

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



**MEJORAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO  
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EFICIENTE, PARA LA  
UNIDAD DE GLP A GRANEL DE YACIMIENTOS PETROLÍFEROS FISCALES  
BOLIVIANOS**

Proyecto de Grado presentado para optar por el título de Licenciatura en  
Ingeniería en Petróleo Gas y Procesos

**POSTULANTE:** RAMOS FERNÁNDEZ TANIA THALÍA

**TUTOR:** Ph.D. ING. MARIO DAZA BLANCO

LA PAZ – BOLIVIA

Octubre, 2024



**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

*El presente trabajo lo dedico a mi familia, mi adorada madre Martha Fernández Copacallo que es el soporte de mi vida y el motor que me hace trabajar cada día para ser mejor, mi bendición y mi mejor ejemplo, el pilar fundamental de mi vida, a mis hermanos y hermanas, por estar siempre conmigo. A mi padre M. Sc. Lic. Demetrio Ramos Mamani (+), por enseñarme que el esfuerzo de hoy es el éxito del mañana, aunque hayas partido, sé que no estoy sola, porque caminas al lado mío en los momentos más difíciles de alcanzar uno de mis objetivos de superación cultural, más anhelado de ser una profesional digna al servicio de la sociedad, en memoria a mi querido padre. (QEPD).*

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, a DIOS por ser parte primordial de mi vida, y agradecimiento infinito de todas las bendiciones dadas a lo largo de todos estos años. Agradecer también de manera especial a mi responsable Tutor Ph. D. Ing. Mario Daza Blanco, por compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso del presente proyecto de Grado.*

*Mi agradecimiento también va dirigido a la Unidad de Comercialización de GLP a Granel (UGLP) dependiente de la Dirección de Comercialización (DCOM) perteneciente a la Gerencia de Comercialización (GCOM) de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) por darme la oportunidad de realizar mis practicas preprofesionales en esta prestigiosa empresa, el apoyo, las facilidades y contribuir así al conocimiento y criterios de la distribución del Gas Licuado de Petróleo a Granel (GLP a Granel), al Lic. Victor Hugo Gonzales Chambi Coordinador Regional de La Paz-Oruro en la UGLP por todo el apoyo y la enseñanza a lo largo de la pasantía.*

*En general a todas esas personas que han formaron parte de mi vida en el transcurso de mi formación académica y que siempre los llevaré presentes en mi mente.*

*Muchísimas gracias a todos los que me habéis escuchado y soportado estos años.*

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto, “Mejoramiento de la Distribución de Gas Licuado de Petróleo mediante la Implementación de un Sistema Eficiente para la Unidad de GLP a Granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos”, propuso optimizar los procesos de distribución de GLP con el fin de mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y maximizar la rentabilidad de la unidad.

Se analizó la situación actual de la unidad, identificando que la cisterna principal ha estado en operación durante 11 años. Este desgaste afecta su eficiencia y podría incrementar los costos de mantenimiento, comprometiendo la capacidad para atender la demanda de GLP.

Se identificaron ineficiencias en los procesos de salida y descarga, especialmente en la planificación manual de rutas. Estas limitaciones generaron tiempos de entrega variables y aumentaron los costos operativos, lo que resaltó la necesidad de optimización.

Se desarrollaron rutas de distribución más eficientes utilizando el software ArcGIS, permitiendo reducir la distancia recorrida y mejorar los tiempos de entrega, lo que facilitó un uso más efectivo de los recursos.

Se efectuó el cálculo de los volúmenes de GLP en la cisterna para el control de saldos, mejorando la gestión del recurso y reduciendo las pérdidas económicas.

Se evaluaron las prácticas de seguridad industrial, identificando riesgos como el desgaste de la cisterna y la falta de mantenimiento. Para mitigar estos riesgos, se propuso un plan de mantenimiento preventivo y capacitación del personal.

Se especificó una nueva cisterna destinada a clientes residenciales, cumpliendo con los estándares de seguridad. Finalmente, se determinó que las optimizaciones en las rutas podrían generar buena rentabilidad, contribuyendo a la sostenibilidad financiera de la unidad de distribución de GLP.

## EXECUTIVE SUMMARY

The present project, “Improvement of Liquefied Petroleum Gas Distribution through the Implementation of an Efficient System for the Bulk LPG Unit of Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos,” proposed optimizing the LPG distribution processes to enhance operational efficiency, safety, and maximize the profitability of the unit.

The current situation of the unit was analyzed, identifying that the main tanker has been in operation for 11 years. This wear affects its efficiency and could increase maintenance costs, compromising the unit's ability to meet LPG demand.

Inefficiencies were identified in the loading and unloading processes, especially in manual route planning. These limitations resulted in variable delivery times and increased operational costs, highlighting the need for optimization.

More efficient distribution routes were developed using ArcGIS software, allowing for a reduction in the distance traveled and improvements in delivery times, facilitating a more effective use of resources.

The calculation of LPG volumes in the tanker for stock control was carried out, improving resource management and reducing associated economic losses.

Industrial safety practices were evaluated, identifying risks such as the wear of the tanker and lack of maintenance. To mitigate these risks, a preventive maintenance plan and personnel training were proposed.

A new tanker designated for residential customers was specified, complying with safety standards. Finally, it was determined that the route optimizations could yield good profitability, contributing to the financial sustainability of the LPG distribution unit.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>III</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>XIX</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>XXI</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS .....</b>	<b>XXII</b>
<b>CAPITULO 1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1. Identificación del problema.....	5
1.3.2. Formulación del problema .....	6
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.5.1. Justificación técnica .....	7
1.5.2. Justificación socio - ambiental .....	8
1.5.3. Justificación económica .....	8
1.6. ALCANCE .....	9
1.6.1. Alcance temático.....	9
1.6.2. Alcance socio – ambiental .....	9

1.6.3. Alcance económico .....	10
1.6.4. Alcance geográfico.....	10
<b>CAPITULO 2 MARCO TEORICO .....</b>	<b>12</b>
2.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP) .....	12
2.1.1 Usos y aplicaciones del GLP.....	13
2.2. Propiedades del GLP .....	15
2.2.1. Propiedades Físicas del GLP.....	15
2.2.1.1. Densidad y Viscosidad .....	15
2.2.1.2. Calor Latente de Evaporación .....	16
2.2.1.3. Punto de Ebullición .....	17
2.2.2. Propiedades Químicas del GLP .....	17
2.2.2.1. Composición química del GLP .....	17
2.2.2.2. Poder Calorífico .....	19
2.2.2.3. Límites de Inflamabilidad .....	19
2.2.3. Licuación.....	19
2.2.4. Odorizante:.....	20
2.3. Estructura del sector .....	20
2.3.1. Upstream .....	21
2.3.2. Midstream .....	22
2.3.3. Downstream .....	23
2.3.3.1. Refinación .....	23
2.3.3.2. Distribución y Comercialización de Hidrocarburos.....	24
2.3.3.2.1. Distribución de GLP a granel .....	25
2.3.3.3. Transporte de GLP .....	26
2.4. Infraestructura de almacenamiento y transporte de GLP .....	27
2.4.1. Tanques de Almacenamiento .....	27
2.4.1.1. Clasificación de tanques según la manera de instalación.....	28
2.4.1.1.1. Tanques Enterrados .....	28
2.4.1.1.2. Tanques Semienterrados.....	29
2.4.1.1.3. Tanques Superficiales.....	30
2.4.1.2. Tanques estacionarios.....	31

2.4.1.3. Partes de un Tanque Estacionario de GLP .....	31
2.4.1.3.1. Envolverte .....	32
2.4.1.3.2. Cubierta .....	33
2.4.1.3.3. Cabezales .....	33
2.4.1.3.4. Dispositivos de sujeción o apoyo .....	33
2.4.1.3.5. Patas.....	34
2.4.1.3.6. Placa de Identificación para Tanques Estacionarios de GLP .....	34
2.4.1.3.7. Manómetro .....	36
2.4.1.3.8. Termómetro .....	36
2.4.1.3.9. Válvula de alivio de presión (válvula de seguridad) .....	37
2.4.1.3.10. Válvula de Llenado.....	38
2.4.1.3.11. Multiválvulas .....	38
2.4.1.3.12. Válvula de drenaje CHEK –LOK.....	39
2.4.1.3.13. Indicador de Nivel .....	39
2.4.1.3.14. Válvulas de corte .....	40
2.4.1.3.15. Mangueras.....	40
2.4.1.3.16. Accesorios de conexión para las instalaciones de GLP.....	41
2.4.1.3.17. Reguladores de presión.....	42
2.4.2. Operación de Almacenamiento de GLP.....	42
2.4.2.1. Operación de Llenado: .....	43
2.4.2.2. Operación de Extracción de Líquido y Vapor:.....	45
2.4.3. Transferencia del GLP líquido:.....	47
2.4.3.1. Bomba para GLP .....	47
2.4.3.2. Compresor para GLP.....	49
2.4.4. Vaporizadores .....	51
2.4.5. Camión Cisterna.....	52
2.4.5.1. Tipos de camiones cisternas .....	52
2.4.5.1.1. Cisterna fija.....	52
2.4.5.1.2. Cisterna desmontable.....	53
2.4.5.2. Identificación y etiquetado de la Cisternas de GLP .....	53
2.4.5.2.1. Etiquetado con Diamantes .....	54

2.4.5.2.2. Panel Naranja.....	56
2.4.5.2.2.1. Número de identificación del peligro .....	57
2.4.5.2.2.2. Número ONU.....	58
2.4.5.2.3. Placa DOT .....	58
2.5. Referencias normativas Normas de referencia .....	59

**CAPITULO 3 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DE GLP A GRANEL ..... 62**

3.1 Antecedentes de la Unidad de Comercialización de GLP a granel .....	62
3.1.1 Misión .....	62
3.1.2 Visión .....	63
3.2 Situación Organizacional y Estructural de la UGLP.....	63
3.3 Descripción de los Procesos Operativos Primarios .....	65
3.4 Instalaciones de la Unidad de Comercialización de GLP a granel UGLP - LPZ.....	66
3.5 Segmento de Clientes de la Unidad de GLP a granel.....	68
3.5.1 Comercial .....	69
3.5.2 Industrial .....	70
3.5.3 Residencial .....	71
3.6 Actividad económica.....	72
3.6.1 Precio del Suministro .....	72
3.6.2 Precio del Transporte .....	72
3.6.3 Garantía.....	73
3.6.4 Arrendamientos de Tanques y Vaporizadores .....	73
3.6.5 Abastecimiento de GLP a granel por parte de la UGLP. ....	74
3.7 Comercialización GLP a granel por la UGLP La Paz.....	75

**CAPITULO 4 APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE DISTRIBUCIÓN DE GLP ..... 81**

4.1. Distribución de GLP a granel .....	81
4.1.1. Prestación de servicio.....	81
4.1.2. Suministro del GLP a Granel .....	82
4.2. Situación Actual del Sistema de Despachos de GLP a granel de la UGLP - LPZ.....	83

4.2.1. Organización del Sistema de Despachos.....	84
4.2.1.1. Proceso de Toma y Generación de Pedidos .....	89
4.2.2. Proceso de planificación de despachos .....	92
4.2.2.1. Proceso de carga de GLP y despacho en vehículos de distribución.....	95
4.2.2.2. Proceso de transporte de GLP y entrega a clientes .....	96
4.3. Desarrollo y Aplicación del Modelo de Optimización de Rutas de Distribución .....	98
4.3.1. ArcGis v.10.8 .....	98
4.3.1.1. Formato vectorial para el almacenamiento de datos de la red vial .....	99
4.3.2. Metodología Utilizada para la Asignación de Vehículos y Planificación de Rutas.....	100
4.3.2.1. Configuración de Parámetros .....	100
4.3.2.1.1. Ubicaciones de Clientes:.....	100
4.3.2.2. Optimización de Rutas .....	103
4.3.2.2.1. Análisis de Redes (Network Analyst) .....	104
4.3.2.2.1.1. Creación del Network Dataset. ....	104
4.3.2.2.1.2. Creación del Geodatabase para el eje vial. ....	105
4.3.2.2.1.3. Aplicación de la extensión Network Analyst. ....	106
4.3.2.2.2. Distancia .....	107
4.3.2.2.3. Velocidad.....	107
4.3.2.2.4. Tiempo.....	108
4.3.3. Generación de Rutas .....	108
4.4. Evaluación de la Eficacia del Sistema Optimizado.....	117
4.4.1. Cálculo de la Reducción de Distancia .....	121
4.4.2. Cálculo de la Reducción en Tiempos de Entrega.....	121
4.5. Beneficios y desventajas de la Optimización de Rutas .....	128
4.5.1. Beneficios.....	128
4.5.2. Desventajas .....	128
<b>CAPITULO 5 ANALISIS TÉCNICO .....</b>	<b>130</b>
5.1 Descripción del método de cálculo volumétrico de GLP almacenado en tanques estacionarios según la norma API 14.8. ....	130

5.2 Estructuración y desarrollo del método de cálculo volumétrico de GLP en tanques estacionarios basado en la norma API 14.8.....	131
5.2.1 . Descripción general de la norma para obtención de volúmenes en estado líquido y de vapor.....	131
5.2.2 . Procedencia de las ecuaciones aplicadas en el método de cálculo volumétrico de la norma 14.8 .....	133
5.2.2.1 . Ecuación para la obtención del volumen de GLP en estado líquido a condiciones estándar.....	133
5.2.2.2 . Ecuación para la obtención del volumen de GLP en estado de vapor a condiciones estándar.....	133
5.2.2.3. Ecuación para obtención del volumen total de GLP .....	135
5.2.3. Consideraciones previas a la aplicación del método de cálculo volumétrico .....	136
5.2.3.1. Presión y Temperatura.....	136
5.2.3.2. Volumen de GLP liquido .....	137
5.2.3.3. Volumen en estado vapor .....	138
5.3 . Implementación del Método de Cálculo Volumétrico de GLP en Cisternas .....	140
5.3.1 . Cálculo volumétrico de los saldos de GLP en cisternas .....	140
5.3.2 . Mejoras Implementadas en la Hoja de Cálculo de Excel .....	154
5.3.3 . Resultados Finales del Proceso Optimizado.....	158
5.4 . Seguridad Industrial en manejo y transporte de GLP a granel .....	160
5.4.1 . Normas de Seguridad en la Identificación y Etiquetado de Cisternas de GLP .....	160
5.4.1.1 Aspectos Técnicos y Normativos.....	163
5.4.2 Capacidad de llenado del tanque .....	165
5.4.2.1. Especificación de la Capacidad Óptima de la Cisterna para la Distribución de GLP a Clientes Residenciales .....	166
5.4.2.1.1. Análisis de Necesidades de los Clientes Residenciales .....	167
5.4.2.1.2. Cálculo de la Capacidad Óptima de la Cisterna .....	167
5.4.3 . Requisitos de Aprobación y Operación para Cisternas de GLP .....	172
5.4.3.1. Proceso de Aprobación de Cisternas de GLP.....	172
5.4.3.2. Mantenimiento y Manejo de Cisternas de GLP .....	174
5.4.3.2.1. Mantenimiento.....	175

5.4.3.2.2. Gestión y Supervisión del Manejo de cisternas de GLP mediante Tecnología de Posicionamiento.....	177
5.4.3.2.3. Propuesta del Sistema SCADA para la Monitorización Remota de Cisternas de GLP.....	181
5.4.4 . Capacitación y Competencia del Personal .....	183
5.4.5 . Procedimientos de Seguridad durante la Carga y Descarga .....	185
5.4.5.1. Procedimientos de Carga del GLP .....	186
5.4.5.2. Procedimientos de Descarga del GLP .....	189
5.4.6. Mantenimiento de tanques estacionarios .....	192
5.4.6.1. Inspección que Realiza la UGLP.....	193
<b>CAPITULO 6 ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>196</b>
6.1 . Introducción.....	196
6.2 . Cálculo del Costo Operativo Antes y Después de la Optimización .....	196
6.2.1 . Cálculo del Consumo de Combustible .....	196
6.2.2 . Costos de Inversión Inicial .....	198
6.2.3 . Cálculo del Retorno de la Inversión (ROI).....	199
<b>CAPITULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>202</b>
7.1 . Conclusiones.....	202
7.2 . Recomendaciones .....	204
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>206</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>215</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de Áreas de estudio .....	11
Figura 2.1. Desecación Térmica.....	14
Figura 2.2 Ventajas del Autogas/GLP .....	14
Figura 2.3 Estructura del Sector Hidrocarburos .....	21
Figura 2.4 Upstream .....	21
Figura 2.5 Midstream .....	22
Figura 2.6 Downstream .....	23
Figura 2.7 Refinería Guillermo Elder Bell .....	24
Figura 2.8 Comercialización de hidrocarburos .....	25
Figura 2.9 Distribución de GLP a granel.....	26
Figura 2.10 Transporte de hidrocarburos .....	26
Figura 2.11 Tanque de Almacenamiento de 48 m3 de Cliente Industrial .....	27
Figura 2.12 Tanques de Almacenamiento de GLP enterrados .....	28
Figura 2.13 Tanques Semienterrados .....	29
Figura 2.14 Tanque Superficial .....	30
Figura 2.15 Partes de un tanque estacionario .....	32
Figura 2.16 Placa de Identificación de un Tanque de 0,5 M3 .....	35
Figura 2.17 Manómetro .....	36
Figura 2.18 Termómetro.....	36
Figura 2.19 Válvula de alivio de presión.....	37
Figura 2.20 Multiválvula .....	39
Figura 2.21 Indicador de Nivel.....	40

Figura 2.22 Reguladores de Presión .....	42
Figura 2.23 Extracción del Líquido .....	45
Figura 2.24 Sistema de Bombeo con Línea de Retorno de Vapor .....	48
Figura 2.25 Sistema de Bombeo sin línea de retorno de vapor .....	49
Figura 2.26. Transferencia del Líquido .....	50
Figura 2.27 Vaporizador.....	51
Figura 2.28. Camión Cisterna.....	52
Figura 2.29. Cisterna Desmontable .....	53
Figura 2.30. Diamante de Identificación de riesgos .....	54
Figura 2.31. Ejemplo de Pictograma de Peligro: Dimensiones y Componentes .....	55
Figura 2.32. Panel Naranja .....	56
Figura 2.33. Cisterna que transporta gasóleo y gasolina .....	57
Figura 2.34. Placa de identificación DOT .....	59
Figura 3.1. Ubicación de la oficina central de la UGLP LA PAZ.....	67
Figura 3.2. Mapa de distribución de clientes.....	68
Figura 3.3. Tanque instalado de 7 m <sup>3</sup> en HOTEL SALQUIS CLIENTE DE YPFB .....	70
Figura 3.4. Industria Alimentaria EBA SORACACHI .....	71
Figura 3.5. Instalación Domiciliaria Tanque de 0,5 M <sup>3</sup> .....	71
Figura 3.6. Ubicación de Punto de carga.....	74
Figura 4.1. Tanques Estacionarios de Almacenamiento de GLP a granel .....	82
Figura 4.2. Clasificación de clientes.....	88
Figura 4.3. Recarga de cliente Industrial .....	97
Figura 4.4. Mapa de ubicación de los puntos de carga.....	102
Figura 4.5. Mapa red vial.....	105

Figura 4.6. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Área de estudio I) .....	110
Figura 4.7. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Área de estudio II).....	111
Figura 4.8. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Área de estudio III).....	112
Figura 4.9. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Clientes Oruro) .....	113
Figura 4.10. Ruta Actual y Optimizada (SANTA CRUZ – ORURO – LA PAZ) .....	114
Figura 4.11. Ruta Actual y Optimizada (SANTA CRUZ – ORURO) .....	115
Figura 4.12. Ruta Actual y Optimizada (COCHABAMBA - ORURO) .....	116
Figura 4.13. Orden de Atención Basado en la Proximidad al Punto de Recarga .....	127
Figura 5.1. Diagrama de Flujo general del procedimiento de calculo.....	155
Figura 5.2. Continua Implementación procedimiento para tablas ASTM .....	156
Figura 5.3. Continua Implementación procedimiento para Calculo de la Masa de GLP .....	157
Figura 5.4. Implementación del Procedimiento en Excel.....	159
Figura 5.5. Señalización de seguridad .....	162
Figura 5.6. Ubicación de señalización de seguridad del camión cisterna de la unidad.....	163
Figura 5.7. Representación de una cisterna de menor capacidad para la distribución de GLP a clientes residenciales.....	171
Figura 5.8. Centro de control GPS .....	179
Figura 5.9. Funcionamiento del sistema UBITRACK en el posicionamiento de la cisterna de GLP.....	180
Figura 5.10. Instalación típica para llenado de Auto tanques de Gas Licuado.....	187
Figura 5.11. Operación de descarga de GLP con el equipo de trasiego portátil .....	191
Figura 5.12. Panel de Control de Distribución de GLP a granel de la UGLP .....	191

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Análisis Cromatográfico.....	12
Tabla 2.2 Propiedades del Gas Licuado del Petróleo .....	17
Tabla 2.3 Composición Comercial .....	19
Tabla 2.4 Índice de Vaporización.....	46
Tabla 2.5. Dimensiones para Señales de Riesgo .....	55
Tabla 2.6. Distancias de Visibilidad y Tamaño Mínimo de Señales.....	55
Tabla 2.7. Clasificación de Peligros por Número de Identificación.....	57
Tabla 3.1. Segmentos de Clientes.....	69
Tabla 3.2. Tarifas de Transporte de GLP a granel.....	72
Tabla 3.3. Tarifa de Precios de los Tanques Estacionarios .....	73
Tabla 3.4. Tarifa actual de Equipos.....	73
Tabla 3.5. Detalle número de entregas enero 2018 a diciembre 2023.....	79
Tabla 4.1. Estado de los Clientes UGLP - LPZ.....	86
Tabla 4.2. Volumen de ventas según la categoría del cliente.....	88
Tabla 4.3. Ejemplo de planificación por el Técnico de Logística .....	92
Tabla 4.4. Dirección de los puntos de carga.....	101
Tabla 4.5. Longitud y Tiempo Actual y Optimizado de los Tramos de Distribución de Gas Licuado de Petróleo en la UGLP .....	117
Tabla 4.6. Resumen de Longitud y Tiempo Total de Distribución .....	121
Tabla 4.7. Secuencia Óptima de Entrega Según Proximidad.....	122
Tabla 5.1. Datos de carga .....	153
Tabla 5.2. Movimiento de GLP a granel (mayo 2023).....	159

Tabla 5.5. Análisis del Consumo de Clientes Residenciales .....	168
Tabla 5.4. Ensayos e inspecciones periódicas .....	174
Tabla 5.5. Propuesta de Registro Integral de Mantenimiento y Diagnóstico del Camión Cisterna GLP .....	176
Tabla 6.1. Resumida: Impacto Total de la Optimización de Rutas .....	197
Tabla 6.2. Inversión Inicial en Software de Optimización de Rutas .....	199

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1: Diagnostico .....	5
Cuadro 2.1 Tipos de Recipientes para GLP y sus capacidades de llenado .....	31
Cuadro 2.2 Capacidad del Tanque.....	43
Cuadro 4.1. Formato vectorial del programa ArcGIS .....	100
Cuadro 4.2. Límites de velocidad.....	107
Cuadro 4.3. Puntos de Carguío – Clientes.....	109
Cuadro 5.1. Datos de carga PRIMER INYECTO .....	141
Cuadro 5.2. Datos de Cálculo de GLP en cisternas.....	142
Cuadro 5.3. Datos I.....	144
Cuadro 5.4. Interpolación en Temperatura para Gravedades Específicas a 60°F .....	145
Cuadro 5.5. Interpolación en Gravedad Específica para el Factor de Corrección de Volumen .....	147
Cuadro 5.6. Interpolación en Presión manométrica para Gravedades Específicas a 60°F.....	149
Cuadro 5.7. Rombo de identificación de riesgos NFPA para el GLP .....	161
Cuadro 5.8. Capacidad Optima de los tanques estacionarios de la UGLP .....	165
Cuadro 5.9. Periodicidad de las Pruebas a los Tanques de GLP .....	195

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Organigrama de la Unidad de Gas Licuado de Petróleo (UGLP) .....	64
Gráfico 3.2. Porcentaje de Clientes Presentes en la Regional LPZ.....	69
Gráfico 3.3. Cantidad de kilos vendidos en los meses de ENE-18 HASTA DIC-23 .....	75
Gráfico 3.4. Porcentaje de ventas según la categoría de cada cliente 2023 .....	76
Gráfico 3.5. Despachos Totales en Kilos por tipo de cliente, ENERO 2018 A DICIEMBRE 2023 .....	77
Gráfico 3.6. Número de entregas totales por tipo de cliente, ENERO 2018 A DICIEMBRE 2023 .....	78
Gráfico 3.7. Porcentual de entregas de acuerdo a la categoría del cliente .....	79
Gráfico 4.1. Estado de los clientes .....	87
Gráfico 4.2. Modelo Descriptivo del Sistema de despachos de GLP.....	89
Gráfico 4.3. Diagrama del proceso de planificación de despachos .....	94

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (4.1) Tiempo del desplazamiento en cada segmento de vía .....	108
Ecuación (4.2) Reducción de Distancia.....	121
Ecuación (4.3) Reducción en Tiempos de Entrega.....	122
Ecuación (5.1) Volumen Neto de GLP (incluyendo líquido y vapor).....	132
Ecuación (5.2) Volumen de GLP en estado líquido .....	132
Ecuación (5.3) Volumen del GLP en estado de vapor, en su equivalente en estado líquido ..	132
Ecuación (5.4) Ley combinada de los gases.....	134
Ecuación (5.5) Volumen del gas.....	135
Ecuación (5.6) Volumen del GLP en estado de vapor .....	135
Ecuación (5.7) Presión absoluta .....	136
Ecuación (5.8) Conversión de grados Celsius a kelvin .....	137
Ecuación (5.9) Conversión de grados Fahrenheit a grados Rankine y kelvin.....	137
Ecuación (5.10) Conversión de grados Celsius a grados Fahrenheit .....	137
Ecuación (5.11) Volumen inicial del gas en estado de vapor.....	139
Ecuación (5.12) Volumen de GLP equivalente en líquido.....	140
Ecuación (5.13) Densidad del GLP .....	152
Ecuación (5.14) Capacidad hasta 4 m <sup>3</sup> .....	165
Ecuación (5.15) Capacidad superior a 4 m <sup>3</sup> .....	165
Ecuación (5.16) Consumo Promedio por Entrega en kilogramos .....	167
Ecuación (5.17) Consumo Promedio por Entrega en litros .....	167
Ecuación (5.18) Sumatoria de la variable aleatoria "litros por entrega" .....	170
Ecuación (5.19) Cálculo de la media muestral del volumen de entrega.....	170

Ecuación (5.20) Estimación de la capacidad mínima de la cisterna basada en la demanda promedio.....	170
Ecuación (5.21) Ajuste de la capacidad de la cisterna considerando un factor de seguridad .	170
Ecuación (6.1) Costos de Combustible.....	197
Ecuación (6.2) Retorno de la Inversión ROI .....	200

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de Peligros por Número de Identificación .....	215
Anexo 2. Números de Identificación de Materia y de Peligro, Etiquetas, Clase, Apartado y Letra.....	216
Anexo 3. Clasificación de Riesgo del Sistema DOT.....	218
Anexo 4. Organigrama Estructural de YPFB.....	219
Anexo 5. Procedimiento de Mantenimiento Preventivo.....	220
Anexo 6. Procedimiento de Mantenimiento Correctivo.....	221
Anexo 7. Clientes del Rubro Industrial .....	222
Anexo 8. Clientes del Rubro Comercial.....	223
Anexo 9. Clientes del Rubro Residencial.....	224
Anexo 10. Localización de los Clientes de la UGLP LA PAZ .....	226
Anexo 11. Nota de Respuesta del ABC.....	228
Anexo 12. Instrucciones de uso de Tabla 23 descrita en la Norma ASTM D1250-80 .....	229
Anexo 13. Instrucciones de uso de la Tabla 34 descrita en la NORMA ASTM D1250-80....	230
Anexo 14. Tabla 23 extraída de la NORMA ASTM D1250-80.....	231
Anexo 15. Tabla 34 extraída de la NORMA ASTM D1250-80.....	233
Anexo 16. Tabla 3. Factores de conversión de Volumen Vapor Saturado a Volumen Líquido a 60°F, en TK de GLP.....	236
Anexo 17. Temperatura Mínima Absoluta según estación por año, 2006 – 2022 .....	238
Anexo 18. Resumen de Costos Operativos por Cliente de la UGLP .....	239
Anexo 19. Certificado de PASANTIA.....	243

## GLOSARIO DE TERMINOS

**GLP (Gas Licuado de Petróleo):** Mezcla de hidrocarburos como propano y butano que se licúan bajo presión, utilizada para calefacción, cocina, y combustible vehicular.

**ArcGIS:** Software de sistemas de información geográfica (SIG) utilizado para la optimización de rutas y análisis geoespacial.

**Cisterna:** Vehículo especializado para el transporte de líquidos a granel, como GLP.

**SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition):** Sistema de supervisión y control utilizado en procesos industriales como el monitoreo del transporte de GLP.

**Norma API 14.8:** Norma que describe los métodos para calcular el volumen de GLP en estado líquido y vapor en tanques estacionarios.

**Factor de corrección volumétrica:** Coeficiente utilizado para ajustar el volumen de un gas o líquido a condiciones estándar de temperatura y presión.

**Gravedad específica:** Relación entre la densidad del GLP y la del agua a condiciones estándar.

**Vaporizador:** Dispositivo que convierte GLP en fase líquida a fase gaseosa para su uso.

**Presión manométrica:** Medida de la presión interna de un tanque sin incluir la presión atmosférica.

**Volumen neto de GLP:** Suma del volumen de GLP en estado líquido y vapor bajo condiciones estándar.

**Interpolación:** Técnica para estimar valores entre dos puntos de datos conocidos, frecuentemente usada en la corrección de temperatura y presión.

**Downstream:** Fase de la cadena de producción de hidrocarburos que abarca la distribución, comercialización y refinación de productos petrolíferos.

**ROI (Retorno sobre la Inversión):** Métrica utilizada para evaluar la rentabilidad de una inversión.

**NFPA 58:** Norma internacional que regula la seguridad en el manejo y transporte de GLP.

**Factor de conversión volumétrica:** Un coeficiente que ajusta el volumen de un fluido, como el GLP, a una condición estándar de temperatura o presión.

**Demanda Residencial:** Volumen de GLP requerido por los clientes residenciales, que representa un reto en la distribución debido a sus pequeños volúmenes y ubicaciones dispersas.

**Seguridad Industrial:** Conjunto de prácticas y normativas destinadas a garantizar la seguridad en las operaciones de transporte y manejo de GLP.

**Optimización de Rutas:** Estrategia para reducir la distancia recorrida y mejorar la eficiencia de las entregas de GLP mediante el uso de software especializado como ArcGIS.

“LAS GRANDES IDEAS SURGEN  
DE LAS MENTES QUE NO TEMEN  
EXPLORAR LO DESCONOCIDO.”

Aristóteles.



# **CAPITULO 1.**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La creciente demanda de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a nivel nacional e internacional coloca a las empresas de la industria petrolera en una posición estratégica para garantizar la distribución eficiente de este recurso vital. Desde hace años, el GLP se ha consolidado como una fuente de energía eficiente y rentable para el desarrollo del sector productivo nacional, facilitando su instalación, abastecimiento y mantenimiento para diversos usos en sectores industrial, comercial y domiciliario.

En este contexto, es esencial que la Unidad de GLP a granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) implemente un sistema eficiente. Este sistema se basa en la optimización de rutas de distribución y el control preciso de los volúmenes de GLP, buscando aumentar la eficiencia, reducir costos y mejorar la seguridad en la distribución.

La unidad enfrenta desafíos técnicos y regulatorios. El combustible es transportado a través de una cisterna de 7000 kg que ha estado operando durante 11 años. Este vehículo presenta un desgaste significativo, lo que incrementa los gastos de mantenimiento y afecta la eficiencia y seguridad operativa.

Las normativas actuales exigen altos estándares de seguridad y eficiencia en la distribución de GLP, lo que refuerza la necesidad de este proyecto. La unidad debe adaptarse a cambios en la geografía del consumo y a estándares ambientales en evolución, factores que plantean desafíos significativos.

El presente proyecto de grado se enfoca en la optimización de la distribución de GLP a granel, abordando estas problemáticas mediante el mejoramiento integral de la distribución, integrando soluciones tecnológicas y operativas que aseguran la viabilidad del sistema a largo plazo.

## **1.2. ANTECEDENTES**

De acuerdo a lo establecido el 17 de mayo de 2005, En el marco de las atribuciones establecidas en la Ley de Hidrocarburos N° 3058, YPFB asume las actividades del mayoreo de productos en todos los Distritos y Zonas Comerciales del país, siendo responsabilidad de la Empresa el abastecimiento de Productos Derivados de Petróleo y de Plantas de Proceso, en el mercado interno para satisfacer la demanda de la población y de los sectores productivos.

Artículo 14 (Servicio Público): *“Las actividades de transporte, refinación, almacenaje, comercialización, la distribución de Gas Natural por redes, el suministro y distribución de los productos refinados del petróleo y de plantas de proceso en el mercado interno son servicios públicos que deben ser prestados de forma regular y continua para satisfacer las necesidades energéticas de la población y la industria orientada al desarrollo del país”*. (Ley de Hidrocarburos N°3058, 2006)

*La resolución administrativa RAR – ANH – ULGR Nro. 0519/2016 de 07 de diciembre de 2016, faculta a YPFB la comercialización de GLP a granel, debiendo garantizar el suministro de hidrocarburos a la población en general, de forma oportuna, continua y regular.* (RAR-ANH-ULGR N°0519, 2016)

Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos tiene como misión: *“Desarrollar la cadena de hidrocarburos, garantizando el abastecimiento del mercado interno, el cumplimiento de los contratos de exportación y la apertura de nuevos mercados, generando el mayor valor para beneficio de los bolivianos”*. (YPFB, s.f.)

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Unidad de GLP a Granel (UGLP) de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) es responsable de la distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a granel en Bolivia. Sin

embargo, la operación actual enfrenta desafíos significativos que afectan la eficiencia, la rentabilidad, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones. Estos desafíos justifican la necesidad de abordar y optimizar la distribución de GLP a granel en el marco de un proyecto específico.

*Más del 70 por ciento de las calles de la ciudad de La Paz tiene una inclinación mayor a 18 grados. La reglamentación vigente del Uso del Suelo y Patrones de Asentamiento (USPA) autoriza el tráfico vehicular en vías con una inclinación inferior. (RAZÓN, 2011)*

Esto afecta significativamente la seguridad y eficiencia debido a que se han reportado incidentes que requieren una atención más rigurosa para garantizar la integridad del personal y la comunidad al momento de realizar la recarga del combustible a los clientes debido a que actualmente la cisterna que está en funcionamiento tiene una capacidad de 7000 KG y 11 años operando en la unidad.

**Ineficiencia en las Rutas de Distribución:** La distribución de GLP a granel se lleva a cabo utilizando un camión cisterna de unos 7000KG de capacidad y rutas que no están optimizadas. Esto resulta en distancias de viaje innecesariamente largas y tiempos de entrega variables, lo que conlleva un aumento en los costos operativos.

**Complejidad en la Planificación de Rutas:** La planificación de rutas para la entrega de GLP a granel se ha vuelto cada vez más compleja debido a factores como el crecimiento urbano, el tráfico y las restricciones de seguridad. Esto afecta la puntualidad de las entregas y aumenta el riesgo de incidentes.

**Altos Costos Operativos:** Los costos operativos de la UGLP de YPFB son significativamente altos debido al consumo de combustible y el mantenimiento del camión cisterna. Estos costos reducen la rentabilidad de las operaciones.

Cumplimiento Normativo: La UGLP de YPFB debe cumplir con regulaciones y normativas locales, nacionales e internacionales relacionadas con el transporte de GLP a granel. El incumplimiento de estas regulaciones podría tener consecuencias legales y operativas adversas. La distribución eficiente de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a granel es un componente crítico para satisfacer la creciente demanda de combustibles y energía en Bolivia. La Unidad de GLP a Granel (UGLP) de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) es responsable de garantizar la entrega oportuna y segura de GLP a los clientes en todo el país. Sin embargo, la distribución de GLP a granel se enfrenta a diversos desafíos que impactan la eficiencia operativa y la rentabilidad de YPFB.

Considerando las demandas y necesidades específicas de cada sector o aplicaciones que requieren el transporte de cantidades reducidas de GLP, se plantea la creación de una cisterna de capacidad reducida. Actualmente, la mayoría de las cisternas de GLP disponibles en el mercado están diseñadas para transportar grandes volúmenes de este combustible, lo que resulta ineficiente y costoso para operaciones de menor escala, como suministro a instalaciones residenciales, pequeños comercios o aplicaciones industriales especializadas.

La distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a granel es fundamental para asegurar un suministro confiable y efectivo en la Unidad de GLP a Granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB). Ante los desafíos operativos identificados, se plantea la necesidad de mejorar los procesos asociados con la distribución de este combustible. Este proyecto se enfoca en identificar y aplicar estrategias que optimicen la distribución, con especial énfasis en la implementación de un sistema eficiente. Esto no solo busca aumentar la efectividad en la entrega, sino también mejorar la calidad del servicio proporcionado por la unidad. El análisis exhaustivo de estas cuestiones es crucial para desarrollar soluciones que impacten positivamente en la logística interna.

### 1.3.1. Identificación del problema

La competencia en la industria del GLP a granel está aumentando, y es esencial para la empresa mantenerse competitiva y rentable en el mercado. Para comprender mejor la magnitud de este desafío, es necesario analizar los datos presentados en el **Cuadro 1.1**

**Cuadro 1.1: Diagnostico**

<b>CAUSA</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>SOLUCIONES</b>
<b>Se han reportado incidentes de seguridad en el manejo y transporte de GLP</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daños materiales al camión cisterna.</li><li>• Riesgo para el personal y la comunidad</li></ul>	Especificar la capacidad de la cisterna para los clientes que requieren menor volumen. (Clientes domiciliarios)
<b>Distribución del combustible a clientes alejados de la ciudad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se programan los viajes a clientes fuera de la ciudad por lo menos dos veces a la semana</li></ul>	Dar una mayor autonomía a los clientes alejados de la ciudad para no hacer demasiados viajes
<b>Las rutas de distribución no están optimizadas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Distancias más largas de viaje</li><li>• Tiempos de entrega variables.</li><li>• Reducción de vida útil del camión.</li></ul>	Optimización de rutas de acuerdo al sistema que actualmente maneja la unidad.
<b>Costos Operativos Elevados, como el combustible y el mantenimiento del camión</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Perdidas económicas para la empresa.</li></ul>	Usar el camión cisterna solo para clientes que requieran mayor volumen o clientes GRACO.
<b>Desafíos de Seguridad y Cumplimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incidentes.</li><li>• Riesgos en el manejo y transporte del GLP</li></ul>	Cumplir con regulaciones y normativas locales, nacionales e internacionales relacionadas con el transporte de GLP.
<b>Incremento de la cartera de clientes GLP a granel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Retraso en el plazo de entrega del producto al cliente.</li><li>• Mayor Requerimiento del producto.</li></ul>	Tener una cisterna más disponible.

**Fuente:** Elaboración propia

La Unidad de GLP a Granel (UGLP) de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) enfrenta un problema central que afecta su capacidad para operar de manera eficiente y segura: la ineficiencia en las rutas de distribución. Esta ineficiencia se debe a la falta de optimización en los procesos de distribución, lo que genera tiempos de entrega variables y costos operativos elevados.

La ausencia de un sistema eficiente de distribución impacta negativamente tanto la rentabilidad de la unidad como la satisfacción del cliente, además de poner en riesgo el cumplimiento de las normativas de seguridad. Ante esta situación, resulta necesario abordar de manera urgente este problema para garantizar un suministro confiable de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a granel.

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

Dado los desafíos identificados en la distribución de GLP a granel, es necesario implementar un sistema eficiente que optimice los procesos operativos y mejore la rentabilidad. En este contexto, se plantea la siguiente pregunta:

**¿Cómo optimizar la distribución de GLP a granel en la Unidad de Comercialización de YPFB?**

## **1.4. OBJETIVOS**

### ***1.4.1. Objetivo general***

- Mejorar la distribución de Gas Licuado de Petróleo mediante la implementación de un sistema eficiente, para la Unidad de GLP a granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Analizar la situación actual de la Unidad de comercialización de GLP a granel.

- Identificar los procesos operativos en la logística de salida y descarga que presentan obstáculos y limitan la eficiencia en la distribución de GLP a granel.
- Desarrollar rutas de distribución optimizadas que reduzcan la distancia de viaje y mejoren la eficiencia en la entrega de GLP a granel.
- Efectuar el cálculo de volúmenes de GLP en la cisterna para el control de saldos.
- Evaluar y proponer mejoras en las prácticas de seguridad industrial en el manejo y transporte de GLP a granel, enfocándose en la mitigación de riesgos operativos.
- Especificar la capacidad adecuada de una nueva cisterna para la distribución de GLP a granel, cumpliendo con el estándar internacional de seguridad y las regulaciones pertinentes.
- Determinar la rentabilidad de la optimización de rutas mediante el cálculo del ROI y los ahorros en costos.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN**

### **1.5.1. *Justificación técnica***

El presente proyecto aborda las ineficiencias técnicas en la distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a granel en la Unidad de GLP de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB). Actualmente, la falta de optimización en las rutas de distribución y la inadecuada capacidad de la cisterna principal para satisfacer las necesidades de los clientes residenciales genera elevados costos operativos y demoras en los tiempos de entrega. Estas ineficiencias afectan la rentabilidad del servicio y dificultan la capacidad de YPFB para garantizar un suministro continuo y regular de GLP, en conformidad con lo establecido por la Ley de Hidrocarburos N° 3058.

Este proyecto implementa un sistema logístico eficiente que optimiza los procesos de distribución mediante la planificación de rutas más efectivas y el uso adecuado de una cisterna con capacidad ajustada a las necesidades del mercado residencial. Esta solución técnica no solo permite reducir los costos operativos, sino que también incrementa la seguridad en las operaciones de transporte y distribución, minimizando riesgos asociados a la manipulación del GLP. Asimismo, se alinea con las normativas de seguridad industrial, asegurando un servicio más seguro y eficaz para los clientes y garantizando el abastecimiento continuo de GLP a nivel nacional.

### ***1.5.2. Justificación socio - ambiental***

El proyecto beneficiará directamente a los clientes de la UGLP Regional La Paz, optimizando las rutas de distribución para garantizar un suministro más seguro y eficiente, especialmente en áreas urbanas e industriales donde el GLP es fundamental. La reducción de distancias y tiempos de transporte contribuirá a disminuir las emisiones, mejorando el impacto ambiental de las operaciones. Además de mejorar la calidad del servicio y la seguridad en el transporte, el proyecto se enfoca en optimizar el uso de la cisterna actual y en la planificación de una cisterna de menor capacidad para atender las necesidades de los clientes residenciales, sin requerir cambios significativos en la infraestructura.

### ***1.5.3. Justificación económica***

El proyecto se justifica económicamente al buscar la sostenibilidad a largo plazo en la distribución de GLP a granel. La implementación de un sistema eficiente de distribución permitirá reducir los costos operativos mediante la optimización de rutas y el uso adecuado de una cisterna de menor capacidad para atender a clientes residenciales. Estas mejoras en la eficiencia logística resultarán en una disminución de los costos de combustible y mantenimiento,

asegurando que la operación sea más rentable y sostenible en el tiempo. El enfoque es mejorar la rentabilidad a través de una distribución más eficiente y adaptada a las necesidades del mercado.

## **1.6. ALCANCE**

### ***1.6.1. Alcance temático***

Este proyecto propone implementar un sistema eficiente de distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a granel en la UGLP Regional La Paz, el cual se basa en la optimización de rutas de entrega y en el control adecuado de los volúmenes distribuidos, adaptados a las condiciones específicas de temperatura de La Paz. El sistema eficiente tiene como objetivo reducir los tiempos de entrega y minimizar los costos operativos sin requerir expansiones importantes de infraestructura o la adquisición de nuevos equipos a gran escala.

Actualmente, la UGLP Regional La Paz opera con una única cisterna de gran capacidad. Como parte de las mejoras operativas, se propone la incorporación de una cisterna de menor capacidad para atender específicamente a los clientes residenciales, cuya demanda de GLP es menor. Aunque esta nueva cisterna está contemplada en el sistema eficiente, su diseño y desarrollo técnico se abordará en un proyecto futuro. Este proyecto se limita a optimizar el uso de la cisterna actual y a planificar la incorporación de la cisterna de menor capacidad dentro del contexto logístico actual, sin realizar modificaciones significativas en la infraestructura.

mejorando su eficiencia operativa y sostenibilidad, y adaptándose mejor a los desafíos del entorno.

### ***1.6.2. Alcance socio – ambiental***

El proyecto beneficia directamente a los clientes de la UGLP Regional La Paz, que incluyen tanto residencias como pequeñas industrias. La optimización de las rutas de distribución mejora

la seguridad en el transporte de GLP, reduciendo los riesgos asociados a las operaciones de carga y descarga. También se enfoca en la seguridad de los operadores, garantizando el cumplimiento de las normativas de seguridad industrial. En términos ambientales, el proyecto busca reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> al optimizar las rutas de distribución, disminuyendo el tiempo de transporte y el consumo de combustible. Estas mejoras garantizan un transporte más eficiente y menos contaminante, protegiendo tanto a las comunidades locales como al medio ambiente en las áreas afectadas por la operación de la UGLP Regional La Paz.

### **1.6.3. Alcance económico**

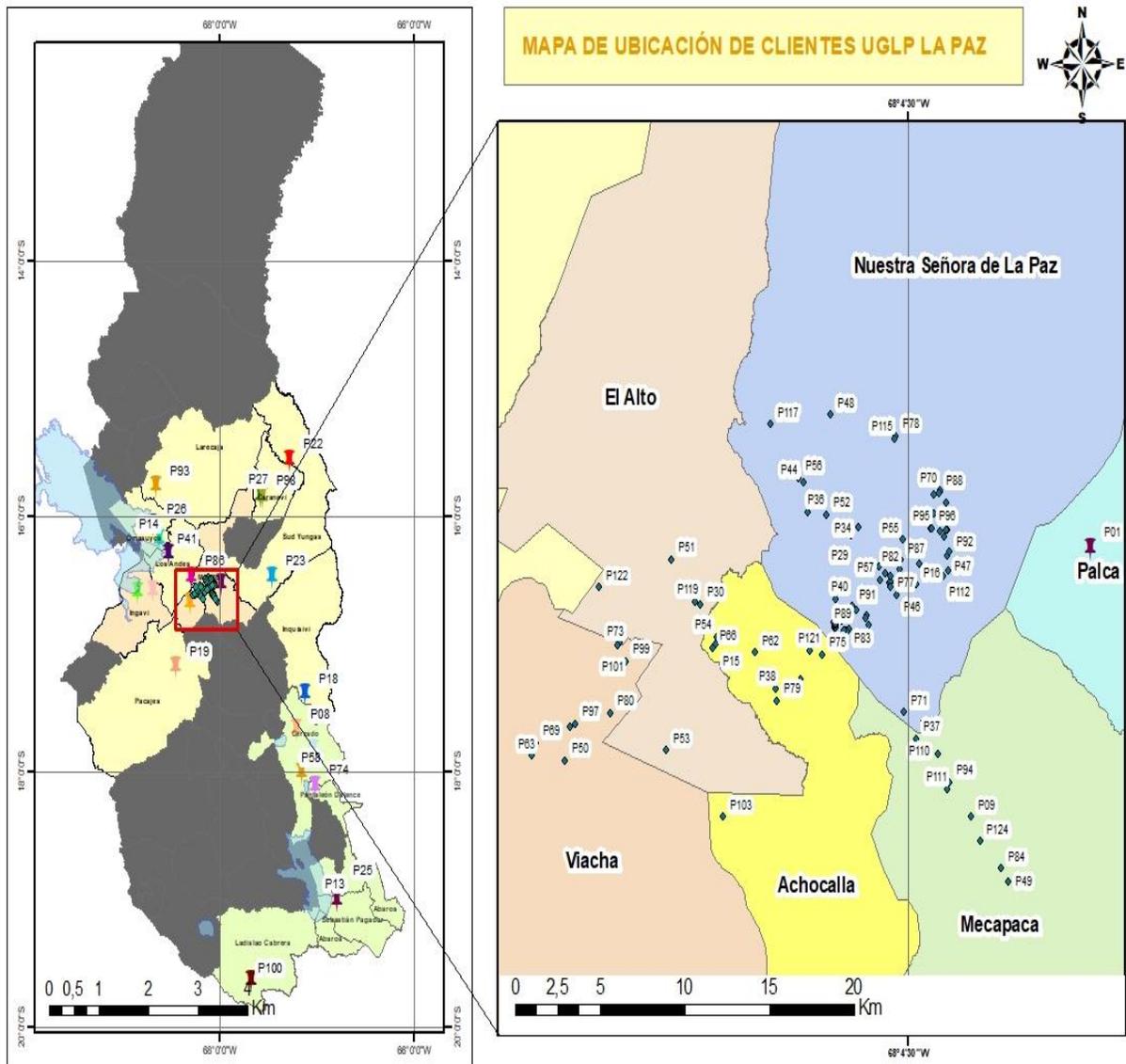
El análisis económico del proyecto se centra en la reducción de los costos operativos de la UGLP Regional La Paz, optimizando el consumo de combustible y mejorando el mantenimiento de los equipos actuales. El proyecto busca aumentar la rentabilidad operativa sin requerir inversiones significativas en infraestructura adicional, sin considerar mejoras en otras regionales. Este enfoque asegura que las operaciones sean sostenibles y rentables a largo plazo dentro de los recursos disponibles.

### **1.6.4. Alcance geográfico**

El proyecto se implementa en la UGLP Regional La Paz, que abarca clientes en los departamentos de La Paz y Oruro. La distribución de GLP se concentra en las provincias de Murillo, Los Andes, Sud Yungas e Ingavi en La Paz, y en Ladislao Cabrera, Cercado y Sebastián Pagador en Oruro. Estas áreas, que representan el 21.1% de la cartera de clientes de la UGLP a nivel nacional, están dentro de la jurisdicción de la UGLP Regional La Paz. El proyecto no incluye otras regionales, como Cochabamba o Santa Cruz.

La **Figura 1.1.** ofrece una representación visual de estas áreas geográficas, mostrando la distribución de los clientes y el impacto de las mejoras logísticas.

**Figura 1.1: Mapa de Áreas de estudio**



**Fuente:** Elaboración Propia en base a datos de la UGLP usando ArcGIS software v10.8

“EL CONOCIMIENTO ES EL  
PRINCIPIO DE TODAS LAS  
GRANDES  
TRANSFORMACIONES.”

Francis Bacon.



# **CAPÍTULO 2**

## **MARCO TEÓRICO**

## CAPITULO 2

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El Gas Licuado del Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos de petróleo los cuales son gaseosos a la temperatura y presión ambientales normales (101,3 kPa y 25 °C), se deriva principalmente del gas natural o de los gases de refinación de petróleo. Esta mezcla de gases puede ser licuada aplicándole una presión moderada para facilitar su transporte y almacenaje. (James G. Speight, 2018).

Cuando se libera gas en estado líquido en una atmósfera a temperatura mayor de 0° C, de inmediato se produce el fenómeno de ebullición y cambia su estado físico de líquido a vapor, al cambiar de líquido a vapor su volumen se incrementa aproximadamente 250 veces (Clesse (UK) Limited, s.f.), lo que significa que un litro de líquido que escapa se convierte en 250 litros de vapor de GLP. (Leonardo, 2013).

El GLP contiene predominantemente propano ( $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_3$ , punto de ebullición:  $-42^\circ\text{C}$ ,  $-44^\circ\text{F}$ ) y butano ( $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_3$ , punto de ebullición:  $0^\circ\text{C}$ ,  $32^\circ\text{F}$ ) las cuales se mantienen en estado líquido bajo la presión dentro del recipiente confinado, así como también varios otros hidrocarburos que están presentes en pequeñas concentraciones tal como se puede ver en la **Tabla 2.1.** (Gas Processors Association (GPA), 1995)

**Tabla 2.1 Análisis Cromatográfico**

N°	COMPOSICION	% MOLAR
1	$\text{C}_2\text{H}_6$	0,88%
2	$\text{C}_3\text{H}_8$	65,00%
3	i - $\text{C}_4\text{H}_{10}$	13,18%
4	n - $\text{C}_4\text{H}_{10}$	19,50%
5	i - $\text{C}_5\text{H}_{12}$	1,27%
6	n - $\text{C}_5\text{H}_{12}$	0,17%
<b>TOTAL</b>		<b>100,00%</b>

Fuente: (YPFB, s.f)

### 2.1.1 Usos y aplicaciones del GLP

El GLP dispone de una gran variedad de usos y aplicaciones como el auto gas, en hogar, hostelería, agricultura, en la industria, y la cogeneración.

#### GLP en el hogar (Residencial):

Generalmente son personas naturales o urbanizaciones, condominios, edificios, cuya naturaleza de consumo es el confort para las casas y uso en el domicilio o en edificios, concentrándose el consumo en cocción de alimentos, calentamiento de agua, secado de ropa, etc. y con diversidad en cuanto su localización.

#### GLP en actividades comerciales:

Clientes vinculados a actividades comerciales y/o clientes que combinan esta actividad con la producción de forma detallista – especialmente alimenticia: Panadería, rosticería, restaurantes, etc. También forman parte de este segmento hoteles, centros comerciales y hospitales.

#### GLP en la Industria:

Clientes vinculados a las actividades industriales, donde su consumo principalmente es destinado a la producción en cualquiera de sus formas: industria química, manufacturera, bebidas y alimentos, plásticos, cerámica, textil, metal metálico, etc.

#### Agricultura:

El GLP se utiliza frecuentemente en el sector agrícola para desecación térmica, secado de cultivos, como combustible de vehículos y como repelente de insectos. Como se aprecia en la **Figura 2.1**, sus aplicaciones son amplias y abarcan desde el procesamiento de granos hasta la operación de maquinaria agrícola. Al tratarse de una fuente de energía moderna y respetuosa con el medio ambiente, el GLP puede desempeñar un papel muy importante en el futuro desarrollado de la agricultura.

**Figura 2.1. Deseccación Térmica**

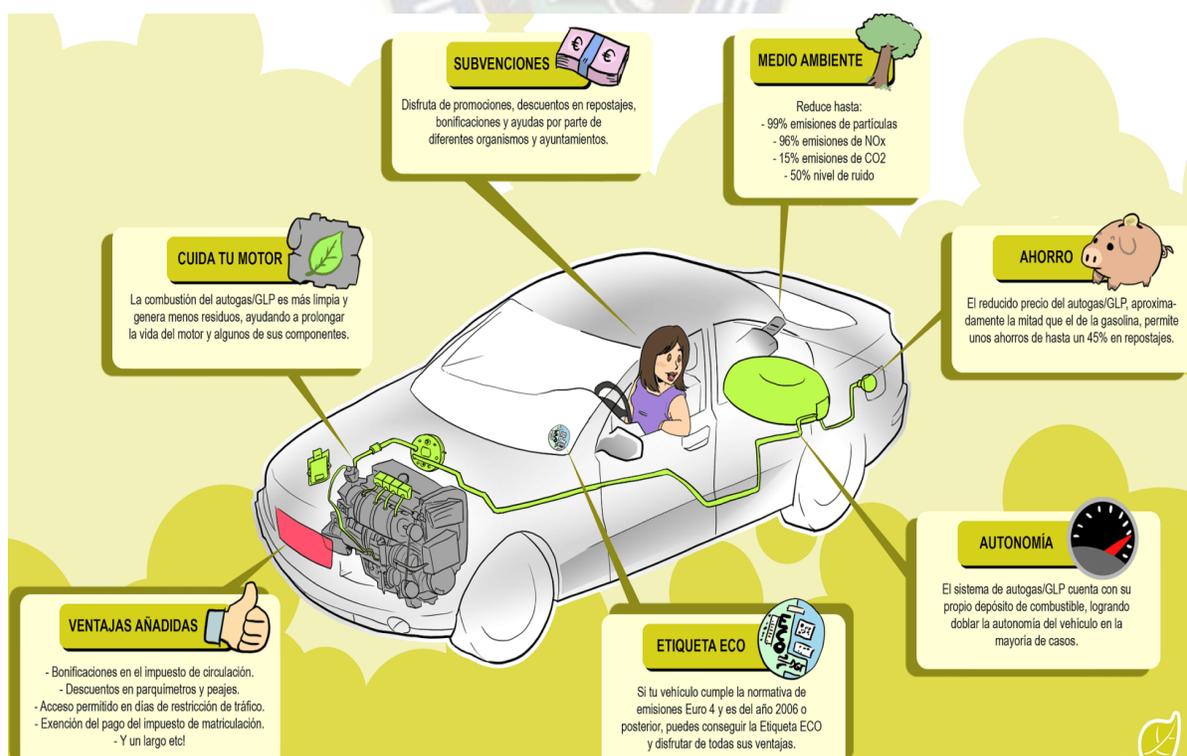


**Fuente:** (YPF GAS, 2018)

✚ Automoción:

El GLP es el combustible alternativo de automoción más empleado a nivel mundial. La elección del GLP ofrece una serie de ventajas que van más allá del ahorro económico, como se puede observar en la **Figura 2.2**, el GLP se presenta como una opción sostenible y rentable para los conductores.

**Figura 2.2 Ventajas del Autogas/GLP**



**Fuente:** ( M Velasco, 2018)

## Cogeneración:

Al tratarse de una de las energías convencionales más limpias, el GLP es un buen complemento a las fuentes y tecnologías renovables, que requieren luz solar o determinadas condiciones meteorológicas. El GLP también facilita la generación descentralizada de alta eficiencia, mediante pequeños generadores autónomos y la micro generación combinada de calor y electricidad. En estas aplicaciones de generación localizada, la huella de carbono del GLP es inferior a la del gasóleo y sensiblemente menor que la de la gasolina o diésel.

## **2.2. Propiedades del GLP**

### **2.2.1. Propiedades Físicas del GLP**

En su estado natural el GLP no tiene olor ni color, por lo mismo es difícil y sumamente peligroso su manejo. (Leonardo, 2013)

El Gas Licuado del Petróleo, es una de las energías con mayor potencial calorífico, pudiendo desempeñar cualquiera de las funciones de los combustibles primarios de los que se deriva, además tiene muchas ventajas medio ambientales y económicas. Debido a que es un gas combustible extremadamente limpio, ofrece numerosas ventajas tanto a los usuarios finales como al conjunto de la sociedad. Se licúa con facilidad, lo que facilita su transporte y almacenamiento y lo convierte en una opción energética muy versátil. (Educación en ingeniería química, s.f.)

Es un combustible principalmente de uso doméstico y semi-industrial que, por su costo y accesibilidad es comúnmente utilizado en nuestro medio.

#### **2.2.1.1. Densidad y Viscosidad**

La densidad y presión de vapor el GLP varían según la composición

➤ **Estado de Vapor:**

Propano 1,522 [Kg/l]

Butano 2,000 [Kg/l]

El peso del aire es 1.000 [Kg/l]

La densidad y peso específico son mayores que el aire, por lo que el GLP resulta más pesado que esté. Por lo tanto, una nube de GLP tenderá a permanecer a nivel del suelo por su diferencia de densidad respecto al aire.

➤ **Estado Líquido:**

Propano 0,507 [Kg/l]

Butano 0,580 [Kg/l]

El peso del agua es 1000 [Kg/l]

El GLP líquido es más liviano y menos viscoso que el agua, por lo que hay que tener cuidado ya que puede pasar a través de poros donde ni el agua, diésel o kerosene pueden hacerlo. (Prado, 2022). Según lo anteriormente dicho. La densidad del GLP a granel que se toma como referencia para los cálculos de volumen comercializado en la Unidad tiene un valor de:

➤  $\rho_{\text{GLP}} = 0,560 \text{ [Kg/l]}.$

**2.2.1.2. Calor Latente de Evaporación**

Se define como la cantidad de calor que debe proporcionarse a una unidad de masa, de una sustancia en estado líquido y en su punto de ebullición, para llevarla al estado de vapor. Los valores de calor latente son: propano: 107,1 [Kcal/Kg] y n-butano: 91,5 [Kcal/Kg]. Como el GLP líquido se evapora, el calor latente correspondiente, es absorbido del recipiente que lo contiene y la presión es consecuentemente reducida. (Dirección de Regulación Económica - ANH, 2018)

### 2.2.1.3. Punto de Ebullición

Es la temperatura en la cual el vapor de un líquido iguala a la presión atmosférica del lugar, además es cuando se produce un cambio de fase del estado líquido al estado gaseoso.

Propano: 41 °C bajo cero

Butano: 0,5 °C bajo cero

GLP: 20 a 25 °C bajo cero

Para obtener GLP líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a presión, para el butano la presión debe ser más de 2 atmosferas y para el propano la presión debe ser más de 8 atmosferas.

### 2.2.2. Propiedades Químicas del GLP

#### 2.2.2.1. Composición química del GLP

El gas licuado de petróleo suele estar disponible en diferentes grados (generalmente especificados como propano comercial, y butano comercial (Rawlinson, D., y Ward, E.R., 1973). La **Tabla 2.2** presenta un resumen detallado de las propiedades de estos componentes, lo que permite comprender mejor su comportamiento y aplicaciones.

