno y los compuestos de la gasolina, como los hidrocarburos de cadena recta, cambien las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de combustible. El limoneno también estimula la formación de nuevos hidrocarburos, como se muestra en la Figura 3.9. En primer lugar, se produce la reacción, que comienza con el movimiento dinámico de electrones en el limoneno (paso 1). En consecuencia, uno de los enlaces tiene un déficit de electrones, por lo que el enlace se debilita y sufre una rotura (paso 2). Posteriormente, el limoneno se descompone y produce radicales (paso 3), que reaccionan con la gasolina para formar nuevos compuestos en las mezclas de combustible (paso 4). Las interacciones entre el limoneno y los hidrocarburos de cadena recta producen hidrocarburos ramificados (paso 5), mientras que las interacciones con otros tipos de hidrocarburos producen compuestos aromáticos.



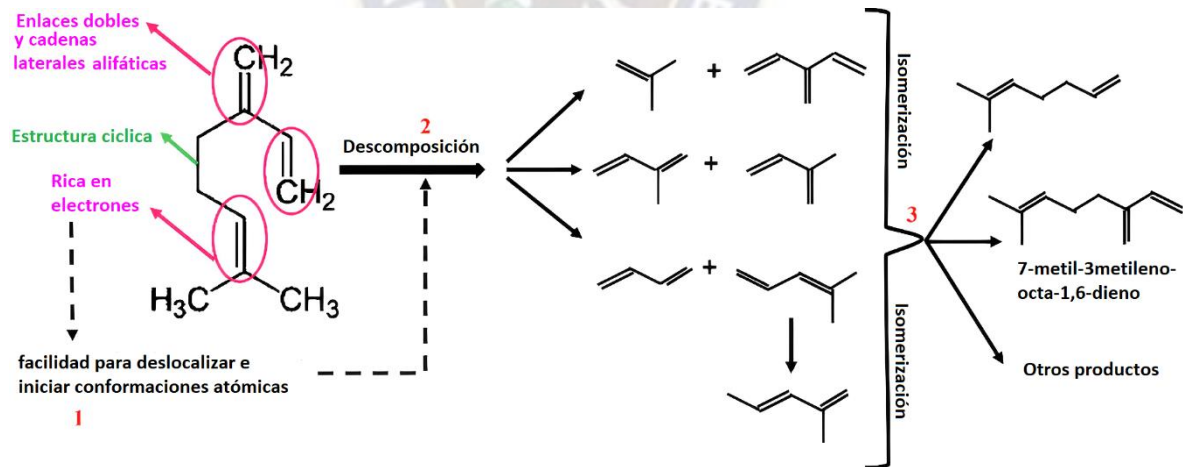
Figura 3.9 Rutas esquemáticas de la ramificación de la cadena recta debido al limoneno



Fuente: A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity, J. Food Eng. 90 (3) (2009).

El proceso de ramificación de la cadena e isomerización del b-mirceno se muestra en la Figura 3.10. Según la figura, el b-mirceno en una mezcla de combustible se descompone en cadenas ramificadas con dobles enlaces.

Figura 3.10 Rutas esquemáticas de la isomerización del b-mirceno.



Fuente: A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity, J. Food Eng. 90 (3) (2009).

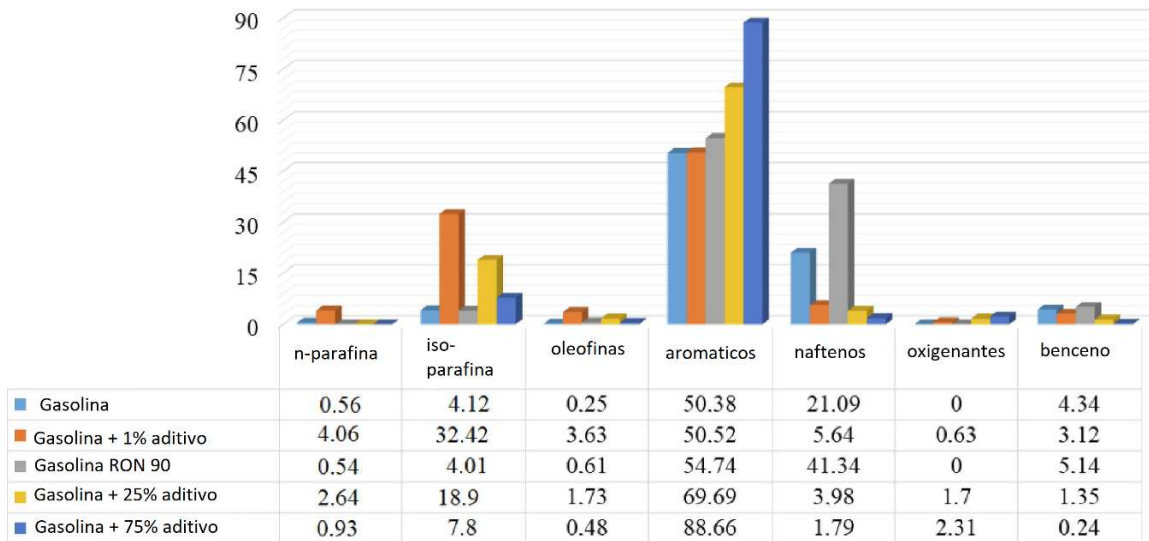
### **3.6.2 Cambios de la composición de hidrocarburos de la gasolina mediante la adición de aceite de limoneno**

La incorporación de aditivos en la gasolina provoca la formación de nuevas estructuras moleculares, lo que conlleva cambios en la composición de los hidrocarburos presentes en el combustible. Mediante pruebas de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), se han identificado siete tipos de hidrocarburos en las mezclas de aditivos y gasolina, como se muestra en la Figura 3.11. Estos nuevos componentes incluyen n-parafina, isoparafina, olefinas, naftenos, aromáticos, benceno e hidrocarburos oxigenados.

Las modificaciones en la composición de los hidrocarburos de la mezcla de combustible son el resultado de reacciones completas entre los compuestos aditivos y los hidrocarburos presentes en la gasolina. Previamente a la adición de aditivos, la gasolina pura consistía únicamente en n-parafina, isoparafina, olefinas, naftenos, aromáticos y benceno.

Estos hallazgos demuestran el impacto de los aditivos en la estructura molecular de la gasolina, generando una mayor diversidad de hidrocarburos y ampliando las propiedades y características del combustible.

Figura 3.11 Composición de la gasolina antes y después de la mezcla



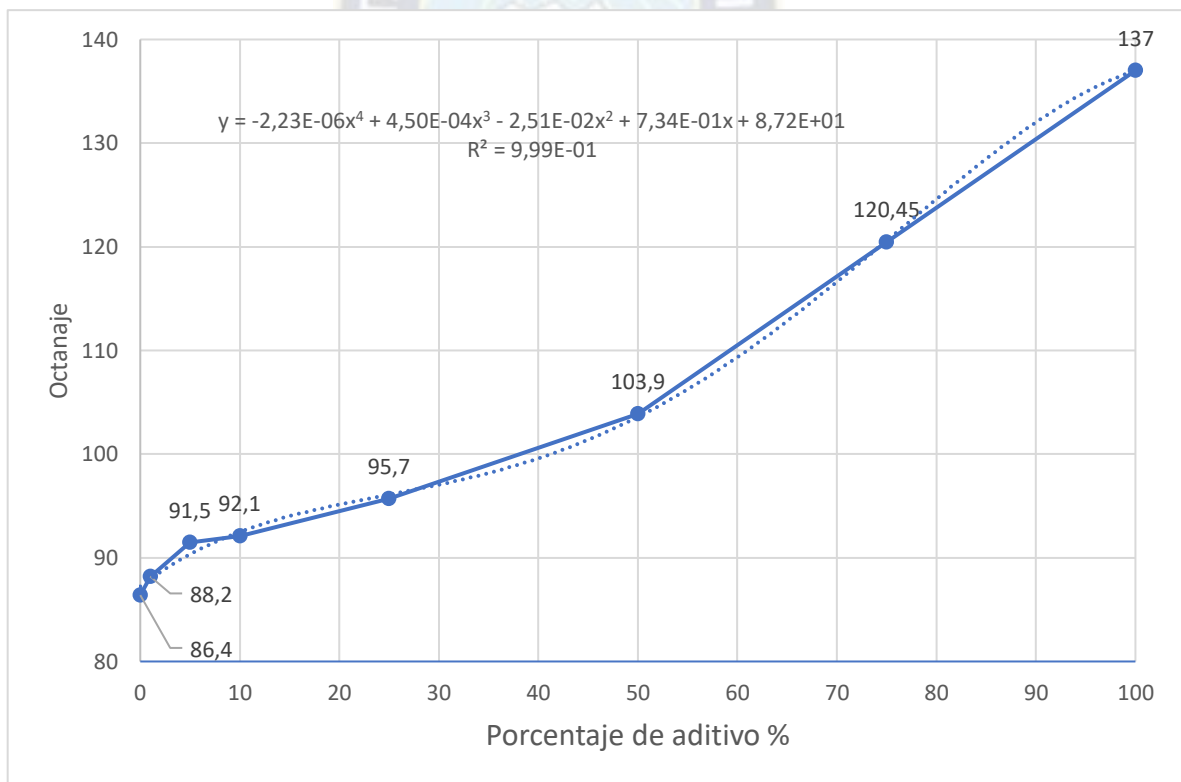
Fuente: A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: y, J. Food Eng. 90 (3) (2009).

Se ha comprobado que la adición de aceite de cáscara de naranja a la gasolina produce cambios significativos en la composición de los hidrocarburos presentes en el combustible. Se observa una disminución de la n-parafina y un aumento en los compuestos aromáticos y oxigenados. Estos cambios se deben a las propiedades del aditivo, como el limoneno, eugenol y triacetina, que generan fuerzas intermoleculares más fuertes. Además, se observa un aumento en los hidrocarburos iso-parafina y una disminución en los grupos de benceno. Asimismo, las olefinas y los hidrocarburos naftenos presentan cambios proporcionales a la concentración de aditivos. Estos resultados demuestran que la mezcla de gasolina con el aceite de cáscara de naranja dulce puede disminuir los niveles de olefinas y benceno, cumpliendo con los estándares establecidos por la Unión Europea. Según el estándar de gasolina de la UE, los niveles máximos permitidos de olefina y benceno son 18% y 1% (vol.%).

### 3.6.3 Efecto del aditivo en el octanaje en la gasolina

Después de analizar los cambios en la composición química de las mezclas de combustible, se observó una propiedad física crucial: el número de octanos. La Figura 3.12 revela que la adición del aditivo resultó en un aumento significativo en el número de octanos de una gasolina base de 86.4. Los valores de octanaje aumentaron considerablemente en comparación con la gasolina sin aditivos, pasando de 88.4 a 120.45 para mezclas de combustible con aditivo en concentraciones del 1% al 75%, respectivamente. Estos resultados indican una sinergia entre los componentes de las mezclas de combustible.

Figura 3.12 Efecto del limoneno en el octanaje de la gasolina



Fuente: A new process for extraction of essential oil from Citrus peels, J. Food Eng. 90 (3)

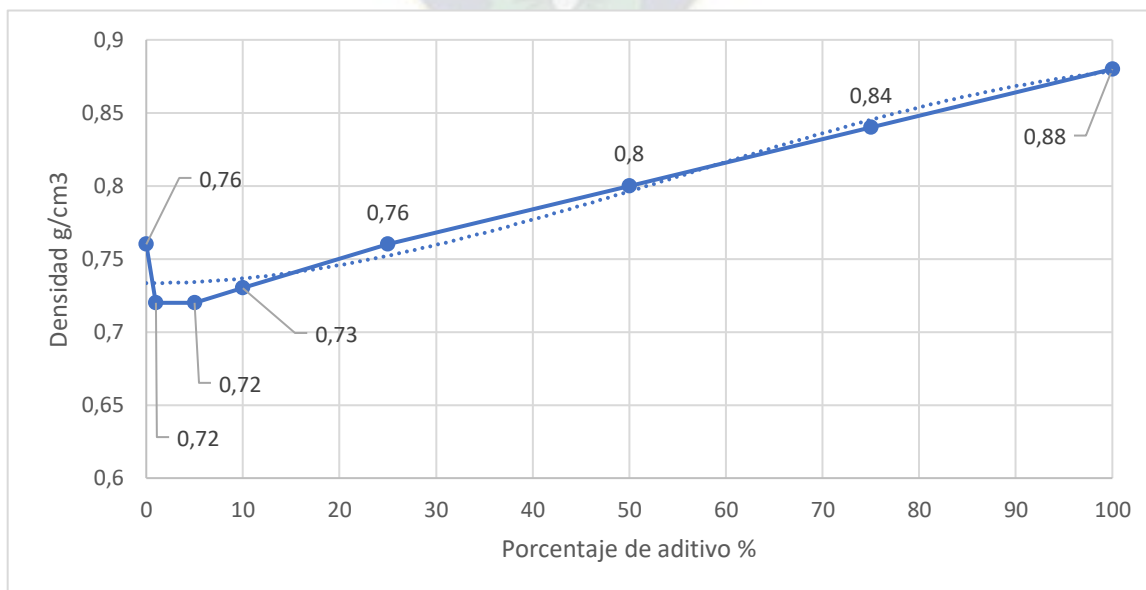
(2009).

El aditivo desempeñó un papel importante en el incremento del número de octanos al formar estructuras moleculares que contribuyeron a dicho aumento. Esto se evidencia en los resultados de GC-MS, donde se observaron aumentos en hidrocarburos aromáticos, ramificados, con dobles enlaces y oxigenados (Figura 3.11). Estos incrementos estuvieron acompañados de disminuciones en otros grupos de hidrocarburos, particularmente en los compuestos de olefina. La olefina, al ser un hidrocarburo saturado, tiende a tener un menor índice de octanaje en comparación con los hidrocarburos aromáticos, ramificados, con dobles enlaces y oxigenados. Por lo tanto, el índice de octanaje de la mezcla de combustible estuvo principalmente influenciado por el aumento de los hidrocarburos aromáticos, ramificados, con dobles enlaces e hidrocarburos oxigenados. El anillo de hidrocarburos aromáticos proporciona sitios para reacciones de sustitución electrofílica, lo que implica que las estructuras moleculares con características aromáticas pueden reaccionar con otros radicales para reemplazar átomos de hidrógeno en el anillo. Esto hace que los hidrocarburos aromáticos sean más resistentes a la descomposición y exhiban una mayor capacidad de inhibición de la autoignición. El aumento de los compuestos aromáticos en la mezcla de combustible fue atribuido al limoneno. Los nuevos compuestos formados a partir del limoneno, como el 2,6,6-trimetil bicyclo, 3,7,7-trimetil bicyclo, 4-isopropenil-1-metil-1-ciclohexeno y 4-metileno-1-(1-metiletil) hexano, Estos compuestos se caracterizan por estructuras cíclicas con cadenas laterales más cercanas, lo que proporciona una mayor cantidad de hidrógenos disponibles que evitan la reactividad a la oxidación a bajas temperaturas. La capacidad de inhibir la autoignición también se

observa en los hidrocarburos ramificados. La presencia de ramificaciones en cadena, como en el 2,5-dimetil-hexano y 3,3-dimetil-hexano, indica que las mezclas de combustible presentan un alto índice de octanaje debido a las cadenas laterales de estos nuevos compuestos, las cuales están más alejadas de los extremos de las cadenas más largas y permiten una mayor extracción y migración de átomos de hidrógeno internos. Esto inhibe la ignición y previene la combustión prematura. Por otro lado, los dobles enlaces en los hidrocarburos aumentan el índice de octanaje al inhibir las reacciones de ramificación de la cadena a bajas temperaturas, lo que conduce a la ignición. Los nuevos enlaces ramificados y dobles formados en la mezcla de combustible, como el -3,7-dimetil-1,3,6-octatrieno y 7-metil-3-metileno. Las diversas funcionalidades químicas presentes en el aditivo contribuyeron al aumento del índice de octanaje en las mezclas de combustible.

### 3.6.1 Efecto del aditivo en la densidad de la gasolina

Figura 3.13 Efecto del limoneno en la densidad de la gasolina



Fuente: elaboración en base a: (Musyaroh, Widya Wijayanti, 2021)

Los resultados obtenidos de las mediciones indican que los incrementos en la densidad se correlacionaron con los aumentos en las concentraciones de aditivos en las mezclas de combustible. En concentraciones de aditivos del 1% al 10%, se observó un aumento insignificante en la densidad de solo 0.003 g/ml. Sin embargo, se observaron aumentos significativos en la densidad en las mezclas de combustible con más del 25% de aditivos, aunque estos aumentos en la densidad de la mezcla de combustible fueron más bajos que los de la gasolina. Las densidades de las mezclas de combustible con aditivos del 1%, 5%, 10% y 25% fueron de 0.72 g/ml, 0.72 g/ml, 0.73 g/ml y 0.76 g/ml, respectivamente.

Estos resultados indican que el aditivo provoca movimientos rápidos de fuerza intramolecular, debilitando los enlaces entre las moléculas y reduciendo así las densidades de las mezclas de combustible. Este efecto se ve respaldado por la presencia de hidrocarburos oxigenados en la gasolina antes y después de la mezcla, como se muestra en la Figura 3.11. Las mezclas de combustible con un bajo contenido de hidrocarburos oxigenados presentaron densidades más bajas en comparación con las muestras que tenían un alto contenido de estos compuestos. La presencia de átomos de oxígeno, que son altamente electronegativos, genera enlaces moleculares más fuertes que pueden aumentar la densidad. Además, todos los compuestos oxigenados estudiados, como  $C_{10}H_{18}O$ ,  $C_{10}H_{16}O$  y  $C_9H_{12}O_6$ , tenían masas moleculares más altas.

### 3.6.2 Evaluación en el motor e Impacto ambiental

El proyecto tiene un impacto ambiental reducido debido a varias medidas implementadas. Se destacan las siguientes acciones que contribuyen a minimizar el impacto ambiental:

1. **Uso de residuos agrícolas:** El enfoque principal del proyecto es utilizar la cascara de naranja como materia prima. Al hacerlo, se aprovechan los residuos generados por la industria alimentaria, evitando que se convierta en desechos y reduciendo así la cantidad de residuos enviados a los vertederos.
2. **Extracción de aceite esencial:** El proceso de extracción se realiza utilizando métodos de extracción sostenible, como la extracción por microondas, este método es eficiente en términos energéticos y requieren una cantidad mínima de solvente.
3. **Reducción de CO:** Se muestra que la adición de aceite de limoneno puede reducir el CO en los productos de combustión. La disminución de los niveles de CO en todas las mezclas premium demuestra que la adición de bioaditivos genera un proceso de combustión más perfectos. La adición de este puede reducir las emisiones de CO en 37,7% en promedio.
4. **Reducción de O<sub>2</sub>:** Un exceso de oxígeno en la combustión puede llevar a la formación de especies reactivas de nitrógeno (Nox) debido a las altas temperaturas y presiones. Estos óxidos de nitrógeno contribuyen a la formación de smog y lluvia ácida, y tienen efectos adversos sobre la calidad del aire y la salud humana. Al reducir la cantidad de oxígeno en la combustión, se puede controlar la formación de Nox y reducir las emisiones



contaminantes. Entonces, el gas de combustión O<sub>2</sub> en varias mezclas de combustible muestra resultados satisfactorios. La adición de aceite de limoneno a la gasolina premium puede reducir el O<sub>2</sub> hasta un 17%

5. **Reducción del Consumo de Combustible** Esto indica que la inclusión del aceite de limoneno como aditivo puede reducir el nivel de consumo en un 3,4%, en promedio.



## CAPITULO IV

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### 4.1 Referencia

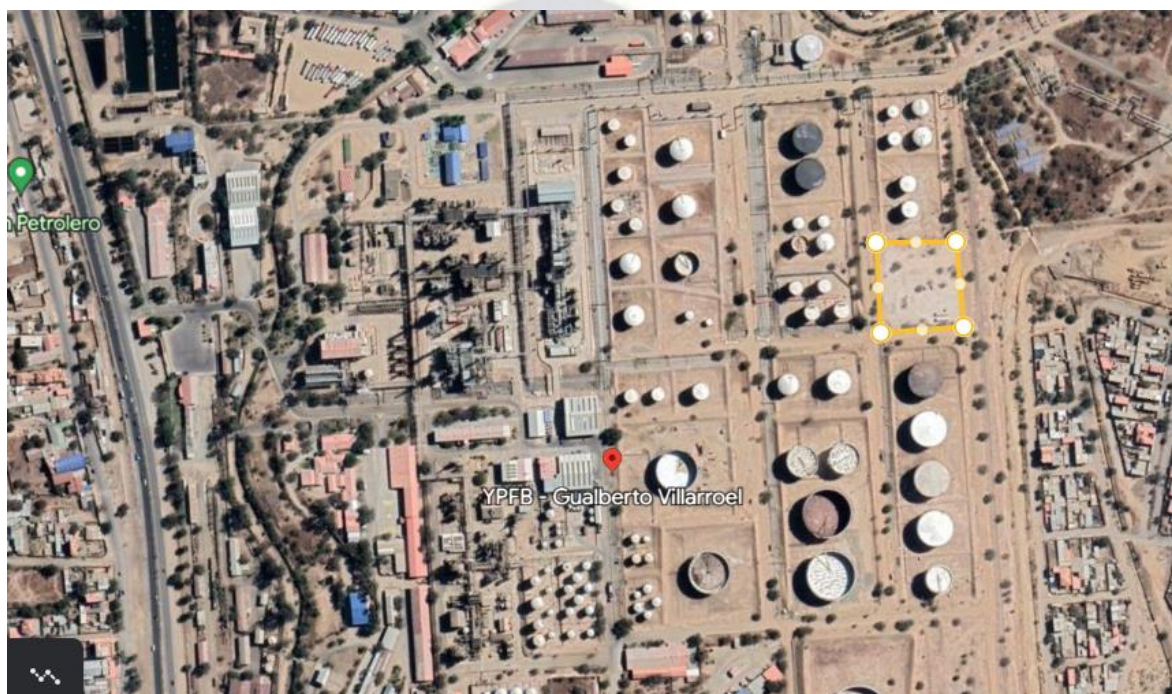
Este proyecto propone el aprovechamiento de la cáscara de naranja que se desecha en las plantas industriales y por los vendedores ambulantes de jugo de naranja en Bolivia. Actualmente, esta materia prima solo se considera un residuo y no se utiliza en ningún otro proceso. Sin embargo, su obtención no es un problema ya que se han evaluado los volúmenes y variedades de frutas utilizados por las empresas procesadoras de cítricos como referencia. Además, estas empresas realizan un proceso de lavado después de recibir las naranjas, lo que asegura que las cáscaras estén limpias y libres de tierra.

#### 4.2 Ubicación del modulo

La ubicación del módulo se ha determinado en la Refinería Gualberto Villarroel (ubicada en la Avenida Petrolera carretera antigua a, Santa Vera Cruz, Cochabamba. A una altitud promedio de 2616 m.s.n.m., se encontrará ubicado en latitud (-17.4516667) y longitud (-66,120277777)) debido a su cercanía con la gasolina que produce. Esta ubicación estratégica facilitará el suministro de gasolina base y la distribución eficiente del producto final. La planta Gualberto Villarroel (Figura 4.1) también cuenta con una sólida infraestructura logística que incluye instalaciones de transporte y almacenamiento adecuadas para el proyecto.

Además, la elección de Gualberto Villarroel se basa en el hecho de que el departamento de Cochabamba, donde se encuentra ubicada, es el segundo que tiene mayor número de unidades productivas después de La Paz dedicadas a la industrialización de naranjas. Esto garantiza un suministro constante y confiable de la materia prima necesaria para la extracción del aceite de limoneno.

Figura 4.1 Ubicación de la Refinería Gualberto Villarroel



Fuente: Fuente: Google Earth, 2022

### 4.3 Selección del método de extracción

A continuación, se muestra una Tabla 4.1 que compara los aspectos más importantes de diferentes métodos de obtención de aceite de limoneno. En base a esta Tabla 4.1, se evaluarán los aspectos más relevantes de cada método, como el

costo de adquirir los equipos, rendimiento de extracción y tiempo de extracción. Con estos criterios se podrá seleccionar el método adecuado para el módulo.

Tabla 4.1 Comparación de métodos de extracción

<b>Método de extracción</b>	<b>Rapidez del proceso</b>	<b>Rendimiento litros a/Tm cascara</b>	<b>Costo</b>
Prensado en frio	Alto	10,15	Bajo
Destilación por arrastre de vapor	Moderado	20,30	Bajo
Hidrodestilación	Moderado	7,00	Bajo
Solventes volátiles	-	7,20	Alto
Fluido en estado critico	Alto	17.90	Alto
Ultrasonido	Moderado	15,40	Moderado
Microondas	Muy Alto	43,60	Alto

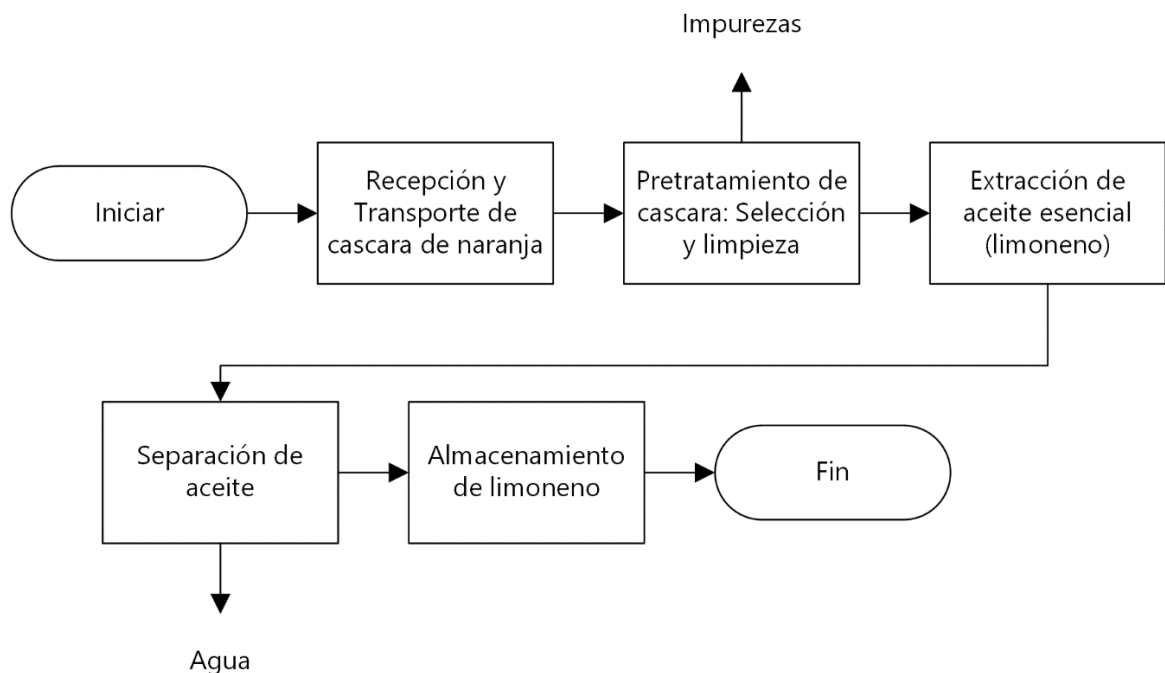
Fuente: Elaboración en base (Velásquez, 2005)

De acuerdo con los datos proporcionados en la Tabla 4.1, el método más recomendado para la extracción de aceite esenciales sería la técnica de extracción por microondas. Este método ofrece la ventaja de obtener cantidades significativas de aceite en un periodo de tiempo relativamente corto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este método puede tener costo de los equipos más elevados en comparación con otras opciones disponibles. A pesar de esto, la extracción por microondas se considera adecuado debido a su eficiencia en la obtención de aceites esenciales en volúmenes adecuados para su aplicación en el proceso.

#### 4.4 Descripción del proceso obtención de aceite de limoneno

El proceso de extracción de aceite esencial de la naranja es una actividad fundamental para la industria de los aceites esenciales. En este punto, se describirá el proceso completo de extracción de aceite esencial de naranja, desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del aceite esencial extracción de aceite esencial de cascará de naranja.

Figura 4.2 Proceso de obtención de aceite de limoneno



Fuente: elaboración en base a: Planta de extracción de aceite esencial;  
Velázquez; 2005

- **Recepción de la materia prima:** las empresas y vendedoras entregan la cascará de naranja para su procesamiento.
- **Pre Tratamiento de la cascará:** en este proceso se verifica el estado de las cascaras de naranja, descartando aquellas que presenten daños. Luego se

procede a la limpieza de las cascara para eliminar cualquier impureza o residuo que pudiera afectar la calidad del aceite de limoneno.

- **Extracción de aceite esencial:** en este proceso, se utiliza energía de microondas para calentar las cascara de naranja y extraer los aceites esenciales.

Durante la extracción por microondas, las cáscaras de naranja se colocan en una cámara adecuada y se expone a una radiación de microondas, lo que produce un calentamiento rápido y uniforme de las cáscaras. Los aceites esenciales se liberan de las cáscaras debido a la acción del calor y se recogen en un recipiente separado.

- **Separación del aceite:** una vez que se ha llevado a cabo el proceso de extracción por microondas para obtener el aceite esencial de la cascara de naranja, es necesario separar el aceite de los otros componentes, especialmente del agua.

La separación del aceite se realiza mediante un proceso de decantación, en el que se aprovecha la diferencia de volatilidades entre el aceite de limoneno y el agua. Al ser el aceite menos denso que el agua, esta flota en la superficie del agua y se puede recoger fácilmente.

- **Almacenamiento de aceite esencial:** el aceite esencial se almacena en un tanque a una temperatura de 4 grados centígrados.

#### **4.5 Rendimiento de aceite de limoneno de la cascara de naranja**

En un estudio realizado por Attard, Waliterson, Budarin, Clark y Hunt (2014) sobre la tecnología de extracción asistida por microondas para valorizar los residuos de

naranja, se investigó el rendimiento de extracción en función del tiempo. Mediante la realización de pruebas, se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 4.2).

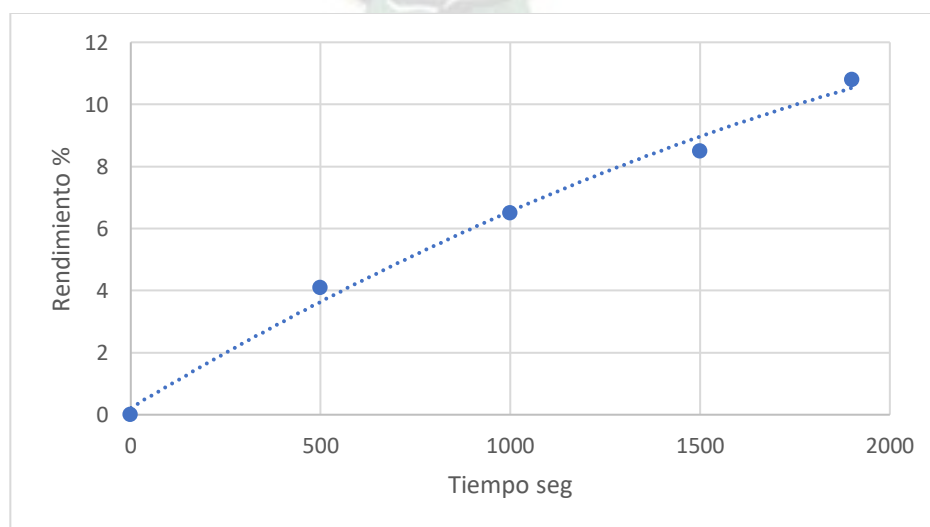
Tabla 4.2. Datos de relación de rendimiento de obtención de aceite en el tiempo dentro del proceso por radiación por microondas

Tiempo [seg]	Rendimiento [%]
0	0
500	4,1
1000	6,5
1500	8,5
1900	10,5

Fuente: Elaborado en base a estudios realizados por (Attard, Walterson, Budarin, Clark, & Hunt, 2014)

Al graficar la Tabla 4.2, se observa en la Figura 4.3 una tendencia en la que el rendimiento aumenta a medida que transcurre el tiempo.