**Tabla 2.2 Propiedades del Gas Licuado del Petróleo**

CONSTITUCIÓN	Propano	N-Butano	Propano Comercial	Butano Comercial
<b>Fórmula</b>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
<b>Punto de Ebullición, (°F a 1 atm)</b>	-43,73	31,10	-51	15
<b>Gravedad específica del líquido 60/60</b>	0,5077	0,5844	0,509	0,582
<b>Densidad lb/gal a 60°F</b>	4,233	4,872	4,24	4,84
<b>Calor de combustión</b>				
<b>Btu/lb</b>	21,490	21,134	21,560	21,180
<b>Btu/gal</b>	90,752	102,774	91,500	102,600

<b>Calor Latente de Vaporización @punto de ebul. BTU/gal</b>	785,0	808,0		
<b>Datos de Combustión</b>				
<b>Aire requerido para combustión lb air/lb fuel</b>	15,65	15,43		
<b>Punto de Inflamación °F</b>	-155	-76		
<b>Temperatura de Autoignición °F</b>	878	761		
<b>Temperatura Max. de la llama en el aire °F</b>	3595	3615		
<b>Presión de Vapor psig a: 60°F</b>	92	12		
<b>100°F</b>	174	37	192	59
<b>130°F</b>			286	97
<b>Límites de Inflamabilidad, % v/v de gas en la mezcla de aire</b>				
<b>Límite Inferior (%)</b>	2,1	1,6	2,4	1,3
<b>Limite Superior (%)</b>	7,4	6,5	9,6	6
<b>Número de Octano (Isooctano =100)</b>	97,1	90,1		
	1,9	93,6		

Fuente: (Howard, 1951)

#### A. Propano comercial

El propano comercial se compone principalmente de propano y/o propileno con un porcentaje del 90% de C<sub>3</sub> como se observa la **Tabla 2.3**. Su densidad es igual o superior a 0,502 kg/l a 15°C (0,443 kg/l a 50°C). La presión de vapor a 37,8°C está comprendida entre 8,3 bar y 14,4 bar, que corresponde a un intervalo 11,5-19,3 bar a 50°C. Finalmente el contenido en azufre está limitado a 50 ppm en peso y el ensayo de evaporación debe conducir a un punto final de ebullición inferior o igual a -15°C. (Wauquier, 1994)

#### B. Butano Comercial

El butano comercial está constituido esencialmente por hidrocarburos C<sub>4</sub>, con menos del 19% en volumen de propano y propileno como se observa la **Tabla 2.3**. La densidad debe ser igual o superior a 0,559 kg/l (0,513 kg/l a 50°C). La presión de vapor máxima debe ser de 6,9 bar a 50°C y el punto final de ebullición inferior o igual a 1°C. (Wauquier, 1994)

**Tabla 2.3 Composición Comercial**

N°	Composición	%Molar
1	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	65,00%
2	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	32,68%

**Fuente:** (YPFB, s.f)

#### **2.2.2.2. Poder Calorífico**

Es la cantidad de energía calorífica contenida por unidad de masa definida de un combustible, que puede ser liberada al quemarse completamente. Se expresa en calorías por gramo (cal/gr) o kilocalorías por kilogramo (Kcal/Kg). Puede ser medido en forma bruta (poder calorífico superior) o neta (poder calorífico inferior)

#### **2.2.2.3. Límites de Inflamabilidad**

La concentración mínima y máxima por volumen de una sustancia combustible que es capaz de propagar una llama en condiciones específicas.

El GLP es fácilmente condensable a líquido a la temperatura atmosférica normal por la aplicación de presión. Es esta la propiedad que los hace valiosos como combustible, ya que puede ser transportado, almacenado y distribuido con la facilidad que tiene cualquier otro tipo de líquido. Sin embargo, es posible distribuirlos localmente y quemarlos con la conveniencia que caracteriza a los combustibles gaseosos. (Prado, 2022)

#### **2.2.3. Licuación**

El GLP es fácilmente condensable a líquido a la temperatura atmosférica normal por la aplicación de presión. Es esta la propiedad que los hace valiosos como combustible, ya que puede ser transportado, almacenado y distribuido con la facilidad que tiene cualquier otro tipo de líquido. (Prado, 2022)

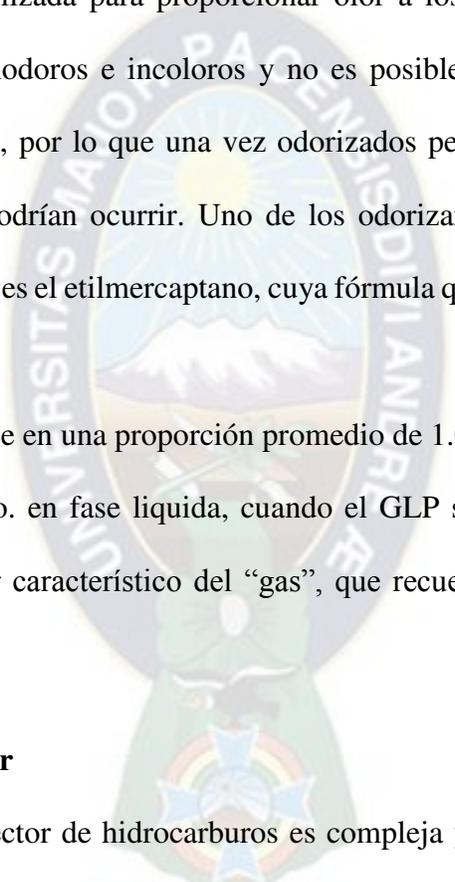
Sin embargo, es posible distribuirlos localmente y quemarlos con la conveniencia que caracteriza a los combustibles gaseosos. Para licuarlo requiere de presiones entre **150 – 300 psi** para el propano, y entre **30-60 psi** para el butano. Bajas temperaturas y altas presiones (Presión de trabajo **150 PSIG**). (Leonardo, 2013)

#### **2.2.4. Odorizante:**

Es la sustancia química utilizada para proporcionar olor a los Gases Licuados del Petróleo (GLP), ya que estos son inodoros e incoloros y no es posible detectarlos por medio de los sentidos humanos normales, por lo que una vez odorizados permite detectar rápidamente las fugas que eventualmente podrían ocurrir. Uno de los odorizantes más comunes para Gases Licuados de Petróleo (GLP) es el etilmercaptano, cuya fórmula química es  $C_2H_6S$ . (RTCA GLP, 2020)

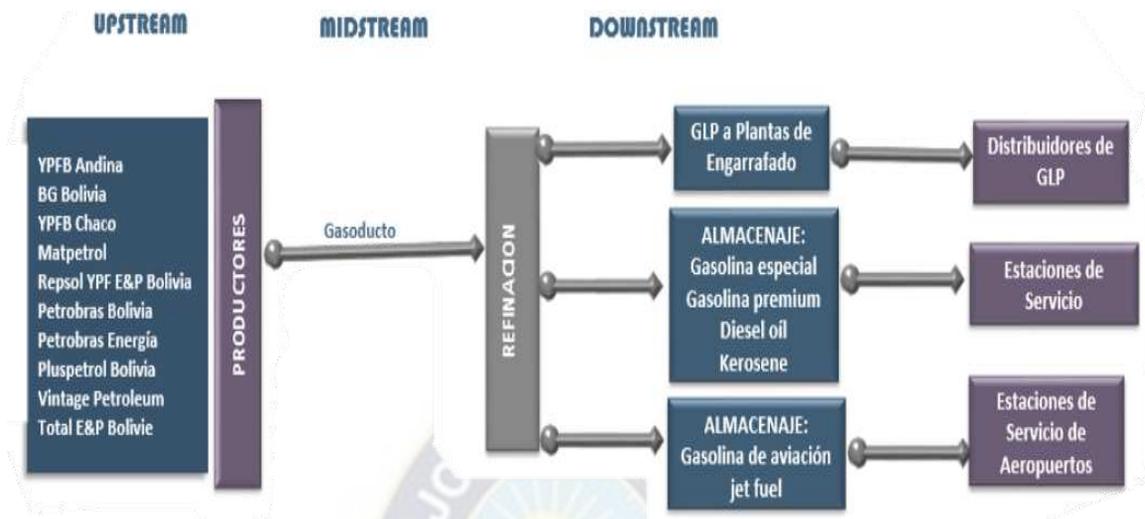
El cual debe de suministrarse en una proporción promedio de 1.0 litro por cada 104.0 litros por odorizar en volumen líquido. en fase líquida, cuando el GLP se evapora, arrastra consigo el odorizante y este es el olor característico del “gas”, que recuerda a los sulfuros. (Leonardo, 2013).

### **2.3. Estructura del sector**

La cadena de valor en el sector de hidrocarburos es compleja y abarca desde la búsqueda de yacimientos hasta la entrega de productos finales al consumidor. La  ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. proporciona una visión general simplificada de esta cadena, destacando las tres etapas principales:

- ❖ Upstream (Exploración y Extracción)
- ❖ Midstream (Procesamiento y Transporte)
- ❖ Downstream (Comercialización y Distribución)

**Figura 2.3 Estructura del Sector Hidrocarburos**

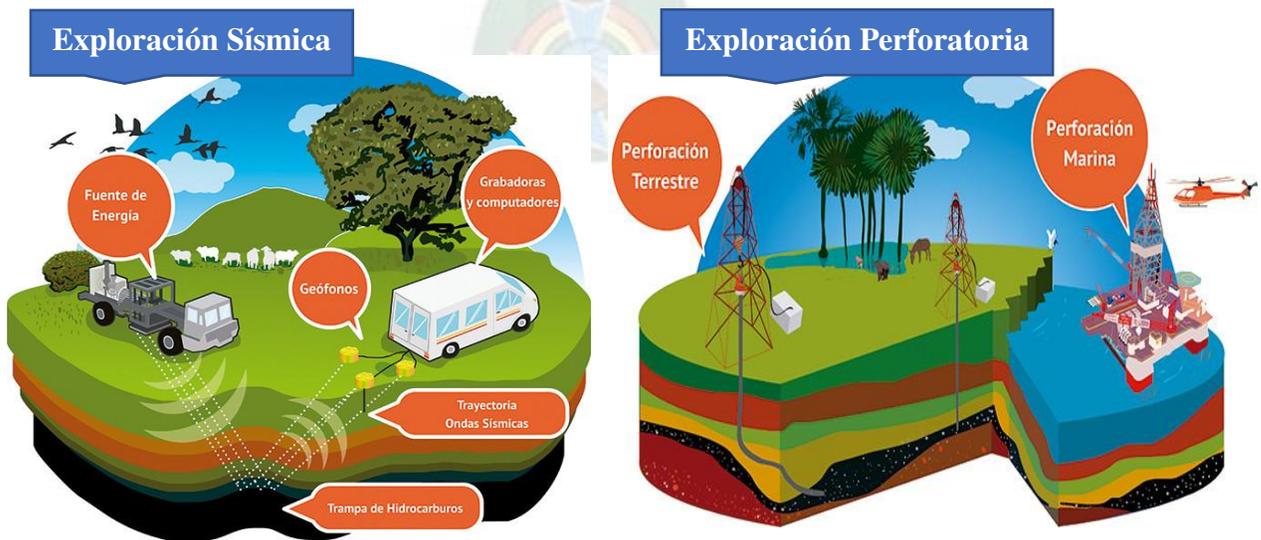


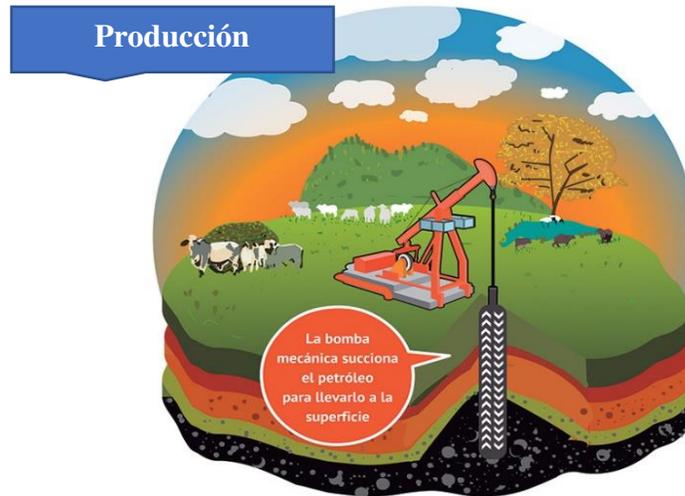
**Fuente:** (C. A. Flores Noya, 2015)

### 2.3.1. *Upstream*

Las actividades del upstream comprenden la Exploración y Producción (E&P) de yacimientos hidrocarbúferos, tal como se muestra en la **Figura 2.4** esto incluye las tareas de búsqueda de potenciales yacimientos de petróleo crudo y gas natural, la perforación de pozos exploratorios, y posteriormente la perforación y explotación de los pozos que llevan el petróleo crudo o el gas natural hasta la superficie. (Rosario D. Aramayo Ruegenberg, 2009)

**Figura 2.4 Upstream**





**Fuente:** (Rosario D. Aramayo Ruegenberg, 2009)

### 2.3.2. *Midstream*

En este eslabón de la cadena de hidrocarburos, los segmentos intermedios de la industria energética se encuentran aguas abajo (Downstream) de la producción de petróleo y gas y aguas arriba (Upstream) del consumo final por parte del usuario. Como se aprecia en la **Figura 2.5**, las instalaciones de midstream son fundamentales para el procesamiento y tratamiento del petróleo crudo, gas natural y sus derivados para su transporte y almacenamiento de los hidrocarburos. Los ductos, las instalaciones de almacenamiento y las terminales de distribución son parte esencial de esta etapa. (Michael J.Economides, 2014)

**Figura 2.5 Midstream**



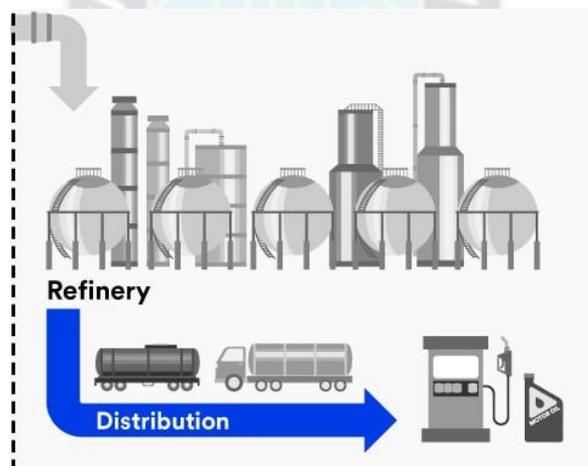
**Fuente:** ( Summit Midstream Partners, LP, 2022)

### 2.3.3. *Downstream*

Las operaciones downstream, como se muestra en la **Figura 2.6** son los procesos involucrados en la conversión de petróleo y gas en el producto terminado. Estos incluyen refinar petróleo crudo en gasolina, líquidos de gas natural, diésel y una variedad de otras fuentes de energía. (Chen, 2022)

Las actividades de downstream en Bolivia están reguladas, a diferencia de las actividades en upstream, debido a que son monopolios naturales (transporte por ductos), son pocos productores (refinación) o los precios no responden a la libre oferta y demanda (distribución y comercialización). (C. A. Flores Noya, 2015)

**Figura 2.6 Downstream**



**Fuente:** (3M Science Applied to Life, s.f.)

#### 2.3.3.1. *Refinación*

La refinación del petróleo, como se observa en la **Figura 2.7**, es un proceso complejo utilizado para separar las fracciones de los diversos hidrocarburos del petróleo crudo (petróleo sin procesar), también llamado petróleo. Los hidrocarburos (compuestos) difieren en las longitudes

de su cadena de hidrocarburos, dando como resultado diferentes puntos de ebullición: Cuanto más larga es la cadena, mayor es el punto de ebullición. (OilTanking, 2015)

**Figura 2.7 Refinería Guillermo Elder Bell**



**Fuente:** (Hoy Bolivia.com, 2013)

### **2.3.3.2. Distribución y Comercialización de Hidrocarburos**

En Bolivia rige la libre comercialización interna de hidrocarburos y derivados solo en la distribución minorista, como se muestra en la **Figura 2.8**, aunque los precios están regulados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos. La exportación de gas natural, petróleo crudo, condensado, gasolina natural y gas licuado de petróleo, así como de productos refinados de petróleo y productos derivados del gas natural es realizada exclusivamente por YPFB. (C. A. Flores Noya, 2015).

La distribución mayorista fue íntegramente realizada por YPFB hasta el 2 de febrero de 2001, fecha en la cual esta actividad fue privatizada. Las empresas privadas estuvieron a cargo de la distribución mayorista hasta que, en mayo de 2005, mediante la Ley N° 3058, se eliminó de la cadena de distribución de Hidrocarburos a los distribuidores mayoristas, y YPFB se convierte en el único importador y distribuidor Mayorista en el país. (C. A. Flores Noya, 2015)

**Figura 2.8 Comercialización de hidrocarburos**



**Fuente:** (Almir Souza, 2018)

#### **2.3.3.2.1. Distribución de GLP a granel**

La comercialización de GLP a granel a través de camiones cisternas, será realizada por el Distribuidor Granelero de GLP, quien deberá contar con la respectiva Licencia de Operación para la distribución de GLP a granel, misma que será otorgada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), en cumplimiento de lo establecido en el presente Reglamento. (RAN-ANH- UN N° 0023, Art. 3, párrafo I, 2015).

El Distribuidor Granelero de GLP, deberá realizar las operaciones de recepción, almacenamiento, despacho, transporte y descarguío de GLP. (RAN-ANH- UN N° 0023, Art. 3, párrafo II, 2015).

Como se muestra en la **Figura 2.9**, el proceso de distribución de GLP comienza en la planta de producción, sigue con el transporte en cisternas debidamente autorizadas por la ANH, destinadas al abastecimiento de GLP a granel a usuarios finales, ya sean industriales, comerciales o domiciliarios. El ciclo finaliza con el almacenamiento, envasado y distribución del GLP en tanques fijos.

**Figura 2.9 Distribución de GLP a granel**

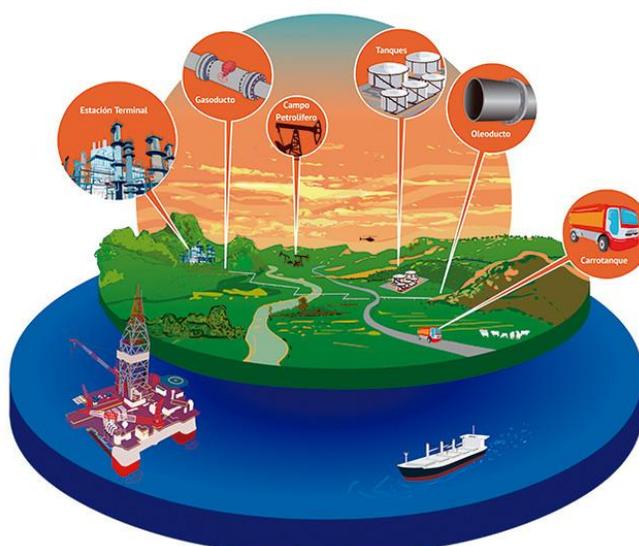


**Fuente:** Elaboracion Propia

### 2.3.3.3. *Transporte de GLP*

El transporte de gas licuado de petróleo (GLP) a granel se realiza principalmente mediante camiones cisterna. Este método es esencial para la distribución del GLP desde las plantas de producción y almacenamiento hasta los consumidores finales o puntos de distribución más pequeños. A continuación, se detallan los aspectos clave del transporte de GLP en camiones cisterna (ver **Figura 2.10**).

**Figura 2.10 Transporte de hidrocarburos**



**Fuente:** (Almir Souza, 2018)

## 2.4. Infraestructura de almacenamiento y transporte de GLP

### 2.4.1. Tanques de Almacenamiento

Los tanques de almacenamiento de GLP deben ubicarse en lugares de fácil acceso para facilitar el abastecimiento desde cisternas, asegurando que estén alejados de las salidas de emergencia para maximizar la seguridad. Además, se instalarán sobre superficies planas, impermeables y exclusivas. La zona destinada al almacenamiento de envases se debe localizar al aire libre (patios, jardines o terrenos amplios), en un área fresca y seca, no se recomienda tener una edificación destinada para tal fin. Sin embargo, es necesario tener cerrado el recinto (enmallado de 2,5 m de altura) y deberá descansar sobre estructuras estables al fuego, tal y como se muestra en la **Figura 2.11**.

**Figura 2.11 Tanque de Almacenamiento de 48 m<sup>3</sup> de Cliente Industrial**



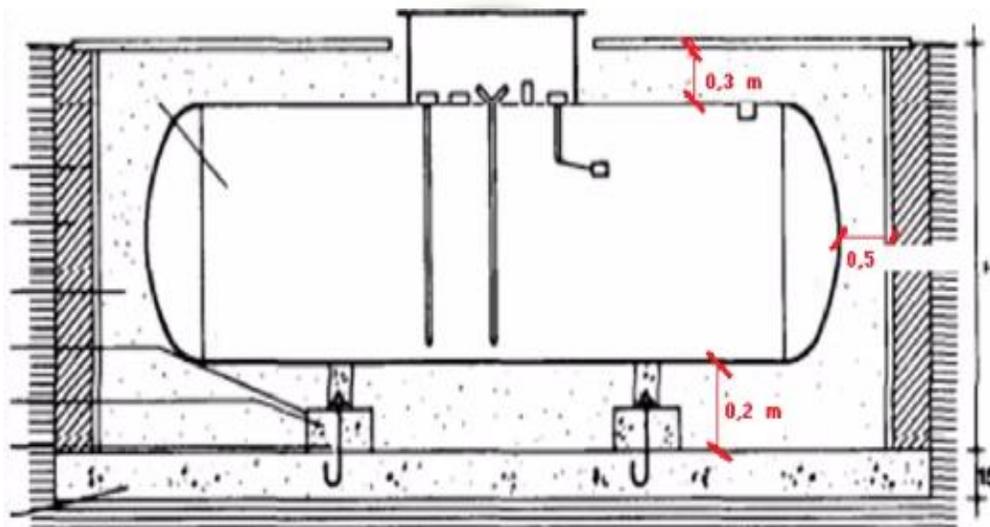
**Fuente:** (UGLP, s.f)

### 2.4.1.1. Clasificación de tanques según la manera de instalación

#### 2.4.1.1.1. Tanques Enterrados

Para que un tanque sea considerado enterrado debe estar situado enteramente por debajo del nivel del terreno circundante, de forma tal que la generatriz superior, diste entre 0.30 y 0.50 metros de dicho nivel como se muestra en la **Figura 2.12**.

**Figura 2.12 Tanques de Almacenamiento de GLP enterrados**



**Fuente:** (Jose, 2011)

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas y de seguridad para la instalación de tanques de almacenamiento de GLP. Estas directrices son fundamentales para garantizar la integridad de los tanques y la seguridad en su operación, minimizando riesgos potenciales y asegurando el cumplimiento de las normativas vigentes:

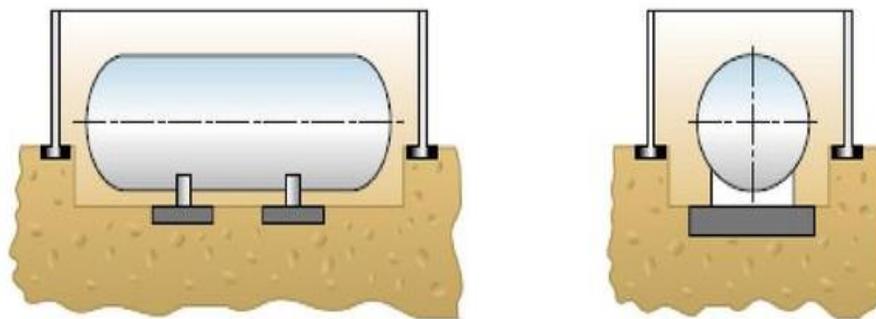
- a) Los tanques enterrados se situarán sobre fundación firme y anclados de tal forma que se impida su flotación.
- b) La distancia entre tanques situados en la misma fosa será como mínimo de un metro.
- c) Deberá rodearse la proyección de la fosa sobre el terreno del tanque, con una protección de hormigón de al menos 0.30 metros de altura.

- d) En todos los casos la fosa se rellenará de arena fina exenta de piedras o elementos que puedan dañar el tanque.
- e) En caso que el tanque se aloje en una fosa de hormigón, las paredes de éste distarán del tanque como mínimo 0,50 metros en las paredes laterales, 0.20 metros al fondo y 0.30 metros a la tapa (si existe) o nivel del terreno.
- f) Con la finalidad de poder detectar cualquier acumulación de gas o agua en el fondo de la fosa se instalará en una esquina un tubo buzo de 2 pulgadas de diámetro que llegue hasta el fondo, cortado oblicuamente en su extremo inferior y dotado de un tapón en el superior.
- g) Las válvulas del tanque y los aparatos de control se protegerán con una tapa registro, se permitirá circulación o parqueo de vehículos por o encima de la tapa. Las válvulas serán perfectamente accesibles desde el exterior y los aparatos de control fácilmente legibles.

#### 2.4.1.1.2. *Tanques Semienterrados.*

Se denominan tanques semienterrados aquellos que teniendo la generatriz inferior por debajo del nivel del terreno circundante, como se muestra en la **Figura 2.13**, debido a algún impedimento tales como: roca a escasa profundidad, terreno con pendiente pronunciada, nivel frenético próximo, no resulta posible cumplir la condición de profundidad en enterramiento prevista para los tanques enterrados.

**Figura 2.13 Tanques Semienterrados**



**Fuente:** (Rey, 2019)

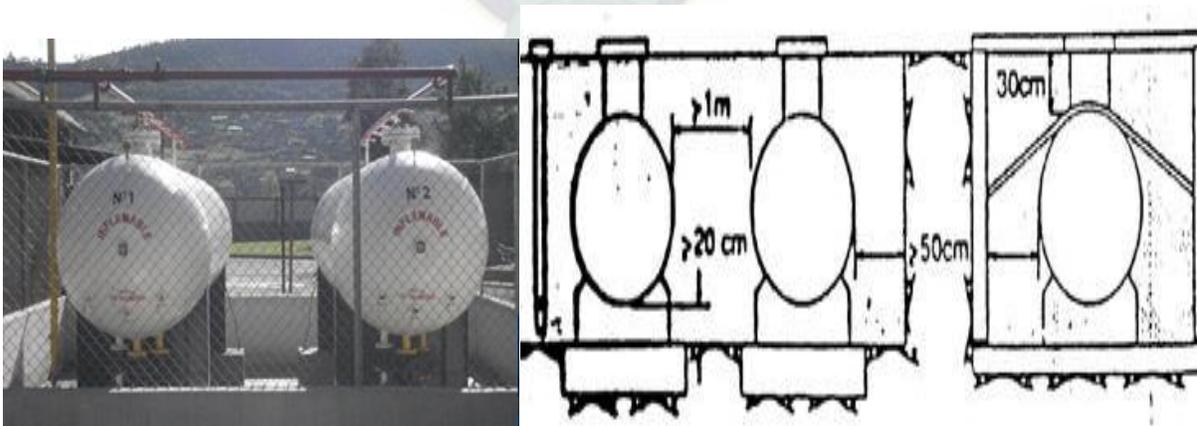
Para los efectos del cumplimiento de este Reglamento y que puedan considerarse como tanques enterrados, deberá completarse la fosa por encima del terreno, mediante paredes de hormigón, hasta la altura necesaria para cumplir las condiciones exigidas para los tanques enterrados como se mostró en la Figura 2.12.

#### 2.4.1.1.3. *Tanques Superficiales*

Se consideran tanques de superficie los situados al aire libre y cuya generatriz inferior está a nivel superior al terreno. (Ver **Figura 2.14**). El desplazamiento de cualquiera de ellos en el sentido de su eje longitudinal no deberá encontrar cortada su trayectoria por otro tanque de la misma instalación.

- a) La distancia entre tanques no será nunca inferior a la semisuma de sus radios y como mínimo será de 1.00 metro.
- b) Se protegerán mediante el uso de pintura blanca reflectante en los tanques y serán puestos a tierra con una existencia menor a 20 ohms.

**Figura 2.14 Tanque Superficial**



**Fuente:** (Diego Venegas y Cesar Ayabaca, 2019)

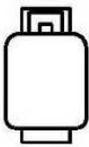
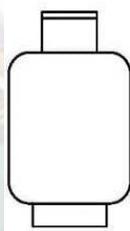
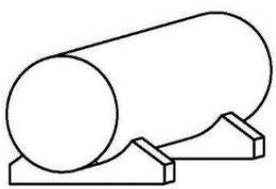
### 2.4.1.2. *Tanques estacionarios*

Los recipientes donde se almacena y transporta el GLP son diseñados para este fin (cerrados y presurizados) para prevenir la pérdida de evaporación de los gases, bajo ciertas condiciones y siguiendo ciertas normativas como la ASME Sección VIII Div.1 o 2 (Petroblogger, s.f.).

Los tanques estacionarios pueden ser de dos tipos, los estacionarios verticales que son de más baja capacidad y los estacionarios horizontales. (Vargas, 2015).

A continuación, en el **Cuadro 2.1** se presenta una clasificación detallada de los tipos de recipientes utilizados junto con sus respectivas capacidades de llenado.

**Cuadro 2.1 Tipos de Recipientes para GLP y sus capacidades de llenado**

Envases Portátiles		Tanques Estacionarios	
			
10 kg	45 kg	190 kg	420, 920, 1.800, 3.200 kg 1, 2, 4, 7 m <sup>3</sup>
GARRAFAS	CILINDROS	DEPÓSITOS	
ENVASADO		A GRANEL	

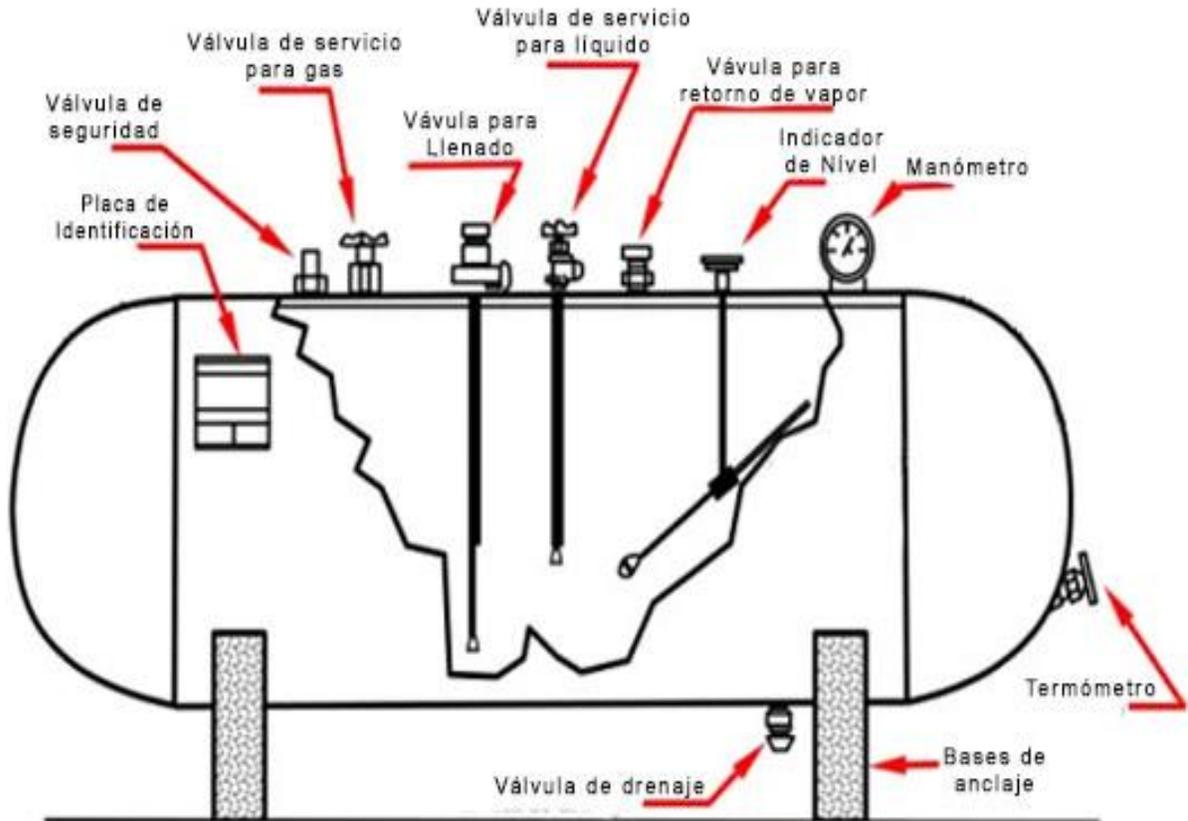
Fuente: (Vargas, 2015)

### 2.4.1.3. *Partes de un Tanque Estacionario de GLP*

Los accesorios para los tanques deberán fabricarse con materiales apropiados para el servicio con GLP y deberán asistir la acción del mismo bajo condiciones de servicio.

En la **Figura 2.15**. se representan las partes de un tanque estacionario para una mejor comprensión de su estructura.

**Figura 2.15 Partes de un tanque estacionario**



*Fuente:* (Guato Jorge y Guayasamin Jose, 2014)

Todo recipiente a presión está formado por la envolvente, dispositivos de sujeción o apoyo del propio equipo, conexiones por las que entran y salen los fluidos, elementos en el interior y accesorios en el exterior del recipiente. A continuación, se procede a describir brevemente cada una de estas partes:

#### **2.4.1.3.1. Envolvente**

Es una envoltura metálica que forma propiamente el recipiente. Como ya se ha indicado, los aparatos cilíndricos son los más utilizados, y en ellos la envolvente está formada, básicamente, por dos elementos: la parte cilíndrica o cubierta (carcasa) y los fondos o cabezales. Si la cubierta está constituida por varios cilindros de diversos diámetros, la unión entre ellos se realiza generalmente por figuras troncocónicas que realizan la transición.

#### **2.4.1.3.2. Cubierta**

La cubierta está formada por una serie de virolas soldadas unas con otras, entendiéndose por virola un trozo de tubería o una chapa que convenientemente curvada y soldada forma un cilindro sin soldaduras circunferenciales. La unión de varias virolas forma la cubierta, de forma que la suma de las alturas de los cilindros obtenidos por las virolas sea la requerida por la cubierta.

#### **2.4.1.3.3. Cabezales**

Los cabezales o fondos son las tapas que cierran la carcasa. Normalmente son bombeados, existiendo una gran diversidad de tipos entre ellos, y como excepción existen los fondos cónicos y planos, de muy reducida utilización. Todos estos fondos se realizan a partir de chapa, a la que mediante estampación se le da la forma deseada, salvo el caso de fondos cónicos y planos.

#### **2.4.1.3.4. Dispositivos de sujeción o apoyo**

Todo recipiente debe ser soportado, es decir, su carga debe ser transmitida al suelo o alguna estructura que las transmita al suelo; esta misión la cumplen los dispositivos de sujeción o apoyo. Las cargas a las que está sometido el recipiente y que transmitirá al suelo a través de su apoyo son:

- a. Peso propio.
- b. Peso del líquido en operación normal, o agua en la prueba hidráulica.
- c. Peso de todos los accesorios internos y externos.
- d. Cargas debidas al viento.
- e. Cargas debidas al terremoto.

Los dispositivos de apoyo, así como los pernos de anclaje que los fijan al suelo o estructura portante, deberán estar dimensionados para que resistan cada una de las condiciones de carga posible del recipiente.

#### **2.4.1.3.5. Patas**

Con este tipo de dispositivo de sujeción el recipiente se apoya en 3 o 4 patas soldadas a la cubierta. Estas patas son perfiles en L-U-I soldados por encima de la línea de soldadura, bien directamente a la cubierta o bien a una placa de refuerzo soldada sobre el recipiente; la primera solución se utiliza para cubiertas en acero al carbono y de pequeño peso, mientras que la segunda se utiliza para cubiertas en acero aleado o recipientes de gran peso; en esta segunda solución el material de la placa es igual al de la cubierta y las patas son de acero al carbono. (RAYOGAS, 2009)

#### **2.4.1.3.6. Placa de Identificación para Tanques Estacionarios de GLP**

Los tanques deberán contar con una placa metálica de identificación de acero inoxidable adherida al cuerpo y ubicada de tal forma que permanezca visible después de que el tanque sea instalado. (Bafer Energy Economic, s.f.) (ver **Figura 2.16**).

Los tanques deberán marcarse con la siguiente información:

- ❖ Superficie exterior en metros cuadrados.
- ❖ Espesor del cuerpo y espesor de los cabezales.
- ❖ Largo total (L.E.), y Diámetro exterior (D.E.)
- ❖ El volumen geométrico en metros cúbicos.
- ❖ Masa del tanque (Tara) en Kilogramos
- ❖ Capacidad de agua equivalente en litros o galones americanos.

- ❖ Presión de diseño en MPa o psig
- ❖ Presión de prueba en MPa o psig
- ❖ Número de Matricula de inscripción.
- ❖ Mínima temperatura de diseño del metal\_ °C (°F) a la Mínima Presión) \_\_MPa (psi).

**Figura 2.16 Placa de Identificación de un Tanque de 0,5 M3**



*Fuente:* (UGLP, s.f)

#### 2.4.1.3.7. *Manómetro*

Su función es la de marcar la presión del sistema, con el objetivo de que el operario sepa la cantidad de GLP está manejando, (ver **Figura 2.17**).

**Figura 2.17 Manómetro**



**Fuente:** (GACO Instrumentación, s.f.)

Esta información se obtiene ya que a medida que se consume el gas del depósito la presión del sistema desciende. Este instrumento resulta de suma importancia ya que además de indicar el nivel de GLP que se tiene en el tanque, se puede también comprobar la presión de funcionamiento del sistema dentro de los rangos de tolerancia.

#### 2.4.1.3.8. *Termómetro*

Según la Norma NFPA 58 el tanque de almacenamiento de GLP debe constar de un termómetro bimetalico roscado de dial, con un intervalo de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  y precisión de  $1^{\circ}\text{C}$ . el cual debe estar ubicado de preferencia en una distancia cercana al rotogage o medidor de volumen del tanque, ver **Figura 2.18**.

**Figura 2.18 Termómetro**



**Fuente:** (GESA, s.f)

#### 2.4.1.3.9. *Válvula de alivio de presión (válvula de seguridad)*

La válvula de seguridad para el tanque deberá activarse a un valor no menor que el flujo antes que la presión supere el 120 % del ajuste mínimo de presión de inicio de apertura permitido para el dispositivo. Ajuste de inicio de apertura 250 PSIG, conforme a la presión de diseño del Tanque Norma ASME.

Cada válvula de seguridad estará marcada de modo claro y permanente con lo siguiente:

- f. La presión manométrica se indica en PSIG del ajuste de inicio de apertura de la válvula.
- g. La capacidad de flujo nominal en pies cúbicos por minuto de aire a 16 °C (60 °F) y (14,7 PSIA).
- h. El nombre y el número del catálogo del fabricante.

Las válvulas de seguridad estarán diseñadas para minimizar la posibilidad de que sea alterado su ajuste y varían de acuerdo a las necesidades, (ver **Figura 2.19**).

Las válvulas fijadas o ajustadas externamente deberán estar provistas de medios apropiados que permitan precintar (sellar) el ajuste.

**Figura 2.19** Válvula de alivio de presión



**Fuente:** (REGO EUROPE, s.f.)

#### **2.4.1.3.10. Válvula de Llenado**

Accesorio que permite el llenado rápido de GLP en fase líquida al tanque estacionario y que posee doble cierre de retención.

#### **2.4.1.3.11. Multiválvulas**

Accesorio del tanque de GLP que puede albergar los siguientes elementos:

- i. Conexión para servicio.
- j. Indicador de máximo llenado, tubo de profundidad fijo con una válvula de purga, que al despedir gas líquido lo vaporiza y condensa la humedad del aire en forma de neblina, constituyendo esta un aviso visual de que el tanque ha alcanzado su porcentaje máximo de llenado.
- k. Conexión para manómetro de presión, orificio normalmente de 1/4 pulgada NPT según ASME B1.20.1 para permitir la lectura de la presión del GLP del depósito.
- l. Conexión para retorno de vapor.
- m. Conexión de llenado.
- n. Válvula de alivio de presión o de seguridad.
- o. Indicador de nivel.

Esta multiválvula compacta es especialmente apropiada para extracción de vapores de donde son necesarias las agrupaciones compactas de componentes como se muestra en la **Figura 2.20**.

Se requiere válvula separada de llenado y de alivio de presión. La multiválvula con MultiBonete permite la fácil y rápida reparación del bonete.

**Figura 2.20 Multiválvula**



**Fuente:** (Rey, 2019)

#### ***2.4.1.3.12. Válvula de drenaje CHEK –LOK***

Es empleada para la extracción de GLP en fase líquida en caso sea necesario el retiro o transferencia de productos, así como cualquier impureza o agua acumulada en el tanque. Están diseñadas para ser usadas en instalaciones permanentes, siempre y cuando el exceso de flujo sea el adecuado para el sistema y la tubería.

#### ***2.4.1.3.13. Indicador de Nivel***

Medidor construido con una boya tipo flotador y palanca, instalada en el interior del recipiente, que flota en la superficie del líquido y transmite su posición a un dispositivo en el exterior del recipiente, indicando el nivel del líquido existente en el depósito o recipiente, ver **Figura 2.21**.

Se encuentra fijado al depósito a través de tornillos, durante su ensamblaje se deberá respetar su posicionamiento.

Está compuesto por un cuerpo, y su eje está unido a un flotador, la parte superior del eje posee un imán, sobre el cual se coloca el transmisor cursor. Su funcionamiento es gracias a un sistema flotante con reenvío de ángulo que hace girar un eje y un imán en el interior del cuerpo.

El movimiento se transmite magnéticamente a un cursor que se desplaza en una pista resistiva.

**Figura 2.21 Indicador de Nivel**



**Fuente:** (Rey, 2019)

#### **2.4.1.3.14. Válvulas de corte**

Las válvulas de corte son accesorios manuales empleados para interrumpir y controlar las partes de la red. Serán fabricadas de tipo bola, roscadas, material de bronce, estancas al exterior en todas sus posiciones, herméticas en su posición cerrada, conexión de entrada y salida 1/2" NPT F, presentan paso recto y completo de flujo, de cierre rápido basta solo girar un 1/4 de vuelta de la manija, el sentido de flujo se determina de acuerdo a su posición.

#### **2.4.1.3.15. Mangueras**

Las mangueras, conexiones para manguera y conexiones flexibles, serán fabricados de un material que sea resistente a la acción del GLP tanto líquido como vapor.

Si se utiliza malla de alambre como refuerzo, este deberá ser de un material resistente a la corrosión tal como el acero inoxidable.

Las mangueras, conexiones para mangueras y conexiones flexibles usadas para transportar el GLP líquido o vapor a presiones que exceda de 34 kPa manométrica (5 psig), deberán cumplir con lo siguiente:

- a. Las mangueras deberán ser diseñadas para trabajar a una presión de 2,4 MPa manométrica (350 psig) con un factor de seguridad de 5 a 1 y deberán ser marcadas continuamente con GLP, Gas LP, propano, presión de trabajo 350 PSI, y con el nombre del fabricante o marca registrada.
- b. Las mangueras ensambladas después de la aplicación de los acoples, deberán tener una capacidad de diseño no menor de 4,8 MPa manométrica (700 psig).
- c. Si se realiza una prueba de presión, tal montaje deberá ser probado a una presión de 120 % de la presión máxima de trabajo [24 MPa manométrica (350 psig) mínimo] de la manguera.
- d. La manguera montada deberá ser sometida a ensayo de fugas en la instalación, a no menos de la presión de operación del sistema en el cual se instalen.

#### ***2.4.1.3.16. Accesorios de conexión para las instalaciones de GLP***

Las bridas serán RF con un acabado espiral de acuerdo a la especificación ANSI B.16.5. Las bridas con cuello para soldar deben ser usadas para los tubos de 2 " y mayores, para todo servicio.

Todos los codos de 90° con extremos biselados para soldar deberán ser de radio largo. Los acoples usados para las derivaciones deberán ser soldados completamente con penetración total hasta alcanzar la totalidad del espesor de pared de la tubería.

Los Threadolets o acoples roscados de 3/4" o menores se podrán usar para conexiones a toma muestras, manómetros, conexiones de prueba y de instrumentos. Los reductores excéntricos (el lado recto hacia arriba) serán usados en el lado de succión de las bombas. (Guato Jorge y Guayasamin Jose, 2014)

#### **2.4.1.3.17. Reguladores de presión.**

Es un artefacto automático que recibe el gas a una presión variable y la entrega a una presión constante (ver **Figura 2.22**). De acuerdo a las presiones que se entregan se clasifican en "alta presión" más de 26.36 gr/cm<sup>2</sup>- y "baja presión" -menor a 26.63 gr/cm<sup>2</sup>-. (GasPremium, 2022).

**Figura 2.22 Reguladores de Presión**



**Fuente:** (GasPremium, 2022)

#### **2.4.2. Operación de Almacenamiento de GLP.**

Los recipientes donde se almacena y transporta el GLP son diseñados exclusivamente para este fin; cerrados y presurizados para prevenir la pérdida y/o evaporación de los gases. Todos los recipientes llevan al menos una válvula de servicio a través de la cual se adiciona y/o retira el gas, y una válvula de seguridad para aliviar cualquier acumulación de presión. Si la presión dentro del recipiente comienza a elevarse, la válvula de seguridad permitirá la descarga de un poco de vapor, reduciendo la presión a un nivel seguro.

La propiedad física más importante del GLP que gobierna el diseño de los recipientes de almacenamiento de GLP es la presión de vapor. La presión de vapor aumenta cuando se incrementa la temperatura y es dependiente de la composición de los hidrocarburos presentes.

La operación de almacenamiento del GLP lo dividimos en:

- Operación de llenado del recipiente.
- Operación de extracción de líquido y vapor del recipiente.

#### **2.4.2.1. Operación de Llenado:**

Según el artículo 142° del Decreto Supremo N.° 027-94-EM (REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA INSTALACIONES Y TRANSPORTES DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO), la cantidad máxima de GLP líquido con la que puede llenarse un tanque o cilindro estacionario o móvil depende de su tamaño, de su ubicación (sobre o bajo tierra), de la densidad del GLP que se está manejando y de su temperatura; dichos factores permitirán determinar el porcentaje máximo del volumen del tanque o cilindro que puede ser llenado con GLP, de acuerdo a lo establecido en la norma NFPA 58.

Si no se consideraran todos los factores señalados, la cantidad máxima con la que podrá llenarse un tanque, expresado en porcentaje de su volumen, será la indicada en el **Cuadro 2.2:**

**Cuadro 2.2 Capacidad del Tanque**

	Hasta 4m <sup>3</sup> (Hasta)	Sobre 4m <sup>3</sup> (Sobre)
% Máximo de la capacidad del tanque que puede ser llenado con gas licuado líquido.	80	85

**Fuente:** (Osinergmin, 2011)

Si se aplica para el llenado del recipiente de almacenamiento del GLP la NFPA 58, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

**METODO VOLUMETRICO:** Según el punto 7.4.3.1 de la NFPA 58-Edición 2008, el método de llenado volumétrico deberá limitarse a los siguientes recipientes que han sido diseñados y equipados para llenado por volumen:

- Los cilindros de menos de 200 lb (91 kg) de capacidad de agua que no estén sujetos a la jurisdicción de la DOT.
- Los cilindros de menos de 200 lb (91 kg) de capacidad de agua o más.
- Los tanques de carga o tanques portables.
- Los recipientes ASME y API-ASME que cumplan con los puntos 5.2.1.1 o 5.2.4.2.
- Según el punto 7.4.3.2 de la NFPA 58 - Edición 2008, cuando es utilizado el método volumétrico de llenado, deberá ser de acuerdo con 7.4.3.2(A) hasta 7.4.3.2(C).
  - A. Si se utiliza un medidor fijo del nivel máximo de líquido (spitch) o un medidor variable del nivel de líquido (ejm. Rotagage) sin corrección por temperatura del volumen del líquido, el nivel de líquido indicado por estos medidores deberá calcularse basándose en el límite máximo de llenado permitido cuando el líquido está a 40 °F (4 °C) para recipientes sobre superficie o a 50 °F (10 °C) para recipientes subterráneos.
  - B. Cuando se utiliza un medidor variable del nivel de líquido y el volumen del líquido se corrige por temperatura, el nivel máximo de líquido permitido deberá cumplir con la Tabla 7.4.2.2 (a), la Tabla 7.4.2.3(b) y la Tabla 7.4.2.3(c).
  - C. Los recipientes ASME con una capacidad de agua de 1200 gal (4.54 m3) o menor llenados con el método volumétrico, deberán ser medidos de acuerdo con 7.4.3.2(A), utilizando el medidor fijo del nivel máximo de líquido, excepto que deberá eximirse de este requisito a los recipientes fabricados hasta el 31 de diciembre de 1965 inclusive.

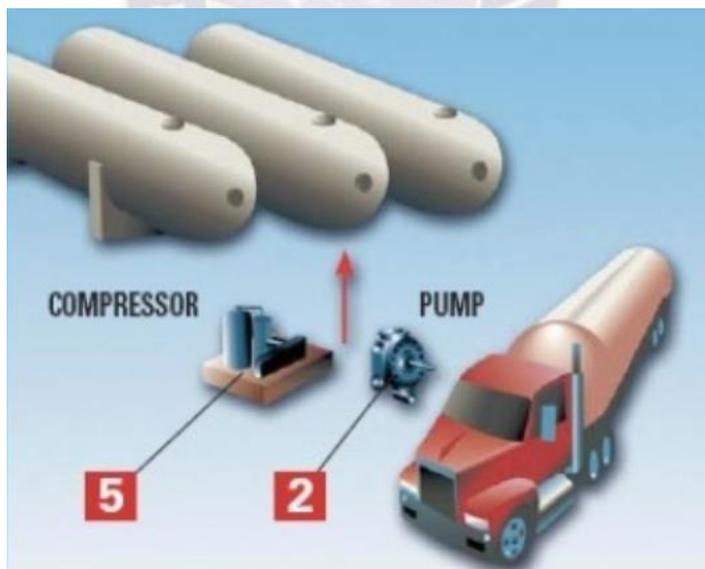
Según el punto 7.4.3.3 de la NFPA 58 - Edición 2008, cuando el recipiente sea llenado volumétricamente usando un medidor variable del nivel de líquido de acuerdo con 7.4.3.2(8), se deberá tomar la previsión para determinar la temperatura del líquido. (NFPA 58, 2004)

#### 2.4.2.2. *Operación de Extracción de Líquido y Vapor:*

**EXTRACCION DE LIQUIDO:** La extracción del GLP líquido del tanque se puede realizar mediante el uso de una bomba o un compresor para GLP como se indica en la **Figura 2.23**.

Las bombas y los compresores para GLP deben ser diseñadas, instaladas y mantenidas de tal forma que mantengan el líquido exclusivamente en las bombas y el vapor exclusivamente en los compresores. Esta tarea no resulta nada fácil al tratarse de GLP. Esto se debe a que el propano es almacenado y trasladado en su punto de ebullición. En este estado, cualquier energía térmica adicional que reciba el propano líquido causará la formación de vapor, y cualquier pérdida de energía que experimente el propano en forma de vapor ocasionará la condensación del vapor a líquido.

**Figura 2.23 Extracción del Líquido**



**Fuente:** (Osinermin, 2011)

**EXTRACCIÓN DE VAPOR:** La extracción de vapor de GLP de un recipiente reduce la presión contenida. Esto causa que el líquido “hierva” en un intento de restaurar la presión por medio de la generación de vapor para reemplazar aquel vapor que fue extraído. El "calor latente de vaporización” requerido es cedido por el líquido, lo que causa que la temperatura del líquido

baje como resultado del calor consumido. El calor perdido a causa de la vaporización del líquido es reemplazado por el calor del aire que rodea el recipiente. Este calor es transferido del aire al líquido por medio de la superficie metálica del recipiente. El área del recipiente en contacto con el vapor no se considera porque el calor absorbido por el vapor es insignificante. La parte de la superficie del recipiente que está bañada en este líquido se llama "la superficie mojada". Mientras más grande sea esta superficie mojada, es decir, mientras más líquido haya en el recipiente, más grande será la capacidad de vaporización del sistema. Si el líquido en el recipiente recibe el calor para la vaporización del aire exterior, mientras más alta sea la temperatura exterior, más alto será el índice de vaporización del sistema. Como ejemplo, en la **Tabla 2.4** adjunta se muestra como todo esto afecta el índice de vaporización de los cilindros de 100 libras. Nótese que las peores condiciones para la vaporización ocurren cuando el recipiente tiene poco líquido y la temperatura exterior es baja.

**Tabla 2.4 Índice de Vaporización**

Lbs. De propano en el cilindro	Máxima descarga continua en BTU por hora a varias temperaturas en grados °F				
	0°F	20°F	40°F	60°F	70°F
<b>100</b>	113,000	167,000	214,000	277,000	300,000
<b>90</b>	104,000	152,000	200,000	247,000	277,000
<b>80</b>	94,000	137,000	180,000	214,000	236,000
<b>70</b>	83,000	122,000	160,000	199,000	214,000
<b>60</b>	75,000	109,000	140,000	176,000	192,000
<b>50</b>	64,000	94,000	125,000	154,000	167,000
<b>40</b>	55,000	79,000	105,000	131,000	141,000
<b>30</b>	45,000	66,000	85,000	107,000	118,000
<b>20</b>	36,000	51,000	68,000	83,000	92,000
<b>10</b>	28,000	38,000	49,000	60,000	66,000

**Fuente:** (Osinermin, 2011)

### **2.4.3. Transferencia del GLP líquido:**

La transferencia del GLP líquido se realiza mediante el uso de una bomba o compresor para GLP.

#### **2.4.3.1. Bomba para GLP**

El factor más importante en el diseño e instalación de las bombas para GLP es el impedir que el propano líquido se transforme en vapor.

El vapor que ingresa en una bomba desplaza el líquido, lo cual disminuye el flujo del líquido a medida que la bomba saca líquido del tanque el espacio que ocupa el vapor crece, causando que la presión del tanque baje. Esto causa tiempo de descarga más largo, energía desperdiciada y un desgaste para la bomba.

Desafortunadamente, la ebullición ocurre en el fondo del tanque. Este es precisamente el punto en el cual existe la mayor probabilidad de que sea arrastrado hacia la línea de succión. Para mantener el arrastre de vapor a un nivel lo suficientemente bajo con el propósito de proteger la bomba, no se debe remover más del 2 al 3% del volumen del tanque por minuto. Para tanques enterrados la exigencia es aún más estricta: no se debe remover más del 1 al 2% del volumen del tanque por minuto. Esto también impedirá que se forme un remolino lo que incrementaría de manera significativa el arrastre de vapor.

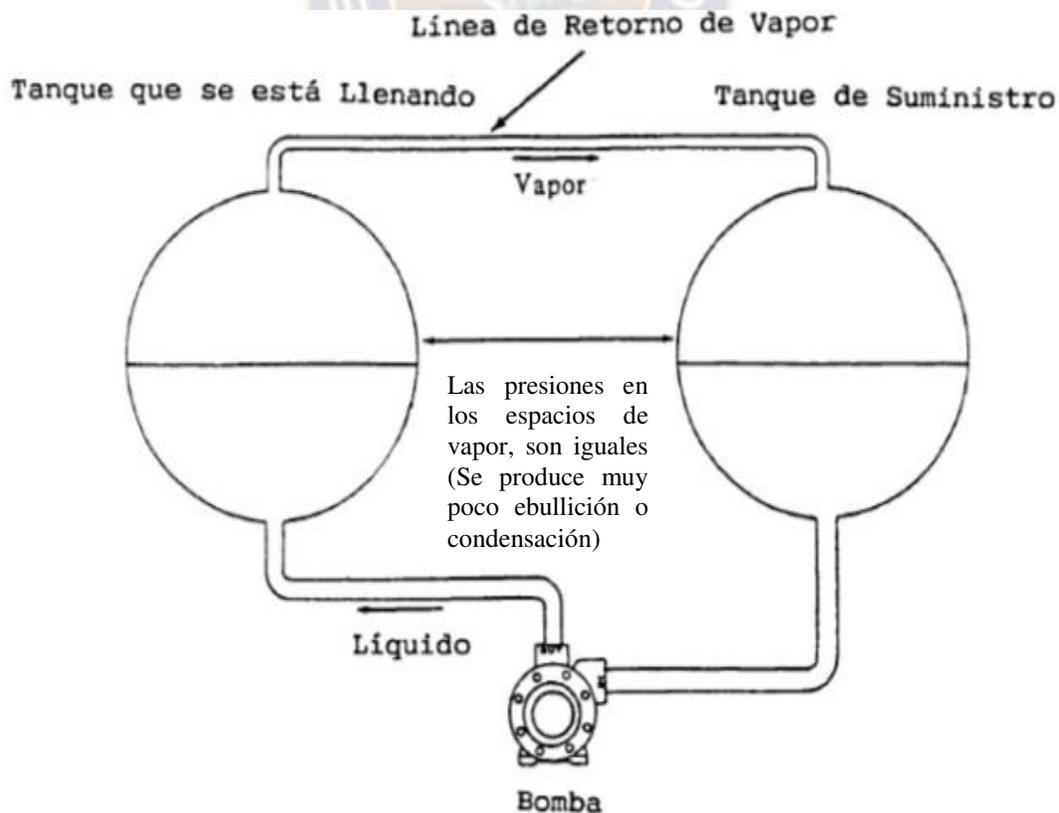
El mejor método para reducir al mínimo el arrastre de vapor en el tanque de abastecimiento es mediante una línea de retomo de vapor. La línea de retorno de vapor conecta el espacio del vapor en el tanque de abastecimiento con el espacio del vapor en el tanque que está siendo abastecido. A medida que se extrae líquido del tanque de abastecimiento no necesita hervir con el fin de mantener la presión del vapor. Ver **Figura 2.24** y **Figura 2.25**. Cuando se utiliza una

línea de retorno, parte del vapor que se encuentra en el tanque del usuario regresa al tanque del proveedor.

Debido a que la formación de vapor en la línea de succión no se puede eliminar de una manera económica, la industria de GLP se ha visto obligada a compensar los costos ocasionados por desgastes y avería en las bombas con los costos de instalación y operación. Por lo tanto, las bombas para GLP necesitan llenar dos requisitos importantes:

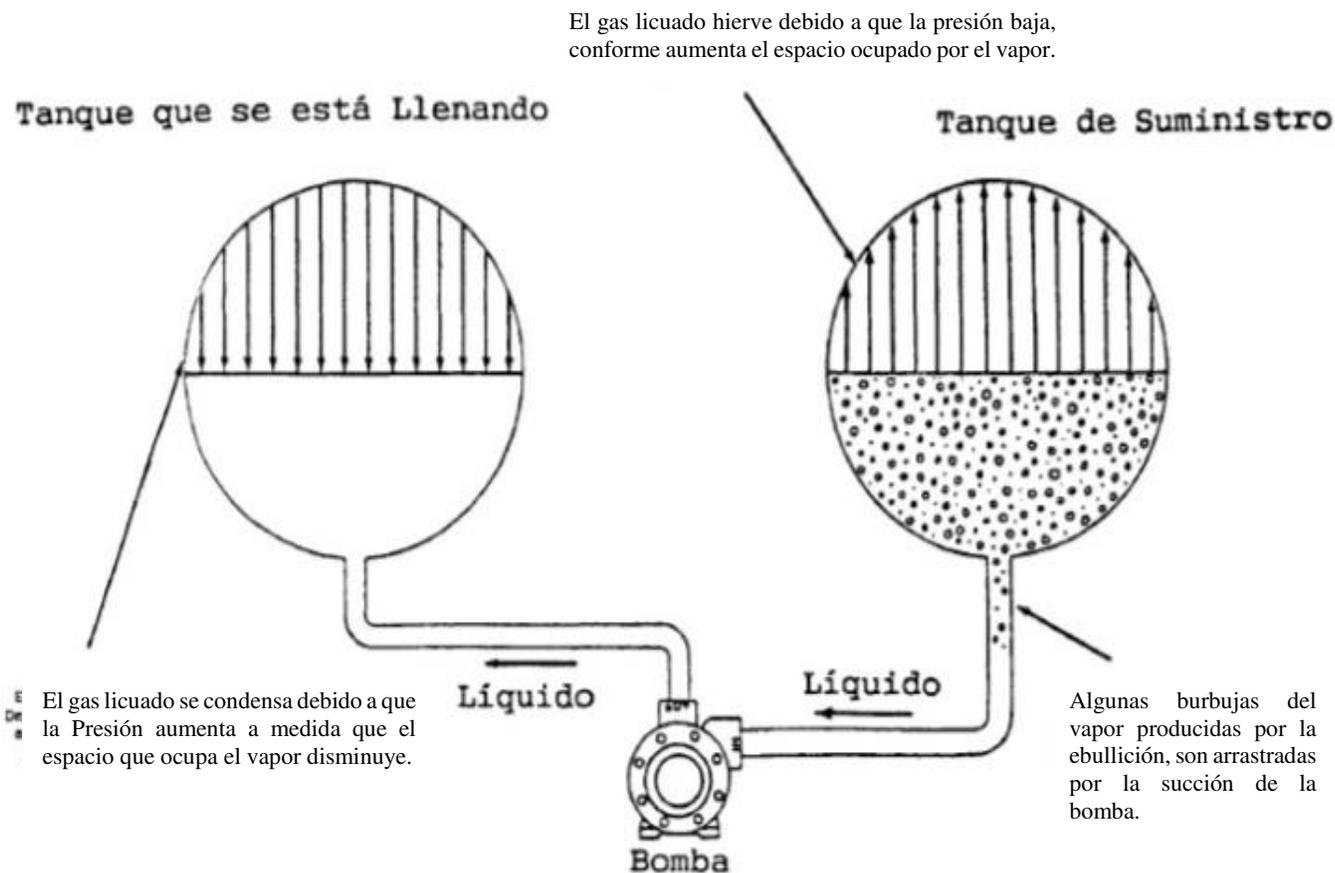
- La formación de vapor en el interior de la bomba no debe ser significativa comparada con el vapor formado en la línea de succión.
- La bomba debe ser capaz de operar de manera confiable a pesar de la presencia de cierta cantidad de vapor en el líquido.