Figura 4.3 Rendimiento de extracción de limoneno vs tiempo



Fuente: Elaboración en base a la Tabla 4.2, 2023

Por otra parte, Se observa en la Figura 4.3 se asemeja parte de una parábola con centro en el eje x, entonces se tiene la *ecuación (4.1)* de una parábola:

$$x = ay^2 + by + c \quad \text{ecuación (4.1)}$$

Luego, tomando puntos de la Figura 4.3 se van obteniendo ecuaciones, como ser el punto (500,4.1) y así sucesivamente para otros puntos y con estos formar un sistema de ecuaciones que están mostradas a continuación donde el punto empleado está en la parte derecha y la ecuación en la izquierda, y al resolver el sistema de ecuación se podrá obtener los valores de las constantes.

$$500 = a(4,1)^2 + b(4,1) + c, \quad \text{con } P_1(500 : 4,1)$$

$$1000 = a(6,5)^2 + b(6,5) + c, \quad \text{con } P_2(1000 : 6,5)$$

$$1900 = a(10,8)^2 + b(10,8) + c, \quad \text{con } P_3(1900 : 10,8)$$

Al resolver las tres ecuaciones anteriores, se obtienen dos ecuaciones que permiten determinar los valores de las constantes restantes.

$$-3350 = -170,448a - 16,08b \quad (\text{primera y segunda ecuacion})$$

$$3360a = 239,592b + 16,08b \quad (\text{primera y tercera ecuacion})$$

Resolviendo las ecuaciones se llega a tener las siguientes constantes:

$$a = 0,1446 ; \quad b = 206,8003 ; \quad c = -350,3124$$

Luego el modelo de regresión para el rendimiento de obtención de limoneno es:

$$x = 0,1446 * y^2 + 206,8003 * y - 350,3124$$

$$6,9144 * x = y^2 - 1429,9 * y - 2422,2$$



$$6,9144 * x + 513575,70 = (y + 714,95)^2$$

$$6,9144 * (x + 74276,2499) = (y + 714,95)^2$$

Finalmente, la función de rendimiento *ecuación (4.2)* en relación del tiempo de radiación por microondas es:

$$R = 2.630 * \sqrt{(t + 74276,2499)} - 714,95 \quad \text{ecuación (4.2)}$$

*Donde:*

*R=rendimiento % en masa*

*t = tiempo seg*

Es recomendable no exceder los 30 minutos de tiempo de extracción, ya que después de este periodo se observa una notable formación de productos de descomposición. Por lo tanto, para evaluar con precisión el rendimiento de extracción, se realizará el cálculo utilizando un tiempo de 1800 segundos, equivalente a 30 minutos. Esta elección nos permitirá obtener resultados confiables y comparables para determinar la eficiencia y el rendimiento de la extracción, sin verse afectados por la formación significativa de productos de descomposición que ocurre más allá de ese límite de tiempo.

Luego haciendo el uso de la *ecuación (4.2)*, el rendimiento óptimo es:

$$R = 2,630\sqrt{(1800 + 74276,2499)} - 714,95$$

$$R_{opt} = 10,45 \text{ [%]}$$

El rendimiento del 10,45% se refiere a la cantidad de D-limoneno obtenido como resultado del proceso de extracción. En este caso, indica que se logró extraer y

recuperar un 10.45% de limoneno en masa a partir de la cáscara de naranja utilizando el método de extracción por microondas.

#### **4.6 Diseño del módulo de extracción de limoneno y mezcla con gasolina**

##### **4.6.1 Selección de equipos para la extracción de aceite de limoneno**

La selección de equipos adecuados es un factor clave para la extracción eficiente y efectiva de aceite esencial de la naranja. Se describirán los requisitos del equipo, los tipos de equipos disponibles en el mercado y los factores que deben considerarse en la selección del equipo adecuado. Además, se incluirán detalles técnicos sobre las características y propiedades de cada tipo de equipo, así como consideraciones de costo y eficiencia en la selección del equipo.

Además, se destacará como el equipo de extracción determinará la cantidad precisa de cascará de naranja necesaria para el proceso.

##### **4.6.1.1 Equipo de extracción por microondas**

La elección del equipo de extracción por microondas para obtener el aceite esencial de la cáscara de naranja se realizó después de un análisis de los diferentes métodos de extracción disponibles. Se consideraron varios factores, como la eficiencia del proceso, el tiempo de extracción, la calidad del aceite obtenido, el costo del equipo y la sostenibilidad ambiental. Después de una evaluación detallada, se determinó que el método de extracción por microondas es el más adecuado para nuestro proyecto debido a su eficiencia y menor impacto ambiental.

Aunque el costo inicial del equipo de extracción por microondas puede ser más alto que otros métodos de extracción, a largo plazo, puede resultar más económico debido a su eficiencia energética y a la reducción del tiempo de extracción. Además, en comparación con otros métodos, la extracción por microondas puede requerir una menor cantidad de materia prima y producir mayores rendimientos de aceite esencial, lo que también puede reducir los costos en la producción.

Por lo tanto, se seleccionó el equipo Milestone MAC 75 (Figura 4.4), que cuenta con las siguientes características mostradas de la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Características del equipo de Mileston MAC 75

<b>Marca y Modelo</b>	<b>Mileston MAC 75</b>
<b>Tipo de equipo</b>	Reactor microondas multimodo
<b>Potencia Máxima</b>	6000W
<b>Dimensiones</b>	1000L x 1100 W x 2100H
<b>Peso</b>	500 kg
<b>Material de la cavidad</b>	Acero inoxidable
<b>Capacidad de la cavidad</b>	150L
<b>Control de temperatura</b>	Si, mediante un detector de temperatura
<b>Ajuste automático de potencia</b>	Si
<b>Tambor rotativo amovible</b>	Si, de PTFE

Fuente: Elaborado en base: <https://www.equilabo.com/produit/chimie-par-micro-ondes/extraction-par-micro-ondes/mac-75-58.html>

A continuación, se presentará el equipo Mac 75 que se utilizará en el módulo de extracción de aceite esencial de cascará de naranja. El Mac 75 es una máquina extractora de aceite esencial que utiliza el método de extracción por microondas. Es una máquina eficiente que se utiliza para extraer aceites esenciales. El equipo tiene una capacidad de 150 litros, lo que lo hace ideal para la producción a pequeña y mediana escala.

Figura 4.4 Equipo de extracción por microondas



Fuente: Review of Alternative Solvents for Green Extraction(Farid Chemat, Maryline Abert Vian, & Harish Karthikeyan Ravi, 2019)

A través de este equipo, se determinará de manera precisa la cantidad optima de cascará de naranja necesaria para el proceso diario.

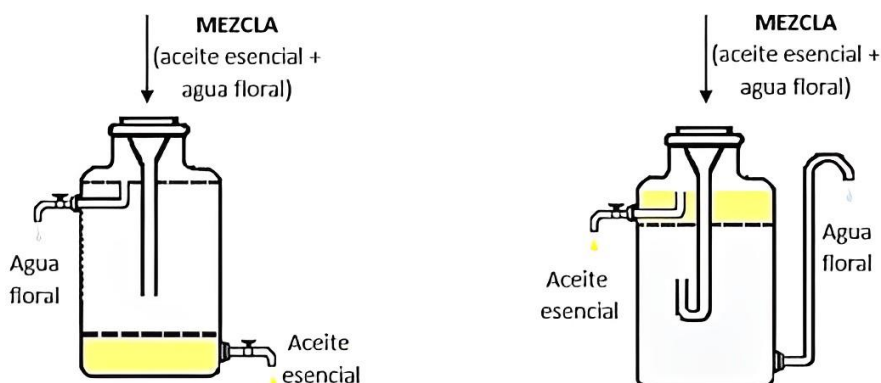
$$150 \text{ litros} * \frac{420 \text{ gr}_{cascara}}{1 \text{ litro} * 30 \text{ min}} * \frac{1 \text{ kg}_{cascara}}{1000 \text{ gr}_{cascara}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{24 \text{ min}}{1 \text{ dia}} = 3.024 \frac{\text{kg cascara}}{\text{dia}}$$

El equipo Mileston Mac 75 tiene la capacidad de procesar 3.024 kg de cascará de naranja por día.

#### 4.6.1.2 Vaso florentino

La destilación, que implica la extracción de aceites esenciales y sus hidrolatos, es distinta de la destilación agua-alcohol utilizada en la producción de bebidas alcohólicas. No es una extracción simple en la que solo se controla la temperatura, ya que no existe un punto de separación nítido. En el proceso de condensación, se obtiene una mezcla de agua floral y aceite esencial, que no son miscibles. La mayoría de los aceites esenciales son menos densos e insolubles que el agua, por lo que tienden a flotar en la superficie.

Figura 4.5 Mecanismo de separación de aceites esenciales



Fuente: (Valdez Tantani & Condeña Lima, 2020)

En el contexto del aceite esencial de naranja, este se acumula en la parte superior, mientras que el agua floral es expulsada de manera constante y se recoge en un contenedor separado. El aceite esencial puede ser extraído utilizando una pipeta o jeringa y posteriormente transferido a un recipiente más adecuado para su almacenamiento y análisis. A partir de este sencillo proceso de separación de aceites esenciales, surgen los dispositivos de separación más prevalentes en la industria.

Figura 4.6 Mecanismo de separación de aceites esenciales



Fuente: Instituto de Biotecnología ESQUEL:  
<https://www.facebook.com/104439884505525/posts/105408461075334/>

#### **4.6.2 Cálculo de la masa necesaria de cáscara de naranja**

La ecuación (4.3) describe el cálculo del rendimiento de aceite obtenido a partir de la extracción de la cascara de naranja.

$$R = \frac{\text{masa de aceite de naranja}}{\text{masa de cascara de naranja}} \quad \text{ecuación (4.3)}$$

Para 10 gramos de cáscara de naranja:

$$\text{masa de aceite} = m_{\text{cascara}} \times R \quad \text{ecuación (4.4)}$$

$$\text{masa de aceite} = 10 \text{ grs} \times 2,8\%$$

$$\text{masa de aceite} = 0,28 \text{ grs de aceite}$$

Por otra parte, para incrementar el índice de octano se utiliza de aditivo entre 1% y 25% en volumen de gasolina. Por otra parte, el limoneno comprende una densidad de 0,84 a 0,86 gr/cm<sup>3</sup>.

Luego la función será:

$$\text{masa}_{\text{cascara}} = \frac{k_{\text{aditivo}} \times \rho_{\text{limoneno}}}{R} \times \text{Vol}_{\text{gasolina}} \quad \text{ecuación (4.5)}$$

Donde:

$k_{\text{aditivo}}$  = porcentaje de aditivo en volumen de gasolina

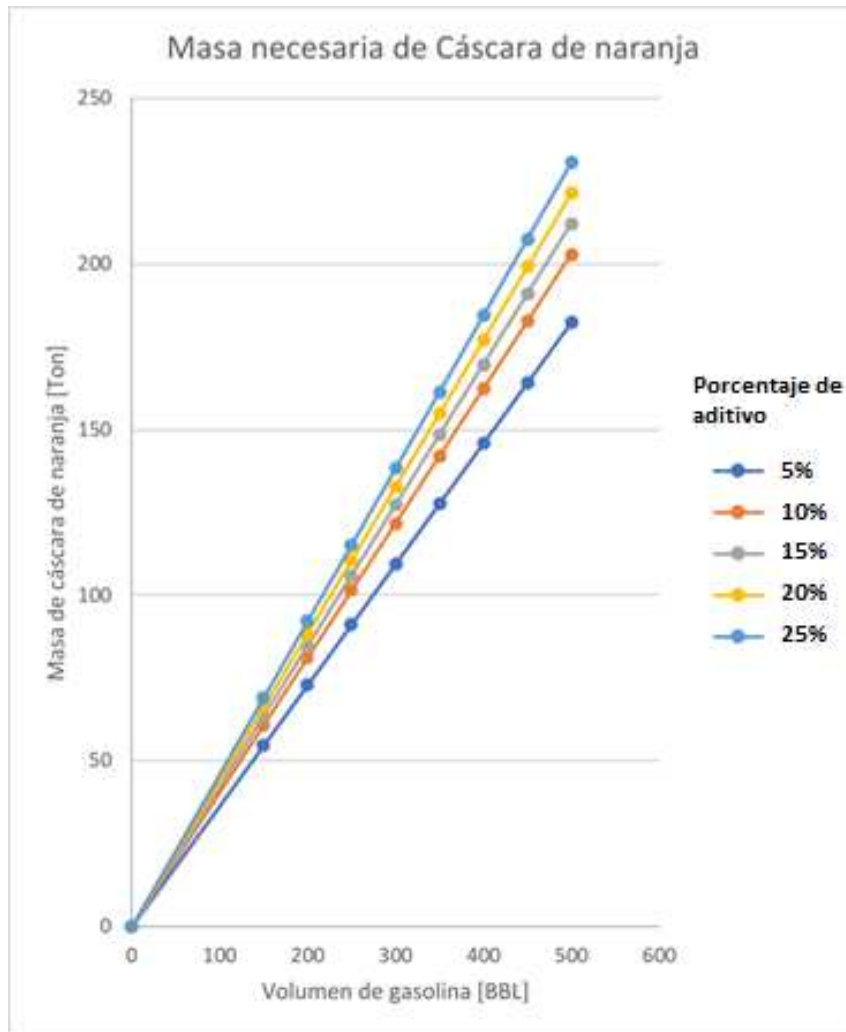
$\rho_{\text{limoneno}}$  = densidad del limoneno

$\text{Vol}_{\text{gasolina}}$  = volumen de gasolina

$R$  = rendimiento de obtención de aceite

Graficando la relación de masa para adición en volumen se tiene:

Figura 4.7. Relación de masa para adición en volumen



Fuente: elaboración en base a la ecuación 4.2

Se puede observar en la Figura 4.7 que a medida que aumenta la relación de aceite de limoneno y gasolina, también aumenta el consumo de masa de cáscara y, por ende, se requiere mayor cantidad de cascara. Entonces, es recomendable seleccionar una relación intermedia que permita minimizar los costos operativos y ajustarse a la cantidad disponible de cascara.

Utilizando la ecuación (4.5) se ha elaborado la Tabla 4.4 que muestra la relación entre la cantidad de cascara de naranja en toneladas y porcentaje de adición de



limoneno. Mediante el uso de esta Tabla 4.4, es posible calcular la cantidad de gasolina base necesaria para la mezcla.

Tabla 4.4. Relación entre k, volumen de gasolina base y cascara de naranja

<b>k</b> <b>Cascara Kg</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>
<b>1.000,00</b>	2.510,71	1.189,29	748,81	528,57	396,43
<b>2.000,00</b>	5.021,43	2.378,57	1.497,62	1.057,14	792,86
<b>3.000,00</b>	7.532,14	3.567,86	2.246,43	1.585,71	1.189,29
<b>5.000,00</b>	12.553,57	5.946,43	3.744,05	2.642,86	1.982,14
<b>10.000,00</b>	25.107,14	11.892,86	7.488,10	5.285,71	3.964,29
<b>25.000,00</b>	62.767,86	29.732,14	18.720,24	13.214,29	9.910,71
<b>50.000,00</b>	125.535,71	59.464,29	37.440,48	26.428,57	19.821,43
<b>75.000,00</b>	188.303,57	89.196,43	56.160,71	39.642,86	29.732,14
<b>100.000,00</b>	251.071,43	118.928,57	74.880,95	52.857,14	39.642,86
<b>200.000,00</b>	502.142,86	237.857,14	149.761,90	105.714,29	79.285,71
<b>1.000.000,00</b>	2.510.714,29	1.189.285,71	748.809,52	528.571,43	396.428,57

Fuente: Elaboración en base a la ecuación (4.1)

De acuerdo a la información presentada, se puede afirmar que, en el año 2021, Bolivia produjo un total de 188.867 toneladas de naranja. Teniendo en cuenta que la cascara de naranja representa el 20% del peso total de la fruta, se estima que la producción esta alrededor de 37.773,40 toneladas (103,50 ton/día) una parte de estos residuos de cascara de naranja son manejados por basureros y empresas.

En base a la producción diaria de 103,50 toneladas de cascara de naranja que el país genera, y tomando en cuenta que el módulo tiene una capacidad de

procesamiento diario de 3 toneladas de cascara, tiene margen para un aumento significativo en su capacidad. Esto implica que existe la posibilidad de escalar y convertirlo en una planta industrial a gran escala.

En este proyecto, considerando la utilización de 3 toneladas de cascara de naranja al día, se explorarán dos opciones para obtener diferentes niveles de octanaje en la gasolina. En la primera opción, se utilizará gasolina base 81 y se añadirá un 5% de aditivo, lo que resultará en una gasolina con un octanaje de aproximadamente 85. En la segunda opción, se empleará gasolina base 85 y se añadirá un 10% de aditivo, lo que generará una gasolina con un octanaje cercano a 91. Los detalles de estas opciones se mostrarán en la Tabla 4.5 para su mejor comprensión y comparación.