**Figura 2.24 Sistema de Bombeo con Línea de Retorno de Vapor**



*Fuente:* (Osinergmin, 2011)

**Figura 2.25 Sistema de Bombeo sin línea de retorno de vapor**

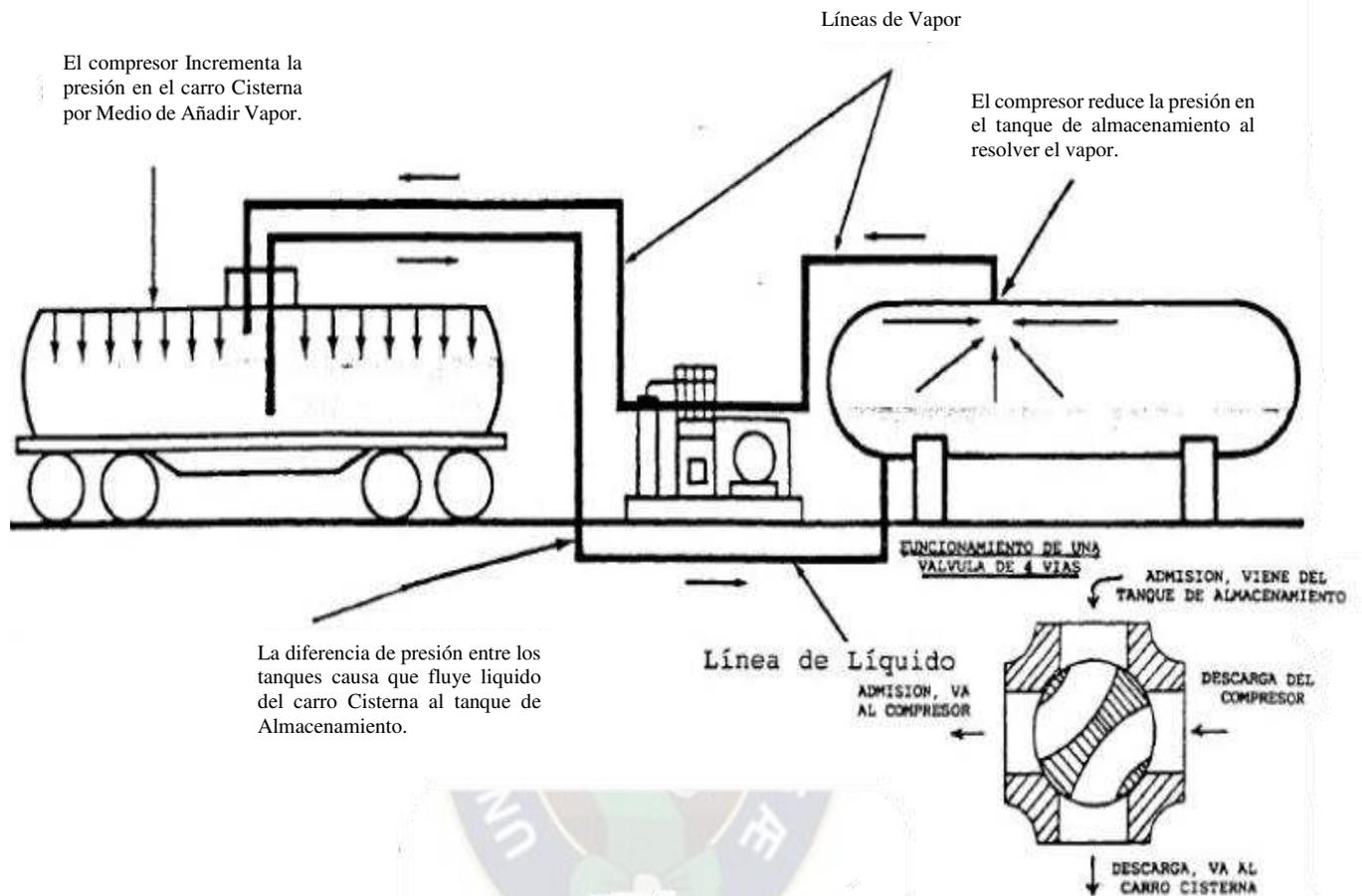


*Fuente:* (Osinergmin, 2011)

#### 2.4.3.2. Compresor para GLP

El método más flexible para bombear propano líquido es con un compresor, que es una diferencia de presión entre dos puntos. Podemos utilizar un compresor para crear una diferencia de presión entre los espacios de vapor de dos tanques. Si la sección de líquido de dichos tanques está conectada, la diferencia de presión ejercida por el vapor ocasionará que el líquido comience a fluir desde el tanque de alta presión hacia el de baja presión (Ver **Figura 2.26**).

**Figura 2.26. Transferencia del Líquido**



*Fuente:* (Osinermin, 2011)

El trasiego de líquidos mediante un compresor, es posible debido a que el mismo mueve el vapor más rápidamente que la evaporación y condensación que ocurren en el sistema. El flujo inducido es igual al volumen de gas descargado del compresor, si se escoge un compresor lo suficientemente grande como para que puedan obviarse los efectos de ebullición y condensación. El aumento de presión a través del compresor será igual a la disminución de presión debido a la fricción del líquido contra la tubería. Una caída de presión más alta, ocasiona una mayor condensación y ebullición, y disminuye el flujo, debido a que el volumen descargado por el compresor será menor.

La transferencia del GLP vapor hacia los puntos de consumo se realiza sin la necesidad de una bomba o un compresor, solo por efecto de la presión de vapor del GLP en el tanque, la cual es reducida mediante reguladores hasta la presión que necesita el aparato de consumo. Sin embargo, se utiliza vaporizadores en las actividades Industriales y Comerciales donde la demanda del GLP excede la capacidad de vaporización de los tanques de almacenamiento.

#### **2.4.4. Vaporizadores**

Un vaporizador es un intercambiador de calor que convierte el GLP líquido a vapor, tal como las calderas convierten en agua en vapor. Es decir, un vaporizador transfiere calor desde una fuente externa, tal como una llama o elemento eléctrico de calentamiento por resistencia a los líquidos de GLP a medida que pasa a través del vaporizador. El líquido entra en el vaporizador en un punto, y sale el vapor en otro punto. (Osinergmin, 2012) (ver **Figura 2.27**).

**Figura 2.27 Vaporizador**



**Fuente:** (PREMAC energy, 2020)

#### **2.4.5. Camión Cisterna**

Es un vehículo de motor que ha sido diseñado para transportar cargas líquidas o gases a través de las carreteras de forma segura. Transportar líquidos Agua, combustibles o productos químicos. Transportar gases licuados ya que ocupan menor volumen de esta manera, facilitando su transporte y aumentando la cantidad que puede ser transportada, siendo necesario aumentar la presión interior. (Jhosué Salazar, 2023)

##### **2.4.5.1. Tipos de camiones cisternas**

Cuando la palabra se utiliza sola, engloba los contenedores cisterna, las cisternas portátiles, las cisternas desmontables y las cisternas fijas, como se definen en esta sección:

###### **2.4.5.1.1. Cisterna fija**

Una cisterna de una capacidad superior a 1000 litros que está fijada sobre un vehículo (que se convierte así en un vehículo cisterna) o que forma parte integrante del chasis de tal vehículo. (Rodríguez, 2023) (ver **Figura 2.28**).

**Figura 2.28. Camión Cisterna**



*Fuente:* (Rodríguez, 2023)

#### **2.4.5.1.2. Cisterna desmontable**

Una cisterna con una capacidad superior a 450 litros, distinta de las cisternas fijas, las cisternas portátiles, y los contenedores cisterna y los elementos de vehículo batería o de CGEM, que no ha sido concebida para el transporte de mercancías sin operaciones intermedias de carga y descarga y que, normalmente, no puede manipularse más que cuando está vacía. (Rodríguez, 2023). Como se muestra en la **Figura 2.29**.

**Figura 2.29. Cisterna Desmontable**



*Fuente:* (Rodríguez, 2023)

#### **2.4.5.2. Identificación y etiquetado de la Cisternas de GLP**

En el transporte de Gas Licuado de Petróleo (GLP), la correcta identificación y etiquetado de las cisternas son fundamentales para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las normativas vigentes. La implementación de sistemas de etiquetado estandarizados permite una identificación rápida y clara de los riesgos asociados, facilitando así una respuesta adecuada en caso de emergencias. Esta sección detalla los diferentes métodos de señalización utilizados para el transporte de GLP, incluyendo el etiquetado con diamantes, el uso del panel naranja y los pictogramas de peligro.

### 2.4.5.2.1. Etiquetado con Diamantes

Todos los vehículos de carretera, de uso general, alimentados con Gas-LP se deben identificar con una etiqueta, resistente al clima, en forma de diamante. La etiqueta se debe localizar sobre una superficie vertical o cerca a vertical, en la parte inferior posterior derecha del vehículo (sobre la tapa del portamaletas del vehículo así equipado, pero no en el parachoques de ningún vehículo) mezclado con otras etiquetas. (NFPA 58, 2014)

El diamante de identificación de peligros es un sistema visual que ofrece información clara y concisa sobre los riesgos asociados a una sustancia o material. Este esquema facilita la rápida evaluación de los peligros potenciales en situaciones de emergencia o manejo diario. Un ejemplo representativo de este sistema se muestra en la **Figura 2.30**.

**Figura 2.30. Diamante de Identificación de riesgos**



**Fuente:** (NFPA 704, 2001)

El diamante de identificación de peligros es una herramienta clave en la señalización de materiales peligrosos, proporcionando una representación visual estandarizada de los riesgos asociados. La **Tabla 2.5** y **Tabla 2.6** a continuación detalla las dimensiones estándar de cada sección del diamante.

**Tabla 2.5. Dimensiones para Señales de Riesgo**

Tamaño Señales	W	A	B
1	0,7	2,5	1,25
2	1,4	5	2,5
3	2,1	7,5	3,75
4	2,8	10	5
5	4,2	15	7,5

\*Todas las dimensiones están en pulgadas  
W: Ancho de los números o letras; A: Rombo grande  
B: Rombo pequeño

Fuente. (NFPA 58, 2004)

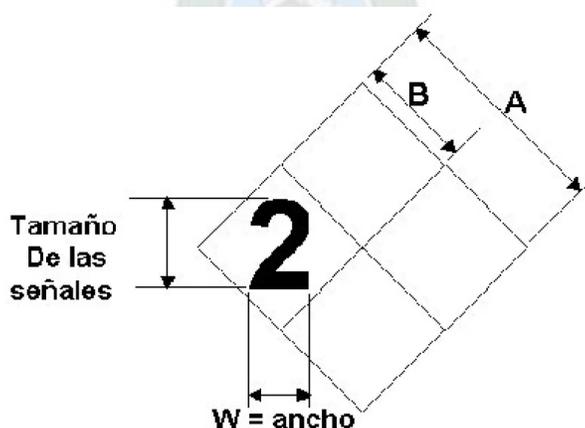
**Tabla 2.6. Distancias de Visibilidad y Tamaño Mínimo de Señales**

Distancias [pies]	Tamaño mínimo requerido [pulg]
50	1
75	2
100	3
200	4
300	6

Fuente: (NFPA 58, 2004)

Estas dimensiones deben seguirse estrictamente para asegurar la consistencia y la visibilidad en la señalización de las cisternas y otros vehículos de transporte de sustancias peligrosas, como se muestra en la **Figura 2.31**.

**Figura 2.31. Ejemplo de Pictograma de Peligro: Dimensiones y Componentes**

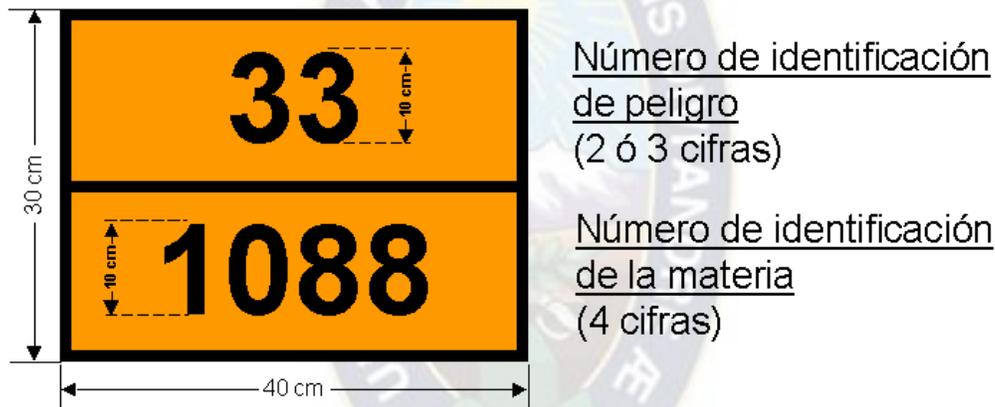


Fuente: (NFPA 58, 2004)

#### 2.4.5.2.2. *Panel Naranja*

Se emplean para señalar los vehículos en todos los transportes de mercancías peligrosas, Por tanto, su principal utilidad es identificar la mercancía transportada, así como el peligro que podría representar, en caso de accidente. Deben ser de color naranja, reflectantes y con un reborde negro. Sus dimensiones habituales son de 30 x 40 cm. Estos paneles naranjas deberán ir provistos de números de identificación, de color negro, prescritos para cada materia, cuyo significado se describe a continuación. (A.D.R., 2007). (ver **Figura 2.32**).

**Figura 2.32. Panel Naranja**



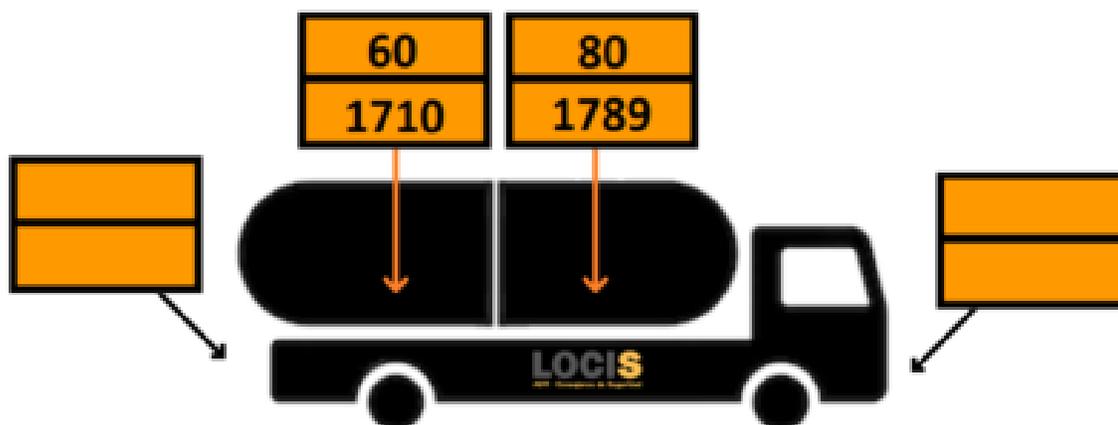
**Fuente:** (LOCIS - ADR, 2022)

En los vehículos caja que porten bultos con mercancías peligrosas y en cisternas con capacidad inferior a 3.000 L, no es obligatorio la presencia de números en los paneles.

Normalmente van colocados en las partes delantera y trasera de los vehículos, pero en los vehículos cisterna, aquellos que transporten contenedores cisterna y los vehículos o contenedores que transporten mercancías peligrosas a granel, deberán igualmente llevar los paneles naranjas en cada lado de la cisterna, los compartimentos de las cisternas o de los vehículos/contenedores para mercancías a granel.

A continuación, se presenta esquemáticamente la forma de colocar los paneles naranjas en los vehículos según diferentes tipos de acuerdo a la **Figura 2.33**.

**Figura 2.33. Cisterna que transporta gasóleo y gasolina**



*Fuente:* (LOCIS - ADR, 2022)

#### 2.4.5.2.2.1. Número de identificación del peligro

Como se ha indicado antes, el número de identificación de peligro es un conjunto de dos o tres cifras, acompañado a veces de la letra X y representa el tipo de peligro intrínseco a la materia que se transporta. De acuerdo a la **Tabla 2.7**. El primer número del conjunto indica, en general, los peligros siguientes:

**Tabla 2.7. Clasificación de Peligros por Número de Identificación**

Número de Identificación	Tipo de peligro
2	Emanación de gas resultante de presión o de una reacción química
3	Inflamabilidad de materias líquidas (vapores) y gases o materia líquida susceptible de autocalentamiento
4	Inflamabilidad de materias sólidas o materias sólidas susceptibles de autocalentamiento
5	Comburente (favorece el incendio)
6	Toxicidad o peligro de infección
7	Radiactividad
8	Corrosividad
9	Peligro de reacción violenta espontánea (*)
* Comprende la posibilidad, de acuerdo con la naturaleza de la materia, de un peligro de explosión, de descomposición o de una reacción de polimerización debida a un desprendimiento de calor considerable o de gases inflamables y/o tóxicos.	

*Fuente:* (A.D.R., 2007)

Por otra parte, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones en cuanto a su significado:

- Cuando la cifra figura dos veces es señal de intensificación del peligro que conlleva.
- Cuando el peligro de una materia puede ser indicado suficientemente con una sola cifra, ésta se completará con un cero en segunda posición.
- Las combinaciones de las siguientes cifras tienen sin embargo un significado especial: 22, 323, 333, 362, 382, 423, 44, 446, 482, 539, 606, 623, 642, 823, 842, y 99 (Ver en la lista, *Anexo I*)
- Cuando la letra X precede al número de identificación, indica que la sustancia reacciona de manera peligrosa con el agua. Para tales materias, no se podrá utilizar el agua más que con la autorización de los expertos.

#### **2.4.5.2.2.2. Número ONU**

Consiste en un conjunto de cuatro cifras que representan la identificación de la materia de que se trate. Este número se adoptó por parte del Comité de Expertos de la ONU en sus recomendaciones para el Transporte de Mercancías peligrosas, más conocido como Libro Naranja.

Se presenta un listado de materia, ordenadas por orden alfabético con inclusión de su número ONU, para su correcta identificación. Este número de 4 cifras asignado oficialmente a cada producto figura en todas las reglamentaciones nacionales e internacionales sobre transporte de mercancías peligrosas, ya sea por carretera, ferrocarril, vía aérea, transporte marítimo y vía navegable interior. Se encuentran en el *Anexo 5*.

#### **2.4.5.2.3. Placa DOT**

La placa DOT es una etiqueta obligatoria para todas las cisternas que transportan materiales peligrosos, incluyendo el GLP. Su propósito principal es proporcionar información crucial sobre el contenido de la cisterna, los riesgos asociados y las acciones a seguir en caso de una

emergencia. Las placas son realmente un rombo y todas ellas contienen un símbolo, uno o dos colores y un número, y algunas tienen texto (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

La normativa aplicable se encuentra bajo las regulaciones del Código de Regulaciones Federales (CFR) del Departamento de Transporte de los Estados Unidos. En la **Figura 2.34**, se presenta un ejemplo de la placa de identificación DOT, junto con su significado principal.

**Figura 2.34. Placa de identificación DOT**

*Símbolo representativo de la Clase de Riesgo*

*Numero con la clase de Riesgo*

*La anterior es un ejemplo de una placa DOT, que representa en elemento de la Clasificación 2 de Naciones Unidas, correspondiente a los gases.*



**Fuente:** (E&T Rescue S.A.S, 2016)

## 2.5. Referencias normativas Normas de referencia

Las siguientes normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta norma

Normas técnicas Nacionales

- |   |   |  |
|---|---|--|
| 1 | Bolivia: Decreto Supremo N.º 24721, 23 de julio de 1997   | Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP).   |
| 2 | Ley N° 3058, de 17 de mayo de 2005, Ley de Hidrocarburos. | Ley fundamental que establece la continuidad y el abastecimiento de los hidrocarburos y los servicios de transporte y distribución, de manera permanente e ininterrumpida. |
| 3 | Resolución administrativa RAR-ANH-UGLR N° 0,519/2016      | Informe técnico y legal remitido por la Agencia Nacional de Hidrocarburos  |

- ANH indicando que se establece la continuidad del abastecimiento de hidrocarburos a YPFB.
- 4 Resolución administrativa RAN-ANH-UN N° 0023/2015  
Reglamento establece condiciones técnicas y operativas y de seguridad que deben cumplir los distribuidores de GLP.
  - 5 Reglamento para la distribución de GLP a granel RAR-ANH-UN N° 14/2017  
Procedimiento Técnico para el cálculo de volumen de gas licuado de petróleo (GLP) en tanques presurizados estacionarios.
  - 6 Reglamento para el transporte de carburantes a través de unidades de transporte y tanques cisterna RAR-ANH-UN N° 0024/2016  
Reglamento tiene por objetivo regular la actividad del servicio de transporte de carburantes a través de unidades de transporte y tanques cisterna mediante su ingreso y autorización.
  - 7 Instituto Boliviano de Normalización y calidad IBNORCA Norma Boliviana NB 85001  
Establecer las bases y condiciones técnicas que debe cumplir el diseño y construcción de camiones cisterna para transporte de GLP a granel por vía terrestre

#### Normas técnicas Internacionales

- 1 ASTM – IP D1250-80  
American Society for Testing Materials, Institute of Petroleum.
- 2 ASTM D1835 -16  
Standard Specification for Liquefied Petroleum (LP) Gases. Características que debe cumplir el GLP.
- 3 INTERNATIONAL STANDARD ISO 13443, 1<sup>ra</sup> Edición  
Gas Natural - Condiciones de referencia estándar de presión y temperatura para la medición y cálculo del gas natural y fluidos similares.
- 4 NFPA 58  
Norma para el almacenamiento y Manejo de Gases Licuados de petróleo. Edición 1995.

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 5 | NFPA 704  | Asociación Nacional de Protección contra el fuego. Es el código que explica el "Diamante de materiales peligrosos".                                   |
| 6 | Norma técnica peruana NTP 321.123: 2012, 3 <sup>ra</sup> edición  | GAS LICUADO DE PETROLEO Instalaciones para consumidores Directos y redes de Distribución.   |
| 7 | Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.21:19               | Especificar las características físico químicas que debe cumplir el Gas Licuado de Petróleo (GLP): Propano Comercial, Butano Comercial y sus mezclas. |
| 8 | A.D.R., 2007  | Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera).  |
| 9 | ISO (Organización Internacional de Normalización) ISO 45001, 2018 | Este documento especifica requisitos para un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo.  |



“LAS PEQUEÑAS ACCIONES  
DIARIAS CONSTRUYEN LOS  
CAMINOS HACIA EL  
ÉXITO.”

Confucio.



**CAPÍTULO 3**

**DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE  
COMERCIALIZACIÓN DE GLP A  
GRANEL**

## CAPITULO 3

### DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DE GLP A GRANEL

#### 3.1 Antecedentes de la Unidad de Comercialización de GLP a granel

El 6 de diciembre de 2016 la ANH autorizo a la empresa FLAMAGAS S.A. el cese de todas sus operaciones en las actividades de engarrafado de GLP, distribución de GLP a granel e instalación de redes de GLP. En ese marco mediante nota YPFB/PRS/GLC-1126 ULGD-124/2016 de 07 de diciembre de 2016, YPFB comunica a la ANH que dicha empresa estatal está procediendo con la absorción de las actividades hidrocarburíferas de la empresa FLAMAGAS S.A. (RAR-ANH-ULGR N°0519, 2016).

El 12 de diciembre del 2016 inicia operaciones la Unidad de Operaciones y Comercialización de GLP – Granel (UGLP) en los Distritos Comerciales de Santa Cruz, Cochabamba y La Paz.

La UGLP dependiente de la Dirección de Comercialización (DCOM) perteneciente a la Gerencia de Comercialización (GCOM) de YPFB en la que se desarrolla la propuesta de Optimización para el proceso de distribución del Gas Licuado de Petróleo a Granel (GLP a Granel) a clientes residenciales, comerciales, e industriales, la unidad utiliza un vehiculo cisterna de una capacidad de 7000 KG, para el despacho del combustible a clientes directos de la empresa.

##### 3.1.1 Misión

“Operar y desarrollar la cadena de hidrocarburos, garantizando el abastecimiento del mercado interno, el cumplimiento de los contratos de exportación y la apertura de nuevos mercados, generando el mayor valor para beneficio de los bolivianos”. (YPFB, s.f.)

### 3.1.2 *Visión*

“Corporación estatal de hidrocarburos, pilar fundamental del desarrollo de Bolivia, reconocida como un modelo de gestión eficiente, rentable y transparente, con responsabilidad social y ambiental y presencia internacional”. (YPFB, s.f.)

### 3.2 **Situación Organizacional y Estructural de la UGLP**

La unidad UGLP - LPZ cuenta con procesos administrativos, de liquidación, procesos operativos primarios y procesos de apoyo o secundarios, cuyo propósito conjunto es hacer posible el almacenamiento, venta, y distribución de GLP a granel.

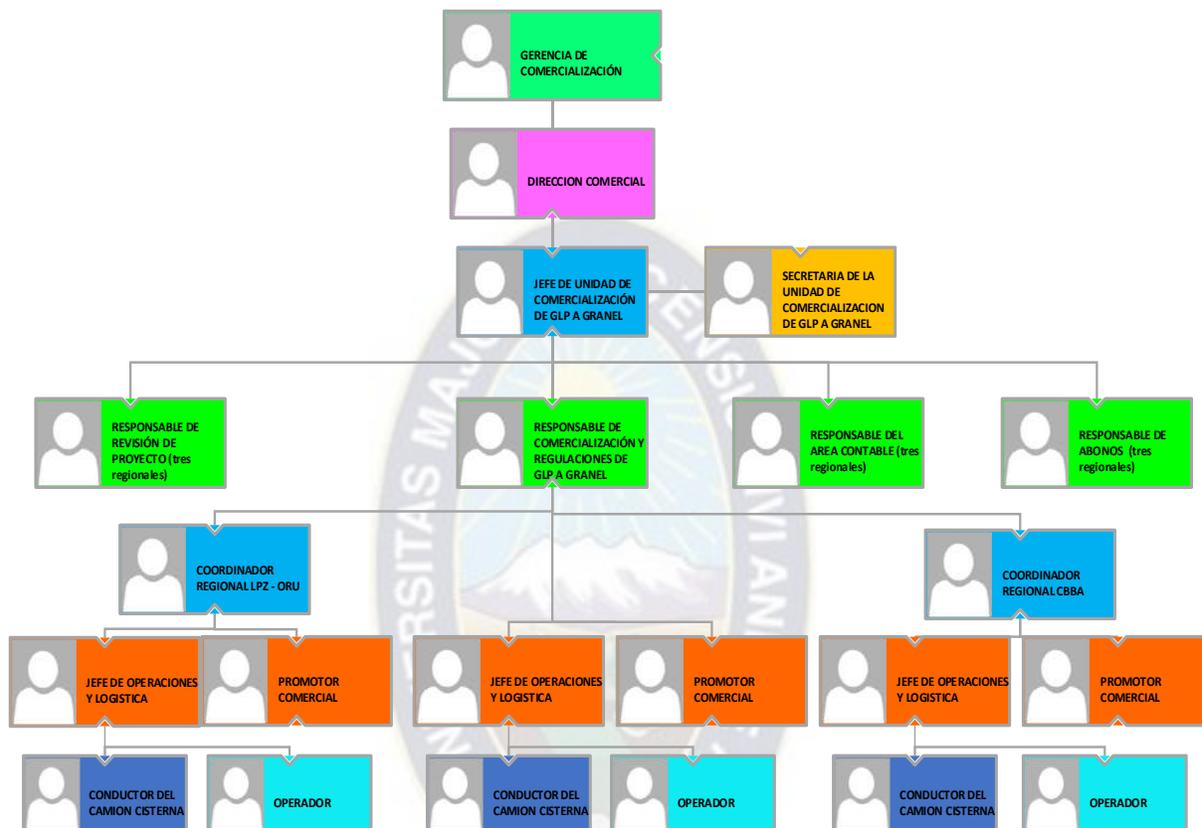
Por ello su cadena de valor está centrada específicamente en los procesos de “Abastecimiento” y “Ventas”. Los procesos de apoyo que facilitan el desempeño de los anteriores son los departamentos de: “Gerente de Administración y Finanzas Corporativa (GAFC)”, “Gerencia de Talento Humano Corporativo (GTHC)”, “Director de Comunicación Corporativa”, “Área Legal”, y “Gerente de Tecnologías de la Información Corporativa (GTIC)”.

Tanto los procesos primarios como los de apoyo se encuentran bajo la supervisión de los procesos directivos: “Gerencia Comercial” y “Dirección Comercial”; recordando que continuamente la ANH, la cual realiza inspecciones para verificar el cumplimiento de los requisitos técnico-legales, que incluyen la correcta distribución e instalación del GLP comprado para uso doméstico, comercial e industrial respectivamente, restringidos únicamente para dicho sector de clientes, entre otras regulaciones.

Como punto de partida para la elaboración del presente organigrama, se tomó como referencia la estructura organizacional general de YPFB, la cual se encuentra detallada en el **Anexo 4**. Sin embargo, considerando las particularidades de la Unidad de Gas Licuado de Petróleo (UGLP) y los objetivos estratégicos de la misma, se realizaron modificaciones sustanciales para optimizar

los procesos y mejorar la eficiencia. El resultado de este proceso de adaptación se presenta a continuación.

**Gráfico 3.1. Organigrama de la Unidad de Gas Licuado de Petróleo (UGLP)**



**Fuente:** Elaboración propia basada en datos de la Unidad de Gas Licuado de Petróleo (UGLP). Modificado y adaptado para reflejar la estructura organizacional actual de la unidad. Creado con Microsoft Visio.

La Unidad de Gas Licuado de Petróleo (UGLP) ha adoptado una estructura organizacional regionalizada para optimizar la atención al cliente y la eficiencia operativa. La unidad se divide en tres regiones principales: La Paz, Santa Cruz y Cochabamba. El coordinador regional de La Paz es responsable de supervisar las operaciones en ambas regiones, La Paz y Oruro.

Como se muestra en el **Gráfico 3.1**, la UGLP Regional La Paz cuenta con una estructura organizacional ágil y eficiente. Además, la clara definición de roles y responsabilidades dentro de la UGLP facilita la coordinación entre los diferentes equipos y optimiza los procesos

operativos. La UGLP Regional La Paz, en particular, cuenta con un equipo de 7 personas altamente capacitado, compuesto por 2 colaboradores administrativos que gestionan las tareas de oficina y 5 colaboradores operativos que se encargan directamente de atender las necesidades de los clientes debido a que se trabajan en dos turnos debido a que existe dos conductores y dos operadores. Dado que el proyecto se enfoca exclusivamente en los clientes de la UGLP Regional La Paz.

### **3.3 Descripción de los Procesos Operativos Primarios**

#### **Área Comercial**

Tiene a su cargo la facturación del GLP a granel vendido, de acuerdo a los requerimientos de despacho que se tenga mediante programaciones diarias “pedido” como la hora de entrega, y cantidad a despachar, para lo cual manejan la información de la BASE DE DATOS de clientes actualizado que se tiene en la unidad para ver si su capacidad permite poder agendar ese pedido o si es necesario solicitar apoyo de otra regional como la UGLP – CBBA o la UGLP – SCZ pedir un abastecimiento de urgencia para no cortar el suministro a los clientes según los niveles requeridos.

#### **Área de Operaciones**

Es el sector que más espacio abarca de la Unidad UGLP, queda ubicado en el distrito comercial La Paz, en la Planta engarrafadora de Senkata es aquí donde se encuentran todos los cilindros de GLP existentes que todavía no han sido arrendados junto con los vaporizadores los operadores son los encargados de todo el stock existente en la unidad UGLP, revisando periódicamente los mismos, además son los responsables de tener las áreas de carga y descarga en la condiciones correspondientes para hacer efectivo la operación.

Poseen un registro el cual sirve para registrar los saldos de GLP que se tienen y la cantidad de combustible que se descarga de la planta, y así poder realizar los inyectos en los distintos puntos según la programación diaria que se realiza con aprobación del coordinador regional de La Paz – Oruro y el Técnico de logística. en este sector se desempeñan 2 personas en las distintas áreas de operación.

### **Área de Transporte**

Este es el eje principal de la UGLP ya que es el que brinda el servicio y entrega el GLP a granel directamente al cliente, convirtiéndose de esta manera en la cara de la empresa ante su segmento de mercado satisfecho, YPFB como empresa líder en el suministro y distribución al consumidor final.

La unidad UGLP cuenta para el funcionamiento con 1 camión cisterna equipado y certificado por IBMETRO (Instituto Boliviano de Metrología) Todos los camiones cisternas deben contar con su Certificado de inspección o Prueba Hidráulica validadas por IBNORCA (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad) o IBMETRO (Instituto Boliviano de Metrología) y vigentes a la fecha de inicio del servicio, los mismo fueron renovados el pasado año 2023 vigentes a la fecha. 1 camión cisterna Walker 17220 de 7 TN, sería una TARA máxima de 7.000 kg.

#### **3.4 Instalaciones de la Unidad de Comercialización de GLP a granel UGLP - LPZ**

La unidad de comercialización de GLP a granel UGLP posee dos instalaciones el primero pertenece al área comercial la cual queda ubicado en la calle Bueno N°185 Zona central de la ciudad de La Paz en sus instalaciones cuenta con un módulo de seguridad que controla y registra todo el acceso, contando así mismo con cámaras de seguridad y vigilancia las 24 horas del día.

(ver **Figura 3.1**)

**Figura 3.1. Ubicación de la oficina central de la UGLP LA PAZ**



**Fuente:** Elaboración Propia en base a imagen del Google Earth

La unidad de comercialización de GLP a granel posee distintos puntos en la región urbana de nuestra ciudad como clientes la mayoría se encuentra en la zona sur de la ciudad de La Paz, funcionan como puntos de distribución y así mismo a lo largo de los departamentos de La Paz y Oruro, ver **Figura 3.2** donde abarcan distintos puntos de distribución los mismos son:

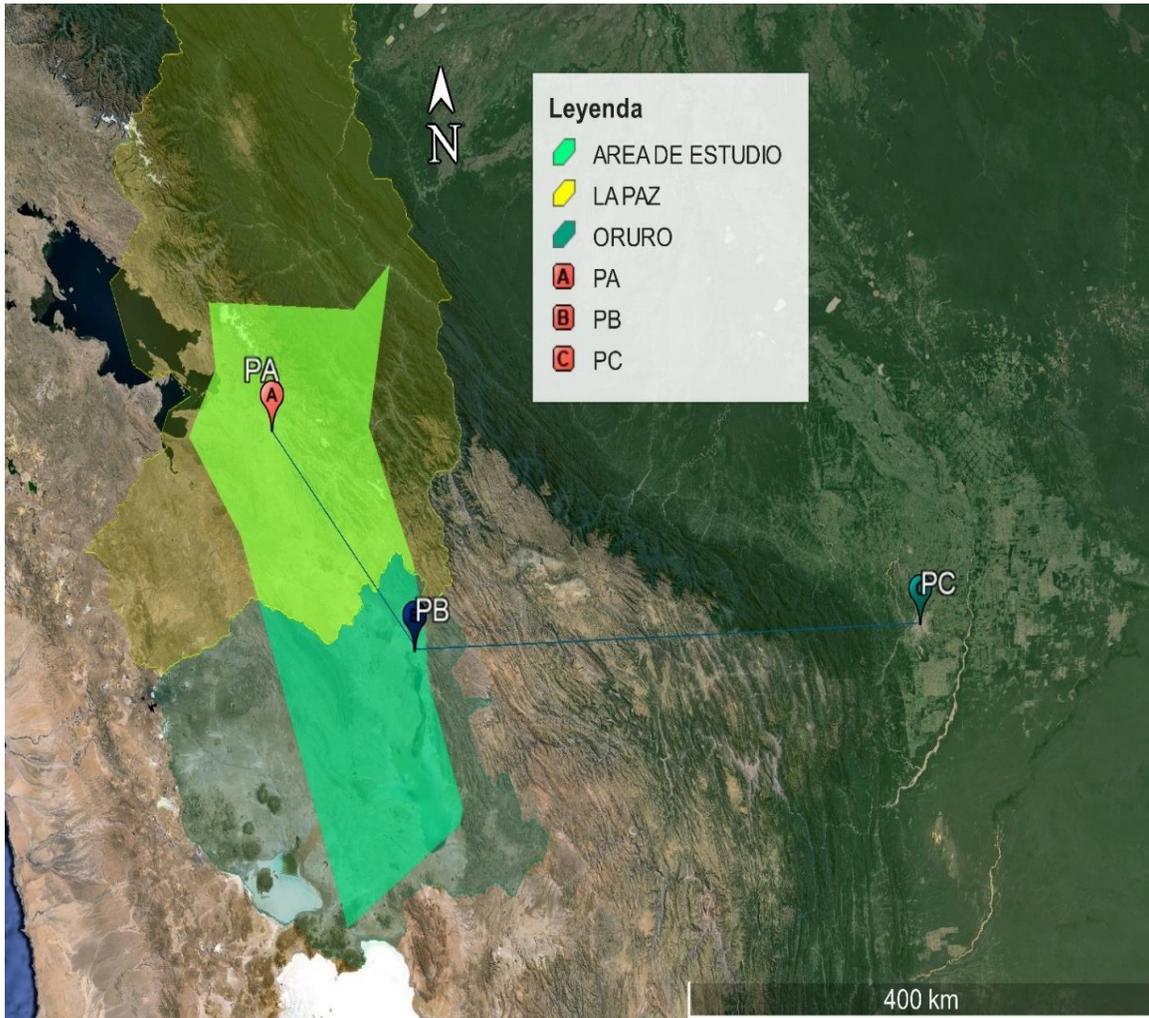
La Paz:

- ❖ Los Andes
- ❖ Murillo
- ❖ Ingavi
- ❖ Omasuyos

Oruro:

- ❖ Larecaja
- ❖ Inquisivi
- ❖ Caranavi
- ❖ Sud Yungas
- ❖ Cercado
- ❖ Avaroa
- ❖ Sebastián Pagador
- ❖ Ladislao Cabrera
- ❖ Pantaleón Dalence

**Figura 3.2. Mapa de distribución de clientes**



**Fuente:** Elaboración Propia en base a datos UGLP imagen del Google Earth

### 3.5 Segmento de Clientes de la Unidad de GLP a granel

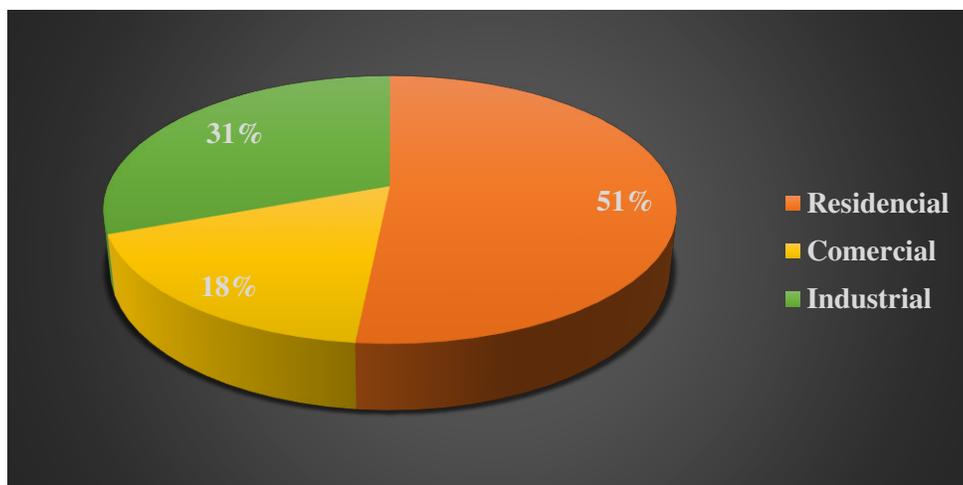
La **Tabla 3.1** clasifica a los clientes de GLP a granel en tres segmentos principales. Para visualizar la proporción de cada segmento dentro del total de clientes, se presenta el **Gráfico 3.2**. Este gráfico circular muestra que el segmento residencial representa la mayor proporción de clientes, seguido del segmento Industrial y, por último, el segmento Comercial. Esta información es fundamental para comprender la estructura del mercado y diseñar estrategias comerciales específicas para cada segmento.

**Tabla 3.1. Segmentos de Clientes**

N°	CATEGORIA DE CLIENTES	CANTIDAD
1	Residencial	63
2	Comercial	23
3	Industrial	38
<b>TOTAL</b>		124

**Fuente:** (Datos Recopilados de la UGLP, 2023)

**Gráfico 3.2. Porcentaje de Clientes Presentes en la Regional LPZ**



**Fuente:** (Datos Recopilados de la UGLP, 2023)

### 3.5.1 Comercial

El propano y el butano se utilizan tanto en la restauración como fuente de energía para alimentar cocinas y planchas de los restaurantes, bares y cafeterías, etc. Como en la hostelería, como energía para el funcionamiento de los equipos de producción de agua caliente centralizada en los hoteles, así como para los aparatos (cocinas, neveras, encimeras, etc.) instalados en cocinas de dichos establecimientos. (Ver **Figura 3.3**)

**Figura 3.3. Tanque instalado de 7 m<sup>3</sup> en HOTEL SALQUIS CLIENTE DE YPFB**



**Fuente:** (UGLP, s.f)

### **3.5.2 Industrial**

A nivel industrial el uso del GLP, constituye un valor añadido, no solo por ser una energía limpia y económica, sino también por su flexibilidad y por ser una alternativa manejable (envases, depósitos o canalización). El sector es el que requiere mayores volúmenes de GLP, hasta 20 metros cúbicos cuya energía es requerida para el funcionamiento de hornos de fundición, generadores de energía eléctrica, entre otros. (Ver **Figura 3.4**) Se aplica en:

- Manufacturas de vidrio, cerámica, ladrillos y bloques.
- Producción de perfiles de aluminio.
- Acabados de superficies.
- Soldadura, fundición y proceso de metales.
- Plantas desalinizadoras de agua.
- Secado, fijado y remoción de pintura.
- Alimentación, elaboración de pinturas
- Asfaltadoras

**Figura 3.4. Industria Alimentaria EBA SORACACHI**

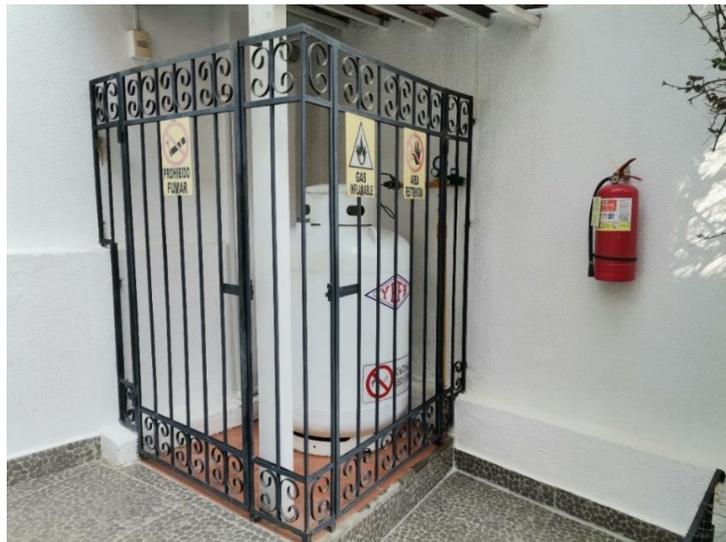


**Fuente:** (UGLP, s.f)

### **3.5.3 Residencial**

Los condominios y casas necesitan una fuente de energía fiable, cuyo volumen de los tanques estacionarios es de 0,5 metros cúbicos como se muestra en la **Figura 3.5** para numerosas aplicaciones, como calefacción central, producción de agua caliente, climatización de piscinas o aire acondicionado.

**Figura 3.5. Instalación Domiciliaria Tanque de 0,5 M<sup>3</sup>**



**Fuente:** (UGLP, s.f)

### 3.6 Actividad económica

Siendo el GLP un producto cuyos precios para la venta al público lo establece el Estado, se tiene que la unidad de comercialización de GLP a granel (UGLP) tiene establecido los siguientes precios por la operación de comercialización y distribución de GLP a clientes finales. Por lo tanto, la UGLP tiene establecido la siguiente tarifa de precios.

#### 3.6.1 Precio del Suministro

El precio del Gas Licuado de Petróleo (GLP) destinado al mercado interno está regulado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), asegurando estabilidad en el costo para los consumidores finales. Actualmente, el precio establecido es de Bs. 2,25 (Dos con 25/100 bolivianos) por kilogramo del GLP, con IVA de GLP. Precio fijado, de acuerdo a los precios establecidos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos de acuerdo a Ley.

#### 3.6.2 Precio del Transporte

En el caso de transporte se toma en cuenta la distancia desde la UGLP hasta la ubicación del consumidor para el traslado del GLP. El precio es establecido de acuerdo a las políticas de la empresa según la siguiente **Tabla 3.2**.

**Tabla 3.2. Tarifas de Transporte de GLP a granel**

<b>Grupo</b>	<b>Rango – Distancia [Km]</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor LPZ</b>
<b>1er Bloque</b>	Urbano	Bs/kg	0,51
<b>2do Bloque</b>	21 a 50	Bs/kg	0,55
<b>3er Bloque</b>	51 a 100	Bs/kg	0,60
<b>4to Bloque</b>	101 a 200	Bs/kg	0,69
<b>5to Bloque</b>	201 a 300	Bs/kg	0,82

*Notas: Grupo Especiales fuera del eje central, rutas de difícil acceso o necesidad de servicio de transporte terciarizado. En cuyos casos se evaluara individualmente.*

**Fuente:** (UGLP, s.f)

### 3.6.3 Garantía

Así también se realiza un pago de garantía solamente en caso de que el cliente elija la modalidad de Post pago (Crédito) hasta el cumplimiento de contrato. Los detalles de este pago, como el monto y la forma de pago, se encuentran especificados en la **Tabla 3.3**. Este paso es fundamental para garantizar el cumplimiento de las obligaciones contractuales por parte del cliente."

**Tabla 3.3. Tarifa de Precios de los Tanques Estacionarios**

N°	Capacidad [M <sup>3</sup> ]	Alquiler [Bs./Mes]	Garantía en [Bs.]	Valor de reposición de tanque en [Bs.]
1	0,5	50	630	5.854,80
2	1	115	1.260	11.709,60
3	2	190	2.520	20.073,60
4	4	400	5.040	24.534,40
5	7	710	8.820	36.244,00

**Fuente:** (UGLP, s.f)

### 3.6.4 Arrendamientos de Tanques y Vaporizadores

El cliente alquila los tanques y vaporizadores según la capacidad que le corresponde de acuerdo a la evaluación técnica realizada por el personal de la UGLP. Los detalles de este servicio se presentan en la **Tabla 3.4**.

**Tabla 3.4. Tarifa actual de Equipos**

N°	Detalle	Capacidad [M <sup>3</sup> ]	Arrendamiento [Bs/Mes]
1	Vaporizador GLP	160 kg/Hr	700,00
2	Vaporizador GLP	240 kg/Hr	1.000,00

**Fuente:** (UGLP, s.f)

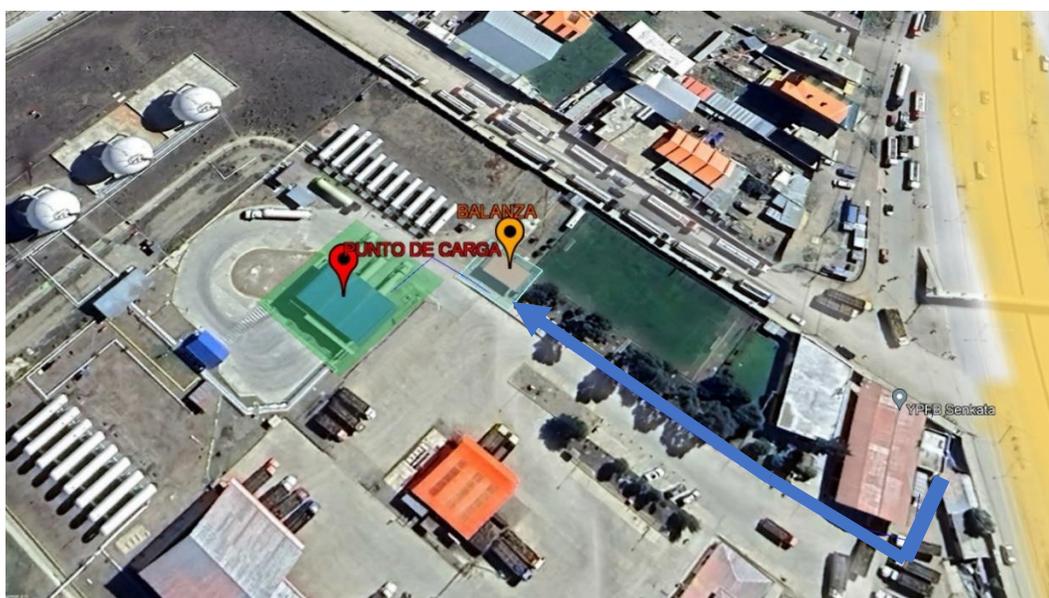
La operación de distribución en la unidad UGLP es solo mediante vehículos transportistas de GLP como ser camiones cisternas, que realizan el cargado en plantas específicas para posterior

suministro a los clientes mediante programaciones diarias es todo un proceso operativo-administrativa, toda la operación de llenado de las cisternas, logística de entrega, logística inversa, mantenimiento, etc.

### **3.6.5 Abastecimiento de GLP a granel por parte de la UGLP.**

Para el abastecimiento de GLP a granel, la UGLP dispone del aprovisionamiento de GLP por camiones cisterna, el centro de carguío del camión cisterna se encuentra ubicado en la planta engarrafadora de Senkata y se encuentra a cargo del Distrito Comercial La Paz DCLP, el camión abastecedor trae consigo un aproximado de 7.000 kilos de GLP en cada viaje que realiza según la programación diaria que se establece en coordinación con el personal operativo y el personal comercial llegando a realizar dos aprovisionamientos de GLP a granel por día para abastecer hasta 14 veces en un día cuando hay mayor demanda, el abastecimiento viene única y exclusivamente desde planta engarrafadora de SENKATA ubicada en El Alto Senkata, ver **Figura 3.6** es aquí donde el realiza la carga del cisterna para la distribución a los clientes de la UGLP – LPZ.

**Figura 3.6. Ubicación de Punto de carga.**



**Fuente** Elaboración Propia en base a imagen del Google Earth

### 3.7 Comercialización GLP a granel por la UGLP La Paz

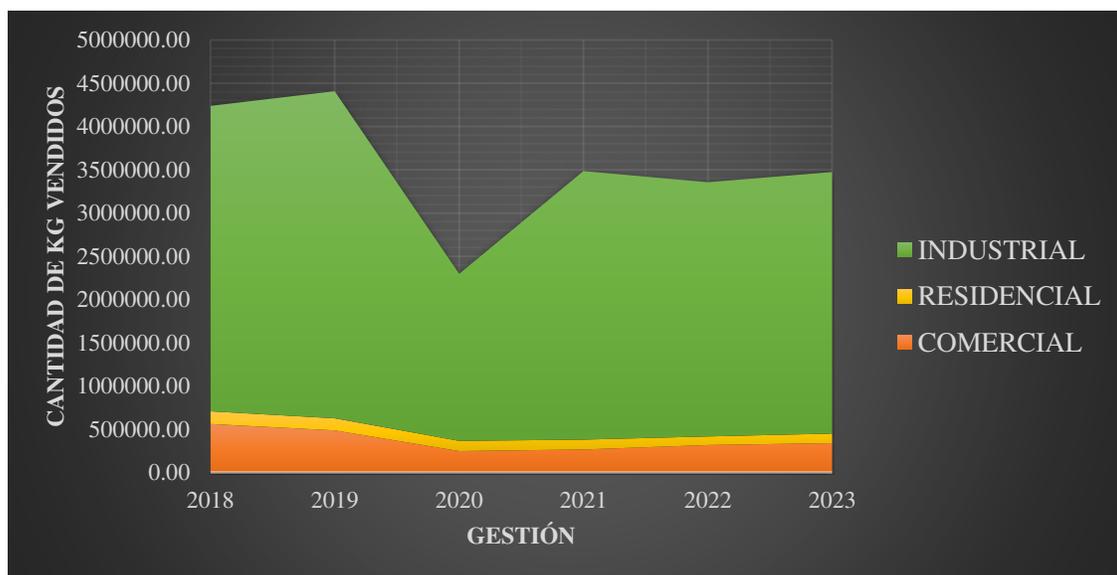
Teniendo en cuenta nuevamente que los únicos tipos de clientes que posee la UGLP en La Paz es “GLP a granel”, que van orientados principalmente a residenciales, comerciales e industriales, la UGLP ha clasificado como: “GLP Residencial”, “GLP Comercial” y “GLP Industrial, que esencialmente varían en el precio final de venta hacia los clientes.

El servicio de comercialización brindado a los clientes cubre las actividades de adquisición, almacenamiento, traslado, venta, operaciones de descarga a las instalaciones del cliente, el crédito otorgado sobre dicho servicio y el importe al valor del hidrocarburo.

En el periodo entre enero 2018 y diciembre del año 2023, la UGLP en La Paz tuvo ventas que superaron los 21.257.720, 57 de kilos, como se muestra en el **Gráfico 3.3**.

Los acuerdos y contratos comerciales concertados entre la empresa y sus clientes varían de acuerdo al sector al que pertenecen dichos clientes (domiciliario, comercial o industrial), a la relevancia de su potencial consumo, y a la distancia de sus instalaciones con respecto a la de los centros de distribución.

**Gráfico 3.3. Cantidad de kilos vendidos en los meses de ENE-18 HASTA DIC-23**



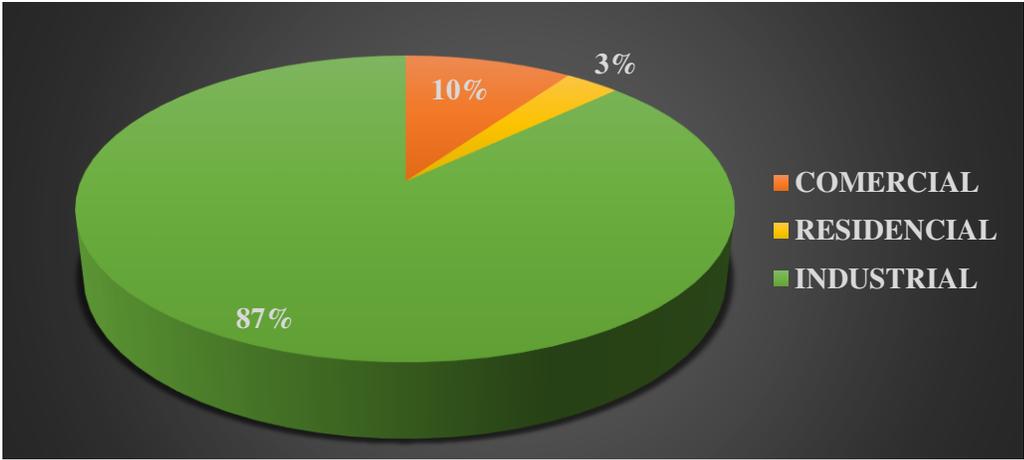
**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

Como ya se conoce la UGLP La Paz tiene una clasificación de “tipo de cliente” que varía de acuerdo a la actividad productiva o naturaleza del cliente, lo que también afecta al momento de suscribir el contrato porque los requisitos son distintos dependiendo de la actividad económica que realice cada uno de estos clientes, es por ello por lo que la empresa ha clasificado los tipos de clientes.

El precio del GLP a granel que se distribuye a los clientes varía según la localización de los mismos tal como se establece en la (Tabla 3.2). precio del transporte del GLP varía dependiendo de la distancia que es desde el punto de carga hasta el punto de descarga que es el cliente.

El **Gráfico 3.4** revela la importancia relativa de cada categoría de cliente en términos de generación de ingresos durante el año 2023 según el porcentaje de consumo para cada tipo de cliente:

**Gráfico 3.4. Porcentaje de ventas según la categoría de cada cliente 2023**

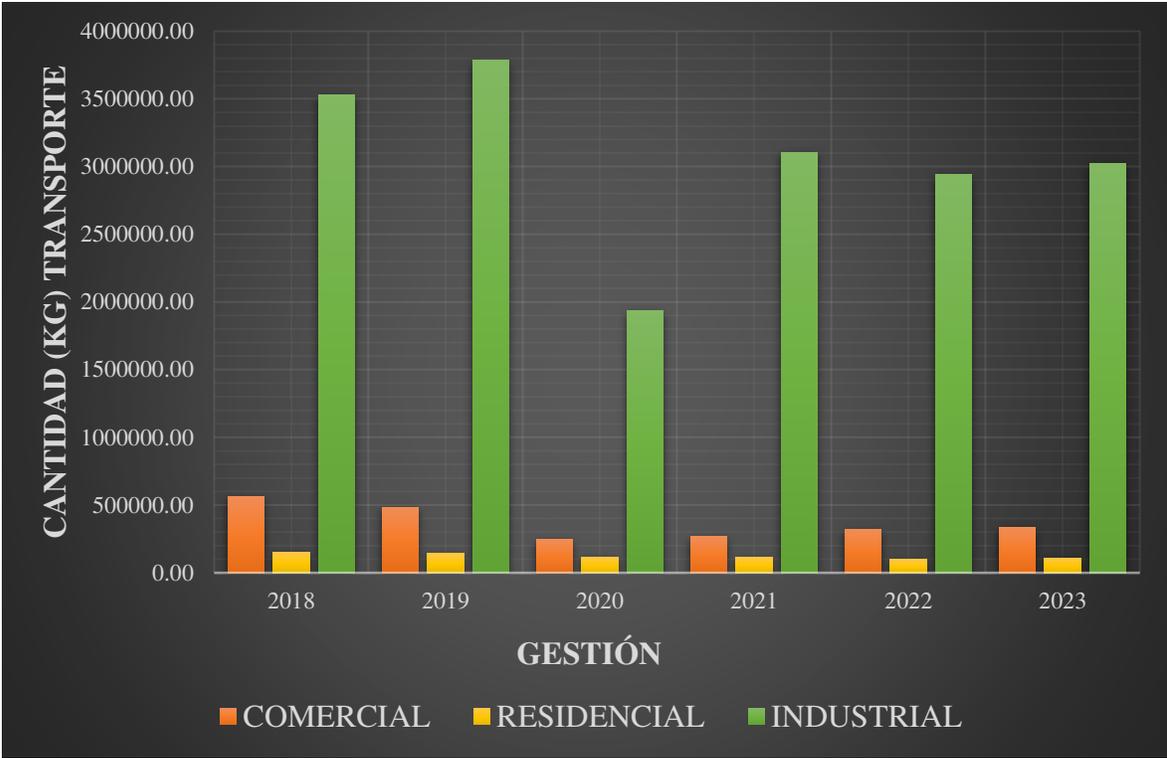


**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

Según los registros de la UGLP LA PAZ, en relación al nivel de comercialización se tiene que los clientes de GLP a granel abastecidos por la planta de Senkata en la paz, el mayor consumo se lo lleva el sector Industrial, seguido por el sector Comercial, de tal manera que en volumen y en ventas estos dos tipos de “clientes” son los de mayor cuantía.

El siguiente **Gráfico 3.5.** presenta el volumen total de despachos, expresado en kilogramos transportados, para cada categoría de cliente durante el período comprendido entre enero de 2018 y diciembre de 2023 de kg.

**Gráfico 3.5. Despachos Totales en Kilos por tipo de cliente, ENERO 2018 A DICIEMBRE 2023**

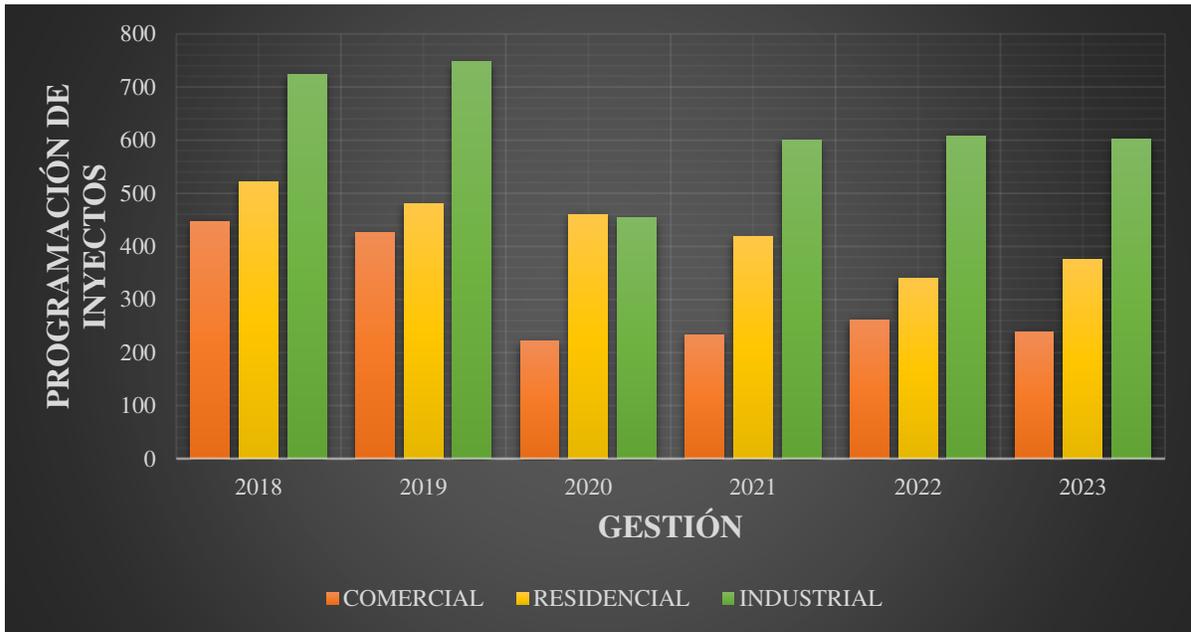


**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

Basados en estos periodos, se tiene que la empresa suplió una demanda de 21.257.720, 57 kilos de GLP.

Por otro lado, relacionado hasta cierto grado con la cantidad en kilos de producto entregado en estos periodos anuales se encuentra el número total de entregas que se hicieron por cada uno de los tipos de clientes durante este periodo de estudio. Para visualizar la tendencia en el número de entregas a lo largo del tiempo y por categoría de cliente, se ha elaborado el **Gráfico 3.6.**

**Gráfico 3.6. Número de entregas totales por tipo de cliente, ENERO 2018 A DICIEMBRE 2023**



**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

Nuevamente aquí el consumo de GLP Industrial despunta, representando esta vez el mayor número de entregas a clientes, y como se verá más adelante esto no tiene relación con el número de clientes que la empresa tiene en esa zona en lugar de relacionarse con el nivel de consumo/demanda por cliente.

El consumo de GLP Residencial agrupa el otro gran número de despachos realizados según el tipo de cliente, sin embargo, como lo comentamos anteriormente, no cumple con la relación de kilos efectivamente despachados, esto nos dice que el consumo de GLP Industrial, si bien tiene menos

Cantidad de clientes con respecto a los otros tipos de clientes, la cantidad de kilos despachados es mayor que el tipo de cliente GLP Residencial.

Esto da un total de 8.158 entregas de distribución que realizaron desde enero 2018 a diciembre de 2023 como se muestra en la **Tabla 3.5**.