Tabla 4.5 Uso de gasolina base 81 y 85

<u>Uso de cascara: 3000 kg</u>	Gasolina base 81	Gasolina Base 85
Cantidad de limoneno [lts/día]	376,43	376,43
Cantidad de gasolina base [lts/día]	7.152,14	3.387,86
Volumen de la mezcla [lts/día]	7.528,57	3.764,29
Octanaje de la mezcla	85	91

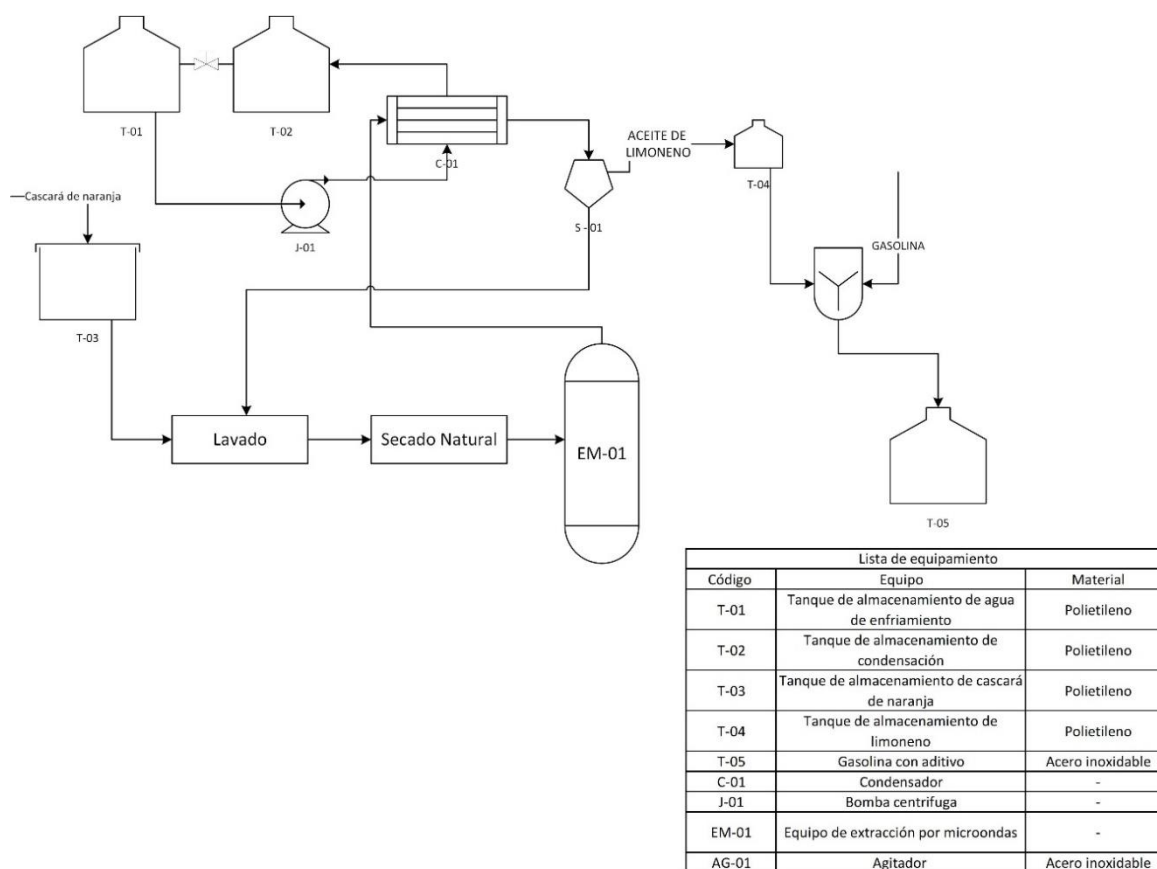
Fuente: elaboración en base a la Tabla 4.4

#### **4.6.3 Configuración del módulo de extracción de aceite de limoneno**

En este apartado, se presenta el diseño de la configuración del módulo de extracción de aceite esencial de naranja mediante el uso de tecnología de

microondas. A continuación, se muestra un diagrama de proceso en la Figura 4.8 que representa los equipos y las tuberías necesarias para llevar a cabo la extracción. El diagrama (Figura 4.8) y en anexos se ha desarrollado en base a la selección previa de los equipos.

Figura 4.8 Diagrama P&ID de la extracción de limoneno



Fuente: Elaboración propia en base: <https://controlreal.com/es/diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion-pid/>

#### 4.6.4 Diseño del agitador

La opción de mezclar el aditivo con gasolina en un tanque utilizando un agitador de paletas. Esta técnica es ampliamente utilizada en la industria para lograr una mezcla homogénea y uniforme.

El agitador de paletas es un dispositivo que consta de paletas o aspas fijadas a un eje central. Estas paletas se sumergen en el líquido y, al girar el eje, generan corrientes y turbulencias en el fluido. Esta agitación promueve la dispersión del aditivo en la gasolina, asegurando una mezcla completa.

Al utilizar un agitador de paletas en un tanque, se logra una mezcla eficiente gracias a la generación de fuerzas de cizallamiento y turbulencias controladas. Estas fuerzas rompen los gradientes de concentración y ayudan a distribuir de manera uniforme el aditivo en todo el volumen de gasolina.

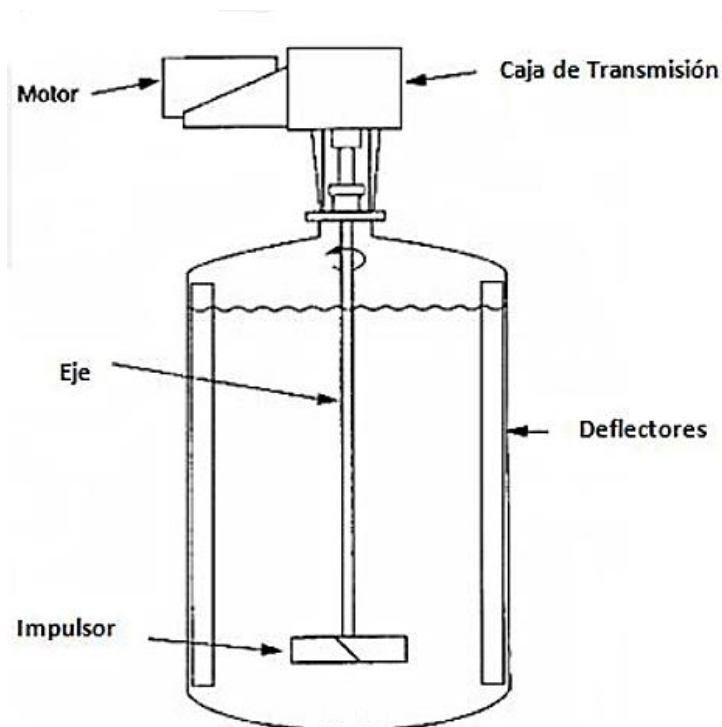
Es importante destacar que el diseño del agitador, la velocidad de agitación y el tiempo de mezcla son factores clave a considerar para obtener una mezcla óptima. La selección de un agitador de paletas adecuado dependerá del volumen del tanque, las propiedades de la gasolina y del aditivo, así como de las condiciones operativas específicas.

La mezcla en tanque con agitador de paletas es una opción confiable y eficiente para asegurar la homogeneidad del aditivo en la gasolina, garantizando así su efectividad en la aplicación deseada.

Los fluidos son agitados en tanques o recipientes (Figura 4.9), el equipo consiste en un recipiente cilíndrica, un agitador eléctrico, montado de un eje y accionado por un motor eléctrico. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rector o regiones en las que no penetraría las corrientes de fluido. El cilindro debe presentar placas deflectoras, para evitar la formación de vórtices (remolinos). La altura del líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque.

Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje este accionado por un motor, la mayor frecuencia es a través de una caja de engranaje reductores.

Figura 4.9 Agitador mecánico con deflectores



Fuente: Estudio del Flujo en un tanque agitador vertical de impulsor PTB con superficie libre mediante el programa ANSYS; Huerto Hebert; 2013

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 4.5, se observa que el mayor volumen obtenido corresponde a la mezcla de gasolina base 81 con aceite de limoneno, resultado en una gasolina de octanaje de 85. Este proceso produce un volumen de 7.528,57 litros. Considerando factor de seguridad, se procederá al

diseño de un tanque agitador con una capacidad de 8 metros cúbicos para albergar este volumen de mezcla.

Para determinar las dimensiones del tanque, se utilizará el cálculo del volumen de un cilindro:

$$V = \frac{\pi}{4} * D_T^2 * H \quad \text{ecuación (4.6)}$$

Donde:

$V$ : Volumen del tanque

$D_T$ : Diámetro del tanque

$H$ : Altura del liquido

Si consideramos que el diámetro del tanque será igual a la altura del tanque, podemos establecer lo siguiente:

$$V = \frac{\pi}{4} D_T^3 \rightarrow 3,00 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} * D_T^3$$

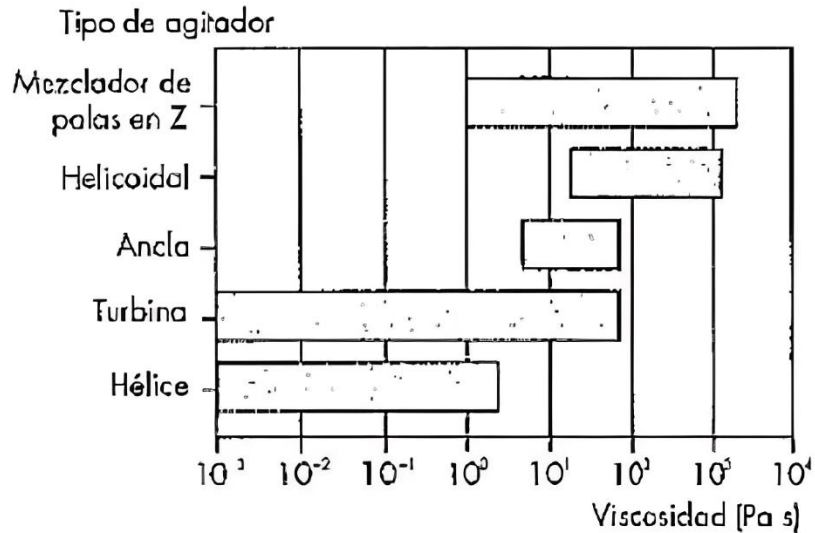
$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4 * 8,00 \text{ m}^3}{\pi}} \rightarrow D_T = 2,17 \text{ metros}$$

$$D_T = H = 2,17 \text{ metros} \cong 2,20 \text{ metros}$$

Para determinar el tipo de agitador, Penny (1970) propone la Figura 4.10. Esta grafica tiene el volumen del tanque en el eje horizontal y viscosidad dinámica del fluido en el eje vertical. Al interceptar el valor correspondiente para cada eje en un punto, se obtiene el tipo de agitador apropiado.

Con el volumen del tanque de 8 metro cubico y con la viscosidad dinámica de la gasolina 0,4 cP, se intercepta los valores en la Figura 4.10 y este indica el tipo de agitador que requiere el tanque.

Figura 4.10 Selección del tipo de agitador



Fuente: Guide to Trouble-free Mixers (Penny, 1970)

Según se muestra en la Figura 4.10 , para una viscosidad de  $6,5 \times 10^{-4}$  Pa\*s, los agitadores más recomendados son del tipo hélice y turbina. Estos tipos de agitadores son eficientes para agitar fluidos con viscosidades moderadas, como la indicada.

Ya definida la utilización de un mezclador o agitador tipo turbina y considerando los datos de entrada con respecto a las dimensiones del tanque, es posible obtener, las dimensiones generales del agitador.

- Si la relación de la altura del tanque (H) y el diámetro del tanque ( $D_T$ ) es de 0,7 a 1 usar un solo impulsor.

- Si la relación de la altura del tanque (H) y el diámetro del tanque ( $D_T$ ) es de 1 a 2 usar dos impulsores.
- Si la relación de la altura del tanque (H) y el diámetro del tanque ( $D_T$ ) es de 2 a 2.75 usar tres impulsores.

Hallando el número de impulsores que tendrá el tanque agitador:

$$\text{Nro impulsores} \rightarrow \frac{H}{D_t} = \frac{1,25 \text{ metros}}{1,25 \text{ metros}} = 1$$

La relación de la altura del tanque y el diámetro del tanque se obtiene un valor de 1 por lo cual se usará solo un impulsor.

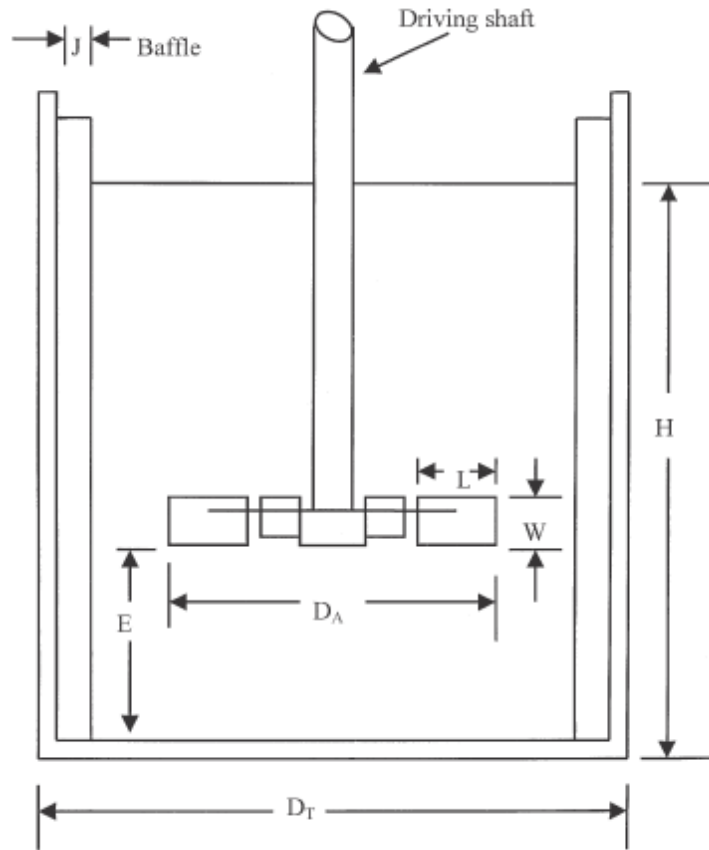
#### **4.6.5 Relaciones geométricas para el diseño del mezclador**

Para el diseño del agitador, hay una serie de variables a considerar: el diámetro del tanque ( $D_T$ ), el diámetro de las palas ( $D_a$ ), la altura del fluido (H), el ancho y número de deflectores (J), la distancia desde el fondo del tanque hasta el impulsor (E). Estas variables influirán y determinarán las necesidades y metas específicas requeridas. Tales como: velocidad de circulación del líquido, modelo de flujo, consumo de energía, etc. Como punto de partida para el diseño de agitadores, se pueden utilizar similitudes geométricas normalizadas asociadas con medidas generales. estanque impulsor

A continuación, se muestra la figura Figura 4.11 con las relaciones geométricas de un tanque agitador:



Figura 4.11 Relaciones geométricas de un agitador estándar



Fuente: Liquid mixing and processing in stirred tanks (Holland, 1996)

Tabla 4.6 Relaciones geométricas del agitador

$\frac{E}{D_T} = 0,33$	$\frac{D_a}{D_T} = 0,33$	$\frac{W}{D_a} = 0,2$
$\frac{l}{D_a} = 0,25$	$\frac{j}{D_T} = 0,10$	$\frac{f}{D_T} = 0,02$

Fuente: (Warren L. McCabe, Julian C. Smith, & Peter Harriot, 2007)

Donde:

E: Altura del agitador desde el fondo del tanque

$D_T$ : Diámetro del tanque

$D_A$ : Diámetro del agitador

H: Altura del liquido

L: Longitud de la pala del agitador

W: Anchura de la pala del agitador

J: Separación entre la placa deflectora y tanque

Utilizando las relaciones de la Tabla 4.6 obtenemos las relaciones geométricas para el diseño de los agitadores:

- Distancia de fondo hasta base del impulso (E):

$$\frac{E}{D_T} = 0,33$$

$$E = 0,33 * 217 [cm] = 71,53 [cm] \cong 72 [cm]$$

El valor de  $E = 72 [cm]$  que se obtuvo al diseñar el tanque agitador representa la distancia desde la base del tanque hasta el impulsor.

- Diámetro impulsor o agitador ( $D_a$ ):

$$\frac{D_a}{D_T} = 0,33$$

$$D_a = 0,33 * 217 [cm] = 71,53 [cm] \cong 72,00 [cm]$$

Se obtuvo un valor de  $D=72 [cm]$  para el diámetro del agitador. Este valor representa la medida del diámetro del impulsor utilizada en el agitador.

- Longitud del agitador (L):

$$\frac{L}{D_a} = 0,25$$

$$L = 0,25 * 71,53 [cm] = 17,88 [cm] \cong 18,00 [cm]$$

Se determinó que el largo de la paleta del agitador, representa por el valor L, es de 18[cm].

- Ancho del agitador (w):

$$\frac{w}{D_a} = 0,2$$

$$w = 0,2 * 71,53 [cm] = 14,31 [cm] \cong 15,00 [cm]$$

Se determinó que el ancho de la paleta del agitador, representa por el valor w, es de 15[cm].

- Ancho de la placa deflectora (j):

$$\frac{j}{D_T} = 0,10$$

$$j = 0,1 * 217 [cm] = 21,68 [cm]$$

Se determinó que el ancho de la placa deflectora del agitador, representado por el valor de  $j = 21,68[cm]$ , esta placa deflectora ayuda a prevenir la formación de vórtices no deseados en el tanque.

- Espacio entre placa y estanque (f):

$$\frac{f}{D_T} = 0,02$$

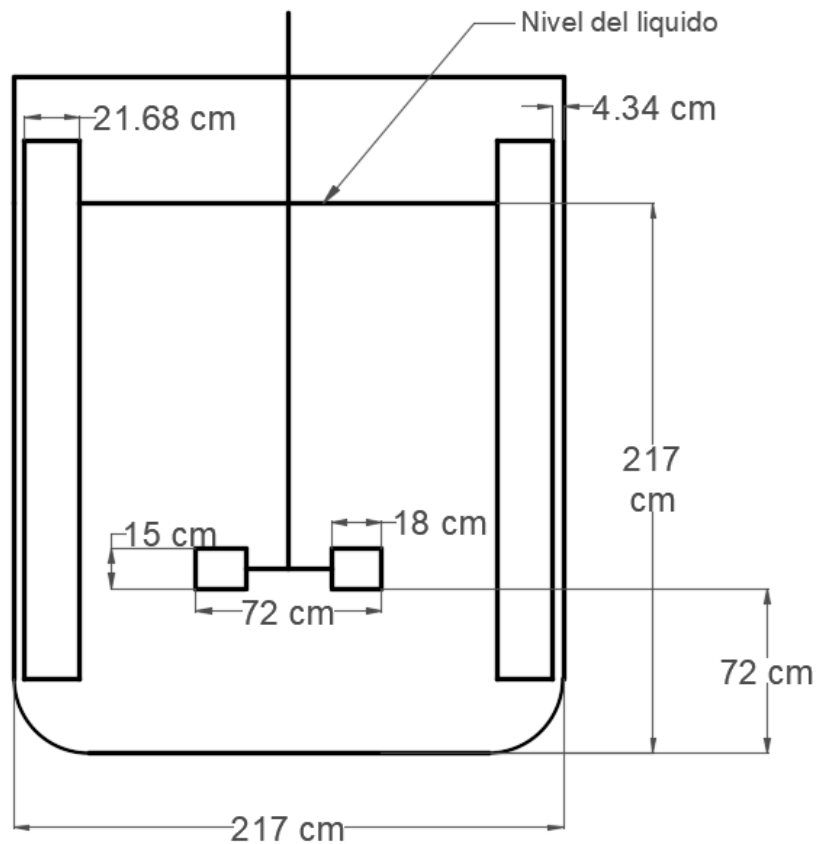
$$f = 0,02 * 217 [cm] = 4,34[cm]$$

Se determinó que el espacio entre placa y estanque, representado por el valor de  $f = 4,34[cm]$ , esto ayuda a evitar que se formen zonas muertas detrás de la placa

deflectora, lo que puede provocar una mezcla desigual y evitar las vibraciones cuando el agitador esté en funcionamiento.

A continuación, se muestra las medidas en centímetros (cm) del tanque agitador mostrado en el siguiente dibujo de AutoCAD:

Figura 4.12 Medidas del tanque agitador diseñado



Fuente: Elaborado en base a relaciones geométricas calculadas en el punto 4.6.3.

#### 4.6.6 Cálculo de la potencia requerida por el agitador

Para que el proceso de agitación sea efectivo, el volumen del fluido de agitación debe poder llegar a la parte más alejada del estanque, donde la velocidad de circulación no es el único factor importante, sino que la turbulencia del fluido puede

determinar la eficiencia de la operación. La turbulencia es el resultado de que la corriente se dirija correctamente y consiga crear grandes gradientes de velocidad en el líquido. Todos estos parámetros consumen energía, por lo que es importante conocer la potencia consumida para cumplir plenamente con el objetivo previsto.

**Numero de Reynolds**, mediante este parámetro se puede determinar el régimen que se va trabajar en el agitador, lo cual nos permite tener una idea base sobre la potencia requerida.

$$Re = \frac{ND_a^2 \rho}{\mu}$$

*ecuación (4.7)*

Donde:

Re = Numero de Reynolds

N = Velocidad de rotación del agitador  $\left[\frac{rev}{s}\right]$

Da = Diámetro del agitador [m]

$\rho$  = Densidad del fluido  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$\mu$  = Viscosidad del fluido  $\left[\frac{kg}{m*s}\right]$

El valor del número de Reynolds define si el fluido es turbulento o laminar. Además, se considera que el paso entre los estados de flujo laminar y turbulento no es directo, sino a través de una zona de transición. Definido de la siguiente manera:

Régimen laminar:  $Re < 10$

Régimen transitorio:  $300 < Re < 10000$

Régimen turbulento:  $Re > 10000$

- Utilizamos los datos de entrada:

Tabla 4.7 Datos de entrada para el cálculo de la potencia

Densidad del líquido ( $\rho$ ), $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	764
Viscosidad ( $\mu$ ), $\left[\frac{kg}{m*s}\right]$	$6,5 \times 10^{-4}$
Velocidad angular (N), $\left[\frac{rev}{s}\right]$	1,00
Diámetro del Agitador (D), [m]	0,72

Fuente: Elaborado en base a cálculos anteriores

Reemplazamos en la ecuación (4.7):

$$Re = \frac{1,00 \frac{rev}{s} * (0,72 m)^2 * 764 \frac{kg}{m^3}}{6,5 \times 10^{-4} \frac{kg}{m * s}} = 601.460,73 \text{ (régimen turbulento)}$$

Un número de Reynolds de 601.460,73 indica que el flujo es turbulento. Esto se debe a que la gasolina es un fluido de viscosidad relativamente baja. El flujo turbulento es importante para mezclar la gasolina, ya que ayuda a garantizar que la gasolina se distribuya uniformemente en el tanque.

### Potencia del agitador

Con la Tabla 4.8 hallamos la constante  $K_T$  para un régimen turbulento y tipo de impulsor disco de seis palas.

Tabla 4.8. Valores de las constantes  $K_L$  y  $K_T$  para tanques

Tipo de impulsor	$K_L$	$K_T$
Impulsor Hélice, tres palas		
Paso $1.0^{43}$	41	0,32
Paso $1.5^{37}$	48	0,87
Turbina		

Disco de seis palas <sup>37</sup> (S <sub>3</sub> = 0,25, S <sub>4</sub> = 0,2)	65	5,75
Seis palas inclinadas (45°, S <sub>4</sub> = 0,2)	-	1,63
Cuatro palas inclinadas (45°, S <sub>4</sub> = 0,2)	44,5	1,27
Paleta plana dos palas <sup>43</sup> (S <sub>4</sub> = 0,2)	36,5	1,70
Impulsor HE-3	43	0,28
Cinta Helicoidal	52	-
Ancla	300	0,35

Fuente: (Warren L. McCabe, Julian C. Smith, & Peter Harriot, 2007)

Utilizando la ecuación ( 4.8) para hallar la potencia del agitador:

$$P = K_T * N^3 * D_a^5 * \rho \quad \text{ecuación ( 4.8)}$$

Donde:

P: Potencia del agitador [W]

K<sub>T</sub>: Constante para flujo turbulento

N = Velocidad de rotación del agitador  $\left[\frac{rev}{s}\right]$

D<sub>a</sub> = Diámetro del agitador [m]

ρ = Densidad del fluido  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Haciendo el uso de la ecuación 4.8, tenemos:

$$P = 5,75 * 1,00^3 * 0,72^5 * 764$$

$$P = 822,87 W$$

$$P = 822,87 W * \frac{1HP}{745,7 W} = 1,10 HP$$

Consideraciones:

La potencia real o requerida del motor eléctrico debe considerarse la eficiencia de sus elementos (n) y se calculó con la siguiente ecuación:

$$P_{real} = \frac{P}{n} \quad \text{ecuación ( 4.9)}$$

Donde:

n = Eficiencia del Motor: 0,80

$P_{real}$  = potencia real

$$P_{real} = \frac{1,10}{0,80}$$

$$P_{real} = 1,38 \text{ HP} \cong 1,40 \text{ HP}$$

Para llevar a cabo una agitación efectiva, se requiere un motor de al menos 1.5 HP. Esta potencia proporciona la fuerza necesaria para generar un flujo turbulento y asegurar una mezcla homogénea de los componentes. Con un motor de 1.5 HP, se garantiza un rendimiento adecuado del agitador, permitiendo realizar la tarea de agitación de manera eficiente y confiable.

#### 4.6.7 Cálculo de la tasa de circulación interna

La tasa de circulación interna, o flujo interno en el tanque, es la cantidad de flujo perpendicular al área de descarga del impulsor. Se la calculó mediante la ecuación:

$$Q = N_Q N D_a^3 \quad \text{ecuación ( 4.10)}$$

Dónde:

Q: caudal

N = Velocidad de rotación del agitador  $\left[ \frac{rev}{s} \right]$

$D_a$  = Diámetro del agitador [m]



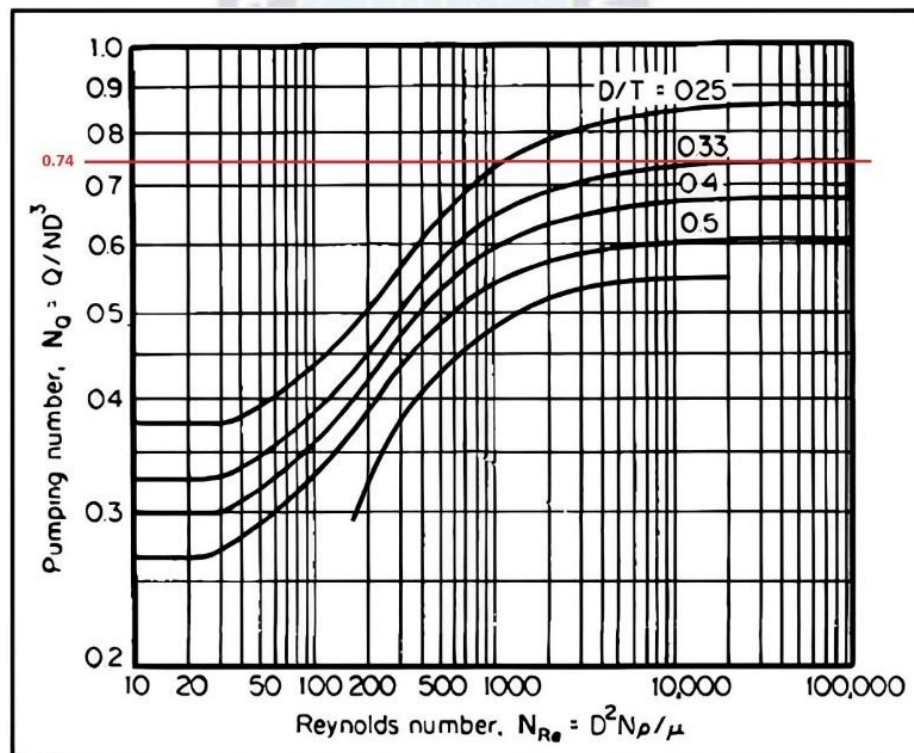
$N_Q$ : es el “número de flujo” o “número de bomba”, el cual depende del tipo de agitador, la relación  $\frac{D_a}{D_T}$  y el número de Reynolds del agitador. Los valores del número de flujo para los agitadores tipo turbina de aspas inclinadas se han obtenido experimentalmente.

Entonces la relación es:

$$\frac{D_a}{D_T} = \frac{53 [cm]}{160 [cm]} = 0,33$$

Luego, utilizamos la figura a continuación que muestra el número de flujo según el número de Reynolds para distintas relaciones  $\frac{D_a}{D_T}$  para este tipo de agitador

Figura 4.13. Número de flujo en función del número de Reynolds del impulsor para una turbina



Fuente: (Dickey, 1976)

De acuerdo a la figura, se observa que a partir de un número de Reynolds de 100.000, la curva se mantiene constante. Al seleccionar la curva correspondiente a

una relación D/T de 0,33 y buscar la intersección en el eje y, se obtiene un valor de 0,74 para  $N_Q$ .

Haciendo el uso de la ecuación 4.10, se obtiene el siguiente resultado:

$$Q = 0,74 \times 1,00 \frac{rev}{s} \times (0,72m)^3$$

$$Q = 0,2709 \frac{m^3}{seg} = 16,26 \frac{m^3}{min}$$

La tasa de circulación disponible es adecuada para garantizar una mezcla efectiva. Con una tasa de circulación de 0,27m<sup>3</sup>/s, equivale 16,25 m<sup>3</sup>/min, se cumple con el rango recomendado por la API de 1-2 veces el volumen del tanque por minuto. Es importante destacar que este valor de 16,25 m<sup>3</sup>/min es el doble del volumen del tanque, que es 8m<sup>3</sup>. Por lo tanto, con esta tasa de circulación mencionada, se asegura una mezcla suficiente y adecuada para el proceso requerido.

#### 4.6.8 Tiempo de mezcla

La tasa de bombeo y el número de rotaciones determinan el tiempo de mezcla. El número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad es una función de la viscosidad del líquido, en la Tabla 4.9 a continuación se muestra el número de rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad.

Tabla 4.9. Relación entre viscosidad y numero de rotaciones

Viscosidad cP	<100	100-1000	1000-5000	>5000
Numero de rotaciones para 95% de homogeneidad	3	10	50	>100

Fuente: (Paul, Atiemo-Obeng, & Kresta, 2004)

Teniendo una viscosidad de  $\mu_{[cp]} = 0,4 \text{ cp}$  y según la tabla indica que requiere 3 revoluciones del agitador para llegar a la homogenización del 95% para una viscosidad de gasolina de 0,04 cp es de:

$$n = 3$$

Luego el tiempo de mezclado se calcula por la siguiente ecuación:

$$t_{95} = \frac{n \times V_{\text{líquido en el tanque}}}{Q}$$

Donde:

n: Numero de rotaciones para alcanzar el 95% de homogeneidad

$V_{\text{líquido en el tanque}}$ : Volumen nominal del tanque

Q: caudal

Reemplazando valores:

$$t_{95} = \frac{3 \times 8000 \text{ litros} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}}}{0,0760 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$t_{95} = 118 \text{ [s]} \cong \text{aprox } 1,50 \text{ [min]}$$

Para tener un mezclador al 95% se necesita un 1 min aproximadamente, realizador una regla de tres para tener un mezclador completo, es decir al 100%, tenemos que:

$$t_{100} = 1,57 \text{ [s]} \cong \text{aprox } 2,00 \text{ [min]}$$

Se requieren 2 minutos de mezclado aproximadamente para tener una homogenización del 100%.

## Caculo del diámetro del eje de transición

Se utilizo la ecuación para determinar el diámetro de un eje expuesto a torque constante y a flexión completamente reversible.

$$d = \left[ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \left( K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

En esta situación, no existen fuerzas transversales aplicadas que provoquen flexión, por tanto, el valor de  $M_a=0$ , lo que simplifica la ecuación a:

$$d = \left[ \frac{16\sqrt{3}N_f}{\pi} \left( \frac{T_m}{S_y} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$P = T_m \omega$$

Donde:

$N_f$ : Factor de seguridad

$P$ : Potencia consumida por el agitador

$w$ : Velocidad angular

$T_m$ : Torque medio

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material

El factor de seguridad (N) es un parámetro fundamental en el diseño de estructuras y elementos de máquinas, ya que tiene como objetivo asegurar la resistencia y la seguridad de dichos componentes. Los valores del factor de seguridad pueden variar en función del nivel de confianza en los datos de diseño y las condiciones de carga específicas. A continuación, se describen en la Tabla 4.12 los rangos habituales de valores para el factor de seguridad:

Figura 4.14 Factor de seguridad

N = 1,25 a 2,0	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las cuales existe un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
N = 2,0 a 2,5	Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con confianza promedio en todos los datos de diseño. Es el que se suele utilizar para resolver los problemas de este libro.
N = 2,5 a 4,0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre sobre cargas, propiedades del material, tensión análisis o el medio ambiente.
N = 4,0 o más	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, material propiedades, análisis de tensiones o el medio ambiente. El deseo de dar más la seguridad de los componentes críticos también puede justificar el uso de estos valores.