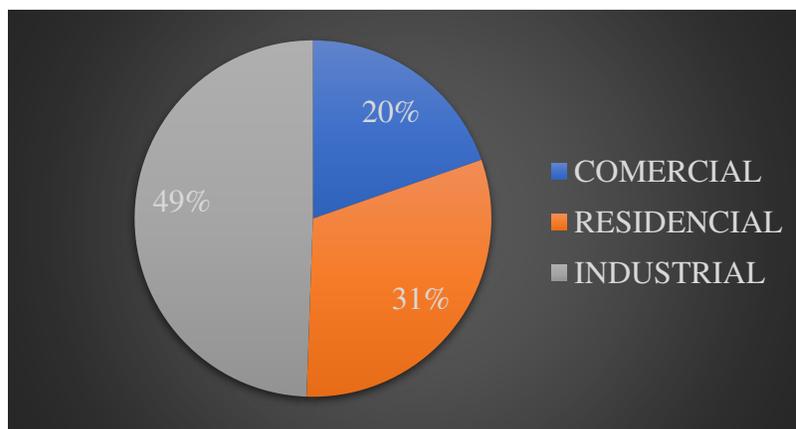
**Tabla 3.5. Detalle número de entregas enero 2018 a diciembre 2023**

CATEGORIA	2028	2019	2020	2021	2022	2023
COMERCIAL	447	426	222	234	262	239
RESIDENCIAL	521	480	460	418	340	376
INDUSTRIAL	723	748	454	599	608	601
TOTAL	1691	1654	1136	1251	1210	1216

**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

En términos anuales, el número de despachos realizados del periodo analizado enero de 2018 a diciembre de 2023 pueden ser graficados y tabulados de la siguiente manera ver **Gráfico 3.7.:**

**Gráfico 3.7. Porcentual de entregas de acuerdo a la categoría del cliente**



**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

Se puede apreciar que la demanda satisfecha tiene una naturaleza estacional, dado que se observa que existe una concentración de consumo de GLP y de entregas de GLP que ha ido reduciendo en estos años.

Es de destacar que la reducción entre los años 2020 y 2023 no solo se debe a una reducción de los pedidos y el volumen de ventas sino que las empresas en el departamento de La paz han ido cerrándose en el caso de los clientes Industriales y se tiene que muchos clientes residenciales

que han ido rescindiendo sus contratos debido al cambio de la matriz energética de GLP a Gas Natural que se amplía cada año sin embargo el GLP sigue siendo muy rentable y los clientes se han ido manteniendo durante este periodo como se puede observar en la (Tabla 4.1).

Durante el período analizado, se ha identificado una creciente insatisfacción entre los clientes de la UGLP La Paz respecto a las entregas de GLP a granel. A pesar de los esfuerzos continuos para proporcionar un servicio de calidad, los problemas recurrentes en la programación y la gestión de las entregas han tenido un impacto negativo en la satisfacción general de los clientes. Esta situación ha motivado un análisis detallado para comprender las causas subyacentes y buscar soluciones adecuadas. En respuesta a estos desafíos, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las rutas de entrega, con el objetivo de identificar y corregir las ineficiencias. La optimización de las rutas se abordará en el siguiente capítulo, donde se detallará cómo se han reducido los tiempos de tránsito y minimizado los costos operativos, teniendo en cuenta las características específicas de cada tipo de cliente y las distancias entre los puntos de carga y descarga. Este enfoque permitirá ajustar la planificación y mejorar la programación de las entregas, contribuyendo a una mayor satisfacción del cliente y a un servicio más eficiente y confiable.

“EL ÉXITO SE FORJA CON  
CADA PEQUEÑA  
DECISIÓN DE APRENDER  
Y AVANZAR.”

Leonardo Da Vinci.

# **CAPÍTULO 4**

## **APLICACIÓN PRACTICA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE DISTRIBUCIÓN DE GLP**

## CAPITULO 4

### APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE DISTRIBUCIÓN DE GLP

#### 4.1. Distribución de GLP a granel

##### 4.1.1. *Prestación de servicio*

La Instalación, Habilitación y Suministro de los tanques de GLP podrán realizarse mediante los siguientes puntos:

**A.** Suscripción de contrato entre “YPFB” o “Vendedor” y el cliente que en adelante será denominado como el “Comprador”, la gerencia legal Corporativa, deberán proceder a la elaboración de los contratos aprobados mediante la resolución de Directorio. Para la elaboración de los contratos la Unidad de comercialización de GLP granel remitirá un informe técnico que incluya básicamente los siguientes puntos; Antecedentes, Presentación de documentos, Tipos de Contratos a Suscribir, Características del servicio, Vigencia de los contratos, Lugar de entrega del Producto y/o prestación de los servicios, Forma de pago, Garantía de Cumplimiento de contratos, Recomendaciones. Así mismo, el profesional Abogado u otro designado por la Gerencia legal Corporativa deberá elaborar el informe legal correspondiente.

**B.** Con el objeto de garantizar la provisión de este producto de manera regular y continua para satisfacer las necesidades energéticas de la población y de la industria orientada al desarrollo del país, la suscripción de los contratos para la comercialización del GLP a granel deben ser gestionados oportunamente y firmados por los representantes o apoderados conferidos por el presidente Ejecutivo de YPFB, con facultades de suscribir contratos para la Comercialización del GLP a Granel y otros

relacionados a esta actividad.

**C.** Compra o Alquiler del tanque de acuerdo a la **Tabla 3.3** proporcionados por la UGLP, la instalación de los tanques, por medio de una empresa instaladora acreditada para tales fines.

**D.** La instalación de los tanques, por medio de una empresa instaladora acreditada para tales fines.

**E.** La habilitación de la Instalación del cliente se realizará una vez concluida la instalación por la empresa instaladora el técnico de YPFB registrara toda la instalación y procederá con la habilitación la misma deberá estar de acuerdo al reglamento de instalación de gas domiciliario según corresponda la categoría del cliente como Residencial, Comercial, e Industrial. Adicionalmente, hará visitas para verificar el estado del sistema, y dejará un certificado de evaluación conforme, y realizará las inspecciones respectivas de mantenimiento a este.

#### 4.1.2. Suministro del GLP a Granel

El suministro del GLP a granel se brinda en los tanques de almacenamiento estacionarios horizontales de acuerdo a la **Figura 4.1**.

**Figura 4.1. Tanques Estacionarios de Almacenamiento de GLP a granel**



**Fuente:** (UGLP, s.f)

#### **4.2. Situación Actual del Sistema de Despachos de GLP a granel de la UGLP - LPZ**

El diagnóstico de la situación actual del sistema de despachos es un paso clave para entender el funcionamiento integral de dicho sistema, la naturaleza de los procesos que lo componen, las interacciones de estos procesos entre sí, también con otros sistemas u otras áreas de la empresa, comprender sus características actuales, y de manera especial este diagnóstico sirve para entender el desempeño que muestran estos procesos ante los estándares o metas que se han establecido en el pasado, los resultados del sistema como tal. Por tanto, en esta evaluación se incluye la mención y métrica de las situaciones problemáticas tales como los pedidos que son reprogramados, las entregas incompletas, los despachos no entregados, las peticiones urgentes por desabastecimiento de clientes, pedidos bloqueados, etc.

Los datos recabados para realizar este diagnóstico son tomados desde enero de 2018 hasta diciembre de 2023. Se hizo necesario tomar este periodo específico para analizar el incremento y decremento que ha sufrido la unidad con la cantidad de clientes que se tenían en el año 2018 y los nuevos clientes que firmaron contratos con la unidad abarcando zonas aledañas a las instalaciones de los primeros clientes desde que YPFB asumió operaciones en FLAMAGAS además considerando que la distribución del servicio se amplió a los otros clientes mucho más alejados de la ciudad de la paz.

Este cambio fue conceptualmente decisivo, porque marca un antecedente importante sobre el cual todo lo que se proponga tiene que estar enfocado en este nuevo escenario que prevalecerá en adelante según decisión de la empresa. Por esto el presente estudio y el plan de optimización a proponer estarán definidos para el alcance de la operación exclusivamente dirigida a la unidad de comercialización de GLP a granel en el departamento de La Paz y sus cercanías descritas más adelante como el departamento de Oruro.

#### **4.2.1. Organización del Sistema de Despachos**

El área de liquidación es la encargada de mantener funcionando este sistema de despachos de cilindros de GLP, aun cuando dicho sistema no necesariamente se circunscribe solamente a esa área, sino que también abarca interacciones con otros departamentos.

Los encargados de liquidación son las personas que tienen la responsabilidad administrativa inmediata de todos los resultados del sistema de despachos de GLP en el departamento de La Paz, además de encargarse de la logística en Senkata.

Cada una de las funciones de los demás empleados del área quedará expuesta en los posteriores análisis de los procesos que conforman este sistema de despachos. Sin embargo, se distinguen las siguientes funciones y/o responsabilidades de cada cargo:

##### **Comercial Atención al Cliente:**

Son quienes reciben las llamadas de los clientes que solicitan sus pedidos, realizan llamadas a clientes para generar preventas, e ingresan al sistema informático todos los pedidos que se generan en el día, de tal manera que estos puedan llegar en su momento al Técnico de Logística para ser planificada su entrega para el siguiente día, luego confirman a los clientes los pedidos a ser entregados. También es su función llamar al siguiente día a los clientes cuyos pedidos no fueron programados y por tanto no van a ser entregados en ese día, a fin de avisarles, pedirles disculpas y confirmarles que su pedido será entregado posteriormente, es decir un día después de lo esperado. Son a quienes se conoce dentro de la empresa como el “Promotor Comercial”.

##### **Técnico de Logística:**

Es quien trabaja en el área de liquidación, son quienes planifican todos los pedidos para su entrega para el mismo día o día siguiente, elaborando listas de clientes-pedidos a ser asignados para realizar las entregas. Además, es quién operativamente supervisa todos los resultados obtenidos por el sistema en el día, y sirve de coordinador con otras áreas. Debido a su

responsabilidad su función también es verificar todos los datos generados por la operación diaria:

a cuantos y a cuáles clientes se despachó (y a cuáles no), qué cantidades fueron finalmente entregadas a cada cliente, qué cantidades fueron despachadas y transportadas por el vehículo de distribución, qué cantidad de GLP existe en el Camión Cisterna para alertar a los encargados del reaprovisionamiento oportunamente, tarea la cual le correspondería al área de operaciones. Buena parte de la información generada y los datos de despachos son ingresados por esta persona al sistema informático de la empresa. Es también responsable de la supervisión del transporte, como Supervisor de transporte.

### **Coordinador Regional:**

Una vez que la lista de clientes a repartir GLP ha sido asignada al vehículo de distribución, es quién se responsabiliza de hacer el seguimiento a la flota de vehículos de distribución durante todo el transcurso de la jornada laboral, de tal manera que verifica el cumplimiento de parte de los transportistas, solventa dudas o problemas que estos afronten, y toma decisiones ante cambios o situaciones que se presenten, en coordinación con el resto del personal del área (Asistente de Logística y Comercial) por ejemplo en la coordinación de pedidos urgentes o entregas con incidencias. Recoge el reporte de todos los operadores-transportistas e informa a liquidación con respecto a toda la operación de transporte y entrega del producto por parte del camión cisterna.

### **Operadores-Transportistas:**

Son quienes conducen los vehículos de distribución, transportan el GLP envasado hacia los clientes, y realizan la operación de carga-descarga del producto dentro de las instalaciones del cliente, realizando el acopio en los sectores determinados en la planta de Senkata, son quienes llevan y llenan los registros durante la operación donde detallan datos como clientes visitados,

kilos transportados y formatos despachados con sus cantidades correspondientes, parámetros de operación e incidencias u observaciones. Al final del día un Operador Transportista debe realizar un reporte simple del día de trabajo, cantidad de clientes abastecidos y los kilos totales de cada cliente, esto es informado al Coordinador regional y al Técnico de Logística de transporte para tener el global del día trabajado por su flota completa, información que es complementada con las planillas de despachos que ven más detalladamente la cantidad despachada hacia los clientes, planilla que se entrega todos los viernes al Coordinador regional.

Todo vehículo de distribución es operado por 1 operador-transportista, apoyando su labor se encuentra 1 ayudante por cada operador transportista, el cual ayuda en las labores de carga/descarga, los cuales se encuentran capacitados y autorizados para conducir este tipo de vehículos y realizar la operación de carga descarga de GLP a los diferentes clientes.

De acuerdo a los antecedentes recopilados hasta diciembre de 2023 se tienen que los años 2020, 2021, 2022 y 2023 los clientes totales no disminuyeron como en el año 2018 y 2019 donde el número de clientes bajo considerablemente teniendo en cuenta que el motivo de que los clientes rescindieran contratos se debía principalmente por el cambio de matriz energética al Gas Natural tal como se ve en la **Tabla 4.1**.

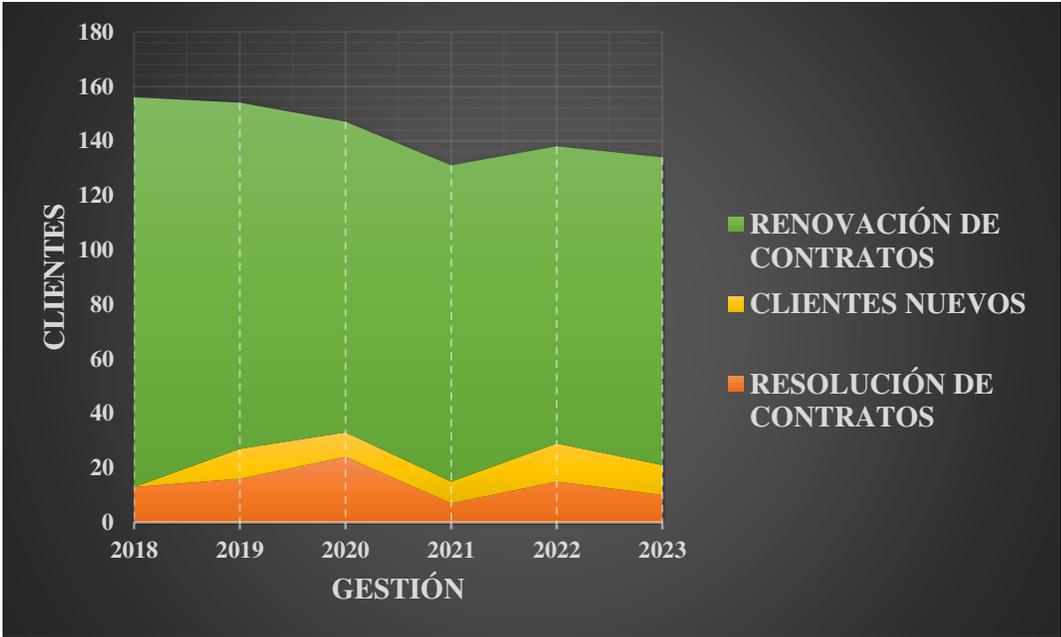
**Tabla 4.1. Estado de los Clientes UGLP - LPZ**

<b>Gestión</b>	<b>Resolución de Contratos</b>	<b>Clientes Nuevos</b>	<b>Renovación de Contratos</b>	<b>Clientes Totales</b>
<b>2018</b>	13	0	143	143
<b>2019</b>	16	11	127	138
<b>2020</b>	24	9	114	123
<b>2021</b>	7	8	116	124
<b>2022</b>	15	14	109	123
<b>2023</b>	10	11	113	124

**Fuente:** (Datos Recopilados de la UGLP, 2023)

El **Gráfico 4.1** compara la evolución de tres indicadores clave: renovación, adquisición y rescisión de contratos. Podemos observar que, mientras la adquisición de nuevos clientes ha fluctuado, la renovación ha mostrado una tendencia decreciente pero un tanto constante en los 2 últimos años.

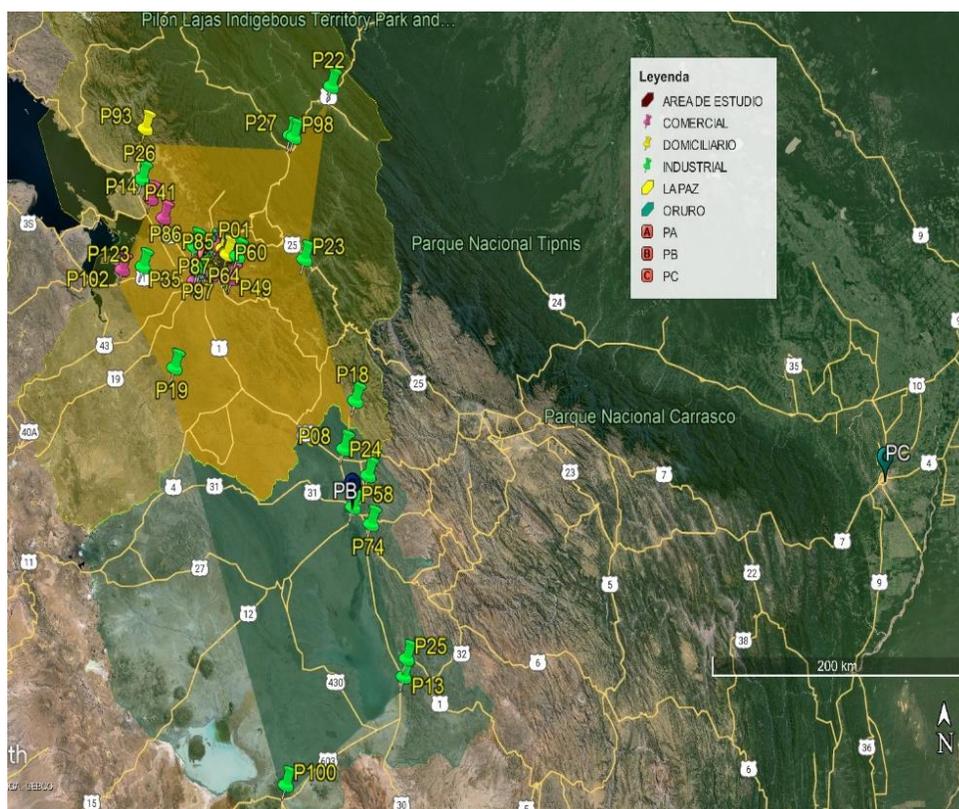
**Gráfico 4.1. Estado de los clientes**



**Fuente:** (Datos Recopilados de la UGLP, 2023)

Según el siguiente grafico se observa la mayor cantidad de clientes ubicados en distintas zonas del departamento de La Paz son los que se clasifican como consumidores de “GLP Residencial”, sin embargo esta gran densidad de clientes no necesariamente guarda relación con el mayor nivel de cantidades despachadas ni con el mayor nivel de ventas, ya que estos clientes ubicados en la ciudad de La Paz como el Alto son clientes de consumo de “GLP Comercial” con bajo volumen de consumo, en tanto que los pocos clientes en zonas alejadas de la cuidad y fuera del departamento de La paz en Oruro, son grandes consumidores de “GLP Industrial”. Se puede visualizar mejor la distribución de la cantidad de clientes por su tipo de consumo (ver **Figura 4.2**).

**Figura 4.2. Clasificación de clientes**



**Fuente:** Elaboración Propia en base a imagen del Google Earth

Como se ha explicado, el número de clientes no necesariamente guarda una estrecha relación con las cantidades despachadas ni tampoco con el volumen en ventas, lo cual es evidente en la siguiente gráfica donde se registran las toneladas entregadas según el tipo de cliente, desde enero de 2018 hasta diciembre de 2023. (ver **Tabla 4.2**)

**Tabla 4.2. Volumen de ventas según la categoría del cliente**

<b>Categoría</b>	<b>2018 [Tn]</b>	<b>2019 [Tn]</b>	<b>2020 [Tn]</b>	<b>2021 [Tn]</b>	<b>2022 [Tn]</b>	<b>2023 [Tn]</b>
<b>Comercial</b>	539,09541	454,17773	238,91633	264,020786	305,53257	322,52928
<b>Residencial</b>	168,9977	170,84404	124,12429	114,537738	109,09225	126,46354
<b>Industrial</b>	3529,47982	3784,66583	1933,31691	3107,034422	2939,60429	3025,28763
<b>TOTAL</b>	4237,57293	4409,6876	2296,35753	3485,592946	3354,22911	3474,28045

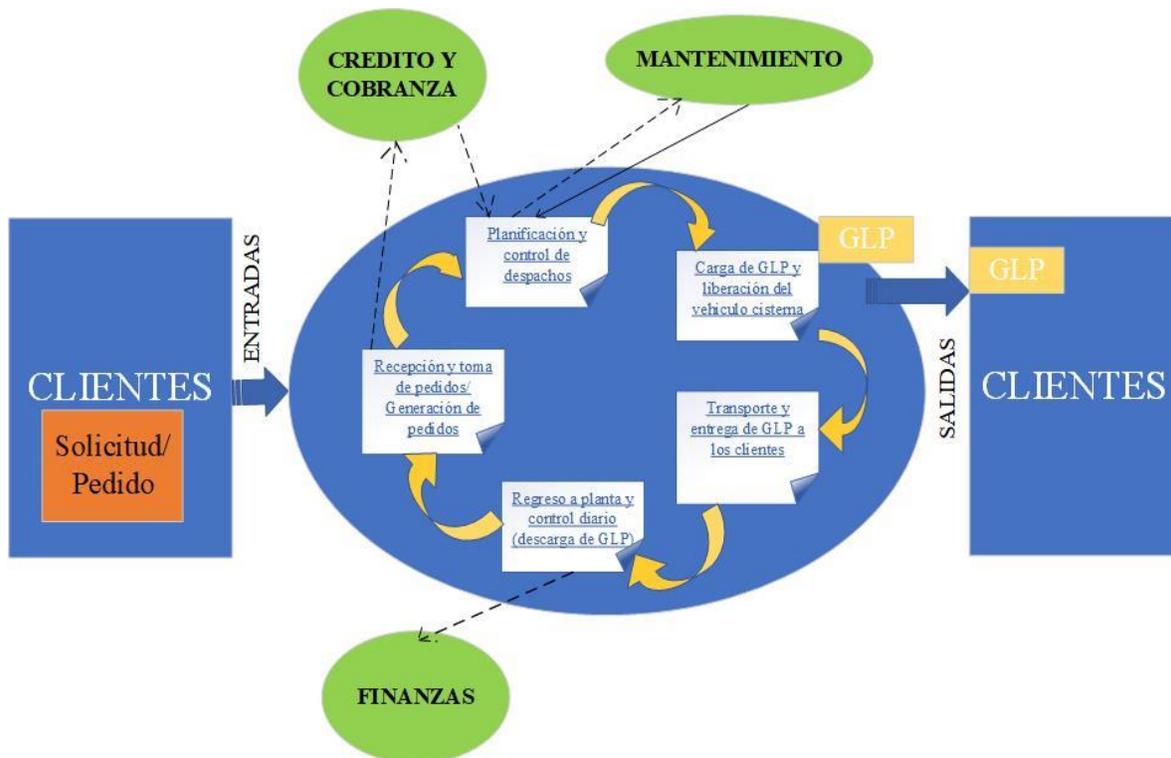
**Fuente:** (Datos Recopilados de la UGLP, 2023)

#### 4.2.1.1. Proceso de Toma y Generación de Pedidos

Cada uno de los procesos de despachos está compuesto por algunas o varias actividades; y en ciertas de estas actividades estos procesos interactúan con otras áreas en la planta de Senkata o las oficinas centrales de la UGLP LP, ya sea por medio de entradas o de salidas (datos, información, materiales, recursos, etc.).

En el siguiente **Gráfico 4.2** modelo del sistema de despachos se describe el sistema como el conjunto de los procesos que lo componen y sus interacciones entre procesos perteneciente al mismo sistema, y también interacciones con otros departamentos o áreas.:

**Gráfico 4.2. Modelo Descriptivo del Sistema de despachos de GLP**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

Es el proceso de entrada principal del sistema, ya que se constituye en la toma de información de los comerciales que envían los pedidos previamente realizados en coordinación con los clientes solicitando un despacho mediante mail u órdenes de despacho. Esta información de

entrada diariamente genera la demanda de GLP a ser despachada por el sistema para el siguiente día y así cumplir el supuesto establecido en la política de despachos que es: entregarle al cliente en un tiempo inferior a las 48 horas una vez generado el pedido.

La forma en las que se reciben o se generan los pedidos es exclusivamente por:

**Petición del cliente:** Los clientes llaman al promotor comercial para generar una orden de pedido. El control del histórico que se lleva es muy simple, y se basa en un reporte actualizado en Excel de todos los clientes donde figura la fecha de su último despacho, la cantidad que se le entregó, y la cantidad en Kilogramos con la que quedó el cliente en ese último despacho. Sin embargo, se da una situación que incide en el proceso de generación de pedidos, que corresponde a:

**Pedidos Reprogramados:** Son solicitudes de pedidos que no se pudieron despachar anteriormente (generalmente el día anterior), y que fueron reprogramadas para un día posterior al de la solicitud de pedido original. Estos “pedidos reprogramados” realmente no deberían ser contabilizados como pedidos, formalmente hablando, porque prácticamente son la repetición de un pedido que ya fue hecho pero que finalmente no se planificó su entrega inmediata al mismo día. También se tienen los pedidos que sí fueron programados para entregarse pero que finalmente en la operación de transporte del producto no se realizó su entrega. A pesar de no ser contabilizados en este estudio como “PEDIDOS”, formalmente hablando, de todas maneras, los comerciales reflejan en su sistema informático estos “pedidos reprogramados”, a fin de llamar a los clientes durante el día, pedir disculpas y poder confirmar la recepción del pedido para el siguiente día.

En sus diversas formas de generarse, todos los pedidos tienen en común dos cosas:

- Que existe una comunicación entre los comerciales donde el cliente acepta ser reabastecido al siguiente día.

- Y que dicho pedido confirmado se ingresa al sistema informático que sirve para comunicar al siguiente proceso (y a otras áreas) de los pedidos que se han tomado/generado.

En este segundo punto, todos los pedidos pasan por el filtro del departamento de crédito y cobranza para revisar si existen clientes que estén en moratoria con la empresa, o en definitiva que no tengan una cartera de crédito vencida.

En caso de que un cliente tenga vencido su crédito se evalúa por el Jefe de Unidad si se aprueba o no la liberación del pedido del cliente en particular. Este proceso es conocido como proceso de liberación crediticia de pedidos.

Los pedidos que alcanzaron a ser liberados durante el día son enviados al Técnico de Logística para que realice la programación de su entrega para el mismo día o en su defecto para el día siguiente según la capacidad de despacho que exista en él. También se tiene este apremio debido a que hasta las 16:00 horas el técnico de Logística debe enviar el listado de los pedidos planificados y de los reprogramados, para que los promotores envíen la programación al jefe de unidad y el mismo sea aprobado.

Analizando el proceso de toma/generación de pedidos, es importante resaltar que la naturaleza del proceso conlleva a que las actividades sean bastante iterativas, y sobre todo prime la alta actividad de los promotores comerciales que están atareados realizando varias actividades a la vez por así decirlo, entre recibir llamadas o mails y contestarlos, revisar el registro de Excel y realizar la gestión de cobranzas de los clientes que tienen deudas de pago, además si fuera el caso hacer llamadas a clientes reprogramados para disculparse y confirmar la nueva fecha, y también tiene que ingresar los pedidos que el sistema le indica como “frecuencia fija”, y llamar a esos clientes también, además de visitas en terreno para los nuevos clientes, etc.:

#### 4.2.2. Proceso de planificación de despachos

En el momento en que los pedidos o solicitudes de despacho ingresadas en el sistema informático de la empresa, son revisados y liberados por “Crédito y Cobranza”, pasan a ser recibidos inmediatamente en el sistema informático por parte del Técnico de Logística, quién realiza la planificación de estos para el día siguiente si la capacidad lo permite, de lo contrario se reprograma para el subsiguiente día.

Antes de que el técnico de Logística realice la planificación, verifica el número de transportistas/operadores con los que se cuenta para realizar los despachos del siguiente día y si se tendría que trabajar dos turnos. Esto es importante porque se necesitan un operador y un transportista.

Cuando el Técnico de Logística determina el número de zonas en las que se enfocará para la repartición, teniendo en cuenta la prioridad que tienen los pedidos que fueron anteriormente “reprogramados” (es decir postergada su planificación) y que por consiguiente su entrega tiene un grado mayor de urgencia que el resto de los pedidos a planificar según así lo entienden. Sin embargo, el sistema actual presenta problemas logísticos ya que como se comentó anteriormente los pedidos se van recibiendo durante el día hasta las 18:00, por lo que obtener una planificación óptima de ruteo es muy difícil además no se tienen establecidas rutas. (ver la **Tabla 4.3**)

**Tabla 4.3. Ejemplo de planificación por el Técnico de Logística**

N°	FECHA DE PEDIDO	NOMBRE O RAZON SOCIAL	SOLICITADO POR	NIVEL DEL TANQUE	FECHA DE PROGRAMACIÓN	OBSERVACIONES
1	26/9/2023	Bernardo Antonio Wayar	Administración	30%		
2	26/9/2023	Condominio el Eden Bloque 2	Administración	35%		
3	26/9/2023	Raul Mauricio Vargas Bloque 3	Administración	29%		
4	26/9/2023	Raul Mauricio Vargas Bloque 12	Administración	29%		
5	27/9/2023	Ramon Lucana	Administración	38%		
6	27/9/2023	Julia Limachi	Administración	60%		

**Fuente:** Correo enviado por el Técnico de logística al promotor comercial

Sin embargo, se estipula como un máximo de viajes a realizar dentro del periodo de trabajo comprendido desde las 6:00 am hasta las 16:00 horas son 4-6 viajes aproximadamente, debido al momento de realizar su planificación que se convierte en una mezcla entre calculo y “arte”, debido a que se debe conocer el cliente, la capacidad del tanque tiene la cercanía de la planta al cliente, para luego pasar el listado de los pedidos planificados y lo pedidos reprogramados (no planificados) al promotor comercial para que el realice las llamadas a los clientes que se va a visitar, y también a los clientes que no se les va a despachar (pedidos reprogramados).

Si bien es cierto que el horario de recepción de los clientes también juega un papel al momento de planificar, esto no representa mayor inconveniente dado que no se fija una hora exacta en la que se visitará al cliente (una cita) sino más bien se manejan amplias ventanas horarias que cada cliente tiene para recibir una entrega, obviamente con un previo aviso por parte del Promotor Comercial o el Coordinador Regional o a veces directamente avisados por los Operadores Transportistas.

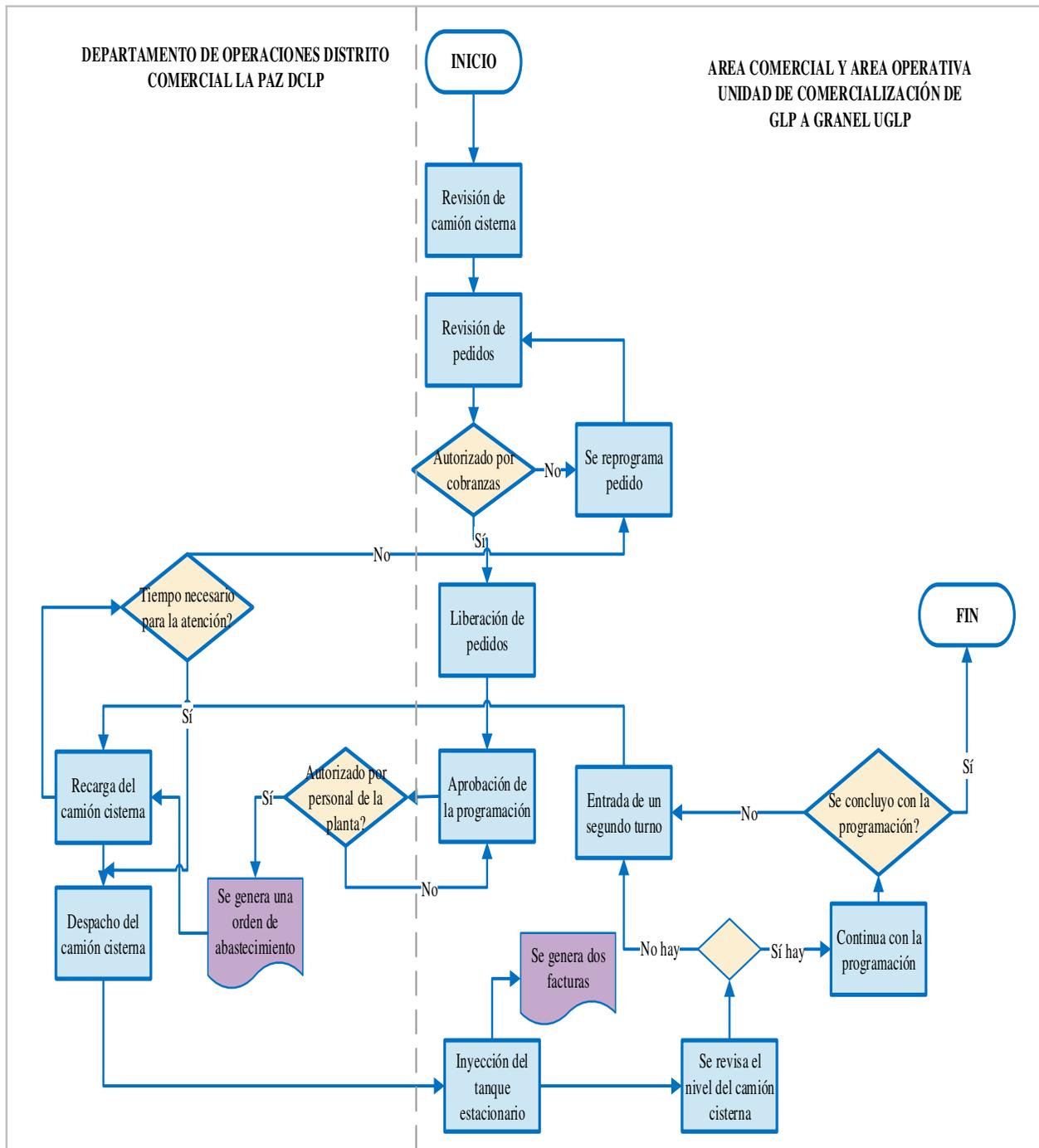
Dependiendo de la naturaleza del cliente y sus actividades, existe un número considerable de clientes que está en la posibilidad de recibir la descarga de GLP luego de las 18:00, aunque esté fuera del horario de recepción aprobado. Entre este tipo de clientes se tiene industrias, centros comerciales, hoteles, restaurantes, etc. Sin embargo, el entregar fuera del horario estipulado es una no conformidad para los clientes y siempre es necesario comunicarse antes con los mismos para poder concretar un acuerdo para que acepte recibir el producto a esas horas en un día específico que así se requiera.

Finalmente, el listado que indica cuales son los clientes a los cuales visitar para entregar el producto, es una lista de clientes-pedidos a atender en el día sin ningún orden en particular.

Análisis y evaluación del proceso de planificación de despachos A fin de resumir el procedimiento que se sigue se expone en un flujograma de proceso, para así analizar mejor las

actividades e interacciones de este proceso, se tiene el siguiente diagrama para el proceso de planificación de despachos, el cual se expone en la **Gráfico 4.3**.

**Gráfico 4.3. Diagrama del proceso de planificación de despachos**



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.2.2.1. *Proceso de carga de GLP y despacho en vehículos de distribución***

Una vez que ya se encuentran definidas los pedidos y las asignaciones de clientes-pedidos, para el camión cisterna se procede a la carga de GLP.

Por motivo del estricto control de inventario, el proceso de carga con GLP del vehículo distribuidor es bastante riguroso, e intervienen tanto el Controlador de Carga de GLP y el Supervisor de transporte.

Cada vehículo de distribución se dirige a la balanza previo despacho mediante el Controlador de peso de GLP, pasando por el módulo de registro de peso. Ese conteo se registra en el sistema para que luego que el vehículo sea despachado con GLP. Este conteo es una de las formas de validar la cantidad despachada de GLP a cada vehículo de distribución.

Es por esto que al momento de retornar el vehículo a la planta Senkata se realiza otro conteo por parte del Controlador de Conteo de GLP para el reporte mensual que se entrega a la ANH.

Esto tiene que ser así de riguroso por motivos de los controles y auditorías realizados por la misma empresa YPFB.

Los tiempos del proceso de carga de los vehículos de distribución son considerables, mucho más teniendo en cuenta que solo se pueden cargar dos vehículos cisterna en tiempo simultáneo.

A los tiempos netos de la operación de carga/descarga descritos con anterioridad también es necesario tener en los tiempos adicionales que conllevan los pasos previos y posteriores al momento de la carga/descarga.

Estos son los tiempos que se suman entre las siguientes actividades: hacer el ingreso al patio de operaciones, esperar registro de peso de otro vehículo de distribución en el módulo de peso, la entrega de hoja de despacho, trasladar el vehículo al sector que le corresponda según el formato de GLP a cargar, traslado del vehículo al otro sector donde se encuentre el siguiente formato a

cargar, registrar en el sistema informático la cantidad total y tiempo de carga y por último liberar el vehículo para salir.

El tiempo que transcurre desde el registro de “Hora de entrada” hasta el momento en que se registra la “Hora de Salida” de la planta Senkata comprende estas tres etapas en su conjunto y no se tiene un tiempo fijo es variable debido a varios factores como falta de personal en la mañana o el área de pesaje se encuentra llena o hay una fila de cisternas en el horario de la tarde al ingreso del segundo turno. No se hizo un análisis del tiempo estimado que se demoran en la planta realizando la carga/descarga del producto en el alcance de este proyecto. De igual forma sería necesario también excluir los tiempos en los que se toman un “break” para poder recuperar las condiciones físicas que corresponde a un tiempo estimado de 20 minutos por cliente, además de los tiempos que son tomados para efectos de almuerzo, el cual corresponde a 30 minutos ya que la empresa otorga o considera ese tiempo destinado a las necesidades de los Operadores y Transportistas.

#### **4.2.2.2. *Proceso de transporte de GLP y entrega a clientes***

El proceso de transporte y entrega de GLP a clientes es el proceso en el cual se satisface la necesidad del cliente (descargando el GLP a granel en el tanque del cliente), en este proceso los tiempos de descarga difícilmente puedan ser mejorados ya que no existe un control del cliente por parte de la empresa para mejorar las condiciones del local, como se muestra en la **Figura 4.3.**

Este proceso inicia cuando el Operador y Transportista que viajan juntos en el mismo vehículo salen de la planta hacia el cliente previamente asignado con su carga. El proceso finaliza en el momento en que el vehículo de distribución regresa e ingresa a la planta.

Las 3 asignaciones de clientes a cada vehículo de distribución generalmente tienen que ser completadas dentro de la jornada de trabajo que suele ser de 10 horas aproximadamente, y en este tiempo se incluyen el tiempo de desplazamiento entre cada uno de los clientes, el tiempo en entrar y salir de las instalaciones del cliente a realizar las entregas, el tiempo final de regreso a la planta con la factura firmada. Es importante ver que este proceso incluye también el tiempo destinado a llenar el tanque de combustible de los vehículos cuando se hace necesario, el tiempo de comidas y otras necesidades de los Operadores y transportistas, y cualquier otra actividad que se incluya en intermedio de los viajes y las entregas.

En los casos en los que exista alguna avería o inconveniente a nivel del vehículo de distribución que requiera un mantenimiento correctivo, se entiende que la actividad productiva cesa hasta que la cisterna esta reparada o si es posible otra sucursal de la UGLP como ser Santa Cruz o Cochabamba asumen el resto de los pedidos-clientes que tenía asignados el vehículo que se averió si el caso fuese de un viaje programado a Oruro, en la medida de lo posible.

**Figura 4.3. Recarga de cliente Industrial**



**Fuente:** (UGLP, s.f)

Actualmente no se tiene registro de los tiempos en que la cisterna trabajo tampoco un estimado de los tiempos que se tardan en realizar la carga/descarga de cada cliente según la programación correspondiente del día. Sin embargo, esto queda registrado en el sistema UFIC-01 con el que cuenta la empresa, en ningún momento se toman registros de estos tiempos para que quede como información a evaluar, solo se genera un estimativo fijo para todos los clientes de acuerdo a las longitudes que recorren los transportistas, considerando que la empresa no cuenta con rutas de distribución especificadas bajo orden de recorrido, provoca que los costos totales logísticos se incrementen, en tal motivo el objetivo de este modelo es minimizar el costos totales de distribución, en directa relación con la conformación de rutas optimas de distribución que muestren la distancia mínima de recorrido dentro de una determinada zona de distribución en las ciudades de La Paz y Oruro.

### **4.3. Desarrollo y Aplicación del Modelo de Optimización de Rutas de Distribución**

#### **4.3.1. ArcGis v.10.8**

ArcGis es un software de sistemas de información geográfica permite la visualización, exploración y análisis de datos geográficos de información espacial con datos alfanuméricos, un factor clave para la implementación de un software, es disponer de una excelente cartografía de la región donde se planea realizar la operación de transporte, lo que significa que se debe contar con los mapas digitales de la ciudad de estudio, en este caso el departamento de La Paz y Oruro. Algunas características de ArcGis son:

-  Trabaja con información de tipo vectorial.
-  Ofrece opciones de análisis espacial y tratamiento de datos geográficos.
-  Permite la representación de datos por georeferenciación sobre una cartografía, analiza las características y patrones de distribución de esos datos, y generar informes finales con los resultados.

Para la conformación de las rutas, se debe ubicar con precisión los eventos que ocurren en el espacio es necesario contar con un sistema de referencia bien establecido, un sistema de coordenadas geográficas es eso, es un sistema de referencia comúnmente utilizado para localizar y medir elementos geográficos, mediante una entrada y organización de datos, manipulación de datos en formato del sistema geográfico, administración de la información y los propios análisis a través de las visualizaciones.

#### **4.3.1.1. *Formato vectorial para el almacenamiento de datos de la red vial***

Para la simulación se utilizó este formato ya que se puede crear a partir de fuentes de información geográfica existentes o se pueden generar desde ArcGis donde podemos añadir los siguientes elementos. (ver **Cuadro 4.1**).

- ✚ Puntos. - entidades que son demasiado pequeñas para representarse como líneas o polígonos, así como también como ubicaciones de puntos (por ejemplo, observaciones del GPS) son representados como coordenadas (x; y) para localizar algún lugar en específico ejemplo: casas, árboles, postes de luz, contenedores, etc.
- ✚ Líneas. - representan la forma y la ubicación de objetos geográficos, tales como líneas centrales de calles y arroyos, también, demasiado estrechos para mostrarlos como áreas. Las líneas también se utilizan para representar las entidades que tienen longitud, pero no área, tales como las líneas de curvas de nivel y los límites.
- ✚ Polígonos. - un conjunto de entidades de área de muchos lados que representa la forma y la ubicación de tipos de entidades homogéneas, una figura geométrica con vértices de área y perímetro tales como estados, condados, parcelas, tipos de suelo y zonas de uso del suelo.

**Cuadro 4.1. Formato vectorial del programa ArcGIS**

NOMBRE	TIPO	CONJUNTO DE DATOS (DATASET)	CAPA (LAYER)
Archivo de Forma (Shapefile)	Punto		
	Línea		
	Polígono		

**Fuente:** (ArcGIS, s.f)

#### **4.3.2. Metodología Utilizada para la Asignación de Vehículos y Planificación de Rutas**

La planificación eficiente de rutas y la asignación adecuada de vehículos son esenciales para optimizar la distribución de gas licuado de petróleo (GLP). Este proceso no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la reducción de costos y al aumento de la satisfacción del cliente. En esta sección, se describe la metodología utilizada para configurar los parámetros necesarios para esta tarea, empleando herramientas y software especializados. La configuración de parámetros es el primer paso crítico en la optimización de rutas, ya que establece las bases sobre las cuales el software realizará los cálculos y análisis.

##### **4.3.2.1. Configuración de Parámetros**

Para comenzar con la asignación de vehículos y la planificación de rutas, es fundamental definir y ajustar una serie de parámetros clave en el software de optimización. En este caso, se utiliza ArcGIS v.10.8, una herramienta avanzada de sistemas de información geográfica (SIG) que facilita la gestión y análisis de datos espaciales y permite una optimización precisa de las rutas de distribución.

##### **4.3.2.1.1. Ubicaciones de Clientes:**

- ❖ **Ingreso de Coordenadas Geográficas:** Se introducen las coordenadas exactas de cada uno de los puntos de entrega y recarga de GLP. ArcGIS permite mapear estas

ubicaciones con precisión, asegurando que todas las direcciones sean correctas y estén fácilmente accesibles. Para iniciar la recopilación de información se la realizó de forma practica la cual consistía en la actualización de la base de datos de los clientes la cual indica las direcciones de cada cliente respectivamente. En base a estos datos se realizó una tabla y con la ayuda de Google Earth que localizo todos los puntos (X, Y) la cual ayudó en la obtención de los datos geográficos de latitud y longitud de cada punto de los clientes para tener una mayor exactitud de los mismos y así poder trazarlos en el mapa. Ver *Anexo 10*. Se tiene también los datos de los distintos puntos de carga de los cuales parte el camión cisterna representados en la *Tabla 4.4*:

**Tabla 4.4. Dirección de los puntos de carga**

Ubicación	Puntos	Latitud	Longitud
LA PAZ	PA	-16,57034	-68,18625
ORURO	PB	-17,93664	-67,11521
SANTA CRUZ	PC	-17,79576	-63,16433
COCHABAMBA	UGLP CBBA	-17,45144	-66,12522

**Fuente:** Elaboración propia

Cabe mencionar que el programa utilizado tiene un margen de error de ( $\pm 50$  metros).

❖ **Mapeo y Visualización:** ArcGIS proporciona herramientas para visualizar estas ubicaciones en un mapa, facilitando la identificación de áreas de alta densidad de clientes y posibles zonas de entrega que se mostró en la *Figura 3.2*.

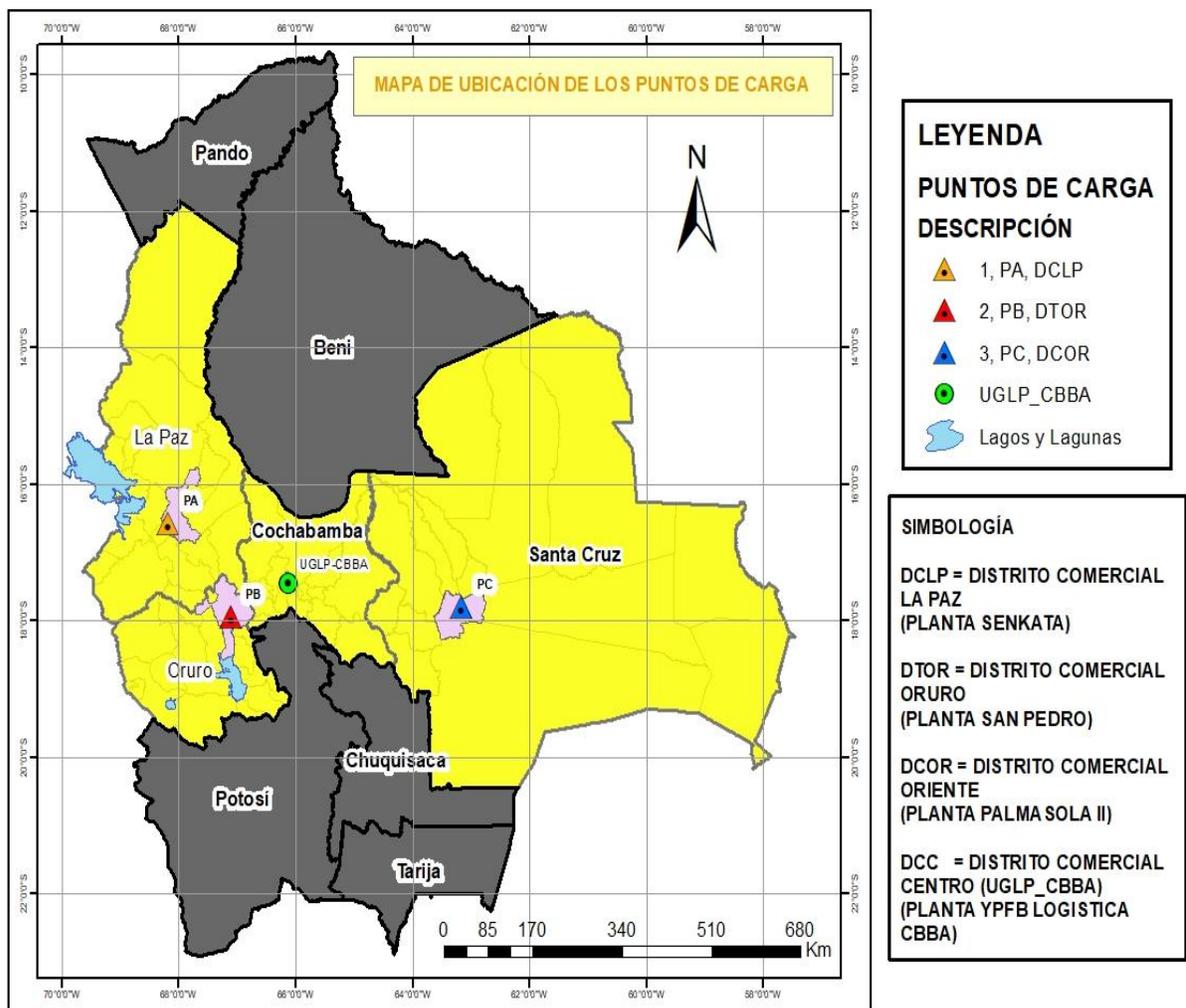
La siguiente imagen ilustra también la distribución geográfica de los puntos de carga obtenidos mediante las coordenadas registradas. Utilizando ArcGIS, se han mapeado estos puntos para visualizar de manera efectiva su ubicación precisa en el área de estudio.

Esta representación gráfica es fundamental para entender la disposición y alcance de cada

punto, facilitando el análisis y planificación de la distribución eficiente del gas licuado de petróleo. En la **Figura 4.4**, cada punto está claramente etiquetado y se presenta con una leyenda correspondiente para una mejor interpretación.

La recopilación de datos para el rediseño y optimización de las rutas de recolección se llevó a cabo en cooperación con la página web (<https://diva-gis.org/>) de la cual obtuvimos el red vial secundaria y terciaria la cual se complementa con la Administradora Boliviana de Carreteras ABC quien proporcionó la información digital del plano de la red fundamental de Bolivia ver **Anexo 11**.

**Figura 4.4. Mapa de ubicación de los puntos de carga**



**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

#### **4.3.2.2. Optimización de Rutas**

La optimización de rutas tiene un impacto directo en la cadena de suministro. Al reducir las distancias recorridas y optimizar la secuencia de entregas, se logra una distribución más fluida y eficiente del combustible. Esto contribuye a una gestión más efectiva de los recursos entonces la empresa puede asegurar que los vehículos se utilicen al máximo. Esto no solo prolonga la vida útil de los mismos, sino que también minimiza los costes relacionados con el exceso de capacidad o la falta de uso, la empresa ahorra en gastos relacionados con el combustible, el desgaste de vehículos y los costes de mantenimiento. Además, de la disminución de viajes innecesarios o poco eficientes, lo que a su vez reduce los costes generales de operación fortaleciendo así la cadena de suministro en su conjunto. La optimización de las rutas de entrega es un elemento clave en la gestión logística

La creación del mapa con las vías de la ciudad se realizó mediante la herramienta de ArcGis que permite trabajar con datos de mapa base de OpenStreetMap, el cual sirvió de guía para dibujar los puntos y las líneas, mediante la creación de los shapefile correspondientes a los mismos, que sirven para el análisis de la red de transporte.

En el programa se cargó el mapa vial fundamental nacional, información facilitada Administradora Boliviana de Carreteras ABC, después se procedió a graficar las rutas actuales, basándonos en la recopilación de datos tomados anteriormente. Además, se debe conocer varios parámetros para la creación del eje vial.

- ❖ Lugar de recarga de la cisterna
- ❖ Lugar de entrega del combustible (Ubicación Clientes)
- ❖ Tipo de vías.

#### **4.3.2.2.1. *Análisis de Redes (Network Analyst)***

ArcGIS utiliza análisis de redes para determinar las rutas más eficientes entre múltiples puntos de entrega. Esto implica calcular el mejor camino considerando todas las restricciones y parámetros configurados según la creación de un network Dataset.

##### **4.3.2.2.1.1. *Creación del Network Dataset.***

El conjunto de datos de una red se crea a partir de entidades de origen en este estudio los puntos y las vías entonces comenzamos en ArcCatalog buscando la carpeta que contiene nuestros datos de las vías mediante un clic derecho seleccionar la opción de “New Network Dataset” y asignarle un nombre. Después se procede a modelar los giros dentro del Dataset escogiendo la opción “yes”, en la ventana de conectividad “Connectivity” se debe escoger la opción “End Point” y dar clic en siguiente para aceptar las configuraciones por defecto.

Este es uno de los aspectos importantes a la hora de diseñar redes que contienen elementos de red que permiten comportamientos especiales al interior de ella, en la pestaña de Field se debe seleccionar INICIO\_NODE y FIN\_NODE respectivamente, ya que esto representa los nodos iniciales y finales que estarán dentro del Network Dataset.

En la siguiente ventana especificar los atributos y definir los valores de LONGITUD y TIEMPO que serían en METERS y MINUTES seleccionar los dos aspectos para posteriormente asignar las direcciones de manejo colocando los atributos correspondientes.

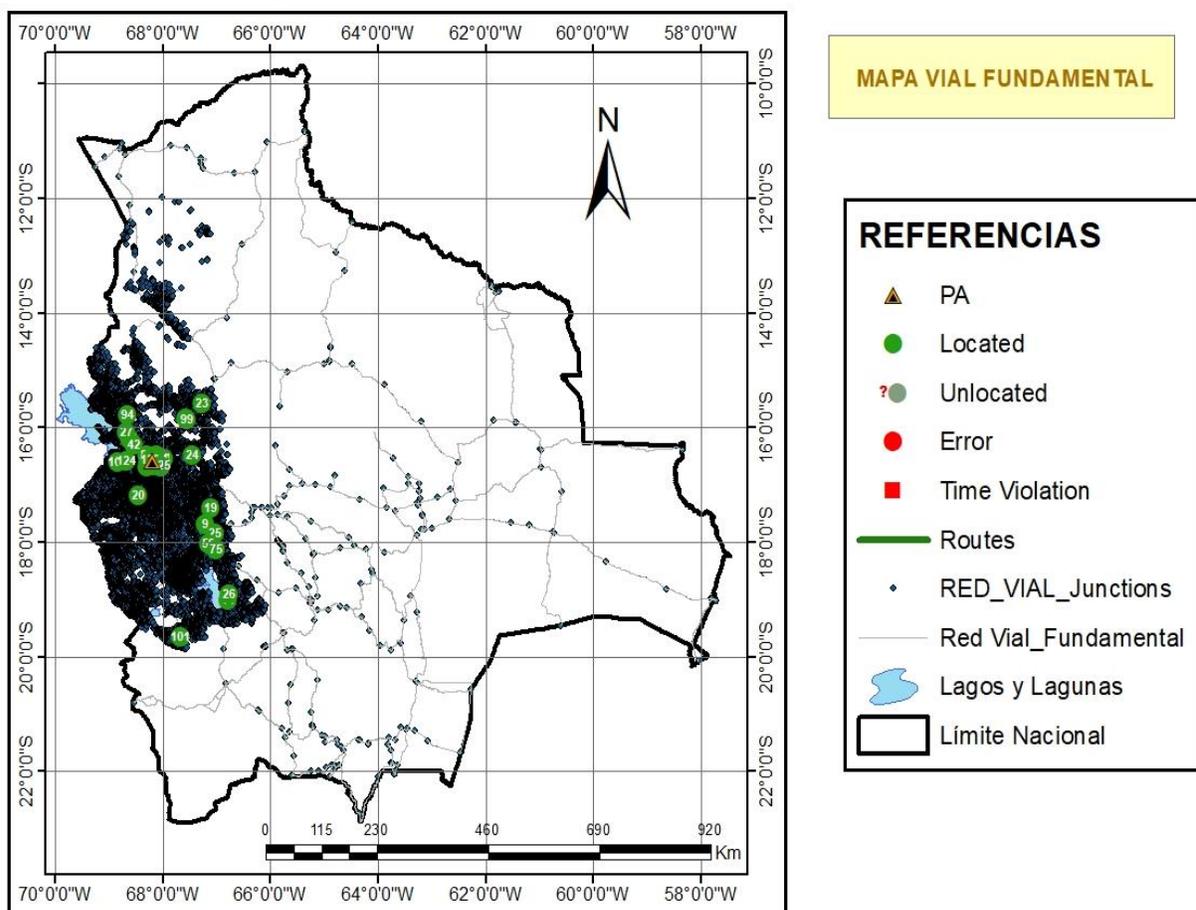
Dando clic en siguiente se muestra una ventana que resume todos los ajustes que se realizaron para su evaluación.

Como punto final se creará un nuevo archivo shape y se agregará en “ArcCatalog” a su vez se agregará el archivo de puntos estos archivos tendrán el nombre de “RED\_Vias\_ND\_Junctions”.

#### 4.3.2.2.1.2. Creación del Geodatabase para el eje vial.

Se procede a abrir ArcCatalog para después crear una carpeta en la Unidad disco local y mediante clic derecho seleccionar New File Geodatabase, se le asigna el nombre de “Geodatabase\_RED\_PX\_Vias” y por último se debe proyectar a las coordenadas “WGS 1984 UTM Zone 19S.” Ahora al Geodatabase creado mediante clic derecho sobre éste, seleccionar “New- Feature Dataset” y asignarle el nombre de Red VIAL\_Fundamental, como se muestra **Figura 4.5.** Donde se puede observar los puntos encontrados de todos los clientes según el Network Dataset (LOCATED) y PA en punto de partida para todos los puntos que sería la planta de Senkata.

**Figura 4.5. Mapa red vial**



**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

#### 4.3.2.2.1.3. *Aplicación de la extensión Network Analyst.*

Para poder encontrar las nuevas rutas mediante la extensión de análisis de red. New Route es una herramienta de análisis de red disponible en el módulo Network Analyst de ArcGIS. Su función principal es determinar la ruta más eficiente. Esta herramienta es esencial para la planificación de rutas de distribución, servicios de emergencia, transporte y cualquier otra aplicación que requiera la optimización de una red vial. A continuación, se describe el procedimiento detallado para simular el trayecto:

##### **Load location (Cargar dirección):**

Es la ventana donde se agregará cada una de las paradas entre (CLIENTES) y (PUNTOS DE CARGA) de tal manera el programa calcule la ruta exacta que debe seguir el camión cisterna sin saltarse ningún cliente.

##### **Analysis Settings (Configuración de análisis):**

En este campo se añadió la información para cada ruta y se pudo determinar el análisis en distancia y tiempo establecidos en el campo de Route (Ruta) para que el programa calcule la ruta optima mediante la distancia existente entre el punto de inicio y el punto final. La IMPEDENCE donde se puede modificar el tiempo optimo o la longitud mínima necesaria para llegar al cliente desde el punto de partida, se procedió al llenado de los siguientes campos:

- ✓ User Start Time (Tiempo de Inicio)
- ✓ Recorder Stops to Find Optimal Route (Recordar los puntos de Inicio y Fin)
- ✓ U-Turns at junctions (Giros en U en cruces)
- ✓ Directions units (Metros)

##### **Calcular la ruta:**

Se ejecuto la herramienta con (SOLVER) para determinar la ruta más eficiente en términos

de distancia o tiempo.

#### 4.3.2.2.2. *Distancia*

El software mide las distancias exactas entre los puntos de entrega utilizando herramientas de cálculo de geometría. Esta información es crucial para planificar rutas que minimicen la distancia total recorrida.

#### 4.3.2.2.3. *Velocidad*

Se definen las velocidades promedio para cada tipo de camino basado en las restricciones de tráfico y las características del terreno que se tienen ya definidas en la tabla de atributos de la red vial tal como se muestra en la **Cuadro 4.2**. Esta información se utiliza para estimar los tiempos de viaje y optimizar las rutas en función de la velocidad. De acuerdo a lo expuesto se añadió el campo de VELOCIDAD a la tabla de atributos con los límites de velocidad los cuales son directrices de conducción de vehículos establecidos por la empresa YPFB Transportes S.A.

**Cuadro 4.2. Límites de velocidad**

LUGARES	TIPOS DE VIA	LIMITE MÁXIMO (km/hr)	OBSERVACIONES
<b>Radio Urbano</b>	Asfaltados	10	Zonas escolares, militares y circulación intensa de peatones
	Asfaltados	60	Avenidas y vías donde las condiciones de seguridad y señalización lo permitan
<b>Caminos y Carreteras</b>	Ripitados	80	Exceptuando el radio urbano
	Asfaltados	60	Si se conduce de noche se debe tener mayor precaución
	Tierra	40	
	Derecho de vía	30	
<b>Área de parques y estaciones</b>	Asfaltado	10	
<b>Área de circulación dentro de oficinas y estaciones</b>	Asfaltado	25	

**Fuente:** (YPFBTransporteS.A., s.f)

#### 4.3.2.2.4. *Tiempo*

ArcGIS calcula el tiempo total de viaje considerando las distancias y las velocidades configuradas. Este cálculo es esencial para asegurarse de que las entregas se realicen dentro de las ventanas de tiempo establecidas y para maximizar la eficiencia del transporte.

Se agrego una nueva columna a la tabla de atributos con el nombre de TIEMPO en minutos para esto se realizó el cálculo del mismo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t[\text{min}] = \frac{[L * 60]}{[V * 1000]} \quad (4.1)$$

Dónde:

t: Es el tiempo del desplazamiento en cada segmento de vía. [min]

L: la distancia de cada calle [km]

60: constante de tiempo en minutos.

1000: constante de distancia en metros.

V: velocidad permitida según el tipo de vía. [km/hr]

#### 4.3.3. *Generación de Rutas*

Para finalizar el análisis de la ruta óptima en base al valor de la distancia y no del tiempo, se escogió en IMPEDENCE meters (metros), para agilizar el proceso de suministro en tiempo y distancia se tomó en cuenta los puntos de carga y un punto intermedio para algunos clientes que se encuentran en el departamento de Oruro en donde también se encuentra un punto de carguío que es la planta San Pedro. Y los puntos de llegada donde se localizan los 124 clientes con los que cuenta la Unidad de Comercialización UGLP.

El **Cuadro 4.3** detalla los puntos de carguío, puntos intermedios y los puntos de llegada correspondientes a cada área de estudio, permitiendo una visualización clara de la distribución geográfica de los clientes y la ruta logística necesaria para el suministro eficiente del GLP.

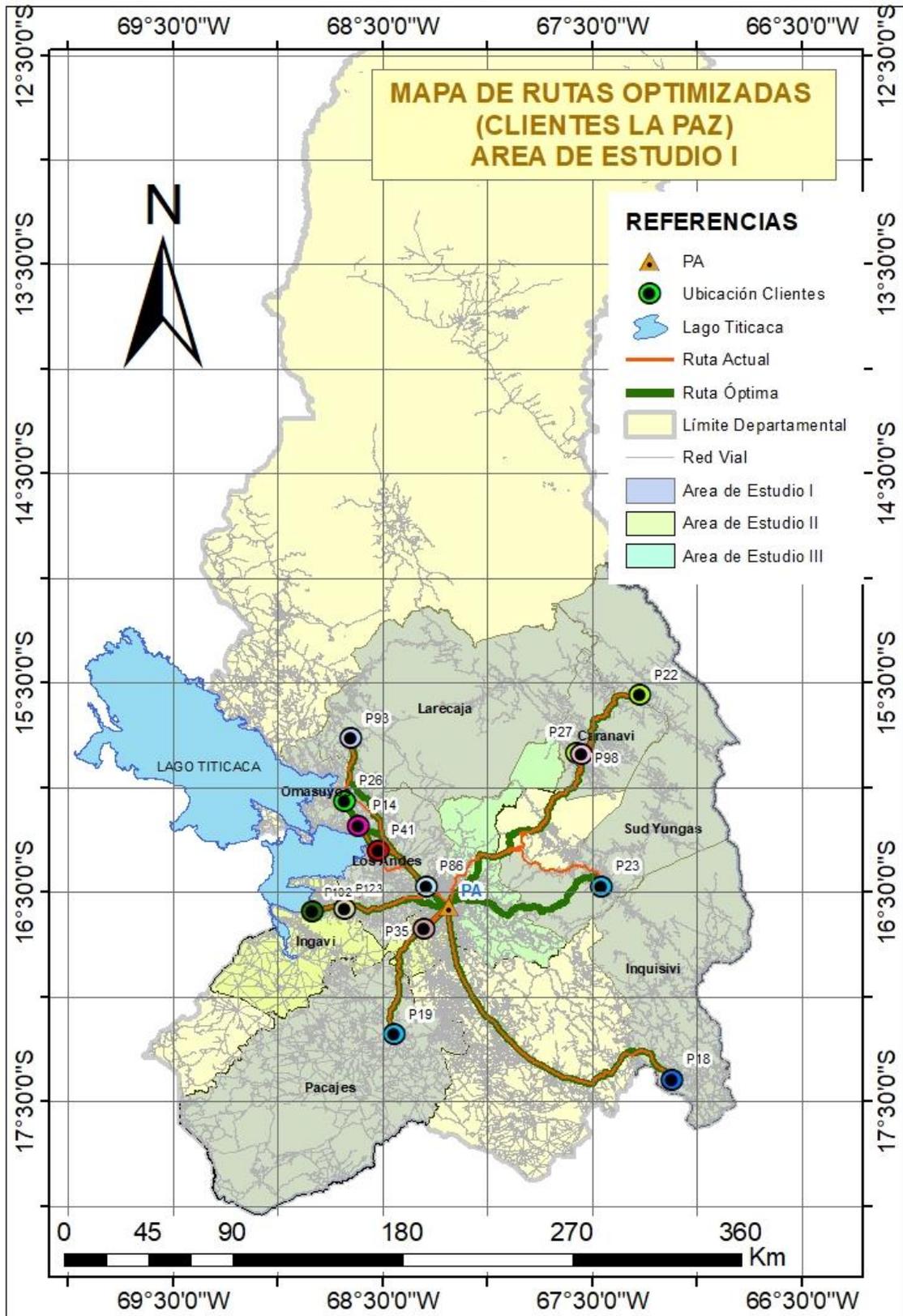
**Cuadro 4.3. Puntos de Carguío – Clientes**

<b>Puntos de Carga</b>	<b>Punto Intermedio</b>	<b>Puntos de Llegada</b>
<b>Área de estudio I</b>		
<b>PA</b>		P14, P18, P19, P22, P23, P26, P27, P35, P41, P86, P93, P98, P102, P123
<b>Área de estudio II</b>		
<b>PA</b>		P28, P43, P63, P69, P73, P80, P97, P99, P101
<b>Área de estudio III</b>		
<b>PA</b>		P01, P02, P03, P04, P05, P06, P07, P09, P10, P11, P12, P15, P16, P17, P20, P21, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P36, P37, P38, P39, P40, P42, P43, P44, P45, P46, P47, P48, P49, P51, P52, P53, P54, P55, P56, P57, P59, P60, P61, P62, P63, P64, P65, P66, P67, P68, P69, P70, P71, P72, P73, P75, P76, P77, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P85, P87, P88, P89, P90, P91, P92, P94, P95, P96, P97, P99, P100, P101, P103, P104, P105, P106, P107, P108, P109, P110, P111, P112, P113, P114, P115, P116, P117, P118, P119, P120, P121, P124
<b>PA</b>	P08, P24, P58	PB
<b>PC</b>	PB	P25(A), P74(A)
<b>PC</b>		P50, P25(B), P74(B)
<b>UGLP_CBBA</b>	PB	P13

**Fuente:** Elaboración propia

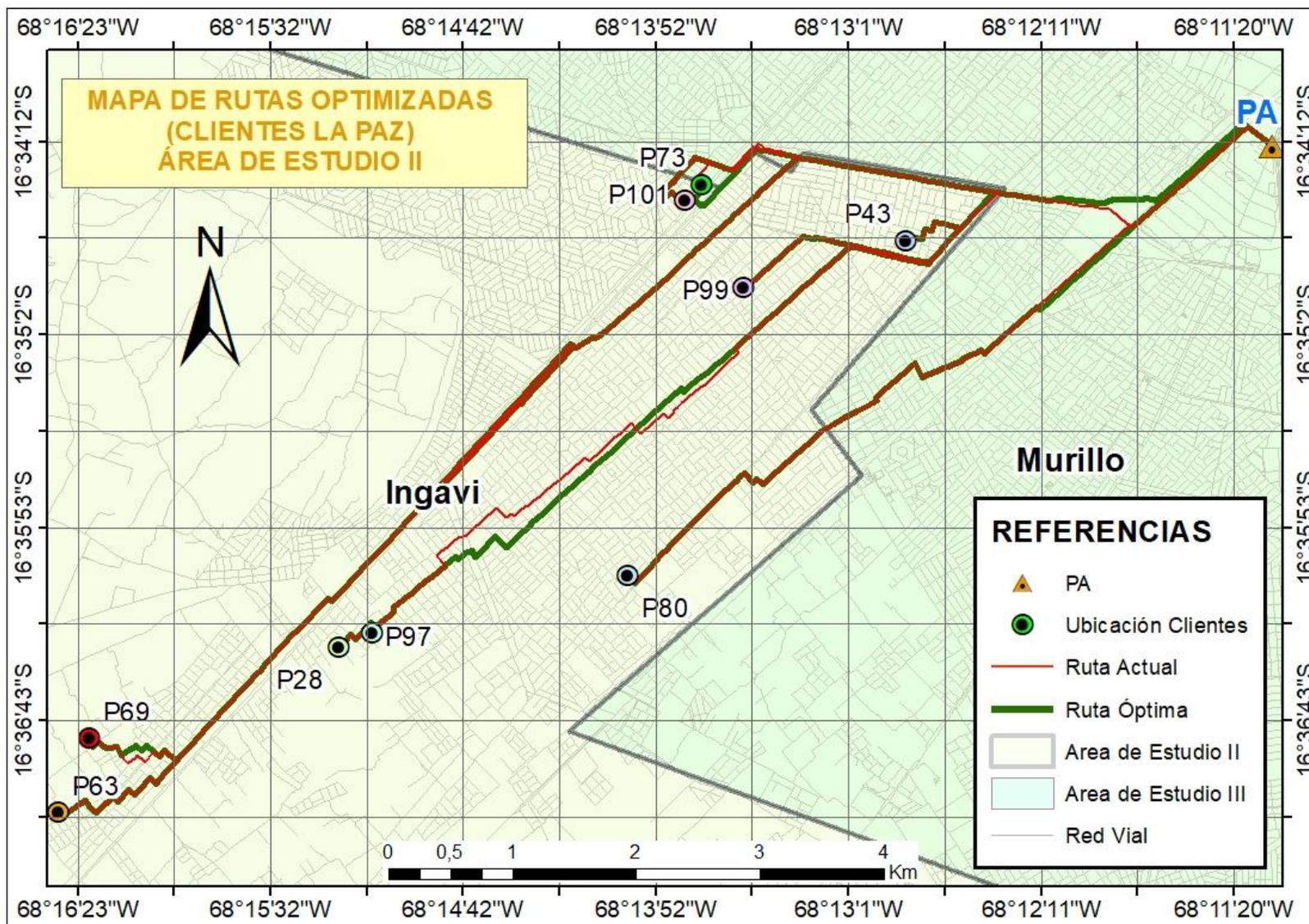
Una vez que se agregó todos los parámetros de análisis y realizado las configuraciones necesarias en las propiedades se generó los resultados, activando el botón “Solve Analyst” (resolver análisis). Después de realizar este procedimiento se obtuvo como resultado las siguientes rutas:

**Figura 4.6. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Área de estudio I)**



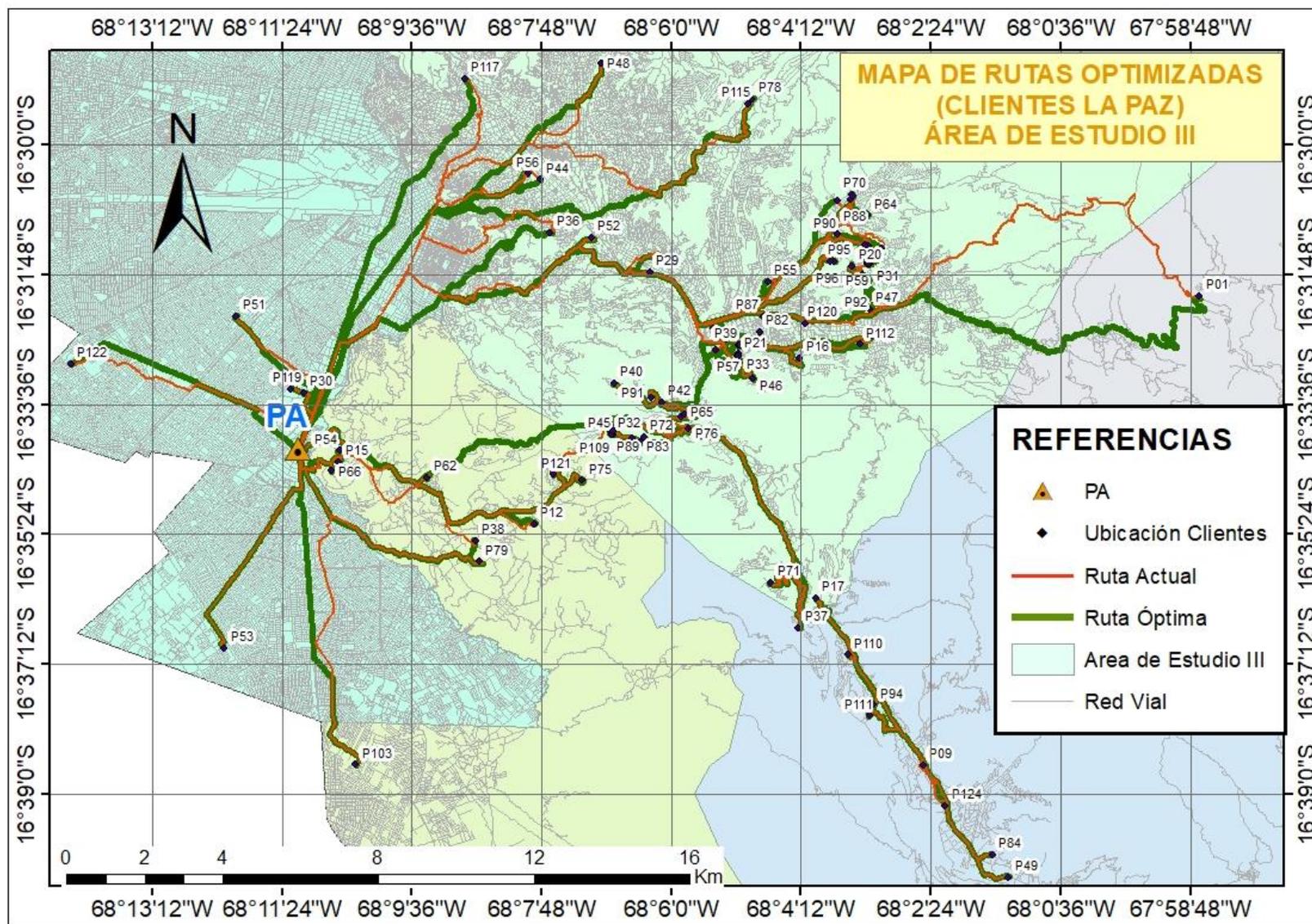
**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

Figura 4.7. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Área de estudio II)



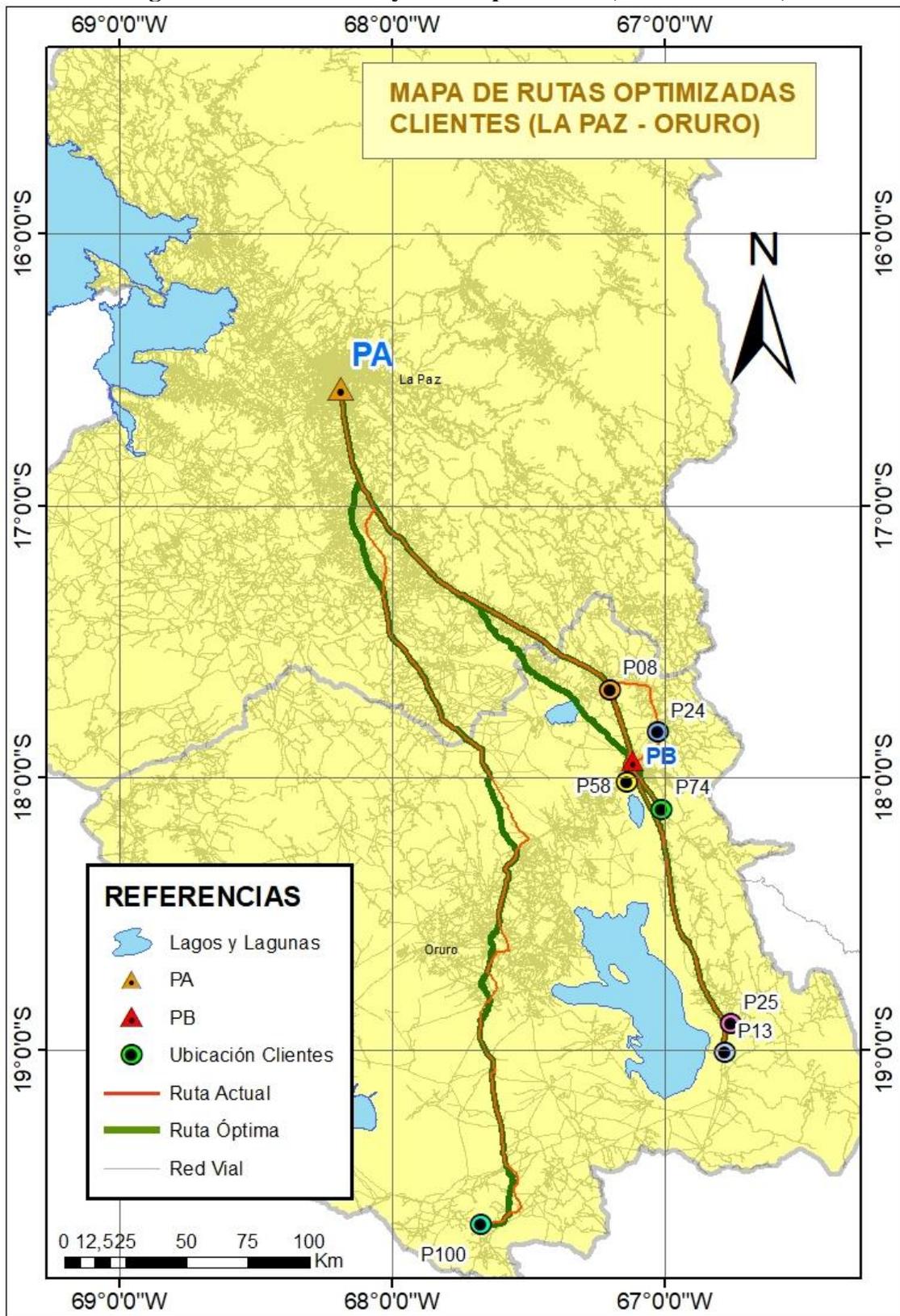
Fuente: Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

**Figura 4.8. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Área de estudio III)**



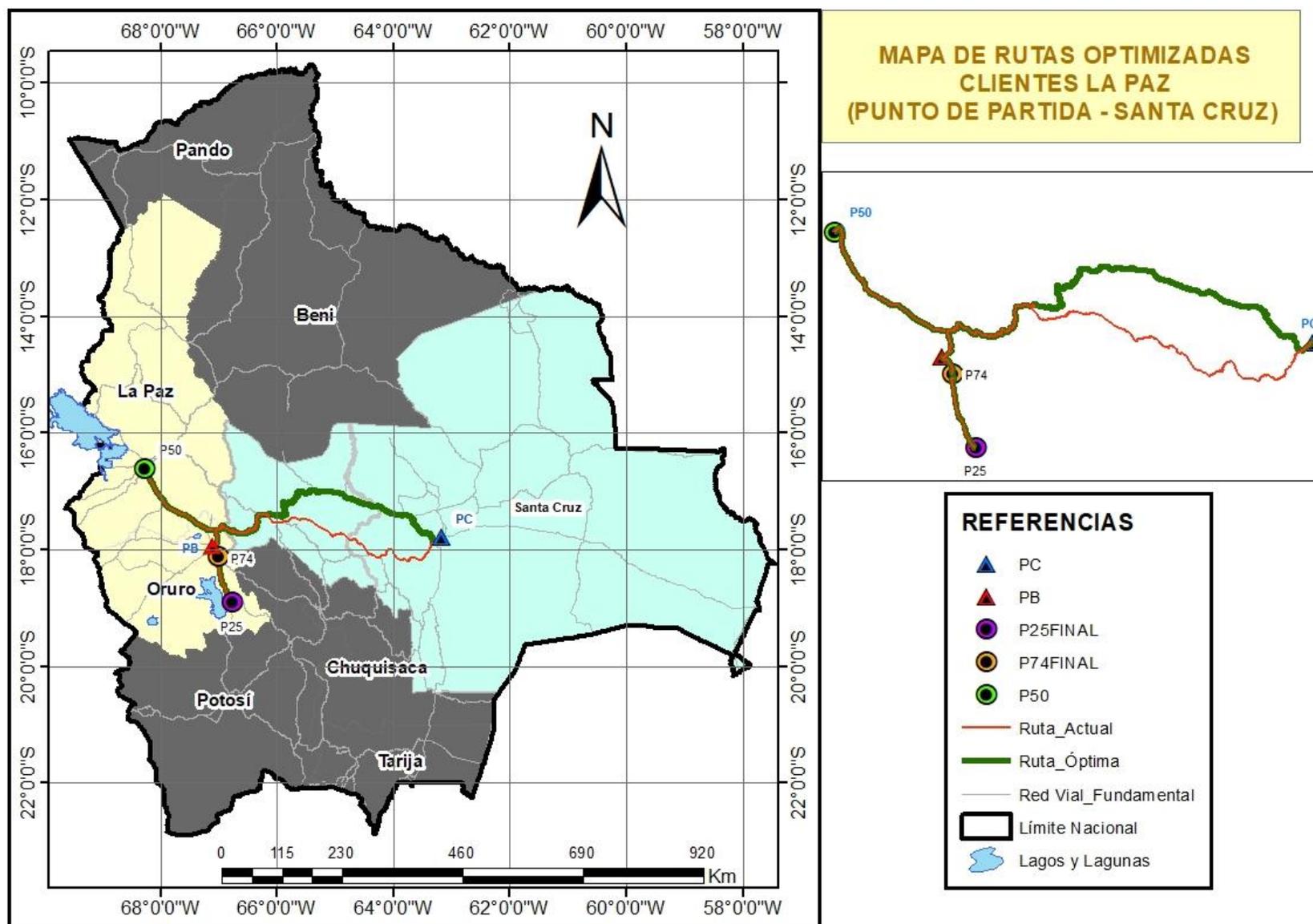
**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

**Figura 4.9. Ruta Actual y Ruta Optimizada (Clientes Oruro)**



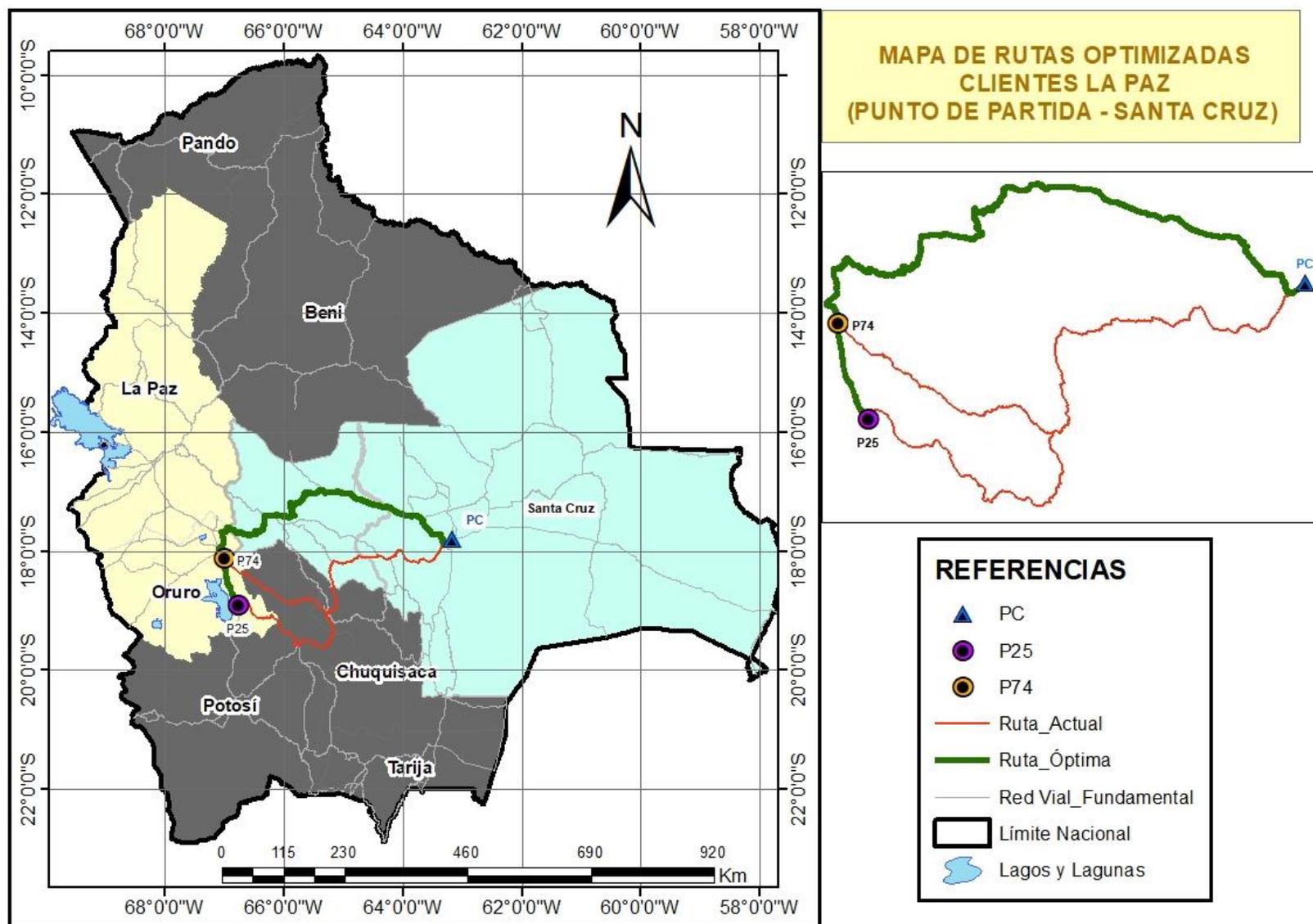
**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

**Figura 4.10. Ruta Actual y Optimizada (SANTA CRUZ – ORURO – LA PAZ)**



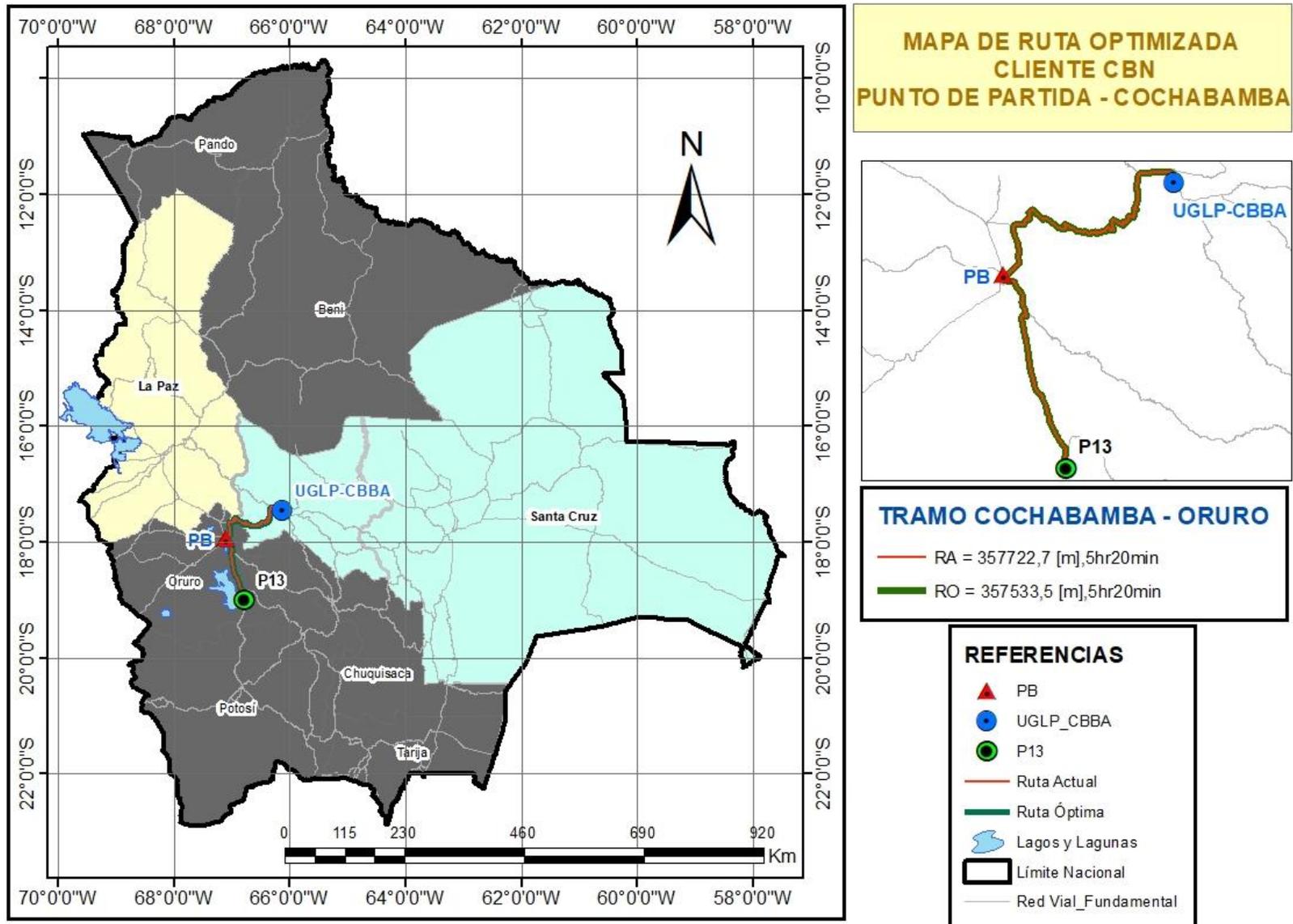
Fuente: Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

**Figura 4.11. Ruta Actual y Optimizada (SANTA CRUZ – ORURO)**



**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

**Figura 4.12. Ruta Actual y Optimizada (COCHABAMBA - ORURO)**



**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

#### 4.4. Evaluación de la Eficacia del Sistema Optimizado

A continuación, se presentan los resultados finales del análisis de los tramos de distribución del gas licuado de petróleo (GLP). La **Tabla 4.5** muestra la longitud actual de cada tramo y la longitud optimizada que se ha logrado mediante la implementación de un sistema eficiente, que se refiere a la optimización de rutas de distribución y la mejora en la planificación de los recorridos. Este análisis permite visualizar claramente las mejoras en la distribución, evidenciando las reducciones en distancia y, por ende, en tiempo para establecer un orden óptimo de atención a los clientes basado en la proximidad y el tiempo de viaje. Al optimizar tanto las longitudes como los tiempos, se busca mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a la distribución del GLP.

**Tabla 4.5. Longitud y Tiempo Actual y Optimizado de los Tramos de Distribución de Gas Licuado de Petróleo en la UGLP**

Tramos	Longitud Actual [M]	Tiempo Actual		Longitud Optimizada [M]	Tiempo Optimizado		Longitud [M]	Tiempo De Ahorro	
		hr	min		hr	min		hr	min
<b>PA-P01</b>	34339,6	1	15	32084,8	0	31	2254,8	0	44
<b>PA-P02</b>	12918	0	12	11494,4	0	10	1423,6	0	2
<b>PA-P03</b>	16523	0	20	15778,1	0	13	744,9	0	7
<b>PA-P04</b>	18109,3	0	17	16521,1	0	15	1588,2	0	2
<b>PA-P05</b>	18144,4	0	17	16556,2	0	15	1588,2	0	2
<b>PA-P06</b>	21373,8	0	36	20408,7	0	17	965,1	0	19
<b>PA-P07</b>	22354,7	0	32	21344,7	0	19	1010	0	13
<b>PA-P08-PB</b>	204402,2	3	40	203938,5	3	24	463,7	0	16
<b>PA-P09</b>	27406	0	23	25268,2	0	21	2137,8	0	2
<b>PA-P10</b>	21422,7	0	32	20453,4	0	18	969,3	0	14
<b>PA-P11</b>	21507,8	0	31	20709,6	0	17	798,2	0	14
<b>PA-P12</b>	9216,6	0	9	8306	0	8	910,6	0	1
<b>UGLP_CBBA-PB-P13</b>	357722,7	5	20	357533,5	5	20	189,2	0	0
<b>PA-P14</b>	73478,3	1	40	67225,3	1	5	6253	0	35
<b>PA-P15</b>	2448,3	0	2	2325,3	0	2	123	0	0
<b>PA-P16</b>	19477,1	0	25	18722,4	0	17	754,7	0	8

<b>PA-P17</b>	22014,1	0	19	19937,1	0	18	2077	0	1
<b>PA-P18</b>	199812,5	3	55	196916,4	3	13	2896,1	0	42
<b>PA-P19</b>	88771	1	50	86937,8	1	19	1833,2	0	31
<b>PA-P20</b>	23145,2	0	32	21876,2	0	19	1269	0	13
<b>PA-P21</b>	19290,8	0	19	18315,8	0	16	975	0	3
<b>PA-P22</b>	253583,9	5	2	235589,5	4	3	17994,4	0	59
<b>PA-P23</b>	153020,3	7	19	135531,5	2	4	17488,8	5	315
<b>PA-P24-PB</b>	228455,1	4	26	226868,5	4	1	1586,6	0	25
<b>PC-PB-P25</b>	839177,4	12	13	795193,1	11	21	43984,3	0	52
<b>PC-P25</b>	839982,6	12	10	790865,7	10	30	49116,9	1	40
<b>PA-P26</b>	94463,2	2	31	81318,9	1	20	13144,3	1	11
<b>PA-P27</b>	176831,4	3	47	158837	2	48	17994,4	0	59
<b>PA-P28</b>	9723,1	0	13	9361,6	0	10	361,5	0	3
<b>PA-P29</b>	14148	0	19	13388,1	0	12	759,9	0	7
<b>PA-P30</b>	1871,1	0	2	1851,8	0	2	19,3	0	0
<b>PA-P31</b>	22337,1	0	34	21191,2	0	19	1145,9	0	15
<b>PA-P32</b>	13045,7	0	12	11620,5	0	10	1425,2	0	2
<b>PA-P33</b>	17809,3	0	17	16213,8	0	15	1595,5	0	2
<b>PA-P34</b>	14848,8	0	20	14074,4	0	12	774,4	0	8
<b>PA-P35</b>	19990,7	0	30	18842,2	0	20	1148,5	0	10
<b>PA-P36</b>	11722,1	0	18	10815,8	0	10	906,3	0	8
<b>PA-P37</b>	21038,2	0	18	18923,6	0	17	2114,6	0	1
<b>PA-P38</b>	7614,3	0	7	6727,2	0	7	887,1	0	0
<b>PA-P39</b>	17679,3	0	17	16303,4	0	14	1375,9	0	3
<b>PA-P40</b>	17266	0	15	15224,9	0	14	2041,1	0	1
<b>PA-P41</b>	51574,8	1	18	50564,5	0	49	1010,3	0	29
<b>PA-P42</b>	15793	0	13	13751,9	0	12	2041,1	0	1
<b>PA-P43</b>	51574,8	0	49	3571,5	0	4	48003,3	0	45
<b>PA-P44</b>	11026,5	0	27	10387,7	0	9	638,8	0	18
<b>PA-P45</b>	13082,5	0	12	11657,3	0	10	1425,2	0	2
<b>PA-P46</b>	18668,1	0	18	17072,6	0	15	1595,5	0	3
<b>PA-P47</b>	20841,2	0	24	19872,7	0	17	968,5	0	7
<b>PA-P48</b>	14474,5	0	29	13733,6	0	12	740,9	0	17
<b>PA-P49</b>	30596,9	0	25	28447,4	0	24	2149,5	0	1
<b>PC-P50</b>	874093,6	12	22	830298,4	11	30	43795,2	0	52
<b>PA-P51</b>	4866,8	0	10	4685,6	0	4	181,2	0	6
<b>PA-P52</b>	12431,8	0	17	11683,1	0	10	748,7	0	7
<b>PA-P53</b>	6253,6	0	6	6253,6	0	6	0	0	0
<b>PA-P54</b>	2330,3	0	2	2328,6	0	2	1,7	0	0

<b>PA-P55</b>	18714,2	0	23	17819,8	0	12	894,4	0	11
<b>PA-P56</b>	10767,1	0	26	10160,4	0	9	606,7	0	17
<b>PA-P57</b>	17490,3	0	18	15678,9	0	16	1811,4	0	2
<b>PA-P58-PB</b>	225771,9	5	41	223921,1	3	42	1850,8	1	59
<b>PA-P59</b>	22154,3	0	32	21144,3	0	18	1010	0	14
<b>PA-P60</b>	21750,4	0	37	20673,4	0	18	1077	0	19
<b>PA-P61</b>	13050,7	0	12	11625,4	0	10	1425,3	0	2
<b>PA-P62</b>	5445,8	0	5	5259,6	0	5	186,2	0	0
<b>PA-P63</b>	12359,5	0	13	12262,6	0	12	96,9	0	1
<b>PA-P64</b>	21783,5	0	31	20975	0	17	808,5	0	14
<b>PA-P65</b>	14920,6	0	13	12879,5	0	12	2041,1	0	1
<b>PA-P66</b>	2207,2	0	2	2082,6	0	2	124,6	0	0
<b>PA-P67</b>	13752,5	0	12	12327,2	0	11	1425,3	0	1
<b>PA-P68</b>	22756,4	0	32	21111,9	0	19	1644,5	0	13
<b>PA-P69</b>	12302,7	0	13	12170,6	0	12	132,1	0	1
<b>PA-P70</b>	21598,9	0	32	20788,7	0	18	810,2	0	14
<b>PA-P71</b>	22575,6	0	19	20535,3	0	18	2040,3	0	1
<b>PA-P72</b>	13916,1	0	12	11876,3	0	11	2039,8	0	1
<b>PA-P73</b>	5649,0	0	7	5541,5	0	6	107,5	0	1
<b>PC-PB-P74</b>	741695,2	10	58	697710,8	10	6	43984,4	0	52
<b>PC-P74</b>	796799,0	10	55	693383,5	10	1	103415,5	0	54
<b>PA-P75</b>	10946,1	0	9	10357,4	0	9	588,7	0	0
<b>PA-P76</b>	14599,8	0	13	12488,9	0	11	2110,9	0	2
<b>PA-P77</b>	17307,2	0	17	16256,6	0	14	1050,6	0	3
<b>PA-P78</b>	20118,0	0	47	19007,2	0	23	1110,8	0	24
<b>PA-P79</b>	6759,7	0	7	6730,0	0	7	29,7	0	0
<b>PA-P80</b>	6741,4	0	12	6740,9	0	7	0,5	0	5
<b>PA-P81</b>	14764	0	13	12722,9	0	12	2041,1	0	1
<b>PA-P82</b>	18081,1	0	18	17064,8	0	14	1016,3	0	4
<b>PA-P83</b>	13884,6	0	13	12459,3	0	11	1425,3	0	2
<b>PA-P84</b>	29871,1	0	24	27721,7	0	23	2149,4	0	1
<b>PA-P85</b>	22209,2	0	36	20930,6	0	18	1278,6	0	18
<b>PA-P86</b>	18930,7	0	45	17865,5	0	17	1065,2	0	28
<b>PA-P87</b>	17670,9	0	21	16911,8	0	14	759,1	0	7
<b>PA-P88</b>	21572,8	0	31	20764,3	0	17	808,5	0	14
<b>PA-P89</b>	12893,5	0	12	11468,2	0	10	1425,3	0	2
<b>PA-P90</b>	20871,9	0	32	19812,8	0	17	1059,1	0	15
<b>PA-P91</b>	16471,2	0	14	14430,1	0	13	2041,1	0	1
<b>PA-P92</b>	21444,7	0	25	20375,8	0	17	1068,9	0	8

<b>PA-P93</b>	135134,7	4	3	119879	1	53	15255,7	2	10
<b>PA-P94</b>	24955,1	0	21	22805,6	0	19	2149,5	0	2
<b>PA-P95</b>	20275,1	0	24	19482,4	0	17	792,7	0	7
<b>PA-P96</b>	20242,5	0	24	19449,7	0	17	792,8	0	7
<b>PA-P97</b>	9448,8	0	13	9087,4	0	10	361,4	0	3
<b>PA-P98</b>	173793,3	3	44	155799	2	45	17994,3	0	59
<b>PA-P99</b>	5001,7	0	6	4900,0	0	5	101,7	0	1
<b>PA-P100</b>	404597	10	47	390434,7	6	1	14162,3	4	46
<b>PA-P101</b>	5850,7	0	6	5753,8	0	6	96,9	0	0
<b>PA-P102</b>	79254,9	1	37	77197,7	1	17	2057,2	0	20
<b>PA-P103</b>	9482,3	0	17	8899,0	0	9	583,3	0	8
<b>PA-P104</b>	22499,2	0	34	21353,3	0	19	1145,9	0	15
<b>PA-P105</b>	22499,2	0	34	21353,3	0	19	1145,9	0	15
<b>PA-P106</b>	22499,2	0	34	21353,3	0	19	1145,9	0	15
<b>PA-P107</b>	22499,2	0	34	21353,3	0	19	1145,9	0	15
<b>PA-P108</b>	22499,2	0	34	21353,3	0	19	1145,9	0	15
<b>PA-P109</b>	12849,4	0	12	11424,1	0	11	1425,3	0	1
<b>PA-P110</b>	23676,6	0	20	21437,2	0	19	2239,4	0	1
<b>PA-P111</b>	26887,4	0	23	24673,7	0	22	2213,7	0	1
<b>PA-P112</b>	21042,9	0	21	19758,4	0	17	1284,5	0	4
<b>PA-P113</b>	17022,3	0	17	16133,1	0	14	889,2	0	3
<b>PA-P114</b>	12748,9	0	12	11323,6	0	10	1425,3	0	2
<b>PA-P115</b>	19902	0	45	18796,8	0	22	1105,2	0	23
<b>PA-P116</b>	20818,6	0	20	19804,9	0	17	1013,7	0	3
<b>PA-P117</b>	11728,3	0	14	11203,5	0	9	524,8	0	5
<b>PA-P118</b>	13662,7	0	13	12237,4	0	12	1425,3	0	1
<b>PA-P119</b>	2228,1	0	3	2151	0	2	77,1	0	1
<b>PA-P120</b>	18787,1	0	23	18035,7	0	16	751,4	0	7
<b>PA-P121</b>	10502,4	0	9	9913,7	0	9	588,7	0	0
<b>PA-P122</b>	7662,9	0	25	6889,6	0	7	773,3	0	18
<b>PA-P123</b>	62792,0	1	19	60740,5	1	0	2051,5	0	19
<b>PA-P124</b>	28412,7	0	26	25702,7	0	23	2710	0	3

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

La **Tabla 4.6** muestra un resumen de la distancia total recorrida y el tiempo total de entrega antes y después de la optimización de rutas para todos los clientes de la UGLP Regional La Paz. Estos valores resumen permiten evaluar de forma clara la mejora en eficiencia lograda gracias a la optimización.

**Tabla 4.6. Resumen de Longitud y Tiempo Total de Distribución**

<b>Parámetro</b>	<b>Antes de la Optimización</b>	<b>Después de la optimización</b>
<b>Distancia total recorrida (km)</b>	69,8	65,1
<b>Tiempo total de entrega (minutos)</b>	77,3	58,6

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.4.1. Cálculo de la Reducción de Distancia**

A partir de los datos de la Tabla 4.6, se calcula la reducción de la distancia total recorrida:

$$\mathbf{Rd} = \left( \frac{\mathbf{Da} - \mathbf{Dd}}{\mathbf{Da}} \right) * 100\% \quad (4.2)$$

Donde:

Rd: Reducción de Distancia [%]

Da: Distancia antes de la optimización [km]

Dd: Distancia después de la optimización [km]

Sustituyendo los valores:

$$\mathbf{Rd} = \left( \frac{69,8 \text{ [km]} - 65,1 \text{ [km]}}{69,8 \text{ [km]}} \right) * 100\%$$

$$\boxed{\mathbf{Rd} = 6,7 \%}$$

La reducción del 6,73% en la distancia recorrida indica una mejora significativa en la eficiencia del sistema de distribución, resultando en menor consumo de combustible y reducción de costos operativos.

#### **4.4.2. Cálculo de la Reducción en Tiempos de Entrega**

La reducción en los tiempos de entrega se calcula de la siguiente manera:

$$Rt = \left( \frac{Ta - Td}{Ta} \right) * 100\% \quad (4.3)$$

Donde:

Rt: Reducción de Tiempo [%]

Ta: Tiempo antes de la optimización [min]

Td: Tiempo después de la optimización [min]

Sustituyendo los valores de la tabla:

$$Rt = \left( \frac{77,3 [min] - 58,6 [min]}{77,3 [min]} \right) * 100\%$$

$$\boxed{Rd = 24,2 \%}$$

La reducción del 24,2% en los tiempos de entrega mejora la satisfacción del cliente al permitir que el GLP sea entregado más rápidamente.

Además del análisis comparativo, se ha determinado un orden de atención a los clientes basado en la proximidad al punto de recarga utilizando ArcGIS. La **Tabla 4.7** presenta la estrategia permite establecer un orden lógico y eficiente para la distribución del gas, priorizando aquellos clientes que están más cerca y optimizando las rutas de entrega desde el punto de recarga. Aunque esta tabla no tiene una comparación directa con datos actuales, es fundamental para la implementación del nuevo sistema de distribución.

**Tabla 4.7. Secuencia Óptima de Entrega Según Proximidad**

TRAMO	Origen	Destino	Orden de entrega	Longitud Total [m]	Tiempo Total	
					hr	min
<b>Punto A – Punto 30</b>	PA	P30	1	1851,8	0	2
<b>Punto A – Punto 66</b>	PA	P66	2	2082,6	0	2
<b>Punto A – Punto 119</b>	PA	P119	3	2151	0	2

<b>Punto A – Punto 15</b>	PA	P15	4	2325,3	0	2
<b>Punto A – Punto 54</b>	PA	P54	5	2328,6	0	2
<b>Punto A – Punto 43</b>	PA	P43	6	3571,5	0	4
<b>Punto A – Punto 51</b>	PA	P51	7	4685,6	0	4
<b>Punto A – Punto 99</b>	PA	P99	8	4900,0	0	5
<b>Punto A – Punto 62</b>	PA	P62	9	5259,6	0	5
<b>Punto A – Punto 73</b>	PA	P73	10	5541,5	0	6
<b>Punto A – Punto 101</b>	PA	P101	11	5753,8	0	6
<b>Punto A – Punto 53</b>	PA	P53	12	6253,6	0	6
<b>Punto A – Punto 38</b>	PA	P38	13	6727,2	0	7
<b>Punto A – Punto 79</b>	PA	P79	14	6730,0	0	7
<b>Punto A – Punto 80</b>	PA	P80	15	6740,9	0	7
<b>Punto A – Punto 122</b>	PA	P122	16	6889,6	0	7
<b>Punto A – Punto 12</b>	PA	P12	17	8306	0	8
<b>Punto A – Punto 103</b>	PA	P103	18	8899,0	0	9
<b>Punto A – Punto 97</b>	PA	P97	19	9087,4	0	10
<b>Punto A – Punto 28</b>	PA	P28	20	9361,6	0	10
<b>Punto A – Punto 121</b>	PA	P121	21	9913,7	0	9
<b>Punto A – Punto 56</b>	PA	P56	22	10160,4	0	9
<b>Punto A – Punto 75</b>	PA	P75	23	10357,4	0	9
<b>Punto A – Punto 44</b>	PA	P44	24	10387,7	0	9
<b>Punto A – Punto 36</b>	PA	P36	25	10815,8	0	10
<b>Punto A – Punto 117</b>	PA	P117	26	11203,5	0	9
<b>Punto A – Punto 114</b>	PA	P114	27	11323,6	0	10
<b>Punto A – Punto 109</b>	PA	P109	28	11424,1	0	11
<b>Punto A – Punto 89</b>	PA	P89	29	11468,2	0	10
<b>Punto A – Punto 02</b>	PA	P02	30	11494,4	0	10
<b>Punto A – Punto 32</b>	PA	P32	31	11620,5	0	10
<b>Punto A – Punto 61</b>	PA	P61	32	11625,4	0	10
<b>Punto A – Punto 45</b>	PA	P45	33	11657,3	0	10
<b>Punto A – Punto 52</b>	PA	P52	34	11683,1	0	10

<b>Punto A – Punto 72</b>	PA	P72	35	11876,3	0	11
<b>Punto A – Punto 69</b>	PA	P69	36	12170,6	0	12
<b>Punto A – Punto 118</b>	PA	P118	37	12237,4	0	12
<b>Punto A – Punto 63</b>	PA	P63	38	12262,6	0	12
<b>Punto A – Punto 67</b>	PA	P67	39	12327,2	0	11
<b>Punto A – Punto 83</b>	PA	P83	40	12459,3	0	11
<b>Punto A – Punto 76</b>	PA	P76	41	12488,9	0	11
<b>Punto A – Punto 81</b>	PA	P81	42	12722,9	0	12
<b>Punto A – Punto 65</b>	PA	P65	43	12879,5	0	12
<b>Punto A – Punto 29</b>	PA	P29	44	13388,1	0	12
<b>Punto A – Punto 48</b>	PA	P48	45	13733,6	0	12
<b>Punto A – Punto 42</b>	PA	P42	46	13751,9	0	12
<b>Punto A – Punto 34</b>	PA	P34	47	14074,4	0	12
<b>Punto A – Punto 91</b>	PA	P91	48	14430,1	0	13
<b>Punto A – Punto 40</b>	PA	P40	49	15224,9	0	14
<b>Punto A – Punto 57</b>	PA	P57	50	15678,9	0	16
<b>Punto A – Punto 03</b>	PA	P03	51	15778,1	0	13
<b>Punto A – Punto 113</b>	PA	P113	52	16133,1	0	14
<b>Punto A – Punto 33</b>	PA	P33	53	16213,8	0	15
<b>Punto A – Punto 77</b>	PA	P77	54	16256,6	0	14
<b>Punto A – Punto 39</b>	PA	P39	55	16303,4	0	14
<b>Punto A – Punto 04</b>	PA	P04	56	16521,1	0	15
<b>Punto A – Punto 05</b>	PA	P05	57	16556,2	0	15
<b>Punto A – Punto 87</b>	PA	P87	58	16911,8	0	14
<b>Punto A – Punto 82</b>	PA	P82	59	17064,8	0	14
<b>Punto A – Punto 46</b>	PA	P46	60	17072,6	0	15
<b>Punto A – Punto 55</b>	PA	P55	61	17819,8	0	12
<b>Punto A – Punto 86</b>	PA	P86	62	17865,5	0	17
<b>Punto A – Punto 120</b>	PA	P120	63	18035,7	0	16
<b>Punto A – Punto 21</b>	PA	P21	64	18315,8	0	16
<b>Punto A – Punto 16</b>	PA	P16	65	18722,4	0	17

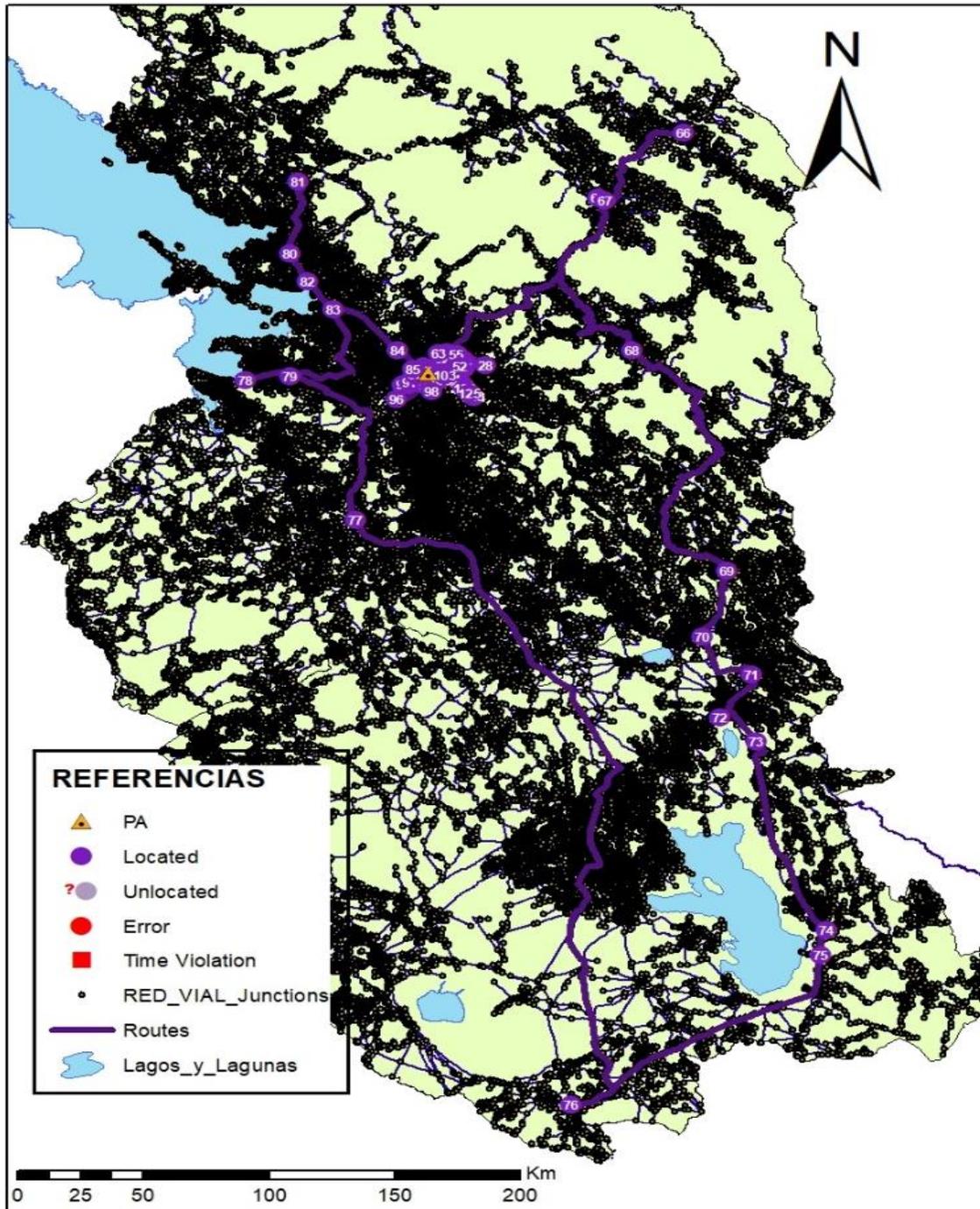
<b>Punto A – Punto 115</b>	PA	P115	66	18796,8	0	22
<b>Punto A – Punto 35</b>	PA	P35	67	18842,2	0	20
<b>Punto A – Punto 37</b>	PA	P37	68	18923,6	0	17
<b>Punto A – Punto 78</b>	PA	P78	69	19007,2	0	23
<b>Punto A – Punto 96</b>	PA	P96	70	19449,7	0	17
<b>Punto A – Punto 95</b>	PA	P95	71	19482,4	0	17
<b>Punto A – Punto 112</b>	PA	P112	72	19758,4	0	17
<b>Punto A – Punto 116</b>	PA	P116	73	19804,9	0	17
<b>Punto A – Punto 90</b>	PA	P90	74	19812,8	0	17
<b>Punto A – Punto 47</b>	PA	P47	75	19872,7	0	17
<b>Punto A – Punto 17</b>	PA	P17	76	19937,1	0	18
<b>Punto A – Punto 92</b>	PA	P92	77	20375,8	0	17
<b>Punto A – Punto 06</b>	PA	P06	78	20408,7	0	17
<b>Punto A – Punto 10</b>	PA	P10	79	20453,4	0	18
<b>Punto A – Punto 71</b>	PA	P71	80	20535,3	0	18
<b>Punto A – Punto 60</b>	PA	P60	81	20673,4	0	18
<b>Punto A – Punto 11</b>	PA	P11	82	20709,6	0	17
<b>Punto A – Punto 88</b>	PA	P88	83	20764,3	0	17
<b>Punto A – Punto 70</b>	PA	P70	84	20788,7	0	18
<b>Punto A – Punto 85</b>	PA	P85	85	20930,6	0	18
<b>Punto A – Punto 64</b>	PA	P64	86	20975	0	17
<b>Punto A – Punto 68</b>	PA	P68	87	21111,9	0	19
<b>Punto A – Punto 59</b>	PA	P59	88	21144,3	0	18
<b>Punto A – Punto 31</b>	PA	P31	89	21191,2	0	19
<b>Punto A – Punto 07</b>	PA	P07	90	21344,7	0	19
<b>Punto A – Punto 104</b>	PA	P104	91	21353,3	0	19
<b>Punto A – Punto 105</b>	PA	P105	92	21353,3	0	19
<b>Punto A – Punto 106</b>	PA	P106	93	21353,3	0	19
<b>Punto A – Punto 107</b>	PA	P107	94	21353,3	0	19
<b>Punto A – Punto 108</b>	PA	P108	95	21353,3	0	19
<b>Punto A – Punto 110</b>	PA	P110	96	21437,2	0	19

<b>Punto A – Punto 20</b>	PA	P20	97	21876,2	0	19
<b>Punto A – Punto 94</b>	PA	P94	98	22805,6	0	19
<b>Punto A – Punto 111</b>	PA	P111	99	24673,7	0	22
<b>Punto A – Punto 09</b>	PA	P09	100	25268,2	0	21
<b>Punto A – Punto 124</b>	PA	P124	101	25702,7	0	23
<b>Punto A – Punto 84</b>	PA	P84	102	27721,7	0	23
<b>Punto A – Punto 49</b>	PA	P49	103	28447,4	0	24
<b>Punto A – Punto 01</b>	PA	P01	104	32084,8	0	31
<b>Punto A – Punto 41</b>	PA	P41	105	50564,5	0	49
<b>Punto A – Punto 123</b>	PA	P123	106	60740,5	1	0
<b>Punto A – Punto 14</b>	PA	P14	107	67225,3	1	5
<b>Punto A – Punto 102</b>	PA	P102	108	77197,7	1	17
<b>Punto A – Punto 26</b>	PA	P26	109	81318,9	1	20
<b>Punto A – Punto 19</b>	PA	P19	110	86937,8	1	19
<b>Punto A – Punto 93</b>	PA	P93	111	119879	1	53
<b>Punto A – Punto 23</b>	PA	P23	112	135531,5	2	4
<b>Punto A – Punto 98</b>	PA	P98	113	155799	2	45
<b>Punto A – Punto 27</b>	PA	P27	114	158837	2	48
<b>Punto A – Punto 18</b>	PA	P18	115	196916,4	3	13
<b>Punto A – Punto 08 – Punto B</b>	PA	P08	116	203938,5	3	24
<b>Punto A – Punto 58 – Punto B</b>	PA	P58	117	223921,1	3	42
<b>Punto A – Punto 24 – Punto B</b>	PA	P24	118	226868,5	4	1
<b>Punto A – Punto 74</b>	PA	P74	119	227736,7	3	46
<b>Punto A – Punto 22</b>	PA	P22	120	235589,5	4	3
<b>Punto A – Punto 25</b>	PC	P25	121	320864,7	5	19
<b>Punto A – Punto 13</b>	PA	P13	122	331233,7	5	30
<b>Punto A – Punto 100</b>	PA	P100	123	390434,7	6	1

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

Para una mejor comprensión, ver **Figura 4.13** que representa visualmente el orden de atención basado en la proximidad al punto de recarga, mostrando la secuencia óptima de entrega de manera clara y concisa.

**Figura 4.13. Orden de Atención Basado en la Proximidad al Punto de Recarga**



**Fuente:** Elaboración propia en base a datos geográficos de la UGLP, procesados en ArcGIS

## **4.5. Beneficios y desventajas de la Optimización de Rutas**

### **4.5.1. Beneficios**

La implementación de rutas optimizadas proporciona varios beneficios significativos:

**Reducción de Costos:** Al disminuir las distancias recorridas y los tiempos de entrega, se logran ahorros en el consumo de combustible, lo que mejora la rentabilidad y reduce los costos operativos. Este análisis de costos se desarrollará en el capítulo 6, donde se presentarán los cálculos específicos.

**Mejora en Tiempos de Entrega:** Los nuevos recorridos permiten un servicio más ágil, aumentando la satisfacción del cliente al garantizar entregas más rápidas. Esta eficiencia en el servicio asegura que los consumidores reciben su producto de manera oportuna y confiable.

**Aumento de la Satisfacción del Cliente:** La optimización de rutas no solo mejora el servicio, sino que también fomenta la lealtad del cliente al satisfacer sus necesidades de manera más efectiva. Este aspecto es crucial en un entorno competitivo, donde la satisfacción del cliente es un indicador clave de éxito.

**Eficiencia Operativa:** La optimización permite a la UGLP Regional La Paz atender a un mayor número de clientes con la misma capacidad de la cisterna. Al mejorar la eficiencia operativa, la unidad puede incrementar su capacidad de respuesta ante la demanda del mercado.

**Uso de ArcGIS para la Seguridad y Eficiencia:** El programa ArcGIS permite identificar las rutas más adecuadas, considerando el tipo de carretera (asfaltada o de tierra). Esta herramienta no solo optimiza la planificación de las rutas, sino que también mejora la seguridad en el transporte al evitar carreteras que puedan ser inadecuadas o peligrosas, contribuyendo así a una distribución más eficiente del GLP.

### **4.5.2. Desventajas**

A pesar de los beneficios, es importante considerar también las desventajas que pueden surgir:

**Dependencia de Herramientas Tecnológicas:** La eficacia de la optimización de rutas depende en gran medida del uso correcto de ArcGIS y de la disponibilidad de datos precisos. Cualquier error en los datos puede afectar la calidad de la optimización y, por ende, el servicio.

**Costos Asociados a la Implementación:** Los costos iniciales de implementación de un sistema de optimización y las herramientas tecnológicas necesarias pueden ser elevados. Estos costos se analizarán con más detalle en el capítulo 6.

“NO SUBESTIMES LOS COMIENZOS  
HUMILDES; SON EL CAMINO A LOS  
LOGROS MAYORES.”

Séneca.

# **CAPÍTULO 5**

## **ANÁLISIS TÉCNICO**

## CAPITULO 5

### ANALISIS TÉCNICO

#### 5.1 Descripción del método de cálculo volumétrico de GLP almacenado en tanques estacionarios según la norma API 14.8.

La Norma base para el desarrollo del trabajo es la AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API) –MANUAL OF PETROLEUM MEASSUREMENT STANDART (MPMS) en su capítulo 14, específicamente la sección 8 y literal 7.7; detalla específicamente un procedimiento de cálculo para medición del volumen de GLP contenido en tanques estacionarios.

En el referido literal se describe el procedimiento teórico, y consiste en:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen total} \\ \text{a condiciones} \\ \text{estándar} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de} \\ \text{liquido} \\ \text{a condiciones} \\ \text{estándar} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de vapor sobre el liquido} \\ \text{en unidades equivalentes al liquido} \\ \text{a condiciones estándar} \end{array} \right]$$

Entonces:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de} \\ \text{liquido} \\ \text{a condiciones} \\ \text{estándar} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de liquido} \\ \text{a condiciones de tanque} \end{array} \right] * \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de corrección} \\ \text{volumétrico por} \\ \text{temperatura y} \\ \text{gravedad} \end{array} \right]$$

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de vapor} \\ \text{sobre el liquido en} \\ \text{unidades equivalentes} \\ \text{al liquido a condiciones} \\ \text{base} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Volumen de} \\ \text{vapor} \\ \text{sobre} \\ \text{el liquido} \end{array} \right] * \frac{P_o}{P_a} * \frac{T_o}{T_a} \left[ \begin{array}{l} \text{Factor para} \\ \text{volumen liquido} \\ \text{por volumen de} \\ \text{vapor} \end{array} \right]$$

Donde:

$P_o$  y  $T_o$  = Presión y temperatura observadas en el tanque, considerando los valores de presión en unidades absolutas (psia) y temperatura en unidades K (Kelvin) o °R (Rankine).

$P_a$  y  $T_a$  = Presión y temperatura absolutas, considerando los valores de presión en unidades absolutas (psia) y temperatura en unidades K (Kelvin) o °R (Rankine).