Fuente: (Mott, Pozo, & Sánchez, 2006)

Se escogió usar acero inoxidable 304 con una resistencia de fluencia de 241 MPa y un factor de seguridad de 2.5. despejando el torque de la ecuación se obtuvo:

$$T_m = \frac{P}{\omega}$$

$$T_m = \frac{822,87w}{60 \frac{rev}{min} * 1min/60seg} = 822,87 N.m$$

$$d = \left[ \frac{16\sqrt{3}(2,5)}{\pi} \left( \frac{822,87N.m}{204 \times 10^6 Pa} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.045 m \cong 1 \frac{1}{2} plg$$

Según los cálculos, el diámetro requerido para el eje de transición es de 1 ½ plg, hay muchos materiales disponibles que podrían ser adecuados para cumplir con los requisitos de resistencia a la fluencia en la aplicación de eje de transición, para este eje se utilizara acero inoxidable.

#### 4.7 Resumen de los cálculos realizados

En la siguiente Tabla 4.10 punto se muestra un resumen de los cálculos realizados:

Tabla 4.10 Resumen de cálculos

	<b>Aditivo 10%</b>	<b>Aditivo 5%</b>
Se utilizará los residuos de cascará de naranja diario	3.000,00 kg/día	3.000,00 kg/día
Cantidad necesaria de gasolina para poder mezclar con el aditivo	3.387,86 litros/día	7.152,14 litros/día
Aumento de octanaje de la gasolina	91 octanos, con gasolina base 85	85 octanos, con gasolina base 85
Volumen de gasolina total	3.764,29 litros	7.528,57 litros

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del capítulo de ingeniería del proyecto

- Se seleccionó el método de extracción por microondas Milestone MAC 75 para obtener el aceite esencial de la cáscara de naranja debido a su eficiencia y beneficios ambientales. Aunque el equipo inicial puede ser costoso, a largo plazo resulta más económico debido a su eficiencia energética y menor tiempo de extracción. Además, requiere menos materia prima y produce mayores rendimientos de aceite, lo que reduce los costos de producción.
- En anexo E se muestra en unos planos del tanque agitador y a continuación se muestra una tabla que detalla sus características.

Tabla 4.11 Características del agitador

Capacidad	8000 litros
Altura	2,17 metros
Diámetro	2,17 metros

Tipo de impulsor	Disco con paletas
Numero de Reynolds	601.460,73
Tasa de circulación	16,26 m <sup>3</sup> /min
Potencia del motor eléctrico	1,4 HP
Diámetro del eje	1 ½ plg
Tiempo de mezclado	2 minutos

Fuente: elaboración en base a resultados del diseño del agitador



## CAPITULO V

### ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICA

#### 5.1 Factibilidad técnica

##### 5.1.1 Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta valiosa para el proyecto de aditivo de limoneno de aceite de cascara de naranja en gasolina, ya que permite identificar los factores internos y externos que pueden influir en su éxito. Al enfocarse en los factores claves para el éxito, el análisis FODA ayuda a identificar las áreas y actividades con mayor potencial para el desarrollo y la mejora del proyecto. Además, el análisis FODA también permite minimizar los impactos negativos al identificar los riesgos y las amenazas que podrían afectar al proyecto y planificar las estrategias necesarias para hacerles frente.

A continuación, se presenta en la siguiente Tabla 5.1 en donde se identifica la matriz FODA con el apoyo de la matriz de evaluación externa (EFE) que nos arroja una ponderación óptima lo cual indica que el proyecto estará en la capacidad de mejorar el incremento de octanaje utilizando el aceite de limoneno en la planta de Gualberto Villarroel.

Tabla 5.1 Matriz de estrategias FODA.

<b>FORTALEZA</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
La industria de jugos produce medianas cantidades de cascara de naranja, lo que brinda una fuente constante de materia	El aumento de la conciencia ambiental y la preocupación por el cambio climático por parte de los consumidores podría



<p>prima para la extracción de aceite de limoneno.</p>	<p>generar una mayor demanda por productos y servicios más amigables con el medio ambiente, lo que podría impulsar la adopción del aditivo de aceite esencial de cáscara de naranja en el mercado.</p>
<p>El uso de este aditivo puede reducir las emisiones de gases de escape y la huella de carbón del vehículo. Además, este aceite puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que contribuye a una mejor calidad de aire y mejora el impacto ambiental del uso de la gasolina en el país.</p>	<p>Existe un interés por parte de los propietarios de automóviles nuevos de contar con una gasolina de mayor calidad para proteger el funcionamiento óptimo de sus motores y evitar posibles daños.</p>
<p>Reducción en la importación de combustible (gasolina).</p>	
<p><b>DEBILIDADES</b></p>	<p><b>AMENAZAS</b></p>
<p>Dado que se trata de un aditivo nuevo para la gasolina, es posible que algunas personas tengan desconfianza en cuanto a su utilización.</p>	<p>Existen aditivos alternativos que son más establecidos en el mercado y son más conocidos por los consumidores, lo que podría obstaculizar la adopción del aditivo de aceite esencial de cáscara de naranja y limitar su potencial de crecimiento en el mercado.</p>
<p>Una de las debilidades es la cantidad de limoneno extraído de la cascara es relativamente baja.</p>	<p>La falta de un decreto supremo en el país que permita el porcentaje de uso del aditivo de aceite esencial de cáscara de naranja en la gasolina podría obstaculizar el desarrollo del proyecto y limitar su viabilidad en el mercado local, ya que se podría enfrentar a dificultades regulatorias y legales que impidan su comercialización y distribución en el país</p>

Fuente: Elaboración en base a datos recolectados, 2022

### 5.1.2 Beneficios y Desventajas

El limoneno es un hidrocarburo que se encuentra en la cascara de los cítricos como la naranja y es utilizado como aditivo en la gasolina para aumentar su octanaje y reducir emisiones de gases tóxicos. Algunas de las ventajas y desventajas de su uso son:

Beneficios:

- Reducción de emisiones: El limoneno ayuda a reducir las emisiones de gases tóxicos como el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y los hidrocarburos no quemados.
- Reducción de la cantidad de desechos de la cascara de naranja, se disminuye el impacto ambiental asociado con su disposición. Menos residuos significa una menor carga en los vertederos y una menor necesidad de recursos para su gestión adecuada.
- Mejora el octanaje: el limoneno aumenta el índice de octano de la gasolina lo que puede mejorar el rendimiento del motor.
- Fuentes renovables: el limoneno es un aditivo renovable, ya que se obtiene de la cascara de los cítricos, lo que hace más sostenible que otros aditivos.
- La ventaja de utilizar limoneno es que es un recurso renovable y no contamina el medio ambiente es decir si se echa un litro de aceite de limoneno a la tierra este no afecta a la fertilidad del mismo. Se puede generar más plantaciones de naranja obtener cáscaras mediante desechos de compañías y productores de jugo y derivados de naranja.

- Al producir internamente el aceite de limoneno, se disminuye la necesidad de importar volúmenes de gasolina.

Desventajas:

- Disponibilidad limitada: la cantidad de limoneno que se puede obtener de la cascara de cítricos es limitada, lo que puede limitar su uso en la producción de gasolina.
- Poder calorífico: Su poder calorífico es un poco menor a comparación del proceso de blending y tarda en renovarse.
- Olor: el limoneno tiene un olor cítrico que puede ser desagradable para algunas personas.
- Es un recurso que tarda un determinado tiempo para conseguirse desde el crecimiento de la fruta.

### **5.1.3 Factibilidad Ambiental**

#### *Riesgos ambientales*

Este proyecto no genera ningún riesgo al medio ambiente, pero se debe considerar que el diseño del módulo para el incremento del octanaje debe ser lo más aplicable y amigable con el medio ambiente y contarse con un programa de control ambiental para aplicarse durante y después de haber realizado la implementación del módulo.

#### *Preparación del sitio*

Al considerarse la instalación de un módulo es pertinente preparar el terreno; la única actividad que se realizara es el desmonte de equipos y cálculos en el diseño.

### *Control ambiental*

Con la finalidad de predecir las alteraciones que el proyecto de diseño de un módulo para el incremento del octanaje en la gasolina en base al uso de aceite de limoneno producirá sobre el entorno, se deben identificar primero los elementos del ambiente que pueden ser modificados por la realización del proyecto; se debe realizar un inventario de ellos y posteriormente la valoración del inventario.

Para llevar a cabo la valoración del inventario se debe utilizar una aproximación semicuantitativa, donde se le asignó a cada elemento una calificación de Alto, Medio, o Bajo.

#### **5.1.4 Factibilidad en la seguridad industrial**

*Prevención de Riesgos al contacto con productos o sustancias químicas.*

Los empleados de mantenimiento están expuestos a daño de fluidos en el rostro, Por tanto, se debe cumplir con las siguientes normas de seguridad industrial:

- Utilizar lentes de protección y cascos para dañar el rostro con los fluidos de mantenimiento.
- Disponer de instrucciones de uso y manejo para el personal.
- Informar a los trabajadores de los riesgos a los que están expuestos.
- Tener un plan de acción o protocolo de prevención de riesgos a los que están expuestos los empleados.
- Sensibilizar a los empleados de la higiene personal, sobre todo antes de comer y beber. No fumar, no morderse las uñas, etc.
- Usar siempre guantes adecuados.

- Uso obligatorio de equipos de protección corporal individual adecuados (guantes, ropa, etc.).

#### *Prevención de Riesgos asociados a incendios.*

El montaje de los módulos y los procesos de mantenimiento implican grandes riesgos de incendios y de explosiones por los fluidos de trabajo presentes, para controlar el riesgo, hay que garantizar una ventilación adecuada en los espacios cerrados, así mismo en los lugares y zonas de trabajo, para lo cual se deben seguir las siguientes medidas de prevención:

- Los equipos de suministro, mangueras y pistolas, deben inspeccionarse para detectar fugas y averías.
- Se debe prohibir fumar, encender fuego, usar el teléfono móvil.
- En el caso de derrames de gasolina, hay que alejar los vehículos y limpiarlos de la gasolina antes de arrancar de nuevo el motor.
- Tener a la mano los extintores para la eliminación de fuego.
- Ubicar los interruptores de emergencias en los surtidores accesibles e identificados, se debe conocer su función y localización, para poder emplearlos cuando sea necesario.

## **5.2 Factibilidad económica**

Durante el presente capítulo, se hace una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo.

La evaluación económica se basa en el costo total de los equipos de procesos para el diseño del módulo para el incremento del octanaje de la gasolina en la Planta

Gualberto Villarroel. Se emplean índices utilizados por Peters, Timmerhaus y Wet, en su texto “Diseño de Planta y Economía para Ingenieros Químicos”.

### 5.2.1 Estimación de inversión total

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto y se estima en 309.024,00 Bs (bolivianos).

La inversión total está constituida por el capital fijo total que asciende 211.584,00 Bs (bolivianos); y un capital de trabajo u operación estimada en 97.440,00 Bs (bolivianos) anual.

#### **Costo fijo**

El costo fijo está formado por la suma de los costos directos y los costos indirectos de la limpieza, los podemos calcular de la siguiente manera:

Tabla 5.2 Costos fijos.

<b>Detalle</b>	<b>Monto en Bs</b>
Costo Directo	182.352,00 Bs
Costo Indirecto	29.232,00 Bs
Total	211.584,00 Bs

Fuente: Elaboración en base a datos calculados, 2022

El costo fijo total tiene un valor de 211.584,00 Bs.

### 5.2.2 Costo directo o físico

Se presentan los gastos relacionados con la adquisición de los equipos necesarios para el módulo de extracción de limoneno en la Tabla 5.3 .

Tabla 5.3 Equipos del modulo

<b>ITEM</b>	<b>Costo en bolivianos</b>
Equipo de extracción de limoneno	104.400,00
Tanque mezclador	34.800,00
<b>Total</b>	<b>139.200,00</b>

Fuente: Diseño de Planta y Economía para Ingenieros Químicos (2002)

El costo directo trata de un tipo de gasto que tiene una relación directa a la realización y producción de los productos o servicios, los cuales son detallados en la Tabla 5.4:

Tabla 5.4. Costos directos o físicos.

<b>Detalle</b>	<b>Monto en Bs</b>
Costo de equipos en el módulo	139.200,00
Costos de instalación de todo el equipo	9.744,00
Costo de sistema eléctrico y agua	2.784,00
Costo de infraestructura	13.920,00
Costo de mejoras de terrenos	2.784,00
<b>Total, costos directos</b>	<b>168.432,00</b>

Fuente: Diseño de Planta y Economía para Ingenieros Químicos (2002)

EL costo directo es 168.432,00 Bs (bolivianos).

***Costo de equipo principal y auxiliar de proceso.***

El costo CIF del equipo principal y auxiliar colocado en el módulo asciende a 139.200,00 Bs (bolivianos). Con este valor y utilizando los índices de Peters,

Timmerhaus & Wet se obtuvo los distintos valores para calcular la inversión total del proyecto.

***Costo de instalación de todos los equipos.***

Se considera el 7% del costo del equipo puesto en el módulo de incremento de octanaje, es decir: 9.744,00 Bs (bolivianos).

***Instalaciones eléctricas y agua.***

Se estima de acuerdo a las recomendaciones dadas por P&T., siendo el 2% del costo de compra total del equipo, se obtuvo un valor de 2.784,00 Bs (bolivianos).

***infraestructura.***

El costo de estructuras incluye los costos de cimentación para el área de proceso a precios locales. Se considera 10% del costo de equipo principal. El costo asciende a 13.920,00 Bs (bolivianos).

***Terrenos y mejoras.***

El costo del terreno se ha estimado teniendo en cuenta la ubicación del módulo. Se considera el 2% del costo de equipo principal. El costo considerado es de solo 2.784,00 Bs (bolivianos).

**5.2.3 Costos indirectos**

EL costo indirecto es 26.488,00 Bs (bolivianos). y está constituido por:

Se considera que se va procesar cada día 8 horas, 2 920 horas de operación al año.



### **Capacitaciones.**

Es importante considerar estos costos al planificar y presupuestar programas de capacitación, ya que garantizar una inversión adecuada en la formación del personal puede conducir a un mejor desempeño, mayor productividad y satisfacción laboral. Se ha considerado 1.392,00 Bs

### **Imprevistos.**

Se ha considerado 5.568,00 Bs con la finalidad de subsanar cualquier eventualidad que demande el gasto y que no se haya considerado dentro del costo de construcción del módulo. Se estima como el 4% del costo total del módulo.

Tabla 5.5 Costos indirectos

<b>Detalle</b>	<b>Monto en Bs</b>
Capacitaciones	1.392,00
Imprevistos	5.568,00
<b>Total, costos directos</b>	<b>6.960,00</b>

Fuente: Elaboración en base a datos calculados, 2022

A continuación, se presentan los costos directos, costos indirectos y capital de trabajo asociados al módulo de extracción. Estos costos son elementos importantes a considerar en el análisis financiero del proyecto:

Tabla 5.6 Costos directos, Indirectos e Inversión Total

<b>1. ACTIVOS FIJOS (Bolivianos)</b>		<b>Bs</b>
	<b>1.1. Costos directos</b>	
	Costo de equipos en el módulo	139.200,00

	Costos de instalación de todo el equipo	9.744,00
	Costo de sistema eléctrico y agua	2.784,00
	Costo de estructuras pequeñas	13.920,00
	Costo de mejoras de terrenos	2.784,00
	<b>Total, costos directos</b>	<b>168.432,00</b>
<b>1.2. Costos indirectos</b>		
	Capacitaciones	1.392,00
	Gastos imprevistos	5.568,00
	<b>Total, costos indirectos</b>	<b>6.960,00</b>
<b>2. CAPITAL DE TRABAJO Bs (bolivianos)</b>		
	<b>Total, capital de trabajo Bs 70% del costo total de los equipos</b>	97.440,00
<b>INVERSIÓN TOTAL DE PROYECTO Bs</b>		<b>272.832,00</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos bibliográficos, 2022

El proyecto del módulo requiere una inversión total de 272.832,00 Bs. Este monto representa la suma de todos los rubros de inversión necesarios para el desarrollo y puesta en marcha del proyecto.