***Volumen total*** = La suma entre el volumen del producto en estado líquido en el recipiente, más el vapor sobre el líquido convertido a su equivalente volumétrico en líquido. Este volumen total está medido a condiciones estándar. (m<sup>3</sup>)

***Volumen de líquido a condiciones estándar*** = Volumen líquido corregido a temperatura estándar obtenido al multiplicarse el volumen líquido dentro del recipiente por el factor volumétrico de corrección. (m<sup>3</sup>)

***Volumen líquido a condiciones del tanque*** = Volumen del líquido dentro del recipiente. (m<sup>3</sup>)

***Volumen de vapor sobre el líquido*** = Volumen del vapor contenido en el recipiente. (m<sup>3</sup>)

***Factor de corrección volumétrico por temperatura y gravedad*** = Factor usado para corregir el volumen del líquido a temperatura estándar. Para obtener este factor se deben usar las tablas 33 y 34, pertenecientes a la norma ASTM 1250-50. (adimensional)

***Factor para volumen de líquido por volumen de vapor*** = Es un factor de conversión de un volumen de vapor en un volumen de líquido equivalente. En este trabajo se empleará el factor descrito en la Norma GPA 8195-95 (adimensional)

## **5.2 Estructuración y desarrollo del método de cálculo volumétrico de GLP en tanques estacionarios basado en la norma API 14.8**

### ***5.2.1. Descripción general de la norma para obtención de volúmenes en estado líquido y de vapor***

Es de importancia señalar que la norma API en su capítulo 14 y sección 8, describe únicamente un método de cálculo volumétrico de forma teórica, es decir no contiene una descripción del proceso completo respecto a ecuaciones, por lo que es adecuado establecer la estructuración y aplicación correcta del método considerando todos los elementos necesarios para este fin. Es pertinente aclarar que ciertos procedimientos aplicables en el desarrollo de este método se toman como referencia de un trabajo reciente basado también en la Norma 14.8 y realizado por la ANH

(Agencia Nacional de Hidrocarburos), por lo tanto, se procederá a explicar la estructuración del método y su aplicación.

La estructuración del método inicia con la transformación a ecuaciones de todo el contenido descrito en el literal 7.7 de la Norma API 14.8, así:

$$V_{\text{NETO}} = V_{\text{FL}} + V_{\text{FG-EL}} \quad (5.1)$$

$$V_{\text{FL}} = V_{\text{LIQUIDO}} * f_L \quad (5.2)$$

$$V_{\text{FG-EL}} = \left( V_o * \frac{P_o}{P_a} * \frac{T_a}{T_o} \right) * F_{\text{VL/VG}} \quad (5.3)$$

Donde:

$V_{\text{NETO}}$  = Volumen Neto de GLP (incluyendo líquido y vapor), medido a condiciones estándar (presión y temperatura estándar), [l].

$V_{\text{FL}}$  = Volumen de Fase I GLP en estado líquido, medido a condición de temperatura estándar, [l]

$V_{\text{FG-EL}}$  = Volumen del GLP en estado de vapor, en su equivalente en estado líquido medido a condiciones estándar (presión y temperatura estándar), [l]

$V_{\text{LIQUIDO}}$  = Volumen del GLP en estado líquido, medido a condiciones del tanque, [l]

$f_L$  = Factor de corrección volumétrica a condición de temperatura estándar, obtenido a partir de la temperatura observada en el tanque y gravedad específica del gas a condición de temperatura estándar. El factor es [adimensional].

$V_o$  = Volumen inicial del gas en estado de vapor, medido a condiciones del tanque, [l]

$P_o$  = Presión observada en el tanque más presión atmosférica local conocida comúnmente como presión absoluta. Valor expresado en unidades que pueden ser atmósferas [atm] absolutas o [psi] absolutos.

$P_a$  = Presión estándar, expresada en unidades [psi] o [atm].

$T_o$  = Temperatura observada en el tanque, deberá ser expresada en unidades [K] (Kelvin) o [ $^{\circ}$ R] (Rankine).

$T_a$  = Temperatura estándar, expresada en unidades [K] (Kelvin) o [ $^{\circ}$ R] (Rankine).

$F_{VL/VG}$  = Factor de transformación del volumen de GLP en estado de vapor a su equivalente en líquido, es un valor [adimensional].

### ***5.2.2. Procedencia de las ecuaciones aplicadas en el método de cálculo volumétrico de la norma 14.8***

Es importante explicar la obtención de las ecuaciones que la Norma API 14.8 describe, para justificar su aplicación en la obtención del volumen del GLP en los 2 estados que se encuentra en el tanque estacionario (líquido y vapor), lo cual se muestra a continuación:

#### ***5.2.2.1. Ecuación para la obtención del volumen de GLP en estado líquido a condiciones estándar***

La ecuación a usarse en este caso es la **Ecuación (5.2)**, que resulta del producto entre un volumen del GLP líquido medido a condiciones del tanque que se multiplica por un factor de corrección volumétrica ( $f_L$ ), lo cual permite expresar el valor del volumen a la condición de temperatura estándar, además considerando que el factor de corrección volumétrica es adimensional, el volumen final que se obtiene permanece en las unidades iniciales las cuales son litros.

#### ***5.2.2.2. Ecuación para la obtención del volumen de GLP en estado de vapor a condiciones estándar***

La obtención de la ecuación en este caso, parte de la denominada expresión modificada de los gases ideales misma que se aplica en los casos que se tiene variaciones de presión, temperatura

y volumen, considerando para ello que la cantidad de gas (moles) permanece constante, entonces la ecuación relaciona 2 casos, uno inicial donde las propiedades se muestran cómo han sido medidas con los respectivos instrumentos y otro caso final donde se llevan dichas propiedades a otras condiciones finales. (Chang, 2002)

La ecuación modificada de los gases ideales también conocida como ley combinada de los gases, para el caso actual es:

$$\frac{P_o * V_o}{T_o} = \frac{P_a * V_a}{T_a} \quad (5.4)$$

Donde:

$V_o$  = Volumen inicial del gas en estado de vapor, medido a condiciones del tanque, [l]

$V_a$  = Volumen del gas a condiciones estándar, [l]

$P_o$  = Presión observada en el tanque más presión atmosférica local conocida comúnmente como presión absoluta. Valor expresado en unidades que pueden ser atmósferas [atm] absolutas o [psi] absolutos.

$P_a$  = Presión estándar, expresada en unidades [psi] o [atm].

$T_o$  = Temperatura observada en el tanque, deberá ser expresada en unidades [K] (Kelvin) o [°R] (Rankine).

$T_a$  = Temperatura estándar, expresada en unidades [K] (Kelvin) o [°R] (Rankine).

En la expresión anterior los elementos a la izquierda de la igualdad corresponden al caso inicial representando las propiedades medidas a condiciones del tanque estacionario, mientras que a la derecha de la igualdad se tiene el caso final que representa las propiedades a condiciones estándar.

De la **Ecuación (5.4)** se requiere despejar el volumen para los cálculos pertinentes, entonces se despeja el volumen del gas a condiciones estándar ( $V_a$ ), luego este volumen se puede reescribir

con el término ( $V_{GAS}$ ), para continuar usando las expresiones que se han venido manejando, por lo que la ecuación es:

$$V_{GAS} = V_o * \frac{P_o}{P_a} * \frac{T_a}{T_o} \quad (5.5)$$

Donde:

$V_{GAS}$  = Volumen del gas, [l]

Ahora hay que destacar que el volumen que se tiene de gas a condiciones estándar puede ser transformado en un volumen equivalente en estado líquido, según se describe en la norma API 14.8, sin embargo para que esto se cumpla es necesario incluir un nuevo factor de relación entre el volumen del fluido en estado líquido y en estado de vapor ( $F_{VL/VG}$ ), el cual es adimensional por lo que el resultado final se obtiene en unidades de litros, esto se muestra con la expresión:

$$V_{FG-EL} = V_{GAS} * F_{VL/VG} \quad (5.6)$$

Donde:

$V_{FG-EL}$  = Volumen del GLP en estado de vapor, en su equivalente en estado líquido medido a condiciones estándar (presión y temperatura estándar), [l]

La expresión anterior se puede escribir de forma más extensa como se muestra en la Norma API 14.8 y así se obtiene la **Ecuación (5.3)**

### ***5.2.2.3. Ecuación para obtención del volumen total de GLP***

La obtención del volumen total del GLP es mediante la suma de los volúmenes en el estado de líquido y de vapor equivalente en líquido, calculados previamente a condiciones estándar, como se muestra en la **Ecuación (5.1)**

### 5.2.3. Consideraciones previas a la aplicación del método de cálculo volumétrico

Antes de continuar con la aplicación del método es de importancia tener en cuenta las siguientes aclaraciones:

#### 5.2.3.1. Presión y Temperatura

Las condiciones de referencia estándar (o base) de temperatura, presión y humedad (estado de saturación) que se utilizarán para las mediciones y cálculos realizados en gases naturales, sustitutos del gas natural y fluidos similares en estado gaseoso son:

$$P_a = 14,696 \text{ psi} = 1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} \quad (\text{ISO 13443, 1996})$$

$$T_a = 60^\circ\text{F} = 288,15 \text{ K} \quad (\text{ISO 13443, 1996})$$

La obtención de la presión absoluta se realiza con la expresión:

$$P_o = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}} \quad (5.7)$$

Donde:

$P_o$  = Presión observada en el tanque, Valor expresado en unidades que pueden ser atmósferas [atm] absolutas o [psi] absolutos.

$P_{\text{man}}$  = Presión manométrica leída del manómetro. Valor expresado en unidades que pueden ser atmósferas [atm] absolutas o [psi] absolutos.

$P_{\text{atm}}$  = Presión atmosférica Valor expresado en unidades que pueden ser atmósferas [atm] absolutas o [psi] absolutos.

Existen 2 temperaturas diferentes observadas, que se las distingue de la siguiente manera:

$T_d$  = Temperatura observada en el termo-densímetro en °F (Fahrenheit), se la transforma a sus unidades equivalentes, según el uso.

$T_o$  = Temperatura observada en el tanque, se mide inicialmente en °C (Celsius), posteriormente se la expresa en unidades K (Kelvin) o °R (Rankine).

Considerando que el dato de temperatura que se mide en el tanque está en la unidad °C (Celsius), las ecuaciones correspondientes para cambio de unidades son:

$$T (K) = T(^{\circ}C) + 273,15 \quad (5.8)$$

$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) + 459,67 = 1,8T(K) \quad (5.9)$$

$$T (^{\circ}F) = 1,8T (^{\circ}C) + 32 \quad (5.10)$$

### *5.2.3.2. Volumen de GLP líquido*

#### *Condiciones en el tanque estacionario*

Para la obtención del volumen GLP Líquido medido a condiciones del tanque estacionario, se determina primero la medida del porcentaje de gas en estado líquido presente en el tanque, usando para dicho fin el instrumento instalado en el tanque que es el rotogage, o también puede usarse el instrumento denominado sonda que proporciona el dato de altura que ocupa el GLP líquido dentro del tanque.

En cualquiera de los casos ya sea que se disponga de rotogage o sonda, con el valor que se obtiene en cada caso se debe ingresar en la tabla de calibración perteneciente a cada tanque estacionario y de esta manera se obtiene finalmente el valor del volumen de GLP líquido a condiciones dentro del tanque y en las unidades que proporciona dicha tabla.

#### *Factor de Corrección volumétrico del Líquido*

El dato del factor de corrección volumétrica para el volumen líquido se obtiene de la tabla presente en la norma ASTM D1250-80, los valores de la tabla se encuentran en el **Anexo 15**. Sin embargo, previo a la obtención de dicho factor, se debe emplear la tabla de la norma ASTM D1250-80 (valores se presentan en el **Anexo 14**).

En el **Anexo 14** la tabla adjunta cuyo nombre es “Specific Gravity Reduction to 60°F for Liquefied Petroleum Gases and Natural Gasoline”, se aplica para obtener el valor de la gravedad específica del GLP a condiciones de temperatura estándar (60°F). Para lograr dicho fin se debe disponer previamente del dato de gravedad específica del GLP medida en estado líquido usando el instrumento denominado termodensímetro, además que se necesita la temperatura del GLP que proporciona dicho instrumento, entonces con dichos valores se ingresa en la tabla y se obtiene finalmente la gravedad específica del GLP a la temperatura estándar.

Posteriormente en el **Anexo 15** se usa la tabla de “Reduction of Volume to 60/ 60°F for Liquefied Petroleum Gases”, para obtener el dato del factor de corrección volumétrico, entonces se ingresa en la tabla con el valor de la gravedad específica a temperatura estándar y el valor de la temperatura del GLP a condiciones del tanque, y así finalmente se obtiene el dato del factor que se necesita. En el caso que los valores presentes en tablas no se ajusten directamente a los datos de ingreso, se procede a realizar el proceso de interpolación para encontrar los valores correctos.

La simbología que se usa para diferenciar a las gravedades específicas que se obtienen, es:

$\gamma_d$  = Gravedad específica observada en el termo-densímetro a la temperatura observada en el instrumento de medida.

$\gamma_{60^\circ\text{F}}$  = Gravedad específica transformada a temperatura estándar (60°F), con el uso de la tabla Specific Gravity Reduction to 60°F de la norma ASTM D1250-80 presente en el **Anexo 14**.

### ***5.2.3.3. Volumen en estado vapor***

#### ***Condiciones en el tanque estacionario***

El volumen del GLP en estado de vapor medido a condiciones del tanque se obtiene de la diferencia entre la máxima capacidad volumétrica del tanque estacionario y el volumen del GLP

en estado líquido a condiciones del tanque. Esta diferencia se puede expresar de forma resumida mediante la ecuación:

$$V_o = V_{TK} - V_L \quad (5.11)$$

Donde:

$V_o$  = Volumen inicial del gas en estado de vapor, medido a condiciones del tanque, [l]

$V_{TK}$  = Máxima capacidad volumétrica del tanque de la cisterna. Es el volumen máximo de producto que puede almacenar en la cisterna; valor obtenido directamente del camión cisterna. Está expresado en, [l].

$V_L$  = Volumen del GLP en estado líquido, medido a condiciones del tanque, [l]

### ***Condiciones estándar***

La **Ecuación (5.5)** representa la obtención del GLP en estado de vapor a condiciones estándar, esta ecuación es útil en los casos que se requiera incluir el volumen en estado de vapor, en la ley de gases reales. El volumen del GLP en estado de vapor a condiciones estándar con su equivalente en líquido, incluye un factor que relaciona el estado de vapor y el estado líquido del GLP; es decir, este factor transforma el volumen estándar de vapor en un volumen líquido, entonces, en el caso de requerirse este equivalente en líquido, se usa la **Ecuación (5.3)**

### ***Factor de transformación del volumen de GLP en estado de vapor en su equivalente en líquido***

Es necesario aclarar que en el contenido de la Norma API 14.8 no se incluye el método de obtención de factor de transformación del GLP vapor en su equivalente en líquido; sin embargo, se conoce que la Unidad UGLP presenta una tabla de obtención de un factor de conversión de volumen de vapor neto a volumen de líquido equivalente a condiciones estándar, cuya aplicación es fácil y válida pues ha sido empleado por la Unidad, la tabla utilizada ha sido

diseñada para garantizar precisión en los cálculos, asegurando la validez de los resultados. Una vez obtenido el factor transformación del volumen de GLP en estado de vapor en su equivalente en líquido ( $F_{VL/VG}$ ) a partir de la tabla, se procede a su uso en el cálculo del volumen equivalente de líquido, siguiendo los procedimientos estándar para la conversión. Esta tabla se encuentra disponible en el **Anexo 16**. De este proyecto, basada en la presión manométrica y la gravedad específica del GLP. Esta tabla fue proporcionada por la unidad en la cual se realizaron las pasantías y es utilizada operativamente en la industria del GLP.

Es de importancia aclarar que revisando la norma GPA 8195-95 , se verifica que el método de obtención del factor de conversión de vapor neto a equivalente en líquido, es aplicable para convertir un volumen de gas dentro de un recipiente (volumen neto), a líquido en condiciones estándar, es decir el factor de conversión de vapor transforma directamente el volumen de gas contenido en el recipiente a un volumen estándar de líquido, esto debido a que el método de obtención de dicho factor emplea la gravedad específica a 60°F, por lo que ya está incluyéndose las condiciones estándar en el método.

Entonces, en el caso actual de análisis el factor de conversión, se multiplica por el volumen de GLP en estado de vapor que se observa en el tanque y se obtiene su equivalente de volumen líquido a condiciones estándar, es decir la nueva ecuación para obtención de volumen de GLP equivalente en líquido a usarse en adelante es:

$$V_{FG-EL} = V_0 * f_{VL/VG} \quad (5.12)$$

### **5.3. Implementación del Método de Cálculo Volumétrico de GLP en Cisternas**

#### **5.3.1. Cálculo volumétrico de los saldos de GLP en cisternas**

Para una comprensión más profunda de la aplicación del método de cálculo volumétrico de GLP conforme a las normativas establecidas, se llevó a cabo un ejercicio manual utilizando los datos

registrados del mes de mayo del 2023. Este ejercicio tiene como objetivo ilustrar detalladamente cada uno de los pasos del procedimiento que actualmente se sigue en la unidad de YPFB, permitiendo visualizar cómo se ajustan los factores de corrección y se aplican las ecuaciones normativas en condiciones específicas. Además, este ejemplo práctico destaca las diferencias entre el método tradicional, basado en la búsqueda de valores aproximados, y las mejoras implementadas, que incluyen iteraciones para mayor precisión y la incorporación de condiciones operativas de alta altitud, específicamente para la región de La Paz.

**Paso 1:** Registrar los DATOS DE CARGA de acuerdo a la **Cuadro 5.1** observados de Medida [%], Presión [psi], Temp. [°C] y Densidad [kg/L] proporcionados por la planta engarrafadora de Senkata a la UGLP de acuerdo al **Certificado de Recepción entrega de GLP – Despacho de GLP (CISTERNA-BALANZA)**

**Cuadro 5.1. Datos de carga PRIMER INYECTO**

	<b>MEDIDA</b> [%]	<b>PRESIÓN</b> [psi]	<b>TEMP.</b> [°C]	<b>DENSIDAD</b> [kg/L]
<b>INICIAL</b>	10	60	-4	0,54
<b>FINAL</b>	60	65	6	0,55

Fuente: (UGLP, s.f)

El presente cuadro detalla los datos de Carga correspondientes al 31/05/2023 los valores de la primera fila que son los Iniciales se registran en el **Cuadro 5.2** para hallar el saldo de GLP disponible [Kg] en la cisterna o los [Kg] Inyectados. Además, podemos decir que según cálculos previos realizados por la Planta correspondiente según el punto de carga se asume que el valor de densidad proporcionado en el certificado de recepción es el valor de la **G.S. Corregida** que se calcula de acuerdo a tablas ver **Anexo 14**. De acuerdo a lo mencionado (ver **Cuadro 5.2**):

**Cuadro 5.2. Datos de Cálculo de GLP en cisternas**

	<b>INICIAL</b>	<b>FINAL</b>
<b>% V=</b>	0%	10%
<b>P =</b>	0	60
<b>T =</b>	0	-4
<b>G.S. Corregida</b>	0,000	0,540

*Fuente:* (UGLP, s.f)

**Paso 2:** Determinar el valor del volumen de GLP en estado líquido medido a las condiciones del tanque, por medio de la tabla de calibración del tanque estacionario ingresando en la tabla con el valor del porcentaje de volumen medido con el rotogage o con el valor de altura del fluido en el tanque medido con la sonda, según sea el caso, además obtener el valor de la máxima capacidad volumétrica del tanque de la cisterna.

Debido a que en este cálculo se dispone del valor del porcentaje en volumen medido con el rotogage se ingresa con este valor en la tabla de calibración, entonces se tiene:

Con: %V = 10 %, se obtiene el valor de:

$$\boxed{V_L = 1,510 [I]}$$

Además, que con: %V = 100 %, se sabe que el valor es de:

$V_{TK} = 15100 [I]$  (Máxima capacidad volumétrica del tanque de la cisterna).

**Paso 3:** Convertir la presión manométrica observada en el tanque, para lo cual se necesita adicionar que se deben realizar las respectivas conversiones de unidades de [psi] a [kg/cm<sup>2</sup>].

Todo lo descrito se muestra a continuación:

Primero se considera el valor de la presión inicialmente observada en el tanque móvil que corresponde a:

$P_{man (i)}$  = Presión manométrica observada en el tanque inicial 0 [psi]

$P_{man (f)}$  = Presión manométrica observada en el tanque final 60 [psi]

Conociéndose que:  $1 \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 14,22 \text{ [psi]}$  (Cengel & Boles, 2012)

Se aplica ese valor en la conversión de la presión manométrica para expresarla en atmósferas

$$P_{\text{man (i)}} = 0 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$P_{\text{man (f)}} = 60 \text{ [psi]} * \frac{1 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]}{14,22 \text{ [psi]}}$$

$$P_{\text{man (f)}} = 4,22 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

**Paso 4:** Obtener la temperatura observada en el tanque expresada en unidades grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) para aplicación directa en las ecuaciones del método y en grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) para el uso de la tabla 34; se debe incluir las ecuaciones para conversión de unidades.

El valor de temperatura que se dispone inicialmente es:

$T_i$  = Temperatura observada en el tanque inicial =  $0^{\circ}\text{C}$

$T_f$  = Temperatura observada en el tanque =  $-4^{\circ}\text{C}$

Para llevar la temperatura a unidades Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) se aplica la **Ecuación (5.10)**:

$$T_i (^{\circ}\text{F}) = 1,8 (0) + 32$$

$$T_i = T (^{\circ}\text{F}) = 32^{\circ}\text{F}$$

$$T_f (^{\circ}\text{F}) = 1,8 (-4) + 32$$

$$T_f = T (^{\circ}\text{F}) = 24,8^{\circ}\text{F}$$

**Paso 5:** Usar las tablas de la Norma ASTM 1250-80 presentes en el **Anexo 15.**, para determinar el factor de corrección volumétrica a temperatura estándar ( $60^{\circ}\text{F}$ ), para lo cual se debe ingresar en la tabla con el valor de la gravedad específica corregida a temperatura estándar y con la

temperatura observada en el tanque. El instructivo del uso de la tabla 34 como indica la norma ASTM 1250-80 se encuentra en el **Anexo 13**. de este trabajo.

El valor del factor de corrección volumétrica se obtiene usando los siguientes valores ver

**Cuadro 5.3:**

**Cuadro 5.3. Datos I**

	<b>INICIAL</b>	<b>FINAL</b>
<b>T [°F] =</b>	32	24,8
<b>G.S. Corregida</b>	0,000	0,540

**Fuente:** Elaboración propia

En las tablas del **Anexo 15**., se proporcionan valores de gravedad específica para diferentes temperaturas. Observamos que a medida que la temperatura aumenta, la gravedad específica también lo hace, lo que indica una relación directa entre ambos parámetros.

Para las condiciones iniciales no se encuentran valores de gravedad específica cercanos a 0 en la tabla, lo que nos llevó a utilizar el valor mínimo de gravedad específica disponible (0.504) como una aproximación conservadora en casos donde se requiere un límite inferior. Esta aproximación es razonable dado que la gravedad específica aumenta con la temperatura, y el valor mínimo disponible nos proporciona un límite superior para escenarios donde la temperatura es baja. Usando los valores iniciales de  $\phi_{60^{\circ}\text{F}(i)} = 0,504$  y  $T_{(i)} = 32^{\circ}\text{F}$  se observa que se puede obtener directamente el valor del factor de corrección volumétrica a temperatura estándar en la tabla de Corrección de volumen en el **Anexo 15**, el valor es:

$$\mathbf{f_{L(i)} = 1,046 \left[ \frac{u^3}{u^3} \right]}$$

Entonces el valor  $f_{L(i)}$  factor inicial de corrección volumétrica a la temperatura de  $38^{\circ}\text{C}$  es **1,046** (**adimensional**) a condiciones iniciales (i)

Para las condiciones finales, donde tanto la temperatura como la presión pueden variar, utilizamos la técnica de interpolación. Esta técnica nos permite estimar valores intermedios entre los datos disponibles, obteniendo así una estimación más precisa del factor de corrección de volumen bajo las condiciones finales.

La interpolación es clave porque las propiedades del GLP, como la gravedad específica, no varían de manera lineal con la temperatura y la presión. Al aplicar la interpolación, modelamos esta variación de forma más realista, lo que resulta en cálculos más precisos.

Se sigue un proceso de interpolación doble para obtener un valor preciso del factor de corrección de volumen ( $f_L$ )

### 1. Primera Interpolación: Interpolación en Temperatura

En la primera fase del procedimiento, se realiza una interpolación lineal para la temperatura de 24.8 °F utilizando los valores de gravedad específica más cercanos (0.534 y 0.544) a 24 °F y 25 °F, respectivamente. Esto se detalla en la siguiente **Cuadro 5.4**:

**Cuadro 5.4. Interpolación en Temperatura para Gravedades Específicas a 60°F**

Temperaturas °F	Valores de gravedad específica a 60 °F	
	0,534	0,544
24	1,049	1,046
24,8	$f_{L,0,534}$	$f_{L,0,544}$
25	1,048	1,045

**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

$f_{L,0,534}$  = Factor de corrección de volumen a la densidad observada de 0,534. (adimensional)

$$\frac{25 - 24}{24,8 - 24} = \frac{1,048 - 1,049}{f_{L,0,534} - 1,049}$$

$$f_{L_{0,534}} = 1,049 + \frac{(24,8 - 24) * (1,048 - 1,049)}{(25 - 24)}$$

$$f_{L_{0,534}} = 1,0482 \left[ \frac{u^3}{u^3} \right]$$

Donde:

$f_{L_{0,544}}$  = Factor de corrección de volumen a la densidad observada de 0,544. (adimensional)

$$\frac{25 - 24}{24,8 - 24} = \frac{1,045 - 1,046}{f_{L_{0,544}} - 1,046}$$

$$f_{0,544} = 1,046 + \frac{(24,8 - 24) * (1,045 - 1,046)}{(25 - 24)}$$

$$f_{L_{0,544}} = 1,0452 \left[ \frac{u^3}{u^3} \right]$$

Los valores interpolados  $f_{L_{0,534}}$  y  $f_{L_{0,544}}$  representan los factores de corrección de volumen a la temperatura de **24.8 °F** para las gravedades específicas de **0.534** y **0.544**, respectivamente, que se utilizaran para la segunda interpolación.

## 2. Segunda Interpolación: Interpolación en Gravedad Específica

Posteriormente, con los valores interpolados  $f_{L_{0,534}}$  y  $f_{L_{0,544}}$  se obtiene el **Cuadro 5.5**, donde se realiza una nueva interpolación lineal para calcular el factor de corrección de volumen a una gravedad específica de 0.540, tal como se hizo en la Cuadro 5.4:

**Cuadro 5.5. Interpolación en Gravedad Específica para el Factor de Corrección de Volumen**

Valores de gravedad específica a 60 °F	Factores de corrección de volumen "f <sub>L</sub> "
0,534	1,0482
0,540	f <sub>L</sub>
0,544	1,0452

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{0,544 - 0,534}{0,540 - 0,534} = \frac{1,0452 - 1,0482}{f_L - 1,0482}$$

$$f_L = 1,0482 + \frac{(0,540 - 0,534) * (1,0452 - 1,0482)}{(0,544 - 0,534)}$$

$$f_{L(f)} = 1,0464 \left[ \frac{u^3}{u^3} \right]$$

Entonces el valor  $f_{L(f)}$  factor de corrección volumétrica a la temperatura de 24,8°C es **1,0464 (adimensional)** a condiciones finales ( $f$ )

Este procedimiento se repetirá para los demás datos diarios registrados, y los resultados obtenidos se tabularán junto con los otros valores correspondientes.

**Paso 6:** Calcular el volumen del GLP en estado líquido, medido a condición de temperatura estándar aplicando la **Ecuación (5.2)**. y utilizando los datos ya obtenidos como se muestra:

$$V_{FL(i)} = 0 [m^3] * 1,0460$$

Volumen del GLP liquido inicial:  $V_{FL(i)} = 0 [m^3]$

$$V_{FL(f)} = 1,51[m^3] * 1,0464$$

Volumen del GLP liquido final:  $V_{FL(f)} = 1,5801 [m^3]$

**Paso 7:** Calcular el volumen del GLP en estado de vapor, medido a condiciones del tanque (vapor neto en el tanque), aplicando la **Ecuación (5.3)**:

$$V_{o(i)} = 15,1 \text{ [m}^3\text{]} - 0[\text{m}^3]$$

Volumen del GLP en estado vapor inicial:  $V_{o(i)} = 15,1 \text{ [m}^3\text{]}$

$$V_{o(f)} = 15,1 \text{ [m}^3\text{]} - 1,51[\text{m}^3]$$

Volumen del GLP en estado vapor final:  $V_{o(f)} = 13,59 \text{ [m}^3\text{]}$

**Paso 8:** En este proyecto, se ha utilizado una tabla de conversión que permite obtener de manera directa el factor de transformación del volumen de GLP en estado de vapor a su equivalente en líquido a 60°F, basada en la presión manométrica y la gravedad específica del GLP. Esta tabla es utilizada operativamente en la industria del GLP. Para el cálculo del factor se debe emplear la tabla presente en el **Anexo 16**.

Para las condiciones iniciales no se encuentran valores de gravedad específica cercanos a 0 en la tabla, lo que nos llevó a utilizar el valor mínimo de gravedad específica disponible (0.512) como una aproximación conservadora en casos donde se requiere un límite inferior. Usando los valores iniciales de  $P_{\text{manométrica}(i)} = 0 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$  y  $\phi_{60^\circ\text{F}(i)} = 0,512$  se observa que se puede obtener directamente el valor del factor de corrección volumétrica a temperatura estándar en la tabla del **Anexo 16**, el valor es:

$$F_{VL/VG(i)} = 0,00886 \left[ \frac{\text{u}^3}{\text{u}^3} \right]$$

Donde:  $F_{VL/VG(i)}$  factor de transformación del volumen de GLP en estado de vapor a su equivalente en líquido a 60°F de gravedad específica 0,512 a condiciones iniciales (i)

Para las condiciones finales, donde tanto la presión como la gravedad pueden variar, utilizamos la técnica de interpolación. Esta técnica nos permite estimar valores intermedios entre los datos disponibles, obteniendo así una estimación más precisa del Factor de transformación del volumen de GLP en estado de vapor a su equivalente en líquido, es un valor adimensional bajo las condiciones finales.

La interpolación es clave porque las propiedades del GLP, como la gravedad específica, no varían de manera lineal con la temperatura y la presión. Al aplicar la interpolación, modelamos esta variación de forma más realista, lo que resulta en cálculos más precisos.

Se sigue un proceso de interpolación doble para obtener un valor preciso del factor de corrección de volumen ( $F_{VL/VG}$ )

### Interpolación lineal en Presión

En la primera fase del procedimiento, se realiza una interpolación lineal para la presión manométrica de 4,22 [Kg/cm<sup>2</sup>] utilizando los valores de gravedad específica más cercanos (0.540 y 0.565) a 4,20 y 4,30 [Kg/cm<sup>2</sup>], respectivamente. Esto se detalla en el **Cuadro 5.6**.

**Cuadro 5.6. Interpolación en Presión manométrica para Gravedades Específicas a 60°F**

Presión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Valores de gravedad específica a 60 °F
	0,540
4,20	0,02084
4,22	$F_{VL/VG_{0,540}}$
4,30	0,02112

**Fuente:** Elaboración propia

$$\frac{4,30 - 4,20}{4,22 - 4,20} = \frac{0,02112 - 0,02084}{f_{VL/VG_{0,540(f)}} - 0,02084}$$

$$f_{VL/VG_{0,540(f)}} = 0,02084 + \frac{(4,22 - 4,20) * (0,02112 - 0,02084)}{(4,30 - 4,20)}$$

$$f_{VL/VG_{0,540(f)}} = 0,020896 \left[ \frac{u^3}{u^3} \right]$$

Donde:  $F_{VL/VG_{0,540(f)}}$  factor de transformación del volumen de GLP en estado de vapor a su equivalente en líquido a 60°F de gravedad específica 0,540 a condiciones finales (f).

El cálculo del factor de conversión de GLP de estado vapor a líquido se basa en tablas que relacionan la gravedad específica, la presión y el factor de conversión. Cuando los valores exactos coinciden en la tabla, el factor se obtiene directamente como  $F_{VL/VG(i)}$  a condiciones iniciales. Sin embargo, si ninguno o solo uno de los valores coincide, se emplea la interpolación lineal. En este último caso, se estima un valor intermedio a partir de los datos conocidos más cercanos. En nuestro análisis, aunque la gravedad específica de 0,540 se encontraba tabulada, la presión manométrica de 4,22 kg/cm<sup>2</sup> requirió interpolación. Si hubiera sido necesario interpolar también la gravedad específica, se habría realizado una doble interpolación: primero para encontrar el factor de conversión a la gravedad específica más cercana en la tabla, y luego para interpolar nuevamente a la gravedad específica deseada, siempre considerando la presión manométrica constante de 4,22 kg/cm<sup>2</sup>. Este procedimiento se repetirá para los demás datos diarios registrados, y los resultados obtenidos se tabularán junto con los otros valores correspondientes.

**Paso 9:** Usar el factor de corrección de vapor neto para calcular el volumen del GLP vapor en su equivalente en líquido, a condiciones del tanque estacionario, aplicar la **Ecuación (5.12):**

$$V_{FG-EL(i)} = 15,10[m^3] * 0,00886$$

$$\boxed{V_{FG-EL(i)} = 0,134 \text{ [m}^3\text{]}}$$

Donde:  $V_{FG-EL(i)}$  volumen del GLP vapor en su equivalente en líquido a condiciones iniciales (i).

$$V_{FG-EL(f)} = 13,59[\text{m}^3] * 0,020896$$

$$\boxed{V_{FG-EL(f)} = 0,284[\text{m}^3]}$$

Donde:  $V_{FG-EL(f)}$  volumen del GLP vapor en su equivalente en líquido a condiciones finales (f).

**Paso 10:** Obtener el volumen total de GLP en condiciones estándar, sumando los volúmenes calculados del GLP en estado líquido y GLP vapor en su equivalente en líquido; se aplica la

**Ecuación (5.1):**

$$V_{NETO(i)} = V_{FL(i)} + V_{FG-EL(i)}$$

$$V_{NETO(i)} = 0 \text{ [m}^3\text{]} + 0,134 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\boxed{V_{ETO(i)} = 0,134 \text{ [m}^3\text{]}}$$

Donde:  $V_{NETO(i)}$  volumen total inicial de GLP en condiciones estándar.

$$V_{NETO(f)} = V_{FL(f)} + V_{FG-EL(f)}$$

$$V_{NETO(f)} = 1,580 \text{ [m}^3\text{]} + 0,284[\text{m}^3]$$

$$\boxed{V_{NETO(f)} = 1,864 \text{ [m}^3\text{]}}$$

Donde:  $V_{NETO(f)}$  volumen total final de GLP en condiciones estándar.

**Paso 11:** Calcular la masa de GLP, multiplicando la Gravedad específica corregida por el volumen calculado se aplica la siguiente **Ecuación:**

$$\varphi = \frac{m_{\text{GLP}}}{V_{\text{NETO}}} \quad (5.13)$$

Donde:

$\varphi$  = Densidad del GLP, [kg/l]

$m_{\text{GLP}}$  = Masa del GLP a granel, [kg]

$V_{\text{NETO}}$  = Volumen Neto de GLP (incluyendo líquido y vapor), medido a condiciones estándar (presión y temperatura estándar), [l].

Despejando de la **Ecuación (5.13)** “ $m_{\text{GLP}}$ ” se obtiene el siguiente valor:

$$m_{\text{GLP}} = \varphi_{\text{GLP}} * V_{\text{NETO}}$$

Calculo la densidad del GLP para este cálculo asumo como referencia la densidad del agua de 1000 [kg/m<sup>3</sup>]

$$\varphi_{\text{GLP}(i)} = 0 * 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Densidad inicial:  $\varphi_{\text{GLP}(i)} = 0 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

$$m_{\text{GLP}(i)} = 0 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 0,134 \text{ [m}^3\text{]}$$

Masa inicial:  $m_{\text{GLP}(i)} = 0 \text{ [kg]}$

$$\varphi_{\text{GLP}(f)} = 0,54 * 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Densidad final:  $\varphi_{\text{GLP}(f)} = 540 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

$$m_{\text{GLP}(f)} = 540 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 1,864 \text{ [m}^3\text{]}$$

Masa final:  $m_{\text{GLP}(f)} = 1006,56 \text{ [kg]}$

En el proceso de cálculo del volumen de GLP, se han utilizado tablas de interpolación doble para convertir el volumen de vapor de GLP a su equivalente en líquido a 60°F. Este procedimiento se basa en datos de presión y temperatura registrados durante un mes de operación. De acuerdo a la **Tabla 5.1**.

**Tabla 5.1. Datos de carga**

Fecha	v. agua (R)	% (O)	P [PSI] (O)	T [°C] (O)	Densidad [kg/l] (O)	M [Kg] (O)
1/05/2023	15100	24	60	3	0,540	2145,93
2/05/2023	15100	24	60	3	0,540	2145,93
3/05/2023	15100	0	60	3	0,545	174,97
4/05/2023	15100	0	63	14	0,535	173,42
5/05/2023	15100	0	56	4	0,540	164,03
6/05/2023	15100	0	53	1	0,545	163,39
7/05/2023	15100	0	53	1	0,545	163,39
8/05/2023	15100	0	53	1	0,545	163,39
9/05/2023	15100	0	64	12	0,545	181,63
10/05/2023	15100	0	51	-2	0,550	164,15
11/05/2023	15100	2	61	1	0,540	337,33
12/05/2023	15100	4	55	-3	0,540	496,56
13/05/2023	15100	0	55	-1	0,540	162,43
14/05/2023	15100	11	55	-2	0,555	1.113,42
15/05/2023	15100	11	55	-2	0,555	1.113,42
16/05/2023	15100	10	60	10	0,54	979,66
17/05/2023	15100	5	59	-1	0,545	592,01
18/05/2023	15100	5	59	-1	0,545	592,01
19/05/2023	15100	5	59	-1	0,545	592,01
20/05/2023	15100	0	57	-1	0,540	165,63
21/05/2023	15100	7	47	-2	0,550	750,43
22/05/2023	15100	7	47	-5	0,550	754,38
23/05/2023	15100	2	53	-1	0,540	325,57
24/05/2023	15100	0	50	-4	0,54	154,40
25/05/2023	15100	2	50	-5	0,54	322,41
26/05/2023	15100	0	48	-2	0,555	162,87
27/05/2023	15100	0	55	1	0,545	166,72
28/05/2023	15100	0	56	1	0,545	168,39
29/05/2023	15100	0	56	1	0,545	168,39
30/05/2023	15100	0	52	10	0,555	170,10
31/05/2023	15100	10	60	-4	0,54	1006,57

**Fuente:** Elaboracion propia en base a datos de la UGLP

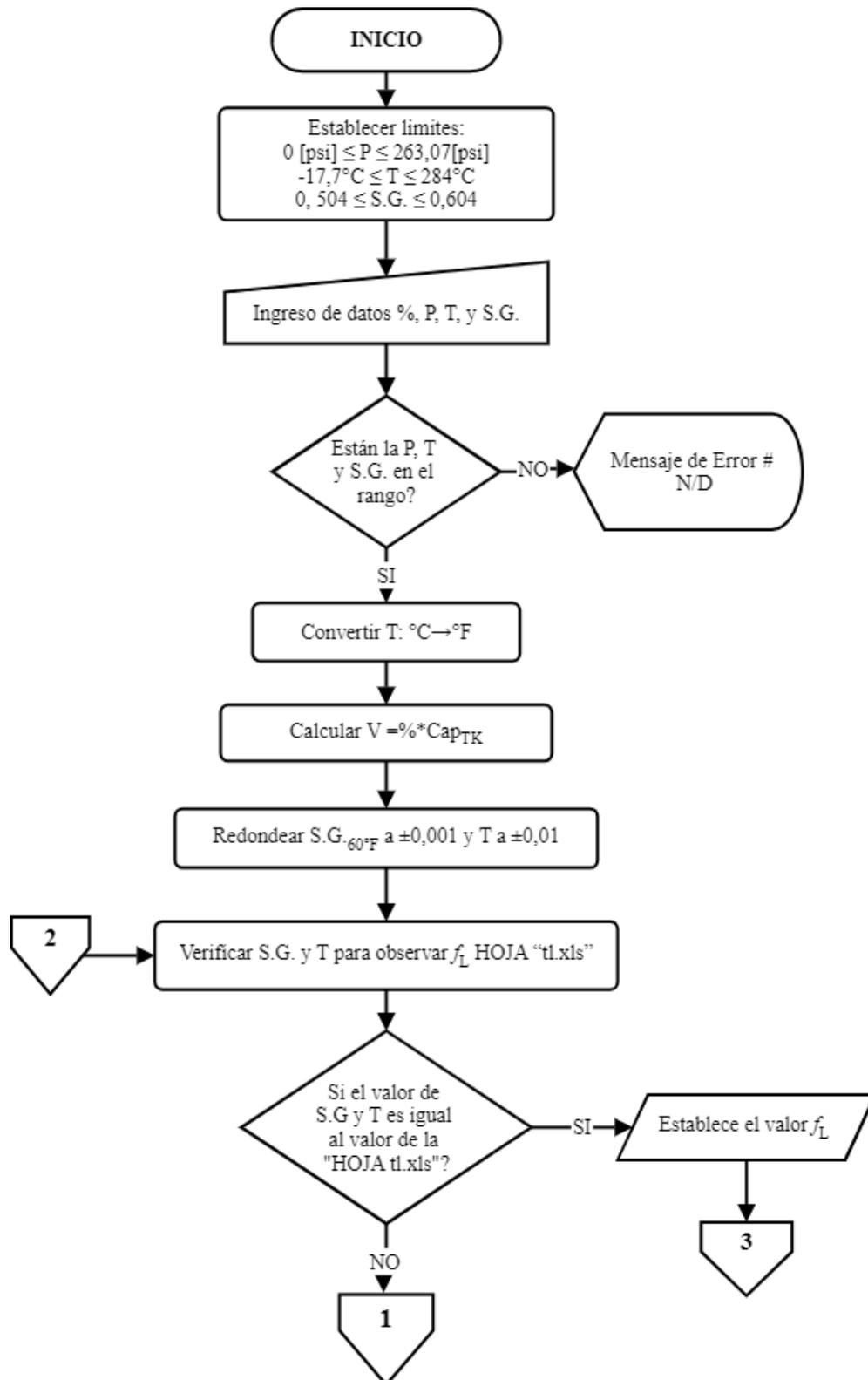
### ***5.3.2. Mejoras Implementadas en la Hoja de Cálculo de Excel***

En el contexto de la gestión y distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) por parte de YPFB, se identificaron varias limitaciones en el método tradicional utilizado para calcular la masa de GLP en tanques cisterna. El procedimiento existente, basado en la búsqueda manual de valores iguales o menores en las tablas de corrección, no contemplaba las condiciones específicas de regiones como La Paz, Oruro y El Alto, donde las temperaturas pueden descender significativamente por debajo de los  $-2^{\circ}\text{C}$ . cómo se puede observar en el **Anexo 17**.

Estas condiciones, críticas para un cálculo preciso del GLP, no estaban reflejadas en las tablas originales utilizadas por YPFB, que estaban más alineadas con las condiciones de Santa Cruz, donde las temperaturas son considerablemente más altas. Para abordar estas deficiencias, se realizaron varias mejoras en la hoja de cálculo de Excel utilizada en la unidad. Primero, se completaron y ajustaron las tablas existentes para incluir rangos de temperatura más bajos, adaptándolas a las condiciones climáticas de La Paz y El Alto. (Ver **Anexo 14** y **Anexo 15**).

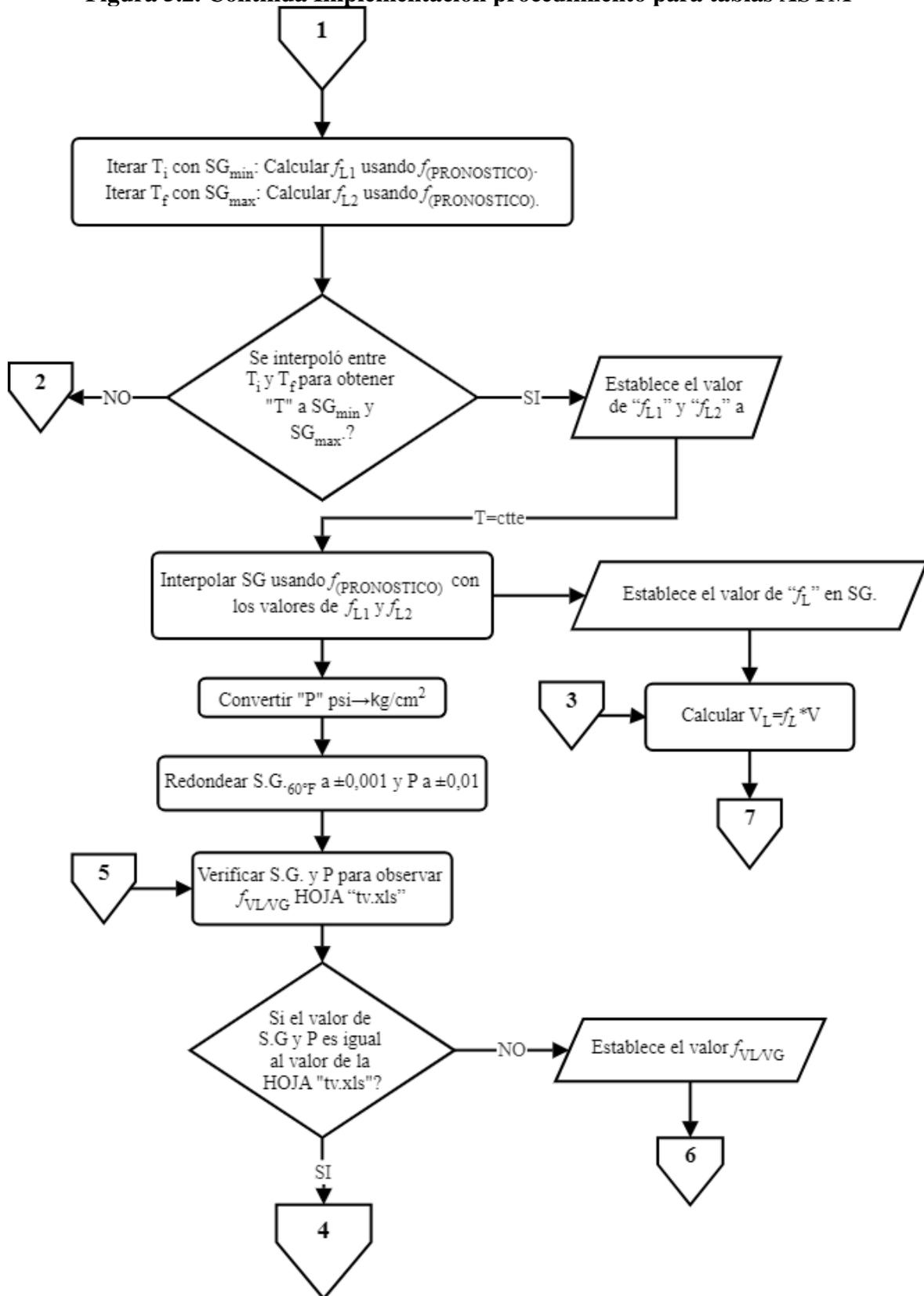
Para facilitar y automatizar este proceso, se elaborará una planilla de cálculo en Excel, que seguirá un diagrama de flujo que describe cada paso del cálculo que se describe en **5.3**. Esta herramienta permitirá realizar de manera más eficiente y precisa los cálculos necesarios para la gestión del GLP, asegurando que se cumplan las normativas y optimizando el uso de recursos. Para visualizar el proceso de cálculo mejorado, se presenta a continuación el diagrama de flujo (ver **Figura 5.1**).

**Figura 5.1. Diagrama de Flujo general del procedimiento de calculo**



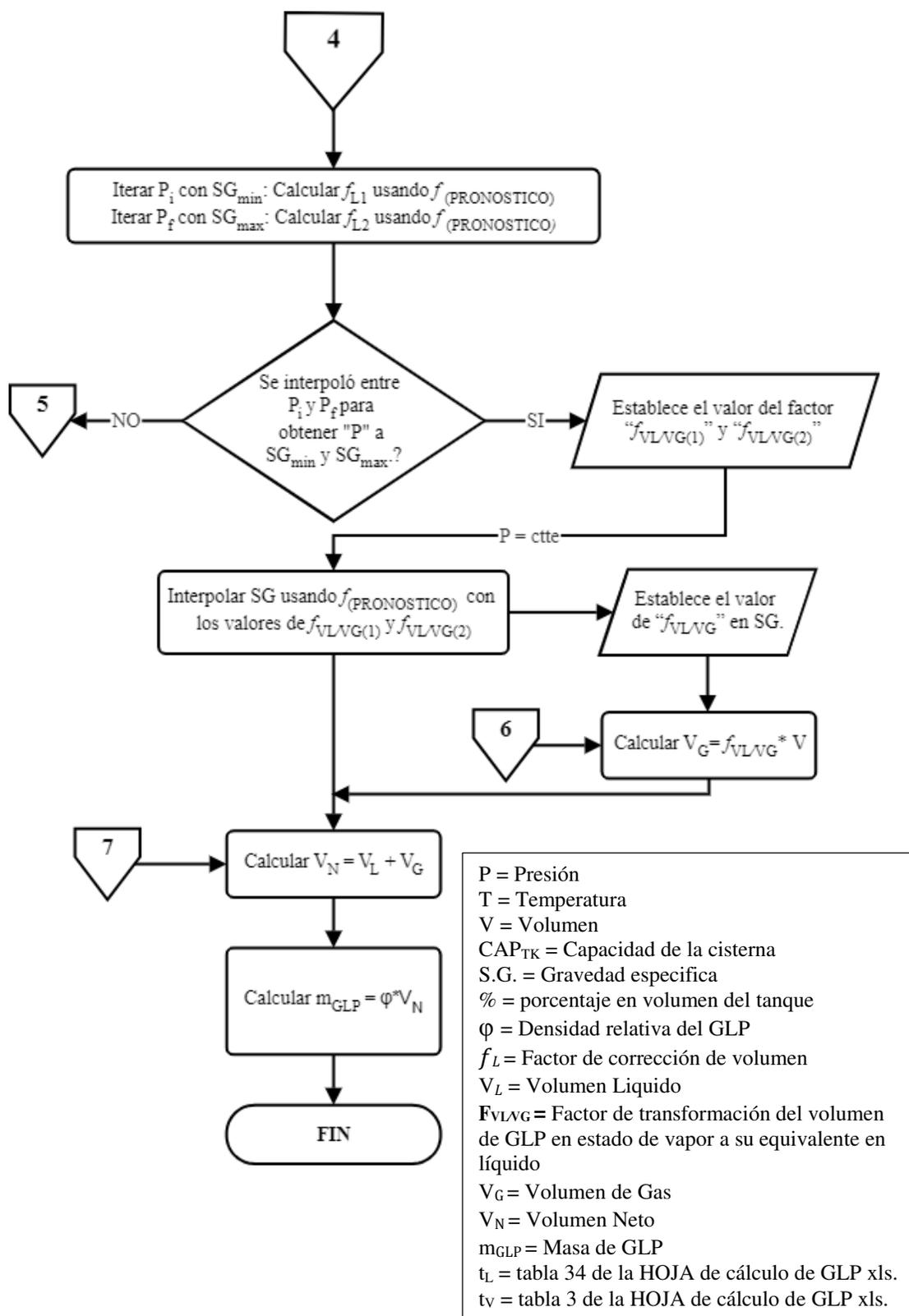
**Fuente:** Elaboracion propia

**Figura 5.2. Continua Implementación procedimiento para tablas ASTM**



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 5.3. Continua Implementación procedimiento para Calculo de la Masa de GLP



Fuente: Elaboracion propia

Esto permitió que el cálculo de la masa de GLP sea más representativo de las condiciones operativas reales, evitando errores que pudieran surgir por el uso de datos no aplicables a estas altitudes.

Además, se introdujo un proceso de iteración en el cálculo, reemplazando la simple búsqueda de valores similares o menores. Este cambio fue fundamental para aumentar la precisión del cálculo, permitiendo ajustar los factores de corrección de manera más exacta y reflejando mejor las variaciones reales de presión y temperatura observadas en campo. De esta manera, el método optimizado no solo mejora la exactitud de los resultados, sino que también aporta una herramienta más robusta para la toma de decisiones en la gestión del GLP.

### ***5.3.3. Resultados Finales del Proceso Optimizado***

La implementación de estas mejoras en la hoja de cálculo de Excel ha demostrado su efectividad a través de los resultados obtenidos. Al aplicar el método optimizado, que incorpora tanto las nuevas tablas de corrección como el proceso de iteración, se logró un cálculo más preciso de la masa y volumen de GLP manejado por la cisterna durante el mes de mayo de 2023. Este ajuste es crucial para garantizar una mejor gestión del GLP, minimizando las desviaciones entre el volumen teórico y el volumen real despachado, y permitiendo un control más riguroso del inventario de GLP.

La **Figura 5.4** presentada ofrece un detallado cálculo para determinar la cantidad exacta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) almacenado en una cisterna en un momento dado. Considera factores como la capacidad de la cisterna, la temperatura, la presión y la densidad del GLP para obtener una medición precisa. A través de una serie de cálculos y la aplicación de factores de corrección, la tabla determina el volumen y la masa tanto de la parte líquida como gaseosa del GLP dentro de la cisterna. Este cálculo se desarrolló según el diagrama descrito en la Figura 5.1.

**Figura 5.4. Implementación del Procedimiento en Excel**

CALCULO DE GLP EN CISTERNAS															
	Cap. Tk M <sup>3</sup>	Porcentaje Liquido	Temp °F	Presión kg/cm <sup>2</sup>	T° densimetro	Densidad densimetro	M <sup>3</sup> Naturales	Densidad corregida	Factor corr. Volumen	M <sup>3</sup> Liq. a 60 °F	M <sup>3</sup> Vapor de gas	Factor corr. Gas	Gas Liq	M <sup>3</sup> Totales	Toneladas Metricas
TK 1 inic	15,1	0%	32	0,00	60	0,527	0,00	0,000	1,046	0,00	15,10	0,0089	0,134	0,134	0,000
TK 1 fin.	15,1	10%	24,8	4,22	67	0,537	1,51	0,540	1,0464	1,5801	13,59	0,0209	0,284	1,86402	1,007
CISTERNA															
	INICIAL	FINAL													
M3 TK =	15,1	15,1													
% =	0%	10%													
VOL. =	0	1,51	<b>KG CISTERNA</b>		1,006,57										
Pi =	0	60													
Ti =	0	-4													
G.S. Correg	0,000	0,540													
FACTOR DE CORRECCION DE VOLUMEN															
	Dc	T °F	TABLA												
Estanque 1	0	32,00	1,0460												
Estanque 2	0,540	24,80	1,0464												
FACTOR DE CORRECCION DE GAS															
	Dc	T °F	TABLA												
Estanque 1	0	0,00	0,0089												
Estanque 2	0,540	4,22	0,0209												

**Fuente:** Elaboracion propia en base a datos de la UGLP

Los resultados obtenidos mediante el método optimizado se presentan en la siguiente tabla, donde se compara el movimiento de GLP en cisternas durante el mes de mayo de 2023, utilizando tanto el método tradicional como el optimizado ver **Tabla 5.2**.

**Tabla 5.2. Movimiento de GLP a granel (mayo 2023)**

	MOVIMIENTO ACTUAL	MOVIMIENTO OPTIMIZADO
<b>SALDO GLP DISPONIBLE [KG]</b>	14928,4	15934,94
<b>CONOCIMIENTO DE CARGA [KG]</b>	167530	167530
<b>RECIBIDO DE CBBA</b>	1730,4	1730,4

<b>RECIBIDO DE ORURO</b>	176382	176382
<b>RECIBIDO DE SANTA CRUZ</b>	39563,32	39563,32
<b>GLP DESPACHADO [KG]</b>	309358,42	309358,42
<b>SALDO EN CISTERNA [KG]</b>	13021,79	14036,11
<b>TRANSFERENCIAS [KG]</b>	84321	84321
<b>DIFERENCIA DEMASIA (+) MERMA (-)</b>	6567,09	6574,87

**Fuente:** Elaboracion propia en base a datos de la UGLP

#### **5.4. Seguridad Industrial en manejo y transporte de GLP a granel**

##### ***5.4.1. Normas de Seguridad en la Identificación y Etiquetado de Cisternas de GLP***

La correcta identificación y etiquetado de las cisternas de Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un aspecto crítico de la seguridad industrial en su manejo y transporte. Cumplir con las normativas de etiquetado no solo garantiza el cumplimiento legal, sino que también facilita una respuesta eficaz ante emergencias y minimiza los riesgos asociados al transporte de materiales peligrosos. Este apartado aborda los diferentes métodos de señalización utilizados, incluyendo el etiquetado con diamantes, el uso del panel naranja y los pictogramas de peligro, y explica su importancia en la seguridad y la gestión de riesgos.

Todos los vehículos de carretera, de uso general, alimentados con Gas-LP se deben identificar con una etiqueta, resistente al clima, en forma de diamante. La etiqueta se debe localizar sobre una superficie vertical o cerca a vertical, en la parte inferior posterior derecha del vehículo (sobre la tapa del portamaletas del vehículo así equipado, pero no en el parachoques de ningún vehículo) mezclado con otras etiquetas. (NFPA 58, 2014). El diamante de identificación de peligros proporciona información visual sobre los riesgos asociados. Ver **Cuadro 5.7**

**Cuadro 5.7. Rombo de identificación de riesgos NFPA para el GLP**

	
<b>RIESGO PARA LA SALUD</b> 1 = Ligeramente peligroso	<b>RIESGO DE REACTIVIDAD</b> 0 = Estable totalmente
<b>RIESGO DE INFLAMABILIDAD</b> 4 = Extremadamente inflamable	<b>RIESGO ESPECIAL</b>  = inflamable

*Fuente:* (NB 85001, 2005)

El uso del panel naranja es obligatorio para todos los vehículos que transportan mercancías peligrosas, incluido el GLP, y su principal objetivo es identificar claramente la carga y el peligro que representa en caso de accidente. Estos paneles naranjas deberán ir provistos de números de identificación, de color negro, prescritos para cada materia. Normalmente van colocados en las partes delantera y trasera de los vehículos, pero en los vehículos cisterna, aquellos que transporten contenedores cisterna y los vehículos o contenedores que transporten mercancías peligrosas a granel, deberán igualmente llevar los paneles naranjas en cada lado de la cisterna, los compartimentos de las cisternas o de los vehículos/contenedores para mercancías a granel, de acuerdo al **Anexo 1** y **Anexo 2**.

Números a aplicar para el GLP.

- Código ONU = 1075 = Gas Licuado de Petróleo
- Número de Identificación de peligro = 23

La placa DOT es un elemento esencial en el transporte seguro de Gas Licuado de Petróleo (GLP). Cumplir con las regulaciones establecidas por el Departamento de Transporte de los

Estados Unidos no solo asegura la legalidad del transporte, sino que también protege a los operadores y al público en general al proporcionar información clara y concisa sobre los peligros asociados con el GLP. (véase **Anexo 3**)

- Clase = 2 = Gas Flamable

El sistema de etiquetado se basa en la clasificación de las mercancías peligrosas y tiene las siguientes finalidades: hacer que las mercancías peligrosas sean fácilmente reconocibles a distancia por el aspecto general (símbolo, color y forma) de sus etiquetas y hacer que la naturaleza del riesgo sea fácilmente reconocible mediante unos símbolos conocidos por todo el mundo ver **Figura 5.5**.

**Figura 5.5. Señalización de seguridad**



**Fuente:** (A.D.R., 2007)

Estos métodos de etiquetado y señalización son esenciales para mantener altos estándares de seguridad en el transporte de GLP, garantizando que todas las partes involucradas estén adecuadamente informadas y preparadas para gestionar los riesgos inherentes a este tipo de operación según la **Figura 5.6**:

**Figura 5.6. Ubicación de señalización de seguridad del camión cisterna de la unidad**



**Fuente:** (UGLP, s.f)

El análisis detallado de la señalización del camión cisterna de la UGLP de YPFB evidencia el cumplimiento de las normas internacionales para el transporte de sustancias peligrosas, específicamente en cuanto a la identificación de los riesgos asociados a la carga transportada. Se observan las etiquetas correspondientes a la normativa NFPA 704 que clasifica los peligros, como la inflamabilidad (número 4 en el rombo), toxicidad, y riesgo de explosión. Este tipo de etiquetado es fundamental para la identificación rápida de los riesgos por parte de los equipos de emergencia en caso de incidentes.

#### **5.4.1.1 Aspectos Técnicos y Normativos**

- **Limpieza y Mantenimiento de la Cisterna y Señalización:**

Es importante mantener la cisterna limpia y en buen estado para asegurar la visibilidad de las señales de riesgo y cumplir con las normativas de seguridad industrial. La falta de

limpieza podría ocultar daños estructurales o deterioro en las etiquetas de advertencia, lo cual es crucial según las normativas del ADR para el transporte de mercancías peligrosas.

- **Capacitación del Personal:**

Se debe reforzar la capacitación periódica del personal involucrado en el mantenimiento y operación de las cisternas, asegurando que estén familiarizados con las normas de seguridad, uso adecuado de equipos y procedimientos de emergencia. Esto incluye capacitación sobre el manejo de sistemas de suspensión y sobre las inspecciones visuales que permitan identificar y reportar problemas antes de que afecten la seguridad operativa.

- **Actualización de Normativas Nacionales:**

Se debe evaluar si las normativas nacionales requieren actualizaciones para incorporar nuevas tecnologías y estándares internacionales de seguridad. Aunque ya existe monitoreo en tiempo real, es importante asegurar que las normas locales estén alineadas con las mejores prácticas internacionales.

La cisterna actual, con casi 11 años de operación, ha sido confiable al manejar grandes volúmenes de GLP. No obstante, el aumento en la demanda residencial y la atención a 124 clientes presentan desafíos en la entrega frecuente de pequeños volúmenes, especialmente en zonas de difícil acceso. Además, la dependencia del mantenimiento correctivo tras fallos puede comprometer la continuidad del servicio y la eficiencia operativa.

Por ello, se propone la adquisición de una cisterna adicional de menor capacidad, diseñada para el segmento residencial, lo que permitirá optimizar las rutas y responder con mayor agilidad a las necesidades de los clientes.

### 5.4.2 Capacidad de llenado del tanque

De acuerdo con la normativa (NFPA 58, 2014), la capacidad máxima de llenado de los tanques se especifica como sigue, según el **Cuadro 2.2**.

1. Para tanques con capacidad hasta 4 m<sup>3</sup>:

$$V_{MAX} = CAP_{tanque} * \frac{80}{100} \quad (5.14)$$

2. Para tanques con capacidad superior a 4 m<sup>3</sup>:

$$V_{MAX} = CAP_{tanque} * \frac{85}{100} \quad (5.15)$$

Donde:

$V_{MAX}$  = es el volumen máximo de llenado del tanque [m<sup>3</sup>]

$C_{tanque}$  = es la capacidad total del tanque. [m<sup>3</sup>]

A continuación, se especifica la capacidad optima de cumplimiento de estándares internacionales de seguridad y regulaciones pertinentes para la distribución de GLP a granel mediante un camión cisterna, según la capacidad de los tanques de la UGLP – LPZ (ver **Cuadro 5.8**).

**Cuadro 5.8. Capacidad Optima de los tanques estacionarios de la UGLP**

Capacidad del Tanque [m <sup>3</sup> ]	% Máximo de llenado	Volumen Máximo de llenado [L]
0,50	80	400, 00
1, 00	80	800, 00
2, 00	80	1.600, 00
4,00	80	3.200,00
5,00	85	4.250,00
7, 00	85	5.950, 00
48,00	85	40.800,00

**Fuente:** Elaboración propia

El **Cuadro 5.8.** muestra que para los tanques con una capacidad hasta 4 m<sup>3</sup>, el volumen máximo de llenado permitido es el 80% de su capacidad total. Para los tanques con una capacidad superior a 4 m<sup>3</sup>, el volumen máximo de llenado permitido es el 85% de su capacidad total. Estos porcentajes aseguran la seguridad y eficiencia en el manejo y transporte del GLP a granel, evitando riesgos asociados a sobrecargas y manteniendo la integridad estructural de los tanques.

#### ***5.4.2.1. Especificación de la Capacidad Óptima de la Cisterna para la Distribución de GLP a Clientes Residenciales***

Dado el crecimiento del segmento de clientes residenciales, que representa un 51% del total de clientes, y considerando el volumen significativo de 376 entregas anuales a este sector, resulta evidente la necesidad de optimizar nuestra flota de distribución de GLP.

Si bien el **Gráfico 3.4** de la sección **3.7.** nos proporcionó una visión general del mercado, los datos específicos sobre las entregas a clientes residenciales, detallados en la **Tabla 3.5**, justifican la necesidad de una solución más especializada.

Nuestra cisterna actual, con 11 años de servicio, ha cumplido satisfactoriamente con las demandas de los clientes industriales y comerciales. Sin embargo, su capacidad y diseño están pensados para atender grandes volúmenes y largas distancias, lo cual resulta ineficiente para las rutas residenciales, caracterizadas por entregas frecuentes de menor volumen y distancias largas. Para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de distribución, proponemos la adquisición de una cisterna de menor capacidad, diseñada específicamente para atender las necesidades de los clientes residenciales. Esta nueva unidad permitirá:

- **Mayor agilidad en las entregas:** Al reducir el tiempo de carga y descarga, así como las maniobras en zonas urbanas, se agilizarán las entregas y se mejorará la satisfacción del cliente.

- **Optimización de rutas:** Se podrán diseñar rutas más eficientes, agrupando a los clientes residenciales en zonas geográficas cercanas y minimizando los kilómetros recorridos.
- **Reducción de costos:** El menor consumo de combustible, los menores costos de mantenimiento y la prolongación de la vida útil de la cisterna contribuirán a una reducción significativa de los costos operativos.
- **Mayor vida útil de la flota:** Al liberar a la cisterna actual de las tareas más exigentes, se prolongará su vida útil y se reducirán los costos de reemplazo a largo plazo.

#### 5.4.2.1.1. *Análisis de Necesidades de los Clientes Residenciales*

Las rutas hacia los clientes residenciales son largas y los volúmenes de GLP requeridos son pequeños. Utilizar la cisterna actual de 7000 kg para estos clientes no es eficiente. A continuación, se presentan los datos de consumo y entregas anuales para estos clientes.

#### 5.4.2.1.2. *Cálculo de la Capacidad Óptima de la Cisterna*

Para determinar la capacidad adecuada de una nueva cisterna, se realizaron los siguientes cálculos:

- **Consumo Promedio por Entrega (kg):**

$$PCE_M[\text{Kg}] = \frac{CA[\text{Kg}]}{EA} \quad (5.16)$$

- **Litros por Entrega** (usando la densidad del GLP, que es aproximadamente 0.56 kg/litro):

$$PCE_V[\text{L}] = \frac{CPCE_M[\text{Kg}]}{\varphi [\text{Kg}/\text{l}]} \quad (5.17)$$

Donde:

$PCE_M$ : Consumo Promedio por Entrega en kilogramos (Kg)

CA: Consumo Anual por cliente (Kg)

EA: Entregas Anuales por cliente

$\varphi$ : Densidad del GLP 0,56 (Kg/l)

PCE<sub>v</sub>: Consumo Promedio por Entrega en litros (l)

### EJEMPLO: Cliente 2

- Kg vendidos: 1005,43 Kg
- Número de entregas Anual: 7
- Consumo promedio por entrega:  $\frac{1005,43}{7} = 143,63$  [Kg]
- Promedio por entregas en Litros:  $\frac{143,63}{0,56} = 265,99$  [l]

El ejemplo mostrado es solo una muestra de cómo calcular el consumo promedio por entrega para un cliente individual. Para determinar la capacidad total necesaria de la cisterna, es imprescindible repetir este cálculo para cada uno de los clientes que aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla 5.3. Análisis del Consumo de Clientes Residenciales**

Nº	Clientes	Capacidad de Tanques [M <sup>3</sup> ]	Kg Vendidos 2023	Número de Entregas 2023	Consumo promedio por entrega [Kg]	Litros por entrega [l]
1	Cliente 2	0,5	1005,43	7	143,63	256,49
2	Cliente 4	0,5	719,71	4	179,93	321,30
3	Cliente 5	0,5	527,46	3	175,82	313,96
4	Cliente 6	1	3707,31	10	370,73	662,02
5	Cliente 7	0,5	3799,76	23	165,21	295,01
6	Cliente 9	1	3670,18	8	458,77	819,24
7	Cliente 10	3	5501,89	7	785,98	1403,54
8	Cliente 11	1	1253,45	4	313,36	559,58
9	Cliente 12	0,5	491,51	4	122,88	219,42
10	Cliente 20	1	403,93	2	201,97	360,65
11	Cliente 21	0,5	532,73	4	133,18	237,83
12	Cliente 29	0,5	1582,95	8	197,87	353,34
13	Cliente 31	1	2352,9	5	470,58	840,32
14	Cliente 32	1	2226,28	7	318,04	567,93
15	Cliente 33	0,5	998,92	7	142,70	254,83
16	Cliente 37	1	1611,57	5	322,31	575,56
17	Cliente 38	0,5	1096,19	7	156,60	279,64

18	Cliente 39	0,5	551,59	4	137,90	246,25
19	Cliente 40	1	468,83	2	234,42	418,60
20	Cliente 42	0,5	729,06	5	145,81	260,38
21	Cliente 45	0,5	546,73	3	182,24	325,43
22	Cliente 46	1	633,81	2	316,91	565,90
23	Cliente 47	1	1494,58	4	373,65	667,22
24	Cliente 57	0,5	176,05	1	176,05	314,38
25	Cliente 59	0,4	2115,89	14	151,14	269,88
26	Cliente 60	4	9071,87	9	1007,99	1799,97
27	Cliente 61	0,5	1064,05	8	133,01	237,51
28	Cliente 64	0,5	829,98	5	166,00	296,42
29	Cliente 65	1,5	1559,04	3	519,68	928,00
30	Cliente 67	1,5	922,1	2	461,05	823,30
31	Cliente 68	0,5	1345,17	8	168,15	300,26
32	Cliente 70	0,5	162,6	2	81,30	145,18
33	Cliente 75	0,5	470,99	3	157,00	280,35
34	Cliente 76	0,5	729,73	4	182,43	325,77
35	Cliente 77	1,5	2884,54	7	412,08	735,85
36	Cliente 78	1,5	3429,64	7	489,95	874,91
37	Cliente 79	2	7391,61	15	492,77	879,95
38	Cliente 81	0,5	485,91	3	161,97	289,23
39	Cliente 83	1	3253,14	11	295,74	528,11
40	Cliente 84	0,5	482,33	3	160,78	287,10
41	Cliente 85	1	2918,78	9	324,31	579,12
42	Cliente 87	0,5	3029,56	17	178,21	318,23
43	Cliente 88	0,5	599,7	3	199,90	356,96
44	Cliente 89	0,5	925,63	6	154,27	275,49
45	Cliente 90	0,5	595,96	4	148,99	266,05
46	Cliente 91	0,5	440,27	3	146,76	262,07
47	Cliente 93	4	6433,08	3	2144,36	3829,21
48	Cliente 94	1	2683,08	9	298,12	532,36
49	Cliente 95	0,5	740,09	5	148,02	264,32
50	Cliente 96	1	1125,65	4	281,41	502,52
51	Cliente 104	1	1294,88	5	258,98	462,46
52	Cliente 105	1	3240,43	11	294,58	526,04
53	Cliente 106	1	1797,41	6	299,57	534,94
54	Cliente 107	1	2554,38	9	283,82	506,82
55	Cliente 108	0,5	1378,46	8	172,31	307,69
56	Cliente 109	0,5	515,93	3	171,98	307,10
57	Cliente 111	0,5	656,27	4	164,07	292,98
58	Cliente 112	0,5	495,32	3	165,11	294,83
59	Cliente 113	0,5	450,29	3	150,10	268,03
60	Cliente 114	0,5	1074,44	6	179,07	319,77
61	Cliente 116	2	2403,46	3	801,15	1430,63
62	Cliente 118	0,5	1396,15	8	174,52	311,64
63	Cliente 124	1	1231,77	3	410,59	733,20
<b>TOTAL</b>					<b>18817,74</b>	<b>33603,10</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a Datos Recopilados de la UGLP, 2023

- **Cálculo de la capacidad de la cisterna**

- ✓ Sumamos los litros por entrega promedio de los 63 clientes:

$$\sum C_i \quad (5.18)$$

- ✓ Promedio de Litros por Entrega (suma de litros por entrega / número de clientes):

$$V_{total} [l] = \frac{\sum C_i [l]}{\#Clientes} \quad (5.19)$$

- ✓ Si asumimos que la cisterna debe cubrir 5 entregas en una ruta típica:

$$CAP [l] = V_{total} [l] * 5 \quad (5.20)$$

- ✓ Si agregamos un margen de seguridad del 20% al cálculo de la capacidad de la cisterna

$$CAP [l] = V_{total} [l] * 1,20 \quad (5.21)$$

Donde:

$C_i$ : Representa el consumo en litros por entrega del cliente i. La letra "i" es un índice que nos permite recorrer a todos los clientes, desde el primero hasta el último. [l]

$V_{total}$ : Volumen total promedio [l]

CAP: Capacidad de la cisterna [l]

Para asegurar una operación segura y eficiente en la distribución de GLP a clientes residenciales, se ha considerado un margen de seguridad del 20% en el cálculo de la capacidad de la cisterna. Este margen adicional se basa en las prácticas recomendadas y la importancia de no llenar los recipientes al 100% de su capacidad para permitir la expansión térmica del GLP, tal como se destaca en la norma (NFPA 58, 2014) (**Liquefied Petroleum Gas Code**)

De acuerdo a la **Ecuación (5.18) y (5.19)** en la **Tabla 5.3** Se muestra el promedio de 33603,10 [l] por entrega y se tiene 63 clientes residenciales totales, entonces:

$$V_{total} [l] = \frac{33603,10[l]}{63} = 533,38 [l]$$

- ✓ Capacidad de la cisterna sin Margen de Seguridad, **Ecuación (5.20)**

$$CAP [l] = 533,38 [l] * 5 = 2666,91 [l]$$

- ✓ Capacidad de la cisterna con Margen de Seguridad (20%), **Ecuación (5.21)**

$$CAP [l] = 2666,91 [l] * 1,20$$

$$\boxed{CAP [l] = 3200 [l]}$$

El resultado final, de 3200 litros, incluye un margen de seguridad del 20%, lo que garantiza no solo la capacidad de atender a todos los clientes en una ruta típica, sino también la seguridad en el transporte del GLP.

La **Figura 5.7** presenta una imagen representativa de una cisterna de menor capacidad que podría ser considerada para futuras evaluaciones, optimizando el servicio a los clientes residenciales.

**Figura 5.7. Representación de una cisterna de menor capacidad para la distribución de GLP a clientes residenciales**



**Fuente:** (FlamaGAS, s.f.)

### ***5.4.3. Requisitos de Aprobación y Operación para Cisternas de GLP***

La aprobación y operación de cisternas para el transporte de Gas Licuado de Petróleo (GLP) requieren el cumplimiento de estrictas normativas de seguridad. En Bolivia, el IBMETRO es la entidad encargada de llevar a cabo las pruebas y certificaciones necesarias para garantizar que estas cisternas cumplan con los estándares nacionales e internacionales. Este proceso incluye una serie de evaluaciones meticulosas que aseguran la integridad estructural, la seguridad operativa y el cumplimiento de las regulaciones específicas del transporte de materiales peligrosos.

#### Requisitos técnicos

- Certificado de inspección del camión cisterna de GLP, emitido por IBMETRO.
- Certificados de prueba hidráulica correspondiente al tanque del camión cisterna, emitidos por IBNORCA o IBMETRO.
- Certificado de calibración del medidor volumétrico, emitido por IBMETRO.
- Manual de operaciones mantenimiento y seguridad de las operaciones de carga, transporte, descarga y entrega al usuario (RAN-ANH- UN N° 0023, Art. 6, 2015).

#### ***5.4.3.1. Proceso de Aprobación de Cisternas de GLP***

El proceso de aprobación de cisternas de GLP por parte de IBMETRO es un procedimiento exhaustivo que garantiza la seguridad y la conformidad con las normativas vigentes. Este proceso se divide en varias etapas clave, cada una diseñada para evaluar diferentes aspectos de la seguridad y la funcionalidad de las cisternas.

##### **1. Inspección Inicial**

- **Revisión Documental:** En la primera etapa, se lleva a cabo una revisión documental completa de la cisterna. Esto incluye la verificación de los planos, las especificaciones

técnicas y los materiales utilizados en su construcción. Es crucial asegurarse de que toda la documentación esté en orden y cumpla con los estándares establecidos.

- **Inspección Visual:** Además de la revisión documental, se realiza una inspección visual detallada de la cisterna. Esta inspección tiene como objetivo detectar cualquier defecto físico o de construcción que pueda comprometer la seguridad de la cisterna. Se busca identificar posibles deformaciones, grietas o cualquier otro daño que pudiera afectar su integridad.

## 2. Pruebas de Integridad Estructural

- **Prueba Hidrostática:** Esta prueba consiste en llenar la cisterna con agua a una presión superior a la operativa para verificar su resistencia a la presión interna. La prueba hidrostática es esencial para asegurar que la cisterna no tenga fugas ni deformaciones bajo condiciones de presión extremas.
- **Prueba de Estanqueidad:** En esta prueba, se utiliza un gas a una presión menor que la prueba hidrostática para detectar posibles fugas. La prueba de estanqueidad es crucial para garantizar que la cisterna sea completamente hermética y segura para el transporte de GLP.

## 3. Pruebas de Materiales

- **Análisis de Materiales:** para evaluar la composición y las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción de la cisterna. Este análisis asegura que los materiales cumplen con los estándares requeridos y son adecuados para contener GLP de manera segura.
- **Prueba de Soldaduras:** Inspección de las soldaduras mediante métodos no destructivos como la radiografía o ultrasonido. Estas pruebas garantizan la calidad y la integridad de

las uniones soldadas, que son puntos críticos en la estructura de la cisterna.

#### 4. Pruebas de Seguridad Operativa

- **Prueba de Válvulas y Accesorios:** Esta prueba verifica el correcto funcionamiento de las válvulas de seguridad, las válvulas de alivio y otros accesorios críticos. Es fundamental asegurar que estos componentes funcionen correctamente para prevenir fallos operativos y garantizar la seguridad durante el transporte.
- **Prueba de Sistemas de Señalización:** para asegurarse de que las etiquetas, placas y señalizaciones de peligro cumplan con las normativas de identificación y etiquetado de materiales peligrosos. La correcta señalización es vital para una rápida identificación de los riesgos y una respuesta adecuada en caso de emergencias.

Cada tanque debe ser sometido a los ensayos e inspecciones que se detallan en la **Tabla 5.4**.

La unidad completa debe ser inspeccionada anualmente por el ente competente. Por cada ensayo o inspección debe elaborarse un protocolo con los resultados obtenidos que demuestren que la unidad ha superado los ensayos satisfactoriamente.

**Tabla 5.4. Ensayos e inspecciones periódicas**

Descripción	Periodo de inspección
<b>Inspección Inicial (Revisión Documental y Visual)</b>	1 año
<b>Pruebas de Integridad Estructural (Estanqueidad)</b>	1 año
<b>Pruebas de Materiales</b>	5 años
<b>Pruebas de seguridad operativa (Presión)</b>	5 años

Fuente: (NB 85001, 2005)

##### 5.4.3.2. Mantenimiento y Manejo de Cisternas de GLP

Una vez que la cisterna ha sido aprobada y certificada, es crucial llevar a cabo un mantenimiento periódico para asegurar su operación segura y prolongar su vida útil. El mantenimiento regular

y la recertificación son esenciales para garantizar que las cisternas continúen cumpliendo con los estándares de seguridad.

#### **5.4.3.2.1. *Mantenimiento***

Las cisternas deben someterse a inspecciones periódicas para asegurar que continúan cumpliendo con los estándares de seguridad. Estas inspecciones incluyen revisiones visuales y pruebas de presión recurrentes para detectar cualquier deterioro o daño que pudiera comprometer la seguridad de la cisterna.

Además de las inspecciones, los componentes críticos como las válvulas y los sistemas de sellado deben ser reemplazados conforme a un calendario de mantenimiento. El reemplazo oportuno de estos componentes es esencial para prevenir fallos operativos y garantizar el correcto funcionamiento de la cisterna.

**Pruebas y Mantenimiento de Mangueras:** Se deben realizar pruebas hidráulicas trimestrales y mantenimiento regular para asegurar la integridad de las mangueras.

**Inspección Regular:** Las cisternas deben someterse a inspecciones periódicas para asegurar que continúan cumpliendo con los estándares de seguridad. Esto incluye revisiones visuales y pruebas de presión recurrentes.

**Reemplazo de Componentes:** Los componentes críticos, como las válvulas y los sistemas de sellado, deben ser reemplazados conforme a un calendario de mantenimiento para prevenir fallos operativos. La Paz cuenta con 1 camión cisterna Walker 17220 de 7 TN

Para optimizar la gestión del mantenimiento y diagnóstico del camión cisterna GLP, se presenta la siguiente **Tabla 5.5** propuesta. Este registro integral está diseñado para consolidar toda la información relevante relacionada con las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, pruebas, diagnósticos y gestión de incidentes en un formato unificado.

**Tabla 5.5. Propuesta de Registro Integral de Mantenimiento y Diagnóstico del Camión Cisterna GLP**

Fecha	Tipo de Actividad	Descripción	Frecuencia	Estado	Realizado por	Hora de Inicio	Hora de Finalización	Costo	Resultado	Observaciones
dd/mm/aaaa	Preventivo	Inspección general del sistema	Mensual	Pendiente Completado	Nombre del técnico	Hh	hh	\$	N/A	Verificar conexiones, sistema de frenado
dd/mm/aaaa	Preventivo	Cambio de aceite y filtros	Trimestral	Pendiente Completado	Nombre del técnico	Hh	hh	\$	N/A	Utilizar aceite recomendado
dd/mm/aaaa	Correctivo	Reparación de frenos	N/A	Completado	Nombre del técnico	Hh	hh	\$	N/A	Detalles adicionales sobre la reparación
dd/mm/aaaa	Prueba Diagnóstico	Diagnóstico del sistema de frenos	N/A	N/A	Nombre del técnico	N/A	N/A	N/A	Resultado	Notas adicionales sobre el diagnóstico
dd/mm/aaaa	Incidente Reparación	Descripción del incidente o fallo	N/A	N/A	Nombre del técnico	Hh	hh	\$	N/A	Notas adicionales sobre el incidente

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla facilita un seguimiento detallado de cada actividad, permitiendo un monitoreo efectivo y una planificación adecuada de las tareas programadas. El objetivo es asegurar un mantenimiento eficiente, reducir los tiempos de inactividad y garantizar el correcto funcionamiento del camión cisterna, contribuyendo así a una operación segura y fiable del sistema de distribución de GLP.

### **Recalibración y Recertificación**

Los instrumentos de medición y control utilizados en las cisternas deben ser recalibrados regularmente para mantener su precisión. La recalibración de instrumentos asegura que las mediciones sean exactas y que el sistema opere dentro de los parámetros de seguridad establecidos.

Las cisternas también deben ser recertificadas a intervalos regulares por IBMETRO para asegurar que siguen cumpliendo con los estándares de seguridad. La recertificación implica una reevaluación completa de la cisterna, incluyendo pruebas de presión, inspección de materiales y verificación del estado de los componentes.

- Recalibración de Instrumentos: Los instrumentos de medición y control deben ser recalibrados regularmente para mantener la precisión en la operación.
- Recertificación Periódica: Las cisternas deben ser recertificadas a intervalos regulares por IBMETRO para asegurar que siguen cumpliendo con los estándares de seguridad.

#### **5.4.3.2.2. *Gestión y Supervisión del Manejo de cisternas de GLP mediante Tecnología de Posicionamiento***

Para garantizar el manejo seguro y eficiente del GLP durante el transporte a los clientes, se deben seguir procedimientos operativos establecidos. Estos procedimientos incluyen la correcta documentación previa, el monitoreo constante de la unidad, y el cumplimiento de normativas

de tránsito. En caso de fallas mecánicas, se deben tomar medidas específicas para asegurar la seguridad en ruta y el correcto estacionamiento del camión cisterna. A continuación, se detallan las recomendaciones y requisitos operativos para el transporte de GLP:

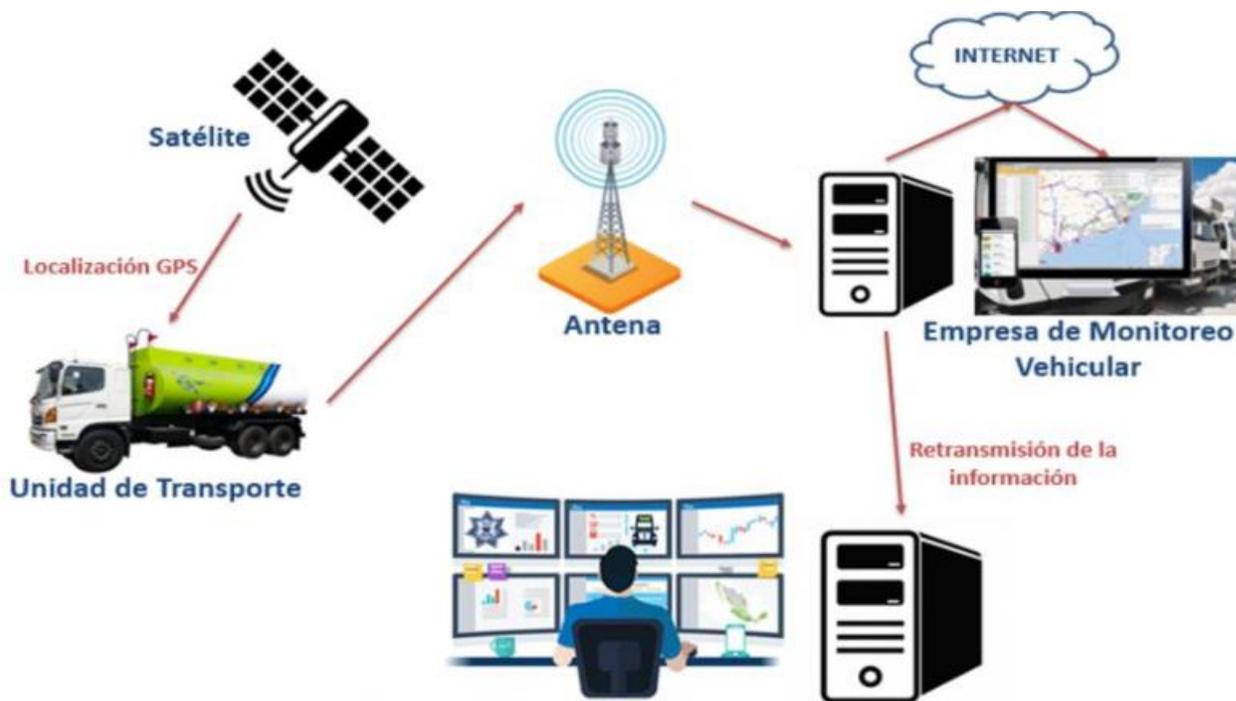
- 1 Documentación Previa:** El conductor debe recibir antes de iniciar su viaje la documentación de carga, que incluye el control de la balanza y la hoja de ruta correspondiente. Tras verificar estos datos, el conductor procederá a la carretera, dirigiéndose hacia las instalaciones del cliente.
- 2 Monitoreo:** La unidad será monitoreada en todo momento a través del HANDY, teléfono móvil y GPS para supervisar su trayecto y garantizar la seguridad.
- 3 Reglamento de Tránsito:** El conductor está obligado a cumplir con el reglamento nacional de tránsito, así como con el reglamento interno de tránsito de las instalaciones del cliente.
- 4 Fallas Mecánicas:** En caso de una falla mecánica en ruta, el conductor deberá aplicar el freno de parqueo, colocar cuñas a las llantas y conos, y notificar al Supervisor.
- 5 Estacionamiento:** Está prohibido parar o estacionar debajo de redes eléctricas, en curvas, o en vías de acceso para equipos móviles. El camión cisterna solo debe estacionarse en lugares permitidos y debidamente señalizados. Además, se deben mantener encendidos los faros durante el desplazamiento.
- 6 Conducción Segura:** Queda prohibido patinar los neumáticos, arrancar bruscamente, frenar violentamente o realizar maniobras peligrosas. Tanto el conductor como el ayudante deben usar el cinturón de seguridad en todo momento mientras la unidad esté en movimiento. Toda unidad vehicular empleada para el transporte o distribución de GLP a granel debe estar equipada con sistemas GPS (Sistema de Posicionamiento Global), (ver **Figura 5.8**) para:

 Seguimiento de los camiones de transporte de GLP para verificar que lleguen a destino

y no desvíen el producto a agentes no autorizados.

- ✚ Verificar que el desplazamiento del camión de GLP se realice por las rutas que han previsto en su Plan de Contingencias.
- ✚ Verificar que el lugar de pernoctación de la unidad de transporte de GLP corresponda al lugar declarado por la empresa y no se realice en la vía pública.
- ✚ Para que los medios de transporte se encuentren habilitados deberán encontrarse debidamente empadronados, con registro de hidrocarburos vigente y transmitiendo continuamente la señal del GPS.

**Figura 5.8. Centro de control GPS**

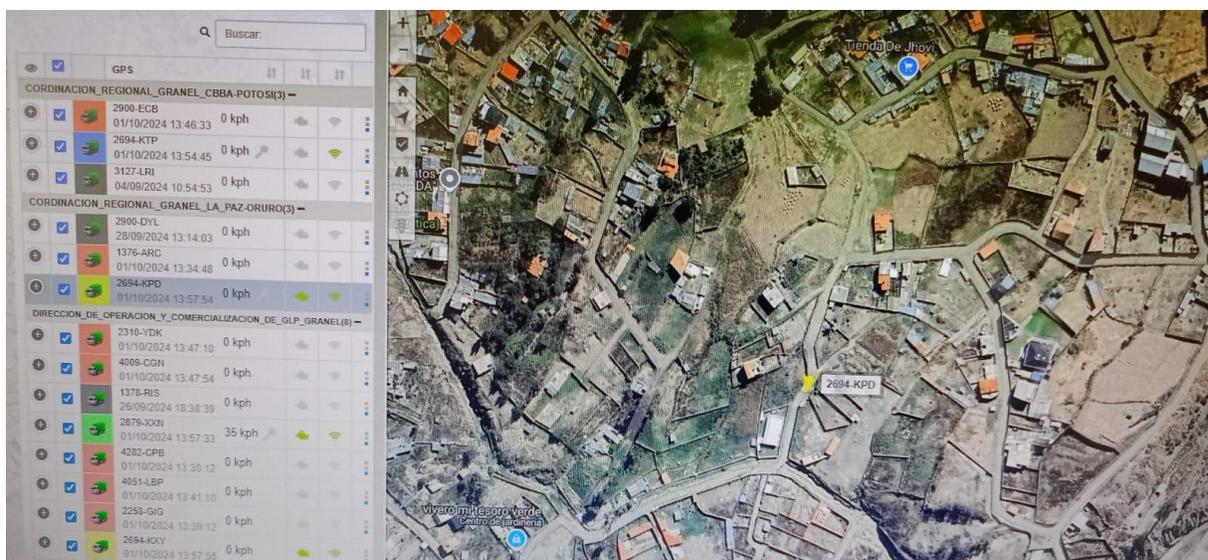


**Fuente:** (Osinermin, 2022)

Actualmente, la Unidad de GLP a Granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) utiliza el sistema de posicionamiento UBITRACK para optimizar la eficiencia y seguridad en la distribución de GLP. Este sistema permite el seguimiento en tiempo real de las cisternas, proporcionando información precisa sobre la ubicación de los vehículos y facilitando

una gestión eficiente de las rutas y el control operativo. Como se ilustra en la **Figura 5.9**, el uso del sistema UBITRACK asegura una planificación efectiva y una respuesta ágil ante cualquier eventualidad, contribuyendo a una operación más segura y eficiente.

**Figura 5.9. Funcionamiento del sistema UBITRACK en el posicionamiento de la cisterna de GLP.**



Fuente: (UGLP, s.f)

En el contexto del proyecto, se propone la integración de UBITRACK con el software ArcGIS, que genera las rutas optimizadas detalladas en las **Figura 4.6** hasta la **Figura 4.12**. Mientras ArcGIS identifica rutas más eficientes considerando factores como distancia, tiempos de entrega y condiciones de la carretera, UBITRACK proporciona un monitoreo en tiempo real que permite ajustar dichas rutas, mejorando así el control logístico. Esta combinación fortalece la capacidad de la UGLP para reducir los tiempos de viaje, minimizar la necesidad de mantenimiento y optimizar sus operaciones.

La integración de UBITRACK y ArcGIS no solo optimiza la operación diaria, sino que también mejora el servicio al cliente, alineándose con el objetivo general de mejorar la distribución de gas licuado de petróleo mediante la implementación de un sistema eficiente.

#### **5.4.3.2.3. Propuesta del Sistema SCADA para la Monitorización Remota de Cisternas de GLP**

El Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA) es una tecnología ampliamente utilizada en la industria de los hidrocarburos para monitorizar y controlar procesos en tiempo real. En YPF, ya se ha implementado un sistema SCADA para la supervisión y control de las plantas de producción y transporte de gas natural, que también brinda servicios a la Gerencia de Redes de Gas y Ductos (GRGD). Este sistema permite la adquisición de datos de más de 700 sistemas de medición, que incluyen alrededor de 9000 señales de instrumentos distribuidos en plantas, estaciones de exportación, transporte de gas, y redes de gas.

Dada la existencia de este precedente en YPF, la implementación de un sistema SCADA para la monitorización remota de la cisterna de GLP en la UGLP de La Paz sería un paso lógico y eficiente. Este sistema permitiría no solo el rastreo de la ubicación y la velocidad del vehículo, como ya se hace con el sistema GPS actual, sino también la supervisión en tiempo real de variables críticas como la presión, temperatura, y el nivel de carga de la cisterna.

#### **Descripción del Sistema SCADA para la Cisterna de GLP**

El sistema SCADA propuesto incluiría los siguientes componentes:

1. **PLC (Controlador Lógico Programable) o RTU (Unidad Terminal Remota):**  
Dispositivo encargado de la adquisición y transmisión de datos a la central remota.
2. **Sensores de Presión y Temperatura:** Instalados en la cisterna para medir y reportar en tiempo real estas variables críticas.
3. **Medidor de Nivel de Carga:** Para monitorizar el nivel de GLP dentro de la cisterna y asegurar un control preciso del producto.

4. **Sistema de Comunicación Satelital:** Utilizando el Satélite Túpac Katari, para garantizar la transmisión de datos en áreas remotas donde la cobertura móvil pueda ser limitada.
5. **Baterías de Respaldo:** Baterías de larga duración, como la Tesla Powerwall 2, complementadas con paneles solares para asegurar un suministro de energía constante al sistema.

### **Beneficios Potenciales del Sistema SCADA**

- **Seguridad Operativa Mejorada:** SCADA permitiría la monitorización en tiempo real de parámetros críticos como la presión, la temperatura y el nivel de llenado de las cisternas, alertando a los operadores sobre cualquier posible anomalía. Esto reduciría los riesgos operativos y mejoraría la seguridad en el transporte de GLP.
- **Eficiencia Operativa:** El sistema SCADA proporcionaría datos que permitirían optimizar las operaciones de distribución y mantenimiento de las cisternas, asegurando que el equipo funcione dentro de sus límites seguros.
- **Monitoreo Continuo y Mantenimiento Preventivo:** Al ofrecer un control detallado de las condiciones operativas, SCADA permitiría realizar mantenimientos preventivos de manera más eficiente, minimizando las fallas inesperadas y optimizando la vida útil de las cisternas.

### **Limitaciones y Desafíos de Implementación**

A pesar de los beneficios mencionados, la implementación de SCADA en la Unidad de GLP presenta desafíos significativos:

- **Costos Elevados:** La adquisición e instalación de hardware y software SCADA, así como la capacitación del personal, requieren una inversión significativa. Este costo

podría no ser viable en el contexto actual de la UGLP, especialmente considerando los márgenes operativos y las prioridades de inversión.

- **Complejidad Técnica:** La implementación de un sistema SCADA requiere una infraestructura avanzada y personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento, lo que implica costos recurrentes adicionales.
- **Análisis Extensivo Requerido:** Para justificar la implementación de SCADA, sería necesario realizar un análisis técnico y económico detallado que considere no solo los costos iniciales, sino también los beneficios a largo plazo. Este análisis podría ser el objeto de un proyecto específico y más exhaustivo en el futuro.

### **Viabilidad y Recomendaciones**

Aunque la implementación de un sistema SCADA para la monitorización remota de cisternas de GLP ofrece ventajas claras en términos de seguridad y eficiencia, no se considera viable su aplicación inmediata en la Unidad de GLP a granel de YPFB debido a los costos asociados y la necesidad de realizar un análisis técnico y económico más detallado. Sin embargo, se recomienda mantener esta propuesta para futuras evaluaciones, en caso de que las condiciones económicas o las necesidades operativas cambien.

#### ***5.4.4. Capacitación y Competencia del Personal***

La formación continua asegura que el personal esté al tanto de las últimas normativas y prácticas de seguridad. Además, se deben realizar simulacros de emergencia para preparar al personal en la respuesta a incidentes como fugas o incendios. Estos simulacros ayudan a desarrollar y perfeccionar los procedimientos de emergencia, asegurando una respuesta rápida y eficaz en situaciones críticas. (ISO 45001, 2018)

El personal encargado del manejo y transporte de cisternas de GLP debe recibir formación continua en procedimientos de seguridad y respuesta a emergencias de manera semestral.

### **1. Formación Inicial y Continua**

La capacitación del personal debe comenzar con una formación inicial exhaustiva que cubra procedimientos operativos, normativas de seguridad, y el uso del programa ArcGIS para la optimización de rutas. Esta formación inicial debe ser complementada con entrenamientos continuos para asegurar que el personal esté al día con las nuevas normativas y mejores prácticas del sector.

### **2. Manejo de Cisternas y Seguridad**

El personal encargado de operar y supervisar las cisternas de GLP debe recibir formación especializada en:

- **Operación de Cisternas:** Procedimientos adecuados para la carga, descarga y operación segura de cisternas.
- **Normativas de Seguridad:** Cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales para el transporte de GLP.
- **Equipos de Protección Personal (EPP):** Uso y mantenimiento de EPP para garantizar la seguridad durante las operaciones.

### **3. Procedimientos Operativos y Normativas**

La formación también debe incluir:

- **Documentación y Protocolos:** Gestión correcta de la documentación, incluyendo hojas de ruta y procedimientos de emergencia.
- **Reglamento de Tránsito:** Cumplimiento del reglamento nacional de tránsito y el

reglamento interno de las instalaciones del cliente.

#### **4. Evaluación**

Evaluaciones periódicas de habilidades y conocimientos en manejo de GLP y seguridad, son necesarias para validar la competencia del personal.

#### **5. Mantenimiento Preventivo y Correctivo**

Un aspecto crucial de la capacitación es la gestión del mantenimiento de las cisternas. El personal debe estar entrenado en la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. (Ver **Tabla 5.5.**)

Este registro integral está diseñado para consolidar toda la información relevante relacionada con las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, pruebas, diagnósticos y gestión de incidentes en un formato unificado. La tabla facilita un seguimiento detallado de cada actividad, permitiendo un monitoreo efectivo y una planificación adecuada de las tareas programadas. El objetivo es asegurar un mantenimiento eficiente, reducir los tiempos de inactividad y garantizar el correcto funcionamiento del camión cisterna, contribuyendo así a una operación segura y fiable del sistema de distribución de GLP.

##### ***5.4.5. Procedimientos de Seguridad durante la Carga y Descarga***

El personal debe llevar un equipo de protección individual adecuado durante las operaciones de transvase de GLP, incluyendo una linterna a prueba de explosión y medios para verificar fugas, como agua jabonosa. Los equipos esenciales son:

-  Casco y calzado de seguridad
-  Lentes o gafas de seguridad
-  Guantes de protección química

- ✚ chaleco con cintas reflectantes
- ✚ Camisa de manga larga y pantalón de material antichispa, no sintético
- ✚ Linterna a prueba de explosión.
- ✚ Medios para verificar fugas, como agua jabonosa.

La carga y descarga deben ser supervisadas por personal capacitado. La empresa debe ofrecer programas de entrenamiento y capacitación anual, incluyendo:

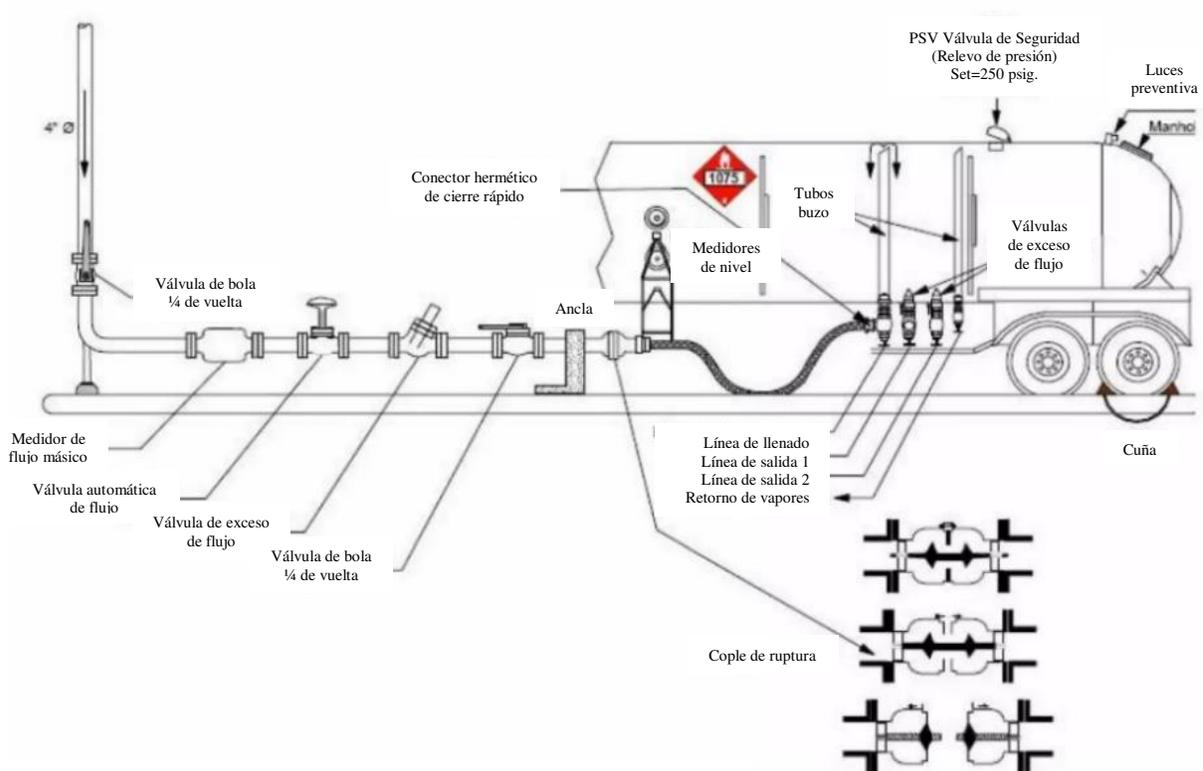
- a) Prácticas de trabajo seguro
- b) Riesgos del GLP para la salud y seguridad
- c) Procedimientos de emergencia (simulacros semestrales)
- d) Capacitación supervisada y manejo defensivo
- e) Evaluación de competencias

Las áreas de carga y descarga deben ser inspeccionadas para eliminar fuentes de ignición, y se debe contar con protecciones contra incendios accesibles. Los procedimientos escritos y la información relevante deben ser fácilmente accesibles para el personal.

#### ***5.4.5.1. Procedimientos de Carga del GLP***

El procedimiento de carga de GLP es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación, de acuerdo a la siguiente **Figura 5.10**.

**Figura 5.10. Instalación típica para llenado de Auto tanques de Gas Licuado**



**Fuente:** (Raul Alberto Peniche Mendoza, 2010)

Según lo mencionado, se sigue el siguiente procedimiento:

### **Inspección Previa al Ingreso:**

El personal de vigilancia o jefe de Planta inspecciona la unidad antes de autorizar su ingreso, verificando que no haya fugas y que las válvulas funcionen correctamente.

Se asegura que la unidad cuente con su SCOP de carga y que el conductor use ropa de trabajo y equipos de protección personal.

### **Ingreso a la Planta:**

Velocidad controlada: La cisterna ingresa a la zona de control en Planta a una velocidad aproximada de 10 km/h y se dirige a la zona de pesaje a una velocidad máxima de 5 km/h.

### **Proceso de Pesaje:**

El conductor asegura que todos los ejes estén sobre la balanza, desciende de la unidad y entrega los datos al operador de pesaje. Se registra el peso TARA y se autoriza el desplazamiento al punto de carga. (ver **Figura 3.6**)

### **Estacionamiento en la Zona de Carga:**

Preparativos de seguridad: La cisterna se estaciona en la zona de carga, el conductor coloca conos y tacos de seguridad, y posiciona los extintores a 0.3 metros de la zona de carga. El motor se mantiene en marcha el tiempo mínimo necesario y nadie permanece en la cabina durante la carga.

### **Preparación para la Carga:**

Conexión a tierra: El operario verifica los equipos de seguridad, incluyendo el casco, calzado de seguridad, gafas, guantes, chaleco reflectante y ropa antichispa, y realiza la conexión a tierra.

Condiciones de carga: Se verifica la presión, temperatura y nivel de la cisterna para calcular la cantidad de carga, que no debe exceder el 85%. Según normativa (ver **Cuadro 2.2**)

### **Conexión y Carga de GLP:**

Conexión de acoples: El operario conecta los acoples para la carga de GLP en estado líquido y vapor, asegurando la correcta alineación del sistema.

Prevención de fugas: Se verifica la hermeticidad de las conexiones y se sigue una secuencia específica de apertura de válvulas para prevenir fugas.

Control continuo: Durante el trasvase, se controla que la operación se realice satisfactoriamente, monitoreando el nivel y la presión en todo momento.

### **Trasvase:**

Verificación de presiones: El técnico verifica las presiones de los distintos elementos de la operación para observar anomalías o maniobras erróneas.

Control del nivel de llenado: Se controla que el nivel de llenado no exceda el 85% del volumen total. Si la medición se realiza por rotogage, siempre se empieza por la fase vapor y la cisterna debe estar nivelada.

Manejo de activaciones de válvulas: Si alguna válvula de exceso de flujo se activa, se cierra la válvula respectiva, se espera a que se desactive, y luego se abre lentamente para continuar el llenado.

#### **Finalización de la Carga:**

Desconexión y verificación: Habiendo alcanzado el nivel máximo de llenado, se cierran las válvulas en la secuencia requerida, se desconectan las mangueras y se asegura que no haya fugas. El conductor retira la cisterna cuando recibe la autorización del operario.

Pesaje final: Se realiza un control final en la balanza para verificar el peso y asegurar que no se ha sobrellenado la cisterna. Se desconecta la conexión a tierra y se verifica la documentación requerida.

#### **Pesaje de Cisterna de Salida:**

Control del peso: Se asegura que la masa máxima admisible del camión no sea excedida, considerando el carburante y el conductor. Si se sobrellena accidentalmente, se retira el exceso de GLP antes de la partida.

Verificación final: Antes de abandonar el lugar, el conductor verifica la cantidad y grado de llenado de GLP, asegura que los paneles de advertencia estén correctos y que la documentación esté completa.

#### ***5.4.5.2. Procedimientos de Descarga del GLP***

El proceso continua al salir de la planta con el registro de los clientes a los cuales se realizará el inyecto de GLP y se tiene las siguientes medidas de seguridad:

- Detener el motor en ralentí.
- Accionar frenos y calzar las ruedas.
- Colocar conos de seguridad y carteles de "NO FUMAR".
- Accionar el sistema de bloqueo anti desplazamiento.
- Realizar la conexión a tierra.

Y las siguientes verificaciones previas:

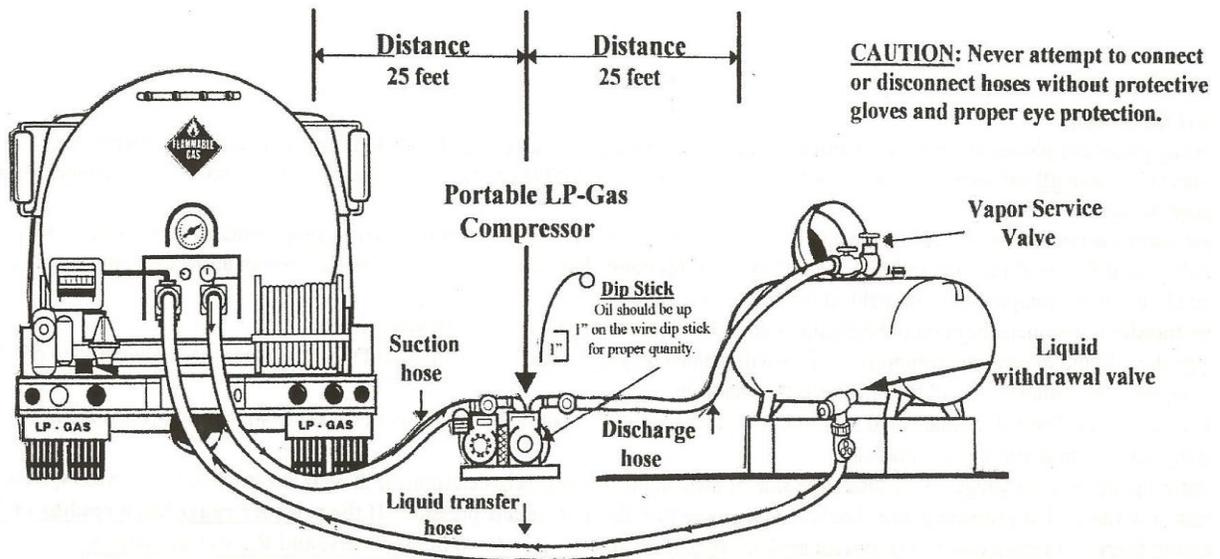
- Posicionamiento: Asegurar acceso al tanque, indicador de nivel y control de válvulas.
- Extintores: Ubicarlos en la zona de descarga.
- Inspección del entorno: Verificar la ausencia de fuentes de ignición en un radio de 7.60 metros.
- Revisión de mangueras: Examinar visualmente las mangueras de suministro para detectar deformaciones, desgastes o deterioros.
- Recorrido de mangueras: Debe ser por el exterior de las edificaciones y restringido al público.
- Señales de advertencia: Colocar si las mangueras están expuestas a tránsito peatonal.

### **Operaciones de Descarga**

Según la programación que tiene que cumplir la cisterna atendemos a 5 a 6 clientes y el volumen que vendemos se registra entonces el operador controla que el tanque del cliente se llenado a una capacidad del 80% la manguera se desconecta y el medidor registra el volumen de GLP vendido entonces el operador sube la factura al sistema de facturación (U-FIC 01) que registra el volumen vendido al cliente.

La **Figura 5.11** muestra un sistema sencillo pero efectivo para la transferencia y compresión de GLP. Es importante seguir las precauciones de seguridad indicadas para evitar accidentes.

**Figura 5.11. Operación de descarga de GLP con el equipo de trasiego portátil**



**Fuente:** (IngPro SUPPLIER, s.f)

La **Figura 5.12** muestra un panel de control que desempeña un papel vital en la operación segura y eficiente de un vehículo cisterna. Los componentes de este panel trabajan en conjunto para garantizar que el combustible se transfiera de manera controlada y precisa desde el tanque hasta el punto de entrega.

**Figura 5.12. Panel de Control de Distribución de GLP a granel de la UGLP**



**Fuente:** (UGLP, s.f)

Los paneles de control de este tipo son diseñados con rigurosos estándares de seguridad para prevenir incendios, explosiones y otros peligros asociados con el manejo de combustibles. Los materiales utilizados, las conexiones y los dispositivos de seguridad son seleccionados cuidadosamente para minimizar riesgos, entonces se debe tener las siguientes consideraciones:

- Restricción de acceso: Delimitar la zona de descarga y restringir el acceso al público.
- Verificación de válvulas: Asegurarse de que todas las válvulas internas estén cerradas.
- Conexión de mangueras: Primero conectar la de fase líquida y luego la de fase vapor, verificando la hermeticidad.
- Monitoreo continuo: Los operadores deben estar atentos a los instrumentos de control y no alejarse del vehículo.

#### **Finalización de la Descarga**

- Cierre de válvulas: Cerrar la válvula de  $\frac{1}{4}$  de vuelta y asegurar las mangueras.
- Retiro del exceso de GLP: Si se sobrellena, retirar el exceso de forma segura.
- Desconexión: Desconectar las mangueras una vez despresurizadas.
- Inspección final: Verificar que no haya fugas en el tanque estacionario y su entorno.
- Retiro de equipos: Retirar el sistema de puesta a tierra, conos, calzos y extintores.
- Verificación completa: Asegurar que todas las conexiones estén retiradas y comunicarse en caso de anomalías.
- Retornar a la planta para calcular el volumen de GLP que queda en el camión cisterna denominado como SALDO.

#### **5.4.6. *Mantenimiento de tanques estacionarios***

El mantenimiento de tanques de GLP consiste en el siguiente procedimiento:

- a) Limpieza externa e interna del tanque estacionario
- b) Prueba hidrostática
- c) Pintura del tanque
- d) Cambio de accesorios (opcional).

Por ningún motivo se deben intervenir o reparar las partes sometidas a presión. Aparte de estas operaciones se recomienda: Cambiar el regulador de gas cada 3 años y probar o cambiar las válvulas cada 5 años. Al igual que con las revisiones las actividades de mantenimiento deben ser realizadas por personal calificado que demuestre competencia técnica y esté debidamente autorizado.

Existen los procedimientos que rigen el correcto funcionamiento de la parte operativa que regula las actividades que se deben realizar si se encontrará algún problema según el mantenimiento preventivo se debe coordinar las visitas con los clientes (Ver **Anexo 5 y Anexo 6**).

#### **5.4.6.1. Inspección que Realiza la UGLP**

##### **Inspección Parcial:**

Debe realizarse por lo menos una vez al año con una inspección externa para comprobar que no tiene abolladuras, hendiduras o áreas en estados avanzados de abrasión, erosión o corrosión. De acuerdo a su resultado, deberá practicarse otros ensayos no destructivos y en casos severos exámenes radiográficos para poder garantizar la operatividad del tanque y la seguridad del usuario. Adicionalmente se debe realizar el control de los sistemas de protección catódica (de existir). Según el contrato de servicio integral a objeto de garantizar la operatividad del tanque se estableció un **CONTRATO DE SERVICIO INTEGRAL A TANQUES Y REDES DE**

**GLP** el cual se suscribió entre el **USUARIO** y **YPFB** el alcance de los servicios objeto del presente contrato podrá abarcar de forma amplia y no limitativa, los siguientes servicios:

- a) Servicio de soporte técnico y operación de equipos y accesorios de GLP.
- b) Servicio de modificación de red de GLP.
- c) Servicio de extracción, transporte e inyección de GLP a tanques.
- d) Servicio de elaboración de proyecto de instalación de Red de GLP.
- e) Servicio de mantenimiento preventivo y correctivo a tanques de GLP.
- f) Servicio de mantenimiento preventivo y correctivo de la red de GLP.
- g) Servicio de mantenimiento preventivo y correctivo a equipos y accesorios de la instalación de GLP.
- h) Servicio de traslado y movimiento de tanques de GLP.
- i) Servicio de ejecución de pruebas hidráulicas.
- j) Otros servicios relacionados a las actividades de GLP.

### **Inspección Total:**

Debe efectuarse una vez cada diez años o cada vez que haya sido objeto de reparaciones. Consiste además de las inspecciones parciales, de una revisión interna y de una prueba de resistencia a presión hidrostática y un examen de espesores.

Asimismo, se deberá cambiar la totalidad de válvulas y accesorios del tanque. (Bafer Energy Economic, s.f.)

### **Prueba hidrostática**

Se debe realizar una prueba de presión (hidrostática) de acuerdo a la norma ASTM E 1003 o similar. La prueba de presión se debe realizar de acuerdo con el período establecido por el fabricante, se debe tomar como referencia el punto 4.3 de la norma API 510 o cada seis

años, en todo caso el período que sea menor. En el **Cuadro 5.9** se resume la periodicidad de todas las pruebas que se deben realizar a los tanques de GLP. (Universidad de Costa Rica, 2015).

**Cuadro 5.9. Periodicidad de las Pruebas a los Tanques de GLP**

<b>TIPO INSPECCIÓN</b>	<b>PERIODICIDAD</b>
Visual externa	Anual
Visual interna	Cada dos años
válvula de alivio	Cada cinco años
Otras válvulas	Anual
Medición de los espesores	Cada dos años
Pruebas hidrostáticas	Cada seis años

**Fuente:** (Universidad de Costa Rica, 2015)

“CADA PASO HACIA EL  
SABER NOS ACERCA A  
NUEVAS OPORTUNIDADES.”

Sócrates.

# **CAPÍTULO 6**

# **ANÁLISIS DE COSTOS**

## CAPITULO 6

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1. Introducción

La optimización de las rutas de distribución de GLP representa una oportunidad estratégica para nuestra empresa, con el potencial de generar importantes ahorros y mejorar la eficiencia operativa. Este capítulo tiene como objetivo cuantificar los costos asociados a la implementación de una solución tecnológica de ruteo optimizado y evaluar su viabilidad económica a través de un riguroso análisis costo-beneficio.

#### 6.2. Cálculo del Costo Operativo Antes y Después de la Optimización

##### 6.2.1. Cálculo del Consumo de Combustible

El consumo de combustible general se puede calcular tomando en cuenta la distancia total recorrida por los camiones cisterna para atender a todos los clientes. Luego, se aplica el rendimiento del vehículo para determinar la cantidad total de litros de combustible consumidos y, finalmente, se multiplica por el precio del combustible.

Cálculo del consumo de combustible para el cual se tomará en consideración los siguientes datos recabados por el personal operativo de la UNIDAD:

#### DATOS

En promedio de consumo de combustible es de  $3 \pm 0,3$  [Km/l]

El tanque de la cisterna puede recorrer 825 [Km] aproximadamente.

La capacidad del tanque es de 275 [l]

Precio del combustible DIESEL 3,72 [Bs/l]

**Costos de Combustible:** Estos costos dependen directamente de la distancia recorrida y el consumo de combustible por kilómetro.

$$CT \text{ (Bs)} = \frac{D \text{ (Km)}}{CC \left(\frac{\text{Km}}{l}\right)} * PC \left(\frac{\text{Bs}}{l}\right) \quad (6.1)$$

Donde:

CT = Costo Total [Bs]

D = Distancia [km]

CC = Consumo de combustible [km/l]

PC = Precio del combustible [Bs/l]

se obtuvieron los costos de combustible actuales y optimizados para cada tramo de distribución.

Según **Anexo 18** la tabla adjunta muestra los resultados de estos cálculos, donde se puede observar la longitud actual y optimizada de cada tramo, la reducción de distancia, y los costos de combustible tanto en su estado actual como optimizado. Además, se presenta la reducción en los costos de combustible, lo cual refleja la eficiencia obtenida mediante la optimización de las rutas de distribución.

Luego de calcular la reducción por cliente, se suma las reducciones para obtener la **Tabla 6.1** resumen. Esta tabla resumen muestra el impacto total de la optimización de rutas en términos de reducción de costos para todos los clientes.

**Tabla 6.1. Resumida: Impacto Total de la Optimización de Rutas**

<b>COSTOS</b>	<b>Antes de la Optimización</b>	<b>Después de la Optimización</b>	<b>Reducción Total</b>
<b>Distancia Total (m)</b>	8789949,30	8210422,60	579526,70
<b>Consumo Total de Combustible (l)</b>	3040084,891	2924748,884	115336,0073

**Fuente:** Elaboración Propia

### 6.2.2. Costos de Inversión Inicial

Para implementar la optimización de rutas, se requerirá una inversión inicial en software y capacitación.

#### **Tabla de Costos de Inversión Inicial:**

- **Licencias de Software (Costo por año):** La implementación de un sistema de optimización de rutas implica una inversión en software especializado. Este documento analiza los costos asociados a las licencias de ArcGIS Pro, una de las principales herramientas utilizadas en este tipo de proyectos. Se considerarán diferentes factores, como el número de usuarios y los módulos necesarios, para obtener una estimación precisa de los costos de software. El costo aproximado es de 1.500 \$u\$ o su equivalente en bolivianos de 10.500 Bs.
- **Instalación y Capacitación (Costo Único):** Los costos de instalación incluyen la configuración del hardware y software necesarios, así como la personalización de la interfaz de usuario de ArcGIS Pro tienen un costo de 1.400 Bs. aproximadamente. La capacitación del personal se ofrecerá en formato presencial y cubrirá los aspectos básicos y avanzados del software, con una duración estimada de [número] horas por un costo de 2.100 Bs. (estimado para un curso de capacitación básico).
- **Mantenimiento y Soporte Técnico:** El mantenimiento anual y el soporte técnico son esenciales para garantizar que el software funcione correctamente y que cualquier problema se resuelva rápidamente. Estos servicios, que incluyen actualizaciones del software y asistencia técnica, tienen un costo anual de 3,500 Bs. Aseguran que el sistema siga operando al máximo rendimiento, minimizando interrupciones y problemas técnicos.
- **Personal Encargado del Monitoreo de Rutas:** Para mantener la eficiencia del sistema de optimización de rutas, se asignará un empleado dedicado a la supervisión de las operaciones

de la cisterna y la evaluación continua de las rutas. El salario mensual para este puesto se estima en 3,500 Bs. Este empleado será responsable de monitorear las rutas, realizar ajustes según sea necesario y asegurar que los objetivos de optimización se cumplan. Este rol es fundamental para maximizar la eficiencia y asegurar el retorno de la inversión en este sistema.

A continuación, se detalla el desglose de costos asociados a la adquisición e implementación inicial del software ArcGIS Pro Basic, herramienta fundamental para la optimización de rutas. (ver **Tabla 6.2**).

**Tabla 6.2. Inversión Inicial en Software de Optimización de Rutas**

Concepto	Descripción	Frecuencia	Costo Unitario (Bs)	Cantidad	Costo total (Bs)
<b>Licencia de Software</b>	Costo de la licencia de ARCGIS Pro.	Anual	10.500	1	10.500
<b>Instalación (opcional)</b>	Instalación del software.	Único	1.400	1	1.400
<b>Capacitación Básica (opcional)</b>	Capacitación en el uso del software.	Único	2.100	1	2.100
<b>Mantenimiento y Soporte Técnico</b>	Costos asociados al mantenimiento del software y soporte técnico.	Anual	3.500	1	3.500
<b>Personal</b>	Encargado del Monitoreo de Rutas.	Anual	3.500	12	42.000

**Fuente:** Elaboración Propia

### **6.2.3. Cálculo del Retorno de la Inversión (ROI)**

El ROI es la medida de responsabilidad que responda la siguiente pregunta: ¿se produce una rentabilidad financiera por invertir en un programa, proceso, iniciativa o solución de mejora de rendimiento? Es un indicador económico lo que significa que tiene que ver con las matemáticas. El concepto de comparar los ingresos con la inversión se ha utilizado en los negocios durante

siglos para medir el éxito de diversas oportunidades de inversión. Actualmente se está convirtiendo en una práctica común en las funciones organizativas que son consideradas como centros de costes, las cuales incluyen el aprendizaje y rendimiento en el puesto de trabajo.

(Patricia Pulliam Phillips, Jack J. Phillips, 2000)

$$\text{ROI} = \frac{\text{I} - \text{Inv}}{\text{Inv}} * 100\% \quad (6.2)$$

Donde:

ROI = Retorno de la Inversión, (%)

I = Ingresos, (Bs)

Inv = Inversión, (Bs)

#### **Interpretación del ROI:**

- **ROI = 0:** Indica que la inversión recuperó exactamente lo que se invirtió, sin ganancia ni pérdida.
- **ROI > 0:** Significa que la inversión generó un retorno positivo, es decir, fue rentable.
- **ROI < 0:** Indica que la inversión resultó en una pérdida, es decir, no se recuperó la totalidad del dinero invertido.