#### **5.2.4 Estimación del costo total de producción**

El proceso de extracción de aceite de limoneno mediante el método de extracción por microondas se caracteriza por no necesitar aditivos adicionales. Los únicos

recursos necesarios son energía para el funcionamiento de la maquinaria y agua como refrigerante. En cuanto al costo de la materia prima, se considera como un costo de adquisición, pero este valor es referencial, ya que se busca aprovechar los residuos de materia prima generados por las empresas que procesan naranjas.

Tabla 5.7 Costo de Producción

<b>1. COSTOS DIRECTOS Bs (bolivianos) para primer año</b>		
Costos de materia prima, kg	153.300,00	Bs. 348.906,59
Costo de mano de obra	162.000,00	
Costo de mantenimiento y reparación	2.455,49	
Costo de abastecimiento	491,10	
Servicios y agua	30.660,00	
<b>TOTAL, COSTOS DIRECTOS</b>		

Fuente: En base a Datos de investigación, 2022.

- **Costo unitario**

En el proyecto, se estima el costo unitario teniendo en cuenta un volumen de producción anual de 86.687,50 litros.

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Volumen de producción}} = \frac{348.906,59 \text{ Bs}}{86.687,50 \text{ lts}} = 3,66 \frac{\text{Bs}}{\text{litro}}$$

### 5.3 Cálculo de indicadores económicos

#### Flujo de caja

Se hace una suposición anual de los ingresos. De ese análisis se obtiene el TIR y VAN para verificar si el proyecto es rentable o no.

Tabla 5.8 Flujo de caja.

Capacidad		70%	80%	90%	100%	100%
Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Detalle						
inversión inicial	- 272.832,00					
ingreso por venta		476.781,25	544.892,86	613.004,46	681.116,07	681.116,07
<b>Total ingreso</b>		<b>476.781,25</b>	<b>544.892,86</b>	<b>613.004,46</b>	<b>681.116,07</b>	<b>681.116,07</b>
Costo de operación		348.906,59	375.607,53	402.308,47	429.009,41	429.009,41
Depreciación activos fijo		17.539,20	17.539,20	17.539,20	17.539,20	17.539,20
<b>Total Costos</b>		<b>366.455,79</b>	<b>393.146,73</b>	<b>419.847,67</b>	<b>446.548,61</b>	<b>446.548,61</b>
utilidad bruta		110.335,46	151.746,13	193.156,80	234.567,46	234.567,46
Depreciación activos fijo		17.539,20	17.539,20	17.539,20	17.539,20	17.539,20
<b>flujo de caja</b>	- 272.832,00	<b>127.874,66</b>	<b>169.285,33</b>	<b>210.696,00</b>	<b>252.106,66</b>	<b>252.106,66</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos analizados, 2022.

### Valor Actual Neto

El valor actual neto es un procedimiento que nos permite calcular el valor presente de un determinado número de flujo de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. La fórmula que nos permite calcular el valor actual neto es:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

$Q_n$  = Representa los flujos de caja

$I$  = valor del desembolso inicial de la inversión

$N$  = número de periodos considerados

$r$  = tasa de descuento

VALOR	SIGNIFICADO	DECISIÓN
$VAN > 0$	La inversión producirá ganancia por encima de la rentabilidad exigida	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión producirá pérdidas por encima de la rentabilidad exigida	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no producirá ni ganancias ni pérdidas	El proyecto no genera rentabilidad exigida, la decisión debería basarse en otros criterios

Calculando VAN tenemos:

$$VAN = 702.366,72 \text{ Bs}$$

$VAN > 0$ ; Entonces el proyecto es aceptable económicamente

### Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es un indicador de rentabilidad de un proyecto de inversión, mientras mayor sea se tendrá mayor rentabilidad. La tasa interna de retorno (TIR) es aquella tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea exactamente igual a cero.

$$0 = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

$Q_n$  = Representa los flujos de caja

$I$  = valor del desembolso inicial de la inversión

$N$  = número de periodos considerados

La determinación de la tasa interna de retorno, se realiza en base a la tasa mínima de retorno. Según el cálculo realizado en el programa Microsoft Excel el valor de TIR es 57% cuando el valor de VAN es 0

$$TIR = 57\%$$

Una TIR del 57% indica que la tasa de rendimiento esperada del proyecto es del 57%. Esto significa que se espera que el proyecto genere un rendimiento del 57% sobre la inversión inicial.

### **Beneficio – Costo**

El costo-beneficio es una herramienta utilizada en la evaluación de proyectos e inversiones para comparar los costos y los beneficios asociados con una decisión. Consiste en analizar los recursos financieros que se invertirán en un proyecto en relación con los resultados esperados en términos de beneficios económicos, sociales o ambientales.

$$\frac{B}{C} = \frac{VAN}{Inversión}$$

Los rangos comunes de interpretación del índice de costo-beneficio son:

<b>Índice de Costo – Beneficio</b>	<b>Interpretación</b>
Menor a 1	Beneficios < Costo
Igual a 1	Equilibrio entre B/C
Mayor a 1	Beneficio > Costo

Calculando B/C:

$$\frac{B}{C} = \frac{702.366,72}{272.832,00} = 2,57$$

El índice de Costo-Beneficio (B/C) de 2.57 indica que, por cada unidad invertida, se espera obtener 2.57 unidades de beneficio, lo que sugiere una inversión rentable y favorable.

Se observa que el TIR, VAN y B/C dan resultados favorables, así que es proporción confirmar que el proyecto de diseño de un módulo para incrementar el octanaje de la gasolina en base al uso de aceite de limoneno es muy rentable.



## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se ha evaluado de la viabilidad técnica y económica del proyecto propuesto, confirmando su factibilidad técnica y generando beneficios económicos significativos. Este análisis respalda la viabilidad del proyecto y establece una sólida base para su implementación exitosa. Además, los indicadores financieros, como el VAN con un valor de 702.366,72 y la TIR del 57%, demuestran la rentabilidad del proyecto y refuerzan aún más su viabilidad.
- Se han desarrollado los conceptos teóricos del limoneno y los procesos de extracción del mismo, destacando el método de extracción por microondas con un rendimiento del 10.45%. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y la eficacia del uso del limoneno como aditivo para mejorar las propiedades de la gasolina.
- Se ha explicado el mecanismo de reacción y el aumento en el índice de octanaje de la gasolina al utilizar aceite obtenido de la cáscara de naranja. Se ha demostrado que al añadir un 5% o 10% de limoneno al volumen de la gasolina, se logra un incremento aproximado de 4 y 6 en su índice de octanaje, respectivamente.
- Se ha logrado describir los conceptos fundamentales del octanaje y los métodos para su incremento. Este estudio, se ha adquirido un profundo conocimiento sobre las propiedades del octanaje y su importancia en el



rendimiento de la gasolina. Además, se ha investigado y analizado una variedad de métodos utilizados para aumentar el octanaje, incluyendo la adición de aditivos como el aceite de limoneno de cáscara de naranja.

- Las características del módulo diseñado para el incremento del octanaje de la gasolina se centran en su enfoque a pequeña escala e incluye la presencia de un equipo de extracción por microondas Milestone y un tanque agitador. Este módulo tiene la capacidad de obtener un volumen de 376,43 litros de aceite de limoneno y cuenta con un tanque agitador de 8,00 m<sup>3</sup>. Este tanque desempeña el mezclado como el almacenamiento de la mezcla resultante.
- Se ha logrado diseñar exitosamente un módulo a pequeña escala para el incremento del octanaje mediante el uso de aceite de limoneno de cascara de naranja en la planta Gualberto Villarroel, una solución innovadora y efectiva. El diseño del módulo permitirá la adición controlada de un aditivo, en este caso, el aceite de limoneno, para lograr un aumento significativo en el octanaje de la gasolina.

## 6.2 Recomendaciones

- Para realizar más proyectos de industrialización en el futuro, es crucial aumentar las reservas de gas natural de Bolivia. Por lo tanto, es de gran importancia continuar promoviendo la exploración de petróleo y gas.
- Continuar con el proyecto, empleando un motor CFR de YPFB para perfeccionar la mezcla limoneno-gasolina y determinar con precisión el octanaje. Esto permitirá una evaluación detallada del rendimiento y la idoneidad de la mezcla.
- Es necesario que los trabajadores del módulo utilicen equipos de protección personal adecuados para evitar posibles problemas de salud con las tareas que realizan. Además, es recomendable elaborar una matriz IPER (Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos). De esta manera, se garantiza un ambiente laboral seguro y saludable para los trabajadores.
- Se sugiere realizar otros proyectos de investigación para productos que se pueden obtener de la cascara de naranja como la pectina, este tiene diferentes usos, por ejemplo, se utiliza como agente viscosificante en fluidos de perforación.
- Se recomienda proponer el proyecto como aporte a las líneas de investigación al instituto de investigación de ingeniería petrolera de la Universidad Mayor De San Andrés (INSPET).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A. C. Stratakos , & A. Koidis. (2015). *Methods for extracting essential oils*. Obtenido de Elsevier Inc.
- Acosta, R. (20118). *Petróleo crudo y sus derivados*. Obtenido de [Online] Disponible: <https://steemit.com/stem-espanol/@ennyta/demostracion-experimental-para-la-determinacion-del-rango-de-destilacion-de-combustibles-y-productos-del-petroleo>
- Attard, T., Waltterson, B., Budarin, V., Clark, J., & Hunt, A. (2014). *Microwave assisted extraction as an important technology for valorising orange waste*. New Journal of Chemistry.
- Bohnet, M. (2012). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Vol. I). (W. Wiley-VCH, Ed., & G. traductor, Trad.) Texas, Estados Unidos. doi:10.1002/14356007.a01\_045.pub2
- Calvo Garrido, L. (s.f.). *EXTRACCIÓN MEDIANTE CO2 SUPERCRÍTICO*. Obtenido de Disponible en: <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-extraccion-mediante-co2-supercritico>
- Casado Villaverde, I. (2018). *Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor*. Madrid.
- Castillo Uribe, V. (2013). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS*. Chile.
- Dickey. (1976). *Fundamentals of agitation*.

- Farid Chemat, Maryline Abert Vian, & Harish Karthikeyan Ravi. (2019). *Review of Alternative Solvents for Green Extraction*.
- Fisher scientific SL. (s.f.). *Fisher scientific art of Thermo Fisher Scientific*. Recuperado el 30 de Agosto de 2021, de <https://www.fishersci.es/es/es/products/I9C8K53O/acetic-acid.html>
- Holland, F. A. (1996). *Liquid mixing and processing in stirred tanks*.
- Huerto Bujaico, H. (2013). *Estudio de Flujo en un Tanque Agitador Vertical de Impulsor PTB con superficie libre mediante el programa ANSYS CFX V.14.0*.
- INE, I. N. (2017).
- Longinos, S. (2013). *Improvement of Light Cycle Oil by Solvent Extraction*.  
Obtenido de [Online] Disponible:  
[https://www.researchgate.net/publication/335404771\\_Improvement\\_of\\_Light\\_Cycle\\_Oil\\_by\\_Solvent\\_Extraction](https://www.researchgate.net/publication/335404771_Improvement_of_Light_Cycle_Oil_by_Solvent_Extraction)
- Mott, R., Pozo, V., & Sánchez, S. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*.
- Muñoz Hurtado, T. M. (2018). *Extracción asistida por Hidrodestilación y Ultrasonido de aceites esenciales de cáscara de naranja y Limoncillo*. Popayán.
- Muñoz Pinto, F. (2016). *DESTILACIÓN POR ARRASTRE*. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/fidelmun/practica6.pdf>
- Musyaroh, Wijayanti, W., & Sasongko, M. (2021). *Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales*. Indonesia.
- Paul, E. L.-O. (2004). *Handbook of industrial mixing*. Wiley-Blackwell.

- Penny, W. (1970). *Guide to Trouble-free Mixers*.
- Retamar, J. (2008). *Aceites Esenciales de especies vegetales Diversos y sus transformaciones quimicas Vol. II*. Tucumán - Argentina.
- Steemit. (2017). Obtenido de Refinerías de Petróleo: Alquileración (Parte I): <https://steemit.com/stem-espanol/@nicotinamina/refinerias-de-petroleo-alquileracion-parte-i>
- Valdez Tantani, V., & Condeña Lima, Y. (2020). *EVALUACIÓN DE LOS NÚMEROS ADIMENSIONALES APLICANDO EL TEOREMA DE PI-BUCKINGHAM PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES*. Arequipa.
- Velásquez, R. (2005). *Planta para concentración de jugos cítricos y obtención de aceites esenciales y otros subproductos*. Bucaramanga.
- Warren L. McCabe, Julian C. Smith, & Peter Harriot. (2007). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA*. Mexico.
- YPFB Corporación. (s.f.). *Yacimientos petrolíferos Fiscales Bolivianos*. Recuperado el 30 de Agosto de 2021, de <https://www.ypfb.gob.bo/comercializacion/index.php/que-es-la-urea>
- Z. Liu, B. Deng, S. Li, & Z. Zou. (s.f.). *Optimization of solvent-free microwave assisted*. Obtenido de Ind. Crops Prod.
- Z. Liu, B. Deng, S. Li, & Z. Zou. (s.f.). *Optimization of solvent-free microwave assisted*.

Zurita, L. (2011). *Procesos Industriales*. Obtenido de [Online] Disponible:  
<https://es.slideshare.net/lmzurita/taller-2-instru3>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Bioaditivo:** Un bioaditivo es una sustancia que se deriva de fuentes biológicas y que se añade a un producto para mejorar sus propiedades. Los bioaditivos se pueden usar en una variedad de productos, incluidos plásticos, combustibles y alimentos.

**Cavitación:** La cavitación es la formación y colapso de burbujas de vapor en un líquido al ser sometido a baja presión. Este fenómeno puede ser generado por diferentes fuentes de energía, como el ultrasonido, y se utiliza en una variedad de aplicaciones, como la limpieza y mezcla de líquidos, así como la extracción de compuestos de plantas y alimentos.

**Extracción:** La extracción es el proceso de separar una o varias sustancias de una mezcla o material original, utilizando diferentes técnicas y herramientas según las características específicas de la mezcla o material original.

**Microondas:** Las microondas son ondas electromagnéticas con una frecuencia en el rango de 300 MHz a 300 GHz. Las microondas interactúan con las moléculas de agua en los alimentos, provocando su vibración y generando calor.

**Octanaje:** Es una medida de resistencia que tiene la gasolina a la detonación durante el proceso de compresión que ocurre en el interior de los cilindros de los motores de los vehículos.

**Ultrasonido:** el ultrasonido es una onda sonora de alta frecuencia que está por encima del rango audible para el oído humano. Se produce mediante un transductor

que convierte la energía eléctrica en ondas sonoras de alta frecuencia, y puede propagarse a través de diferentes medios como líquidos, gases y sólidos.

**Solvente:** Un solvente para extracción es una sustancia que se usa para disolver un compuesto particular de una mezcla. El solvente se elige en base a la solubilidad del compuesto en el solvente. El solvente debe poder disolver el compuesto de interés, pero no debe disolver los otros componentes de la mezcla.



# ANEXOS

ANEXO A: TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LA GASOLINA ESPECIAL

ANEXO B

Tabla de especificaciones " " Nombre del producto: GASOLINA ESPECIAL

Prueba	VERANO (*)		INIVIERNO		Unidad	Método ASTM			
	Min.	Max.	Min.	Max.		Altern. 1	Altern. 2	Altern. 3	Altern. 4
Gravedad específica a 15,6/15,6°C	Informar					D 1298	D 4052		
Relación V/L = 20 (760 mmHg)	56 (133)		51 (124)		°C (°F)	D 5188	D 2533		
Tensión de vapor Reid a 100°F (37,8°C)	7	9	7	9,5	psig	D 323	D 4953	D 5191	
Contenido de plomo (**)	0,013				g Pb/L	D 3237	D 5059		
Corrosión lámina de cobre (3h / 50°C)	1					D 130			
Gomas existentes	5				mg/100mL	D 381			
Azufre total	0,05				% peso	D 1266	D 2622	D 4294	
Octanaje RON	85					D 2699			
Octanaje MON	Informar					D 2700			
Índice antidetonante (RON +MON)/2	Informar								
Color	Incoloro a Ligeramente amarillo					Visual			
Apariencia	Cristalina		Cristalina			Visual			
Poder calorífico	Informar		Informar		BTU/lb	D 240			
Destilación Engler (760 mmHg)						D 86			
10% vol.	65 (149)			60 (140)	°C (°F)				
50% vol.	77 (170)	118 (245)	77 (170)	116 (240)	°C (°F)				
90% vol.	190 (374)			185 (365)	°C (°F)				
Punto Final	225 (437)			225 (437)	°C (°F)				
Residuo	2				% vol.				
Contenido de Aromáticos Totales	42				% vol.	D 1319	D 5134	D 5769	D 6729
Contenido de Olefinas	18				% vol.	D 1319	D 5134	D 6729	
Contenido de benceno	3				% vol.	D 4053	D 5134	D 3606	D 5769
Contenido de Manganeso	18				mg Mn/L	D 3831			
Contenido de Oxígeno	2,7				% peso	D 2504	D 4815		

(\*) Verano se define del 1° de septiembre al 31 de marzo e invierno se define del 1° de abril al 31 de agosto

(\*\*) El contenido de plomo especificado es un valor intrínseco de la materia prima, sin haberse adicionado cantidad alguna del mismo con fines de mejorar su octanaje.

## ANEXO B: PLANTA PILOTO DE EXTRACCION DE ACEITES ESENCIALES

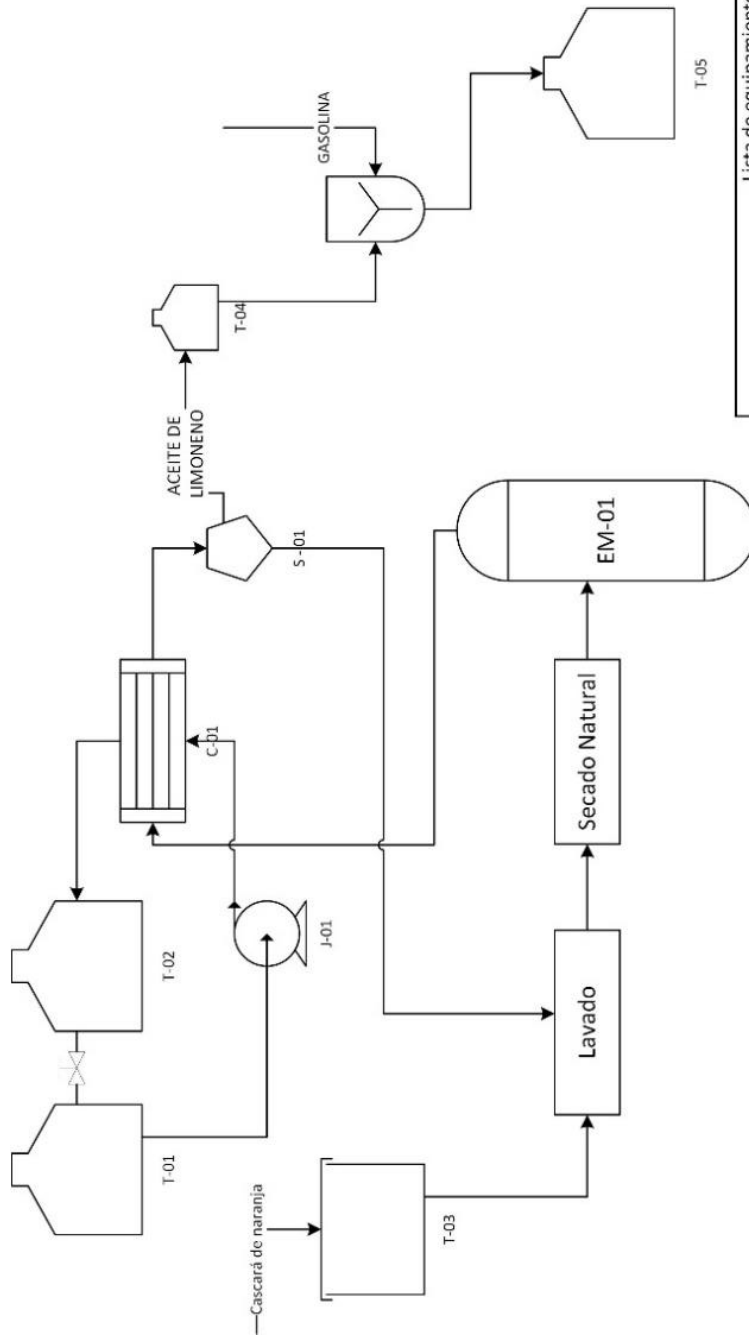


## ANEXO C: PROPIEDADES DE ACEROS INOXIDABLES

### APÉNDICE 6 PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

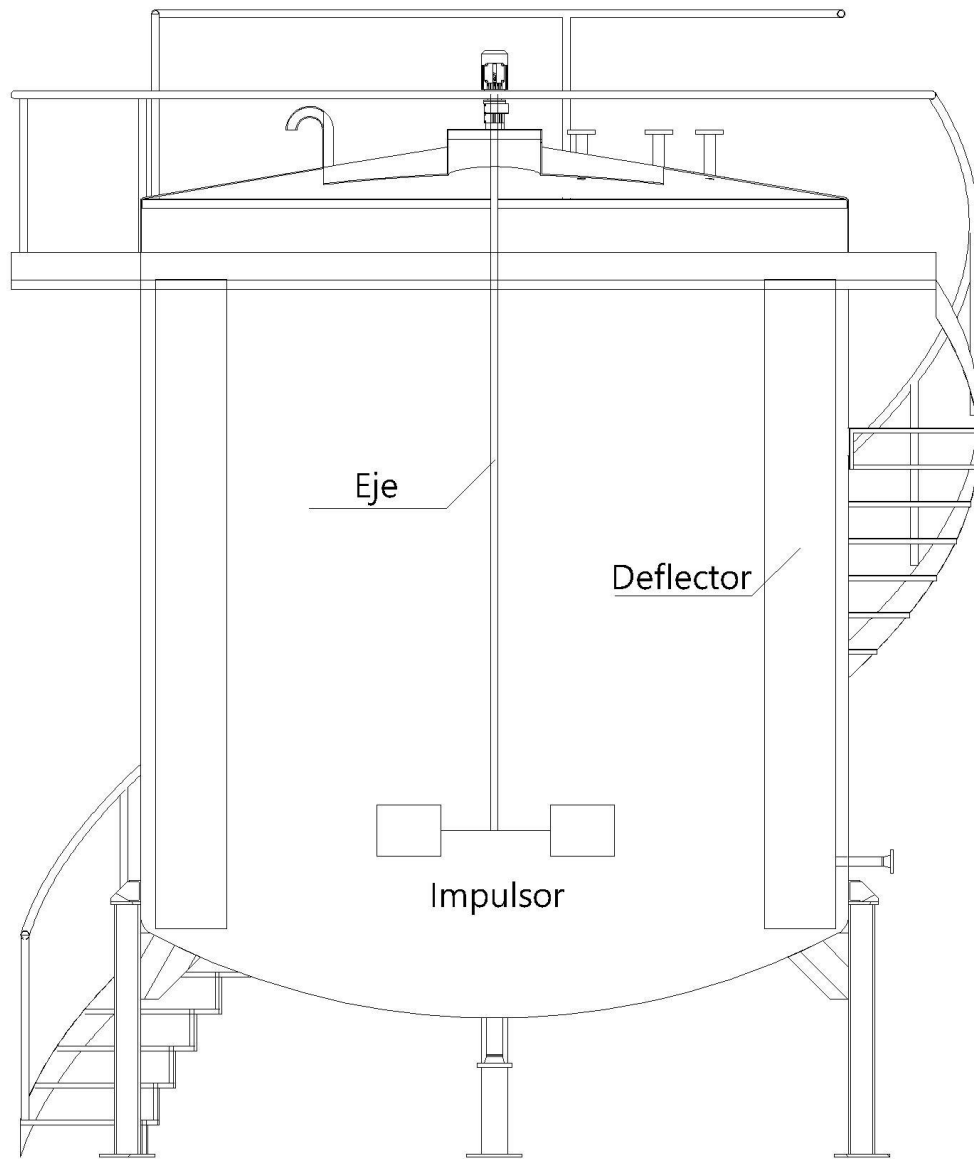
Designación del material		Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ducilidad (porcentaje de elongación en pulgadas)
Número AISI	UNS		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
<b>Aceros austeníticos</b>							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Duro total	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Duro total	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
<b>Aceros ferríticos</b>							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
<b>Aceros martensíticos</b>							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
<b>Aceros endurecidos por precipitación</b>							
17-4PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380	175	1210	10
		TH 1050	175	1210	155	1070	12

## ANEXO D: DIAGRAMA DE EXTRACCION DE ACEITE DE LIMONENO



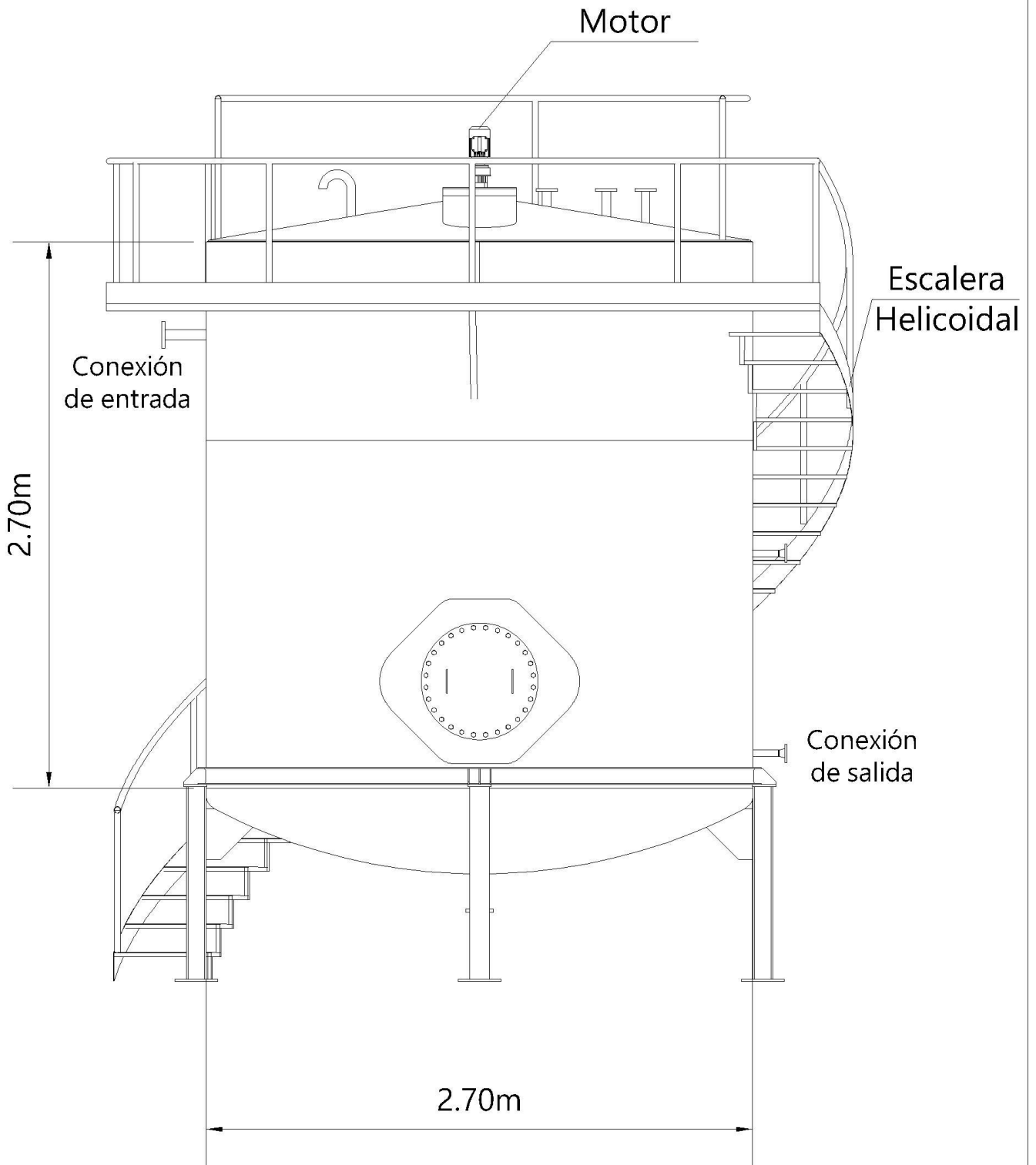
Lista de equipamiento		
Código	Equipo	Material
T-01	Tanque de almacenamiento de agua de enfriamiento	Polietileno
T-02	Tanque de almacenamiento de condensación	Polietileno
T-03	Tanque de almacenamiento de cascará de naranja	Polietileno
T-04	Tanque de almacenamiento de limoneno	Polietileno
T-05	Gasolina con aditivo	Acero inoxidable
C-01	Condensador	-
J-01	Bomba centrífuga	-
EM-01	Equipo de extracción por microondas	-
AG-01	Agitador	Acero inoxidable

# Anexo E



Dibujado por:  
Diego Julio Quispe Limachi

Titulo:  
Partes del Tanque agitador



Dibujado por:  
Diego Julio Quispe Limachi

Titulo:  
Partes del Tanque agitador

Diego Julio Quispe Limachi

[diego.22jql@gmail.com](mailto:diego.22jql@gmail.com)

cel.: 75209306





DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS  
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3068/2023  
La Paz, 19 de Octubre del 2023

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **12 de Octubre del 2023**, por **DIEGO JULIO QUISPE LIMACHI** con C.I. N° **7078052 LP**, con número de trámite **DA-E 300363/2023**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE UN MÓDULO PARA EL INCREMENTO DEL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN BASE AL USO DE ACEITE DE LIMONENO DE LA CÁSCARA DE NARANJA DENTRO LA PLANTA GUALBERTO VILLARROEL"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4° del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16° del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26° inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18° de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18° de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 915,  
entre Esp. Uruguay y  
C. Batallón Illimani.  
Telf.: 219290  
219226 - 219205

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijano,  
N° 29, Edif. Bicentenario.  
Telf.: 310752 - 77042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 737,  
entre 16 de Julio y Antezana.  
Telf.: 4141403 - 77042937

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560  
Edif. Multicolumna El Ceibo  
Uda, Piso 2, Of. 58,  
Zona 16 de Julio.  
Telf.: 2143001 - 77042939

Oficina - Ortopisa  
Calle Kilómetro 2, N° 346  
casi esp. Ortopisa,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72009823

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calle Ciro Trigo y Avarca  
Edif. Santa Clara, N° 243.  
Telf.: 72009806

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre N° 5837  
entre Apacachi y Junín,  
Galería Central, Of. 14.  
Telf.: 62200088

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas N° 262,  
Primer Piso, Of. 12.  
Telf.: 7200860



Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial".

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

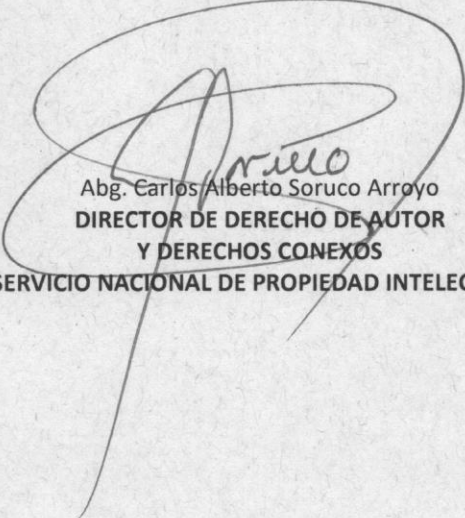
**POR TANTO**

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

**RESUELVE:**

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE UN MÓDULO PARA EL INCREMENTO DEL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN BASE AL USO DE ACEITE DE LIMONENO DE LA CÁSCARA DE NARANJA DENTRO LA PLANTA GUALBERTO VILLARROEL"**, a favor del autor y titular: **DIEGO JULIO QUISPE LIMACHI** con C.I. Nº 7078052 LP, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

  
Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS**  
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/mnct  
c.c.Arch.



**"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"**

Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, Nº 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Himani.  
Tells.: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
Nº 29, Edif. Bicentenario.  
Tells.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, Nº 731,  
entre 16 de Julio y Antezana.  
Tells.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, Nº 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio.  
Tells.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, Nº 366  
casi esq. Urrilagoitia,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avaroa  
Edif. Santa Clara, Nº 243.  
Telf.: 72005286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre Nº 5837  
entre Ayacucho y Junín,  
Galería Central, Of. 14.  
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas Nº 262,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf.: 72018160