Para evaluar si la inversión en la optimización de las rutas de distribución es rentable, se utilizará el cálculo del Retorno de la Inversión (ROI). Esta herramienta permite comparar los beneficios económicos de esta mejora, como el ahorro en combustible y el aumento de la eficiencia, con los costos iniciales. De esta forma, se podrá determinar si esta inversión genera un retorno positivo y tomar decisiones más acertadas sobre futuras inversiones en logística propuestas en el presente proyecto.

$$\text{ROI} = \frac{115.336,0073 - 59.500}{59.500} * 100$$

$$\text{ROI} = 93,84 \%$$

Un **ROI** del **93,84%** indica que se obtiene un retorno de casi el 94% sobre la inversión inicial de 59,500 bolivianos. En otras palabras, por cada boliviano invertido, se genera un retorno adicional de aproximadamente 0,94 bolivianos. Este alto porcentaje sugiere que la inversión es muy rentable, generando una ganancia significativa en comparación con el monto invertido

**CAPÍTULO 7**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- ✚ El cálculo del ROI mostró una rentabilidad del 94%, con un ahorro de 115.336,01 Bs en costos de combustible, evidenciando el impacto positivo de la optimización de rutas en la eficiencia operativa.
- ✚ Se especifica una capacidad de 3200 litros para la nueva cisterna destinada a clientes residenciales, cumpliendo con el estándar internacional de seguridad NFPA y limitando el llenado al 80%, lo que asegura una operación segura y eficiente en la distribución de GLP.
- ✚ Se evaluaron las prácticas de seguridad industrial en el manejo y transporte de GLP a granel, identificando riesgos críticos como el deterioro de la cisterna, la falta de mantenimiento adecuado y la visibilidad deficiente de las señales. Para mitigar estos riesgos, se propuso un plan de mantenimiento preventivo, capacitación del personal y actualización de la señalización, que contribuirán a mitigar estos riesgos.
- ✚ Se efectuó el cálculo de volúmenes de GLP en la cisterna para el control de saldos durante todo el mes de mayo, obteniendo un volumen total de 26 m<sup>3</sup>. A través de este método, se logró una mayor precisión en la determinación de los saldos, lo que permitió identificar una demasía, con un incremento del 0,12% en comparación con el método anterior.
- ✚ Al realizar el análisis de las rutas de distribución de GLP a granel mediante el uso del

software ArcGIS, se logró una reducción del 6,7% en la distancia recorrida y una mejora del 24,2% en los tiempos de entrega. Esto demuestra una clara mejora en la eficiencia de la entrega de GLP a granel.

✚ Se identificaron ineficiencias en los procesos operativos de salida y descarga, principalmente en la planificación manual de rutas y la coordinación de entregas, lo que limita la eficiencia en la distribución de GLP a granel. Estas ineficiencias generan tiempos de entrega variables y mayores costos operativos, lo que resalta la necesidad de una optimización.

✚ Se analizó la situación actual de la Unidad de comercialización de GLP a granel, identificando que la cisterna principal de 7000 kg ha estado en operación durante 11 años, lo que ha comenzado a afectar su eficiencia debido al uso prolongado. Este desgaste natural podría aumentar los costos de mantenimiento en el futuro, comprometiendo la capacidad de la unidad para atender la demanda de GLP de manera eficiente.

✚ El proyecto mejoró la eficiencia en la distribución de GLP a granel mediante la implementación de un sistema eficiente, reduciendo las distancias recorridas en un 6,73% y los tiempos de entrega en un 24,2%. Además, el cálculo de volúmenes fue más preciso, con una mejora del 0,12%, lo que contribuyó a una operación más eficiente.

✚ La optimización de la distribución de GLP a granel en la Unidad de YPFB se logró mediante la implementación de un sistema eficiente que incluyó la planificación de rutas usando ArcGIS y la revisión detallada de los procesos de distribución. Estas medidas mejoraron la coordinación logística y permitieron una gestión más precisa de los

recursos, reduciendo ineficiencias en el proceso de entrega

## 7.2. Recomendaciones

- ✚ Se recomienda establecer una mejor coordinación entre la planta y la unidad de GLP para el despacho de la cisterna. Esta coordinación debería incluir la priorización de la unidad en la fila de carga, especialmente durante las horas pico como al mediodía, cuando aumenta la demanda de recargas. Mejorar esta gestión contribuirá a reducir los tiempos de espera y a aumentar la eficiencia operativa.
- ✚ Se recomienda utilizar una versión más actualizada del software ArcGIS, como ArcGIS Pro, para mejorar el análisis geoespacial y la optimización de rutas, permitiendo así adaptar estas rutas a las regionales de Santa Cruz y Cochabamba de acuerdo a sus condiciones operativas.
- ✚ Aunque la implementación del sistema SCADA podría mejorar la monitorización de las cisternas, se recomienda posponer su adopción debido a los altos costos y la complejidad técnica. Considerar su integración en futuras evaluaciones será esencial cuando las condiciones lo permitan.
- ✚ Es esencial establecer un cronograma riguroso de mantenimiento preventivo para garantizar el funcionamiento adecuado de las cisternas y cumplir con las normativas de seguridad.
- ✚ Se sugiere llevar a cabo el diseño de una nueva cisterna de menor capacidad, adecuada para atender las necesidades de los clientes residenciales, de acuerdo al análisis realizado en este proyecto. Esto permitirá considerar las características técnicas relevantes

necesarias para su óptima operación.

- ✚ Se recomienda realizar un seguimiento periódico del ROI para evaluar la efectividad de la optimización a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- M Velasco. (8 de Junio de 2018). *Gasmoción*. Obtenido de <https://gasmocion.com/ventajas-del-autogas-glp/>
- Summit Midstream Partners, LP. (08 de Diciembre de 2022). Obtenido de <https://seekingalpha.com/article/4563271-summit-midstream-partners-smlp-presents-wells-fargo-21st-midstream-utilities-and-renewable>
- 3M *Science Applied to Life*. (s.f.). Obtenido de 3M Science Applied to Life: [https://www.3m.com.es/3M/es\\_ES/calidad-del-agua/aplicaciones/filtracion-agua-industrial/petroleo-y-gas/](https://www.3m.com.es/3M/es_ES/calidad-del-agua/aplicaciones/filtracion-agua-industrial/petroleo-y-gas/)
- A.D.R. (2007). *Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera*. Obtenido de <https://guiar.unizar.es/1/MMPP/PanNaranja.htm>
- Alamo, I. (2015). *SlidePlayer*. Obtenido de NEGOCIO DE LOS LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL (LGN) EN VENEZUELA: <https://slideplayer.es/slide/3411696/>
- Almir Souza. (22 de Junio de 2018). *Linkedin*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/la-cadena-del-sector-hidrocarburos-almir-carvalho/?originalSubdomain=es>
- ArcGIS. (s.f). *Manual ArcGis*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/feature-class-basics.htm>
- ASTM-IP D1250-80. (Enero de 1952). *University of Michigan Libraries*. Obtenido de American Society for Testing Materials, Institute of Petroleum: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015002931197&seq=3>
- Bafer Energy Economic*. (s.f.). Obtenido de <https://www.bafer.com.pe/tanques-para-glp/>

- C. A. Flores Noya, G. A. (Septiembre de 2015). Hidrocarburos . *Diagnósticos Sectoriales - Hidrocarburos* , 12-13. Obtenido de [https://www.udape.gob.bo/portales\\_html/diagnosticos/diagnostico2015/TOMO%20I%20%20SECTOR%20HIDROCARBUROS.pdf](https://www.udape.gob.bo/portales_html/diagnosticos/diagnostico2015/TOMO%20I%20%20SECTOR%20HIDROCARBUROS.pdf)
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (Septima ed.). Mexico: McGrawHill. Obtenido de <https://www.utnianos.com.ar/foro/attachment.php?aid=16821>
- Chang, R. (2002). *Química* (Septima ed.). Mexico: McGraw-Hill Companies. Obtenido de [https://www.academia.edu/49083181/Qu%C3%ADmica\\_S%C3%A9ptima\\_Edici%C3%B3n\\_Chang\\_Raymond\\_McGraw\\_Hill\\_M%C3%A9xico\\_2002](https://www.academia.edu/49083181/Qu%C3%ADmica_S%C3%A9ptima_Edici%C3%B3n_Chang_Raymond_McGraw_Hill_M%C3%A9xico_2002)
- Chen, J. (08 de Abril de 2022). *Investopedia*. Obtenido de Downstream: Definition, Types, and Examples of Operations: <https://www.investopedia.com/terms/d/downstream.asp>
- Clesse (UK) Limited*. (s.f.). Obtenido de What is LPG?: <https://www.clesse.co.uk/technical-advice/>
- Decreto Supremo N° 24721. (23 de Julio de 1997). *Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP)*. Obtenido de LexiVox : <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/verGratis/16277>
- Diego Venegas y Cesar Ayabaca. (2019). Analisis del Almacenamiento en Sistemas de GLP. *INGENIUS*, 10.
- Dirección de Regulación Económica - ANH. (2018). El Gas Licuado de Petróleo en Iberoamerica. 131.
- DS N° 24051. (29 de Junio de 1995). *Reglamento del impuesto sobre las utilidades de las empresas*. Obtenido de LexiVox: <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-24051.html>

E&T Rescue S.A.S. (12 de Enero de 2016). *Instituto de Educación para el trabajo y el desarrollo humano*. Obtenido de [https://www.educacionsaludyseguridad.com/pdf/educacion\\_curso\\_0001223.pdf](https://www.educacionsaludyseguridad.com/pdf/educacion_curso_0001223.pdf)

Educacion en ingeniería química. (s.f.). *Educacion en ingeniería química*. Obtenido de EL DME: PROXIMO REGALO DE LOS YACIMIENTOS DE GAS DE CAMISEA: <https://www.ssecoconsulting.com/i---dme-nuevo-regalo-de-camisea--parte-i.html>

GACO Instrumentación. (s.f.). Obtenido de <https://www.ma-gaco.es/MANOMETRO-PARA-GAS-GLP-LICUADO-16-VERTICAL-1/4-RESERVA-SERVICIO>

Gas Processors Association (GPA). (01 de 01 de 1995). GPA Standart 8195-95. *Tentative Standard for Converting Net Vapor Space Volumes to Equivalent Liquid Volumes*, 12. Tulsa, Oklahoma, EEUU.

GasPremium. (2022). Obtenido de <https://www.gaspremium.com.mx/cursos/curso-de-uso-y-manejo-seguro-del-gas-lp>

GESA. (s.f.). Obtenido de <https://www.termometros.com/Term%C3%B3metro-dial-bimet%C3%A1lico-en-acero-inoxidable-para-industria-naval-climatizaci%C3%B3n-alimentaria>

Guato Jorge y Guayasamin Jose. (Octubre de 2014). Elaboracion de Manual de Mantenimiento para tanques a presion de GLP. *Proyecto de Grado*. Quito, Colombia.

Howard, F. L. (8 de Junio de 1951). *PETRÓLEO LICUADO^ GAS COMO COMBUSTIBLE DE MOTOR*. Obtenido de *PETRÓLEO LICUADO^ GAS COMO COMBUSTIBLE DE MOTOR*: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/LC/nbslettercircular1001.pdf>

*Hoy Bolivia.com*. (08 de Diciembre de 2013). Obtenido de <https://www.hoybolivia.com/Noticia.php?IdNoticia=94038>

IngPro SUPPLIER. (s.f). *Compresor con Motor GLP de Trasvasar, Evacuar o Purgar Depósitos KRUG*. Obtenido de <https://ingprosuppliers.com/producto/compresor-con-motor-glp-krug/>

Instituto Nacional de Estadística. (s.f). *Página Oficial*. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/index.php/medio-ambiente/clima-y-atmosfera/>

Isandro, A. (2015). *SlidePlayer*. Obtenido de NEGOCIO DE LOS LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL (LGN) EN VENEZUELA: <https://slideplayer.es/slide/3411696/>

ISO 13443. (12 de 1996). *Natural gas — Standard reference conditions*. Obtenido de <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/02/04/20461.html?browse=ics>

ISO 45001. (13 de Marzo de 2018). *Organización Internacional de Normalización*. Obtenido de Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo : <https://ergosourcing.com.co/wp-content/uploads/2018/05/iso-45001-norma-Internacional.pdf>

James G. Speight, P. D. (2018). *Natural Gas A Basic Handbook* (Second ed.). (Elsevier, Ed.) United Kingdom: Gulf Professional Publishing.

Jhon David Pinto Llanca. (3 de Febrero de 2015). *Slideshare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/slideshow/manual-arcgis-100-nivel-basico/44219708>

Jhosué Salazar. (04 de Enero de 2023). *Slideshare*. Obtenido de CAMION CISTERNA: <https://es.slideshare.net/JhosueSalazar1/camion-cisterna-salazar-jhosuepptx>

Jose. (14 de Marzo de 2011). *SlidesShare*. Obtenido de Depositos enterrados de glp: <https://es.slideshare.net/joserd3/depositos-enterrados-de-glp>

Leonardo, N. M. (10 de Marzo de 2013). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/nekqz/caractersticas-fsico-qumicas-del-gas-lp-y-del-gas-natural>

Ley de Hidrocarburos N°3058. (1 de Mayo de 2006). Ley de Hidrocarburos N°3058.

*Congreso Nacional de la Republica*. La Paz, Nuestra señora de La Paz, Bolivia: Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. Obtenido de <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/>

LOCIS - ADR. (14 de Junio de 2022). *SIGTech Soluciones Sostenibles S.L.* Obtenido de <https://www.locisadr.com/2022/06/14/paneles-naranjas-transporte-adr/>

Michael J.Economides, A. D.-E. (2014). *Petroleum Production Systems* (Segunda ed.). New Jersey: Prentice Hall PTR.

NB 85001. (Diciembre de 2005). *IBNORCA*. Obtenido de <https://www.ibnorca.org/tienda/catalogo/detalle-norma/NB%2085001:2005nid=1956-8>

NFPA 58. (2004). *SlideShare*. Recuperado el 21 de Mayo de 2009, de <https://es.slideshare.net/HugoGeovannyAndinoSa/idocpub-nfpa-58codigodelgaslicuadodepetroleopdf>

NFPA 58. (2014). *Código del Gas Licuado del Petroleo*. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/NFPA\\_58\\_Codigo\\_del\\_Gas\\_Licuado\\_del\\_Petro.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/NFPA_58_Codigo_del_Gas_Licuado_del_Petro.pdf)

NFPA 704. (2001). *National Fire Protection Association*. Obtenido de Sistema Normativo para la Identificación de los Peligros de Materiales para respuesta de emergencias: [https://www.academia.edu/71988666/NFPA\\_704\\_2001\\_espa%C3%B1ol](https://www.academia.edu/71988666/NFPA_704_2001_espa%C3%B1ol)

*OilTanking*. (Diciembre de 2015). Obtenido de OilTanking: <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/el-proceso-de-refinacion-de-petroleo.html>

Osinermin. (7 de Julio de 2011). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/rgrados/operacin-del-glp>

Osinergmin. (31 de Mayo de 2012). *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y*

*Minería*. Obtenido de [https://www.slideshare.net/dochoaq\\_1981/mv-](https://www.slideshare.net/dochoaq_1981/mv-20120531equiposparaglpparte2)

[20120531equiposparaglpparte2](https://www.slideshare.net/dochoaq_1981/mv-20120531equiposparaglpparte2)

Osinergmin. (02 de Junio de 2022). Obtenido de Supervisión para la seguridad del transporte

de GLP a granel y en cilindros:

[https://www.scribd.com/document/576696165/Supervision-para-la-Seguridad-del-](https://www.scribd.com/document/576696165/Supervision-para-la-Seguridad-del-Transporte-de-GLP-a-granel-y-en-cilindros)

[Transporte-de-GLP-a-granel-y-en-cilindros](https://www.scribd.com/document/576696165/Supervision-para-la-Seguridad-del-Transporte-de-GLP-a-granel-y-en-cilindros)

Paloma Espino. (21 de septiembre de 2021). Obtenido de Gas Tomza México :

<https://gastomzamexico.com/partes-que-forman-tu-tanque-estacionario/>

Patricia Pulliam Phillips, Jack J. Phillips. (2000). *Fundamentos del ROI*. Barcellona: epise.

PEMEX, N. (10 de Octubre de 2018). Gas Licuado de Petroleo. *HOJA DE SEGURIDAD*, 24.

Villahermosa, Colonia Tabasco, Mexico. Obtenido de (Prolongación Paseo

Usumacinta 1503, Colonia Tabasco, Mexico): [https://servicios-](https://servicios-ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/qt/documentos/HDS%20GLP.pdf)

[ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/qt/documentos/HDS%20GLP.pdf](https://servicios-ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/qt/documentos/HDS%20GLP.pdf)

*Petroblogger*. (s.f.). Obtenido de [https://www.ingenieriadepetroleo.com/tanques-](https://www.ingenieriadepetroleo.com/tanques-almacenamiento-glp/)

[almacenamiento-glp/](https://www.ingenieriadepetroleo.com/tanques-almacenamiento-glp/)

Prado, C. R. (2022). Proyecto de Grado. *Ingeniería Conceptual y Diseño Técnico de un*

*propanoducto para la exportación de GLP al Paraguay como alternativa al sistema de*

*transporte actual por cisterna*. La Paz, Bolivia: UMSA.

PREMAC energy. (2020). Obtenido de [https://premac.co/producto/vaporizador-de-fuego-](https://premac.co/producto/vaporizador-de-fuego-directo-df-series/)

[directo-df-series/](https://premac.co/producto/vaporizador-de-fuego-directo-df-series/)

RAN-ANH- UN N° 0023, Art. 3, párrafo I. (07 de Septiembre de 2015). Aspectos Generales.

*Resolución Administrativa*. La paz, Murillo, Bolivia: Agencia Nacional de

Hidrocarburos. Obtenido de  
<https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=54&Y=2015>

RAN-ANH- UN N° 0023, Art. 3, parrafo II. (07 de Septiembre de 2015). Aspectos Generales.  
*Resolucion Administrativa*. Bolivia: Agencia Nacional de Hidrocarburos. Obtenido de  
<https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=54&Y=2015>

RAN-ANH- UN N° 0023, Art. 6. (07 de Septiembre de 2015). Distribuidores granaleros de  
GLP requisitos de la licencia de operacion . *Reglamento para la distribucion de GLP a  
granel*. La paz, Murillo, Bolivia: Agencia Nacional de Hidrocarburos.

RAR-ANH-ULGR N°0519, A. 1. (07 de diciembre de 2016). ARTICULO PRIMERO.  
*Resolución Administrativa* . Bolivia: Agencia Nacional de Hidrocarburos.

Raul Alberto Peniche Mendoza. (4 de Abril de 2010). *M S D S Gas L P*. Obtenido de  
Slideshare: <https://www.slideshare.net/saskorcapacitacion/m-s-d-s-gas-l-p>

Rawlinson, D., y Ward, E.R. (1973). *Criteria for Quality of Petroleum Products*. (Vol.  
Chapter 3). (J. Allinson, Ed.) New York: John Wiley & Sons, .

RAYOGAS. (2009). *Instructivo de tanques e instalaciones*. Colombia.

RAZÓN. (3 de Febrero de 2011). *LA RAZÓN*, pág. 1.

REGO EUROPE. (s.f.). Obtenido de <https://www.directindustry.com/prod/rego-europe/product-28032-1199997.html>

Rey, M. d. (2019). *SlidePlayer*. Obtenido de INSTALACION CENTRALIZADA DE GLP:  
<https://slideplayer.es/slide/12840821/>

Rodríguez, A. B. (01 de Julio de 2023). MANUAL SOBRE TRANSPORTE DE  
MERCANCIAS PELIGROSAS. *Vehiculos y Contenedores*. Obtenido de  
[amando@mundo-r.com](mailto:amando@mundo-r.com)

Rosario D. Aramayo Ruegenberg. (Octubre de 2009). Estructura del Sector.

*UNIDAD DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS SOCIALES Y ECONÓMICAS TOMO 1, 2.*

Obtenido de

[https://www.udape.gob.bo/portales\\_html/diagnosticos/documentos/TOMO%20%20I%20%20SECTOR%20HIDROCARBUROS.pdf](https://www.udape.gob.bo/portales_html/diagnosticos/documentos/TOMO%20%20I%20%20SECTOR%20HIDROCARBUROS.pdf)

RTCA GLP. (2020). *PRODUCTOS DE PETRÓLEO. GASES LICUADOS DE PETROLEO*

*PROPANO Y BUTANO COMERCIAL.* Obtenido de [https://www.recope.go.cr/wp-](https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2021/07/ANEXO-I-RES-429-2020-RTCA-GLP-ESPECIFICACIONES-VF-21072020-1.pdf)

[content/uploads/2021/07/ANEXO-I-RES-429-2020-RTCA-GLP-ESPECIFICACIONES-VF-21072020-1.pdf](https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2021/07/ANEXO-I-RES-429-2020-RTCA-GLP-ESPECIFICACIONES-VF-21072020-1.pdf)

UGLP. (s.f). Fotos de Instalaciones de los clientes de la Unidad. La Paz.

Universidad de Costa Rica. (26 de junio de 2015). Obtenido de

<http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Instructivo%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20GLP.pdf>

Vargas, A. A. (26 de Junio de 2015). Lineamientos para la Gestión de GLP. *Regencia*

*Quimica.* Costa Rica. Obtenido de

<http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Instructivo%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20GLP.pdf>

Wauquier, J. P. (1994). Características del GLP. En J. P. Wauquier, *El Refino del Petroleo*

(págs. 266-267). España, Madrid: Dias de Santos .

YPF GAS. (2018). Obtenido de YPF GAS:

<https://www.ypf.com/productosyservicios/Paginas/YPF-Gas-a-granel.aspx>

YPFB Aviación. (09 de Septiembre de 2022). *Manual de procedimiento para administración*

*de activos fijos* . Obtenido de AIR BP BOLIVIA S.A.:

<https://www.ypfbaviacion.com.bo/Descargas/Procedimientos/71.pdf>

YPFB. (s.f). GIND – Gerencia de Industrialización. *Ficha Tecnica de GLP*. Bolivia.

YPFB. (s.f.). *Misión*. Obtenido de YPFB Somos Energia: <https://www.yxfb.gob.bo/es/acerca-de-nosotros#0>

YPFBTransporteS.A. (s.f). Obtenido de <https://www.yxfbtransporte.com.bo/wp-content/uploads/2021/10/ANEXO-7-DIRECTRIS-DE-CONDUCCION-DE-VEHICULO.pdf>

# **ANEXOS**

## ANEXOS

### Anexo 1. Clasificación de Peligros por Número de Identificación

20	Gas asfixiante o que no represente riesgo subsidiario
22	Gas licuado refrigerado, asfixiante
223	Gas licuado refrigerado, inflamable
225	Gas licuado refrigerado, comburente (favorece el incendio)
23	Gas inflamable
239	Gas inflamable, que puede producir espontáneamente una reacción violenta
25	Gas comburente (favorece el incendio)
26	Gas tóxico
263	Gas tóxico, inflamable
265	Gas tóxico y comburente (favorece el incendio)
268	Gas tóxico y corrosivo
30	Materia líquida inflamable (punto de inflamación entre 23 °C a 61 °C valores límites comprendidos) o materia líquida inflamable o materia sólida en estado fundido, con un punto de inflamación superior a 61 °C, calentada a una temperatura igual o superior a su punto de inflamación o materia líquida susceptible de autocalentamiento
323	Materia líquida inflamable que reacciona con el agua emitiendo gases inflamables
X323	Materia líquida inflamable que reacciona peligrosamente con el agua emitiendo gases inflamables*
33	Materia líquida muy inflamable (punto de inflamación inferior a 21 °C)
333	Materia líquida pirofórica
X333	Materia líquida pirofórica que reacciona peligrosamente con el agua*
338	Materia líquida muy inflamable y corrosiva
X338	Materia líquida muy inflamable y corrosiva que reacciona peligrosamente con el agua*
362	Materia líquida inflamable, tóxica, que reacciona con el agua emitiendo gases inflamables
X362	Materia líquida inflamable, tóxica, que reacciona peligrosamente al agua emitiendo gases inflamables*
368	Materia líquida inflamable, tóxica y corrosiva
38	Materia líquida inflamable (punto de inflamación entre 23 °C a 61 °C valores límites comprendidos) que presente un grado menor de corrosividad o materia líquida susceptible de autocalentamiento y corrosiva
382	Materia líquida inflamable, corrosiva, que reacciona con el agua emitiendo gases inflamables
X382	Materia líquida inflamable, corrosiva, que reacciona peligrosamente con el agua emitiendo gases inflamables*
39	Materia líquida inflamable que puede producir espontáneamente una reacción violenta
40	Materia sólida inflamable o autorreactiva o sometida a calentamiento espontáneo

FUENTE: (A.D.R., 2007)

**Anexo 2. Números de Identificación de Materia y de Peligro, Etiquetas, Clase, Apartado y Letra**

<b>Número de identificación de la materia</b>	<b>Nombre de la materia</b>	<b>Número de identificación de peligro</b>	<b>Etiqueta</b>	<b>Clase, apartado y letra de la enumeración</b>
1001	Acetileno disuelto	239	3	2, 4° F
1002	Aire comprimido	20	2	2, 1° A
1003	Aire líquido, refrigerado	225	2+05	2, 3° O
1005	Amoníaco anhidro	268	6.1+8	2, 2° TC
1006	Argón comprimido	20	2	2, 1° A
1008	Fluoruro de boro	268	6.1+8	2, 1° TC
1008	Trifluoruro de boro comprimido	268	6.1+8	2, 1° TC
1009	Bromotrifluorometano (R 13 B1)	20	2	2, 2° A
1010	1,2-Butadieno inhibido	239	3	2, 2° F
1010	1,3-Butadieno inhibido	239	3	2, 1°
1010	Mezclas de 1,3-butadieno e hidrocarburos, inhibidos	239	3	2, 2° F
1011	Butano	23	3	2, 2° F
1012	1-Butileno	23	3	2, 2° F
1012	2-cis-Butileno	23	3	2, 2° F
1012	2-trans-Butileno	23	3	2, 2° F
1012	Butileno en mezcla	23	3	2, 2° F
1013	Dióxido de carbono	20	2	2, 2° A
1014	Dióxido de carbono y oxígeno en mezcla, comprimidos (máximo 30% de dióxido de carbono)	25	2+05	2, 1° O
1015	Dióxido de carbono y óxido nitroso en mezcla	20	2	2, 2° A
1016	Monóxido de carbono comprimido	263	6.1+3	2, 1° TF
1017	Cloro	268	6.1+8	2, 2° TC
1018	Clorodifluorometano (R 22)	20	2	2, 2° A
1020	Cloropentafluoretano (R 115)	20	2	2, 2° A
1021	1-Cloro-1,2,2,2 tetrafluoroetano (R.124)	20	2	2, 2° A
1022	Clorotrifluorometano (R 13)	20	2	2, 2° A
1023	Gas de hulla, comprimido	263	6.1+3	2, 1° TF
1026	Cianógeno	263	6.1+3	2, 2° TF
1027	Ciclopropano	23	3	2, 2° F
1028	Diclorodifluorometano (R 12)	20	2	2, 2° A
1029	Diclorofluorometano (R 21)	20	2	2, 2° A

CONTINUACIÓN DE LA TABLA

Número de identificación de la materia	Nombre de la materia	Número de identificación de peligro	Etiqueta	Clase, apartado y letra de la enumeración
1030	1,1-Difluororetano (R 152 a)	23	3	2, 2° F
1032	Dimetilamina anhidra	23	3	2, 2° F
1033	Etermetílico	23	3	2, 2° F
1035	Etano	23	3	2, 2° F
1036	Etilamina	23	3	2, 2° F
1037	Cloruro de etilo	23	3	2, 2° F
1038	Etileno líquido refrigerado	223	3	2, 3° F
1039	Etermetiletílico	23	3	2, 2° F
1040	Óxido de etileno con nitrógeno a presión máxima total de 1 Mpa (10 bar) a 50°C	263	6.1+3	2, 2° TF
1041	Óxido de etileno y dióxido de carbono en mezcla	239	3	2, 2° F
1046	Helio comprimido	20	2	2, 1° A
1048	Bromuro de hidrógeno anhidro	268	6.1+8	2, 2° TC
1049	Hidrógeno comprimido	23	3	2, 1° F
1050	Cloruro de hidrógeno anhidro	268	6.1+8	2, 2° TC
1052	Fluoruro de hidrógeno anhidro	886	8+6.1	8, 6°
1053	Sulfuro de hidrógeno	263	6.1+3	2, 2° TF
1055	Isobutileno	23	3	2, 2° F
1056	Kriptón comprimido	20	2	2, 1° A
1060	Mezcla P1, P2: ver Metilacetileno y propadieno en mezcla estabilizada	239	3	2, 2° F
1061	Metilamina anhidra	23	3	2, 2° F
1062	Bromuro de metilo	26	6.1	6, 2° T
1063	Cloruro de metilo (R40)	23	3	2, 2° F
1064	Metilmercaptano	263	6.1+3	2, 2° TF
1065	Neon comprimido	20	2	2, 1° A
1066	Nitrógeno comprimido	20	2	2, 1° A
1067	Dióxido de nitrógeno NO <sub>2</sub>	265	6.1+05+8	2, 2° TOC
1067	Tetróxido de dinitrógeno (dióxido de nitrógeno)	265	6.1+05+8	2, 2° TOC
1070	Hemióxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O)	25	2+05	2, 2° O
1070	Óxido nitroso	25	2+05	2, 2° O
1071	Gas de petróleo comprimido	263	6.1+3	2, 1° TF
1072	Oxígeno comprimido	25	2+05	2, 1° O
1073	Oxígeno líquido, refrigerado	225	2+05	2, 3° O
1075	Gases de petróleo licuados	23	3	2, 2° F
1076	Fosgeno	268	6.1+8	2, 2° TC
1077	Propileno	23	3	2, 2° F

FUENTE: (A.D.R., 2007)

## Anexo 3. Clasificación de Riesgo del Sistema DOT

### Clase 1: Explosivos



§172.522  
§172.523  
§172.524  
§172.525

\* Para las Divisiones 1.1, 1.2 ó 1.3, introduzca el número de división y la letra del grupo de compatibilidad, de ser necesario; rotule cualquier cantidad. Para las Divisiones 1.4, 1.5 ó 1.6, introduzca la letra del grupo de compatibilidad, de ser necesario; rotule si pesa 454 kg (1,001 libras) o más.

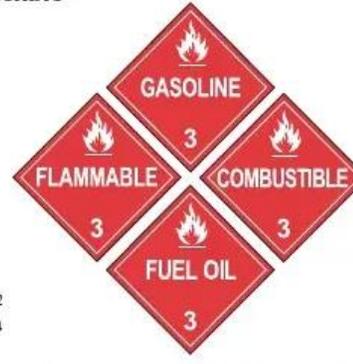
### Clase 2: Gases



§172.528  
§172.530  
§172.532  
§172.540

Para GAS NO INFLAMABLE, OXÍGENO (gas comprimido o líquido refrigerado) y GAS INFLAMABLE, rotule si tiene un peso bruto de 454 kg (1,001 libras) o más. Para GAS VENENOSO (División 2.3), rotule cualquier cantidad.

### Clase 3: Líquido inflamable y Líquido Combustible



§172.542  
§172.544

Para INFLAMABLES, rotule si pesa 454 kg (1,001 libras) o más. En lugar de un rótulo de INFLAMABLE, se puede usar "GASOLINA" en un tanque de carga o tanque portátil que transporte gasolina por carretera. Rotule el combustible líquido transportado a granel. Consulte §172.504(f)(2) para el uso de rótulos de "INFLAMABLE" en lugar de "COMBUSTIBLE". Se puede usar un rótulo de "Gasoil" en lugar de "COMBUSTIBLE" en un tanque portátil o de carga que transporte gasoil no clasificado como líquido inflamable por carretera.

### Clase 4: Sólido Inflamable, Espontáneamente Combustible y Peligroso Cuando está Mojado



§172.546, §172.547, §172.548

En el caso de SÓLIDOS inflamables y espontáneamente combustibles, rotule si pesan 454 kg (1,001 libras) o más. Si son peligrosos cuando están mojados (División 4.3), rotule cualquier cantidad.

### Clase 5: Oxidantes y Peróxidos Orgánicos. Divisiones 5.1 y 5.2



Peróxido orgánico, transición: 2011 (ferrocarril, barco y avión)  
2014 (carretera)

§172.550, §172.552

En el caso de los oxidantes y el peróxido orgánico (que no sea TIPO B, temperatura controlada), rotule si pesan más de 454 kg (1,001 libras) o más. Para el peróxido orgánico (División 5.2), Tipo B, temperatura controlada, rotule cualquier cantidad.

### Clase 6: Veneno (Tóxico), Peligro de Inhalación de Veneno



§172.504(f)(1)(i), §172.554, §172.555

En el caso de VENENOSO (Grupos de empaque I o II, excepto peligro de inhalación) y veneno (Grupo de empaque III), rotule si pesa 454 kg (1,001 libras) o más. Para VENENOSO: PELIGRO DE INHALACIÓN (División 6.1), solo peligro de inhalación, rotule cualquier cantidad.

### Clase 7: Radiactivo Clase 8: Corrosivo Clase 9: Materiales Peligrosos Varios



§172.556

Rotule cualquier cantidad para paquetes que lleven etiquetas "RADIOACTIVO AMARILLO, III" solamente. Ciertos materiales radiactivos de actividad específica baja en "uso exclusivo" no llevan etiqueta, pero es obligatorio el rótulo de "radiactivo" para los envíos de uso exclusivo de materiales de actividad específica baja y objetos contaminados en la superficie que se transporten de conformidad con §172.504(e) Tabla 1 y §173.427(a)(6).



§172.558

En el caso de los materiales CORROSIVOS, rotule si pesan 454 kg (1,001 libras) o más.



§172.560

No es obligatorio para el transporte dentro del país. Se debe identificar cualquier envase a granel que contenga material Clase 9 con el número de identificación adecuado exhibido en un rótulo de Clase 9, un panel anaranjado o un indicador cuadrado blanco colocado en posición vertical sobre uno de sus vértices.

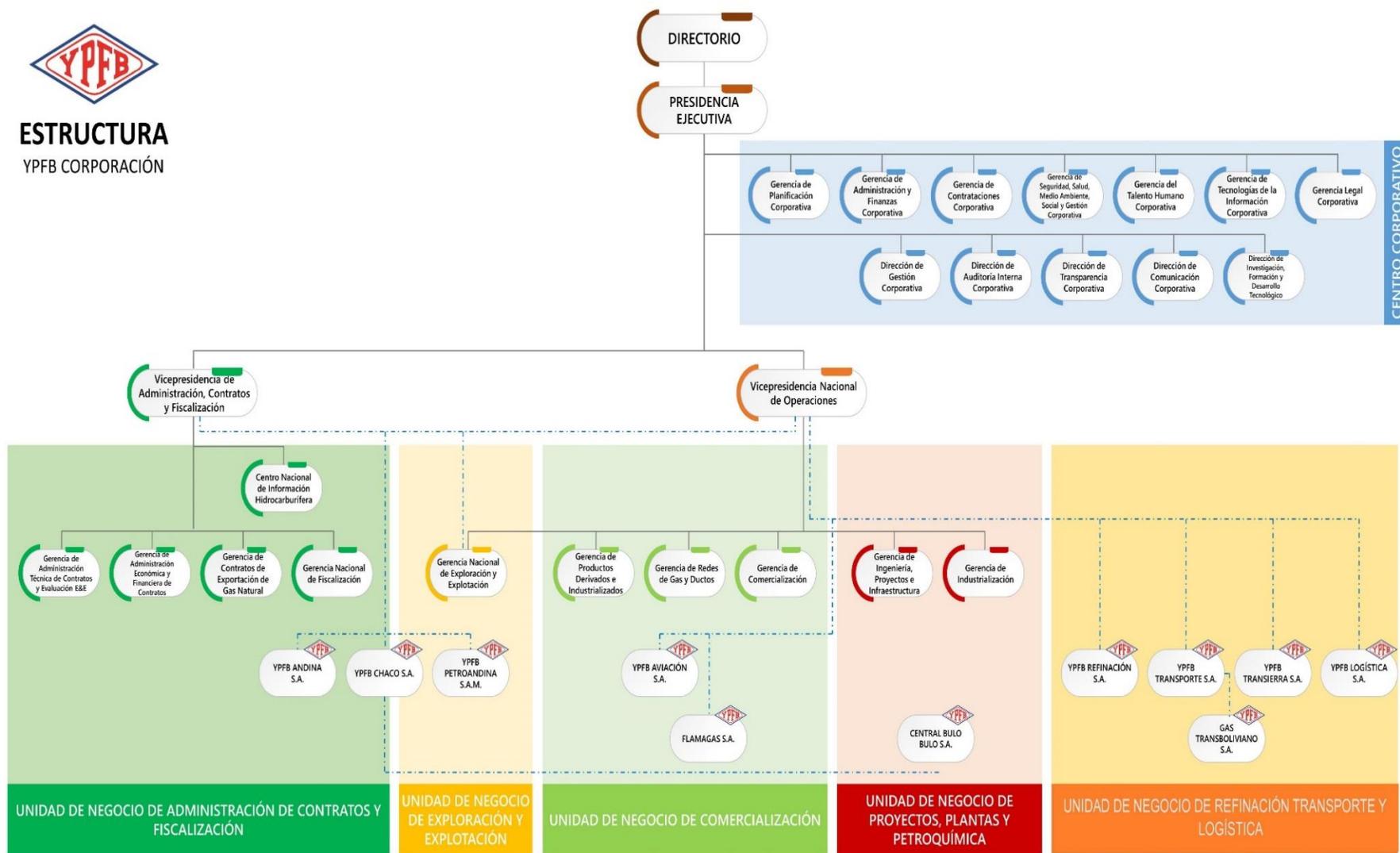


§172.521

Los contenedores de carga, los elementos unitarios de carga, los vehículos de transporte o los vagones de ferrocarril que contengan envases no a granel con dos o más categorías de materiales peligrosos que requieran diferentes rótulos según lo especificado en la Tabla 2 se pueden identificar con rótulos de "PELIGROSO" en lugar de los rótulos específicos requeridos para cada uno de los materiales en la Tabla 2. Sin embargo, cuando se cargan 1,000 kg (2,205 libras) o más de una categoría de material en un centro de carga, se debe aplicar el rótulo especificado en la Tabla 2.

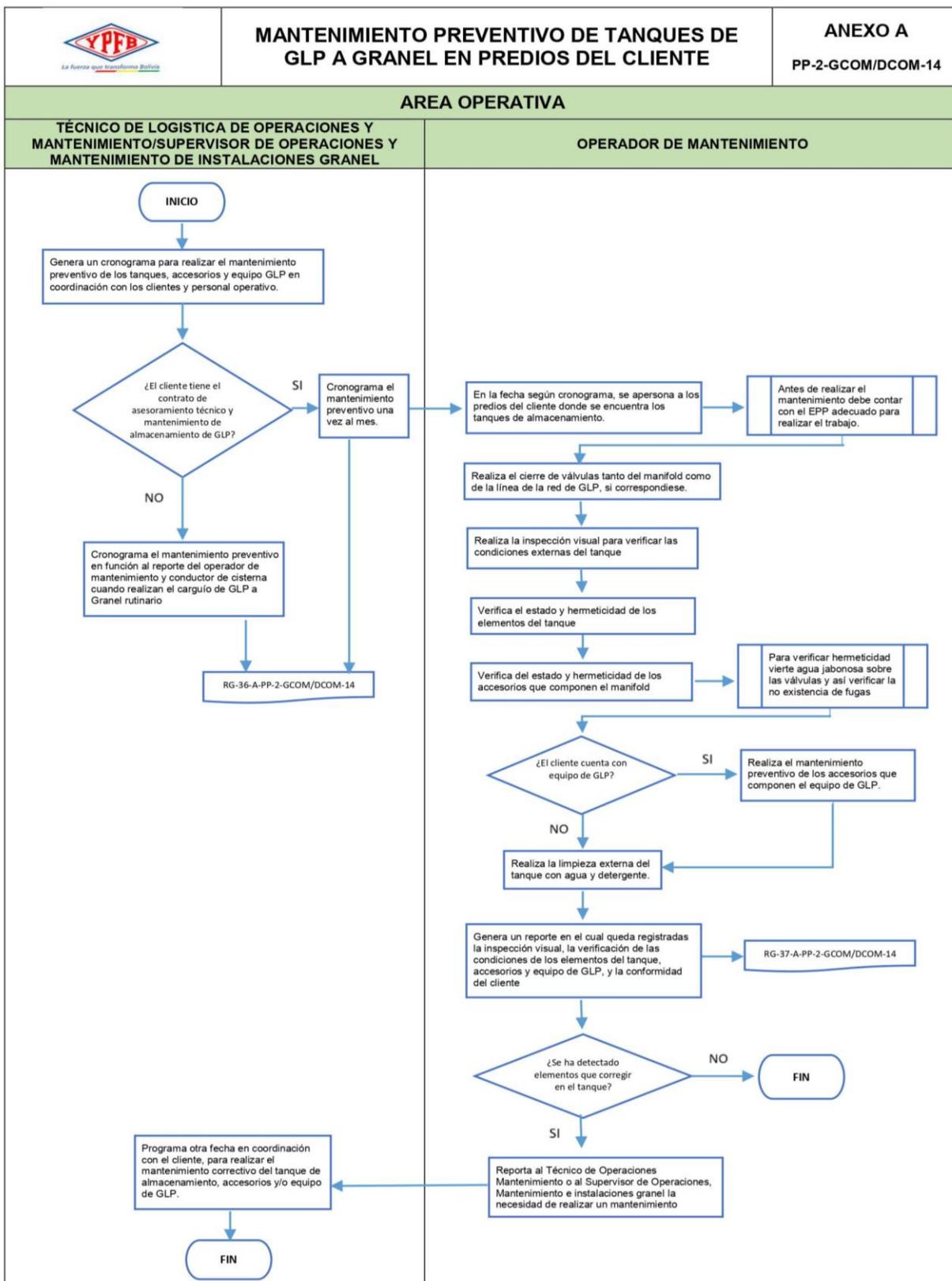
FUENTE: (E&T Rescue S.A.S, 2016)

## Anexo 4. Organigrama Estructural de YPFB



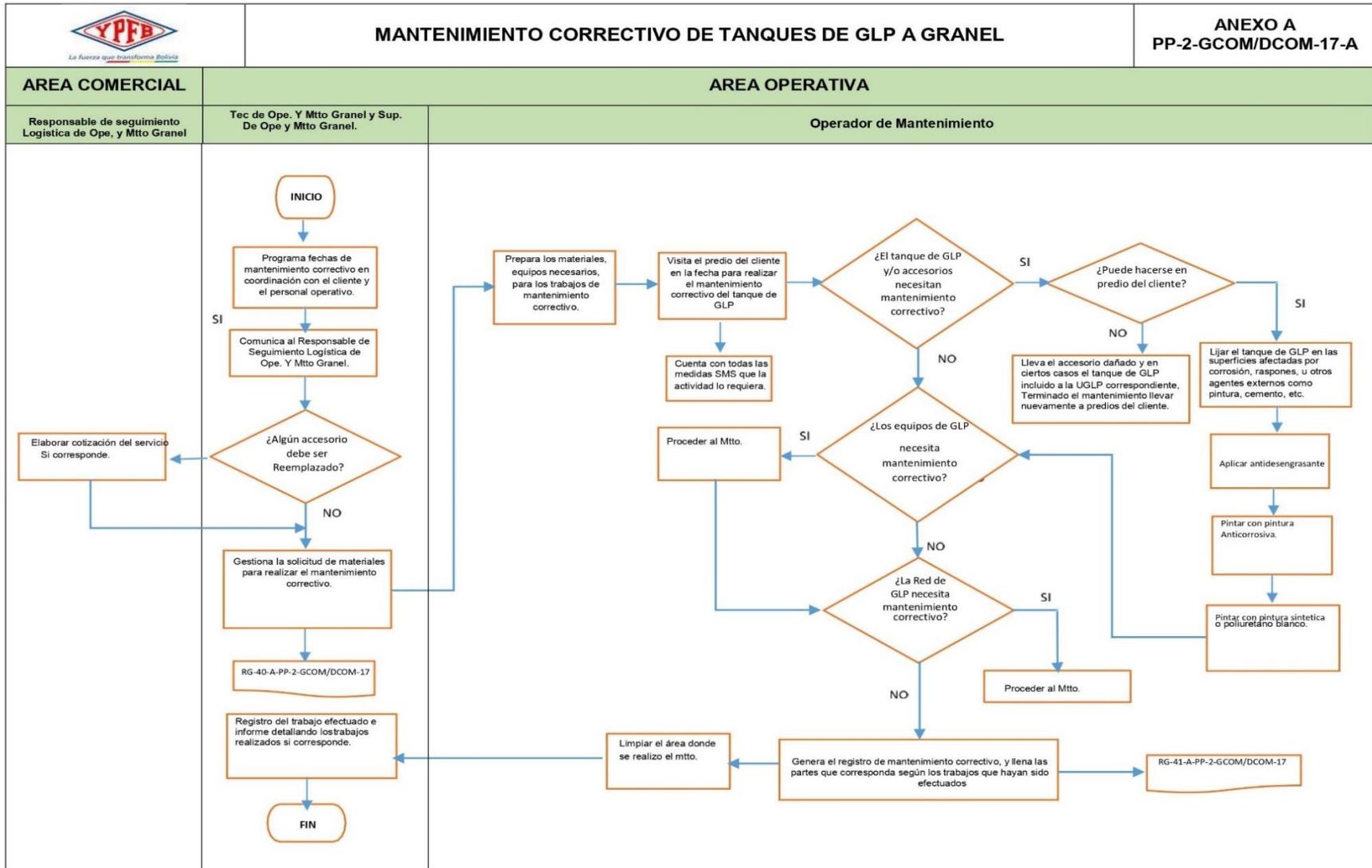
FUENTE: (YPFB, s.f.)

## Anexo 5. Procedimiento de Mantenimiento Preventivo



FUENTE: (YPFB, s.f.)

## Anexo 6. Procedimiento de Mantenimiento Correctivo



FUENTE: (YPFB, s.f.)

### Anexo 7. Clientes del Rubro Industrial

<b>Clientes 2023</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntos</b>	<b>Clientes 2023</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntos</b>
<b>Cliente 1</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 1</b>	Cliente 56	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 56</b>
<b>Cliente 8</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 8</b>	Cliente 58	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 58</b>
<b>Cliente 13</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 13</b>	Cliente 62	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 62</b>
<b>Cliente 15</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 15</b>	Cliente 63	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 63</b>
<b>Cliente 18</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 18</b>	Cliente 66	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 66</b>
<b>Cliente 19</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 19</b>	Cliente 69	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 69</b>
<b>Cliente 22</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 22</b>	Cliente 73	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 73</b>
<b>Cliente 23</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 23</b>	Cliente 74	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 74</b>
<b>Cliente 24</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 24</b>	Cliente 78	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 78</b>
<b>Cliente 25</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 25</b>	Cliente 80	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 80</b>
<b>Cliente 26</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 26</b>	Cliente 86	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 86</b>
<b>Cliente 27</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 27</b>	Cliente 97	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 97</b>
<b>Cliente 28</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 28</b>	Cliente 98	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 98</b>
<b>Cliente 30</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 30</b>	Cliente 99	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 99</b>
<b>Cliente 43</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 43</b>	Cliente 100	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 100</b>
<b>Cliente 50</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 50</b>	Cliente 101	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 101</b>
<b>Cliente 51</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 51</b>	Cliente 117	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 117</b>
<b>Cliente 52</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 52</b>	Cliente 123	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 123</b>
<b>Cliente 53</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 53</b>	<b>TOTAL</b>		<b>38</b>
<b>Cliente 54</b>	INDUSTRIAL	<b>PUNTO 54</b>			

FUENTE: (UGLP, s.f)

### Anexo 8. Clientes del Rubro Comercial

<b>Clientes 2023</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntos</b>
<b>Cliente 3</b>	DOMESTICO	PUNTO 3
<b>Cliente 14</b>	COMERCIAL	PUNTO 14
<b>Cliente 16</b>	COMERCIAL	PUNTO 16
<b>Cliente 17</b>	COMERCIAL	PUNTO 17
<b>Cliente 34</b>	COMERCIAL	PUNTO 34
<b>Cliente 35</b>	COMERCIAL	PUNTO 35
<b>Cliente 36</b>	COMERCIAL	PUNTO 36
<b>Cliente 41</b>	COMERCIAL	PUNTO 41
<b>Cliente 44</b>	COMERCIAL	PUNTO 44
<b>Cliente 48</b>	COMERCIAL	PUNTO 48
<b>Cliente 49</b>	COMERCIAL	PUNTO 49
<b>Cliente 55</b>	COMERCIAL	PUNTO 55
<b>Cliente 71</b>	COMERCIAL	PUNTO 71
<b>Cliente 72</b>	COMERCIAL	PUNTO 72
<b>Cliente 82</b>	COMERCIAL	PUNTO 82
<b>Cliente 92</b>	COMERCIAL	PUNTO 92
<b>Cliente 102</b>	COMERCIAL	PUNTO 102
<b>Cliente 103</b>	COMERCIAL	PUNTO 103
<b>Cliente 110</b>	COMERCIAL	PUNTO 110
<b>Cliente 115</b>	COMERCIAL	PUNTO 115
<b>Cliente 120</b>	COMERCIAL	PUNTO 120
<b>Cliente 121</b>	COMERCIAL	PUNTO 121
<b>Cliente 122</b>	COMERCIAL	PUNTO 122
<b>TOTAL</b>		<b>23</b>

FUENTE: (UGLP, s.f)

### Anexo 9. Clientes del Rubro Residencial

<b>CLIENTES 2023</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>PUNTOS</b>	<b>CLIENTES 2023</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>PUNTOS</b>
Cliente 2	DOMESTICO	PUNTO 2	Cliente 60	DOMESTICO	PUNTO 60
Cliente 4	DOMESTICO	PUNTO 4	Cliente 61	DOMESTICO	PUNTO 61
Cliente 5	DOMESTICO	PUNTO 5	Cliente 64	DOMESTICO	PUNTO 64
Cliente 6	DOMESTICO	PUNTO 6	Cliente 65	DOMESTICO	PUNTO 65
Cliente 7	DOMESTICO	PUNTO 7	Cliente 67	DOMESTICO	PUNTO 67
Cliente 9	DOMESTICO	PUNTO 9	Cliente 68	DOMESTICO	PUNTO 68
Cliente 10	DOMESTICO	PUNTO 10	Cliente 70	DOMESTICO	PUNTO 70
Cliente 11	DOMESTICO	PUNTO 11	Cliente 75	DOMESTICO	PUNTO 75
Cliente 12	DOMESTICO	PUNTO 12	Cliente 76	DOMESTICO	PUNTO 76
Cliente 20	DOMESTICO	PUNTO 20	Cliente 77	DOMESTICO	PUNTO 77
Cliente 21	DOMESTICO	PUNTO 21	Cliente 78	DOMESTICO	PUNTO 78
Cliente 29	DOMESTICO	PUNTO 29	Cliente 79	DOMESTICO	PUNTO 79
Cliente 31	DOMESTICO	PUNTO 31	Cliente 81	DOMESTICO	PUNTO 81
Cliente 32	DOMESTICO	PUNTO 32	Cliente 83	DOMESTICO	PUNTO 83
Cliente 33	DOMESTICO	PUNTO 33	Cliente 84	DOMESTICO	PUNTO 84
Cliente 37	DOMESTICO	PUNTO 37	Cliente 85	DOMESTICO	PUNTO 85
Cliente 38	DOMESTICO	PUNTO 38	Cliente 87	DOMESTICO	PUNTO 87
Cliente 39	DOMESTICO	PUNTO 39	Cliente 88	DOMESTICO	PUNTO 88
Cliente 40	DOMESTICO	PUNTO 40	Cliente 89	DOMESTICO	PUNTO 89
Cliente 42	DOMESTICO	PUNTO 42	Cliente 90	DOMESTICO	PUNTO 90
Cliente 45	DOMESTICO	PUNTO 45	Cliente 91	DOMESTICO	PUNTO 91
Cliente 46	DOMESTICO	PUNTO 46	Cliente 93	DOMESTICO	PUNTO 93
Cliente 47	DOMESTICO	PUNTO 47	Cliente 94	DOMESTICO	PUNTO 94
Cliente 57	DOMESTICO	PUNTO 57	Cliente 95	DOMESTICO	PUNTO 95
Cliente 59	DOMESTICO	PUNTO 59	Cliente 96	DOMESTICO	PUNTO 96

## CONTINUACIÓN DE LA TABLA

<b>CLIENTES 2023</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>PUNTOS</b>
Cliente 104	DOMESTICO	PUNTO <b>104</b>
Cliente 105	DOMESTICO	PUNTO <b>105</b>
Cliente 106	DOMESTICO	PUNTO <b>106</b>
Cliente 107	DOMESTICO	PUNTO <b>107</b>
Cliente 108	DOMESTICO	PUNTO <b>108</b>
Cliente 109	DOMESTICO	PUNTO <b>109</b>
Cliente 111	DOMESTICO	PUNTO <b>111</b>
Cliente 112	DOMESTICO	PUNTO <b>112</b>
Cliente 113	DOMESTICO	PUNTO <b>113</b>
Cliente 114	DOMESTICO	PUNTO <b>114</b>
Cliente 116	DOMESTICO	PUNTO <b>116</b>
Cliente 118	DOMESTICO	PUNTO <b>118</b>
Cliente 124	DOMESTICO	PUNTO <b>124</b>
<b>TOTAL</b>		<b>63</b>

FUENTE: (UGLP, s.f)

**Anexo 10. Localización de los Clientes de la UGLP LA PAZ**

<b>PTO</b>	<b>Longitud (EJE X)</b>	<b>Latitud (EJE Y)</b>									
1	-16,535025	-67,977833	17	-16,6047	-68,066521	33	-16,550545	-68,084	49	-16,669294	-68,021982
2	-16,564976	-68,114216	18	-17,397511	-67,114516	34	-16,526531	-68,100987	50	-16,620402	-68,256968
3	-16,542392	-68,090143	19	-17,183213	-68,444658	35	-16,676598	-68,299321	51	-16,539588	-68,200577
4	-16,548757	-68,084449	20	-16,528011	-68,058156	36	-16,520252	-68,127952	52	-16,521428	-68,118352
5	-16,548698	-68,084634	21	-16,548347	-68,084494	37	-16,611654	-68,070518	53	-16,616371	-68,203284
6	-16,512953	-68,061442	22	-15,558745	-67,268819	38	-16,591456	-68,145229	54	-16,570724	-68,176622
7	-16,52761	-68,054447	23	-16,469195	-64,463164	39	-16,546336	-68,08419	55	-16,531559	-68,077508
8	-17,676526	-67,201513	24	-17,833141	-67,025887	40	-16,555176	-68,11323	56	-16,506686	-68,132926
9	-16,643364	-68,041688	25	-18,905644	-66,757272	41	-16,300777	-68,52288	57	-16,547487	-68,089605
10	-16,522981	-68,055101	26	-16,064849	-68,67948	42	-16,559582	-68,102086	58	-18,015604	-67,140085
11	-16,511903	-68,057914	27	-15,833098	-67,575882	43	-16,577201	-68,212834	59	-16,527513	-68,054509
12	-16,587728	-68,131736	28	-16,606695	-68,254054	44	-16,508044	-68,130354	60	-16,523286	-68,054239
13	-19,010208	-66,780282	29	-16,529459	-68,104932	45	-16,566949	-68,113402	61	-16,564177	-68,110127
14	-16,183323	-68,616516	30	-16,557358	-68,184893	46	-16,554003	-68,081028	62	-16,576975	-68,156339
15	-16,573253	-68,176814	31	-16,527666	-68,053938	47	-16,537999	-68,054069	63	-16,618676	-68,274368
16	-16,54934	-68,070309	32	-16,567006	-68,11378	48	-16,481058	-68,116175	64	-16,516327	-68,054557

PTO	Longitud (EJE X)	Latitud (EJE Y)	PTO	Longitud (EJE X)	Latitud (EJE Y)	PTO	Longitud (EJE X)	Latitud (EJE Y)	PTO	Longitud (EJE X)	Latitud (EJE Y)
65	-16,562242	-68,096896	81	-16,562865	-68,097626	97	-16,605693	-68,251646	113	-16,545018	-68,087027
66	-16,575192	-68,178397	82	-16,543323	-68,079571	98	-15,843522	-67,551869	114	-16,565377	-68,113147
67	-16,568091	-68,108061	83	-16,56865	-68,107035	99	-16,580584	-68,224638	115	-16,490505	-68,082184
68	-16,530135	-68,055602	84	-16,664163	-68,025639	100	-19,641245	-67,67294	116	-16,544156	-68,053426
69	-16,6133	-68,272157	85	-16,52401	-68,051377	101	-16,574269	-68,228926	117	-16,484803	-68,147591
70	-16,511473	-68,05814	86	-16,47332	-68,2914	102	-16,596622	-68,837147	118	-16,567845	-68,108841
71	-16,601128	-68,076935	87	-16,539619	-68,078715	103	-16,643315	-68,17294	119	-16,556518	-68,18794
72	-16,567444	-68,106245	88	-16,512744	-68,058423	104	-16,527187	-68,054502	120	-16,541242	-68,06899
73	-16,573149	-68,227689	89	-16,566085	-68,113988	105	-16,527187	-68,054502	121	-16,576223	-68,127053
74	-18,116212	-67,009627	90	-16,520734	-68,061359	106	-16,527187	-68,054502	122	-16,550604	-68,238802
75	-16,577623	-68,120459	91	-16,55836	-68,104436	107	-16,527187	-68,054502	123	-16,581252	-68,679789
76	-16,565634	-68,095914	92	-16,536435	-68,05274	108	-16,527187	-68,054502	124	-16,652781	-68,036617
77	-16,546344	-68,084275	93	-15,765639	-68,650754	109	-16,566107	-68,113517			
78	-16,489481	-68,081294	94	-16,629468	-68,053178	110	-16,617879	-68,059012			
79	-16,59638	-68,144302	95	-16,526849	-68,063062	111	-16,63199	-68,053986			
80	-16,601513	-68,233039	96	-16,526991	-68,062286	112	-16,546142	-68,05634			

FUENTE: (UGLP, s.f)

## Anexo 11. Nota de Respuesta del ABC



La Paz, 02 de mayo de 2024  
ABC/SGE/COM/2024-0024

02272

Señora  
Tania Thalia Ramos Fernandez  
**ESTUDIANTE - UNIVERSITARIO**  
**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
Presente.-

REF.: **REMISIÓN DE MAPA DE LA RED VIAL FUNDAMENTAL DE BOLIVIA**

De mi consideración:

Mediante la presente y de acuerdo a su solicitud remitimos en medio magnético el **"Mapa de la Red Vial Fundamental de Bolivia"** en formato Shp, de propiedad intelectual de la Administradora Boliviana de Carreteras el cual deberá ser utilizado solo con fines académicos.

Atentamente

  
LIC. JOSÉ ADOLFO LINO CALDERON  
SECRETARIO GENERAL



2024-02405



OFICINA CENTRAL (La Paz): Av. Mariscal Santa Cruz, Edif. Centro de Comunicaciones La Paz, piso N° 8, Teléfono: (2) 2159800 | REGIONAL LA PAZ Dirección: Av. 20 de Octubre N° 1829 y Landoeta, Teléfonos: (2) 2154164 - 2495043, Fax: 2494544 | REGIONAL SANTA CRUZ Dirección: Av. Roca y Coronado N° 950 entre 3er. y 4to. Anillo frente Hotel Buganvillas Teléfonos: (3) 3547031 - 3123004 - 3123006, Fax: 3579157 | REGIONAL COCHABAMBA Dirección: Av. Villazón Km. 1 1/2 N° 2345 Edificio SNC 3er. Piso, Teléfonos: (4) 4492264 - 4492265 - 4492266 | REGIONAL ÓRURO Dirección: Av. Prolongación Velasco Galvarro N° 5 esq. Sargento Flores, Teléfonos: (2) 5282677, Fax: (2) 5113562 | REGIONAL TARIJA Dirección: Av. Julio Arce esq. Manuel Álvarez Barrio SENAC, Zona Tabladita, Teléfonos: (4) 6661459 Fax: (4) 6647918 | REGIONAL CHUQUISACA Dirección: Calle Urcullo N° 49 Zona Central, Teléfonos: (4) 6437942 Fax: 6455407 | REGIONAL POTOSÍ Dirección: Calle Wenceslao Alba, Pasaje Superior s/n Teléfonos: (2) 6230171, Fax: 6122856 | REGIONAL BENI Dirección: Calle Lázaro de Rivera esq. Batelón N° 190, Teléfonos: (3) 4621677 - 4628923 Fax: 4620918 | REGIONAL PANDO: Calle Félix Antequera Lazcano S/N, Barrio 11 de Octubre.

## Anexo 12. Instrucciones de uso de Tabla 23 descrita en la Norma ASTM D1250-80

USO DE TABLA 23 APLICADA EN LA DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL GLP A 60°F.

**TABLE 23**

**REDUCTION OF OBSERVED SPECIFIC GRAVITY  
TO SPECIFIC GRAVITY 60/60°F**

This table gives values of specific gravity 60/60°F corresponding to specific gravities observed with a glass hydrometer at temperatures other than 60°F. The expression "Observed Specific Gravity" appears in Table 23, since it is the term most generally used in industry. For specific gravities determined by hydrometer, a more exact expression would be "hydrometer indication at the observed temperature." This hydrometer indication differs slightly from the true specific gravity at the observed temperature owing to the expansion or contraction of the glass hydrometer when its temperature differs from its calibration temperature of 60°F.

It is generally impracticable to determine a specific gravity at exactly 60°F; although it is at this temperature only that strictly correct results are obtained with a standard soft glass hydrometer. In converting an observed specific gravity at the observed temperature  $t^{\circ}\text{F}$  (hydrometer indication of specific gravity  $t/60^{\circ}\text{F}$ ) to the corresponding 60/60°F value, two corrections are necessary: the first arises from the change in volume of the glass hydrometer with temperature and the second from the change in volume of the oil. For specific gravities 60/60°F above 0.600 the table takes into account both the change in volume of the hydrometer and the change in volume of the oil. For specific gravities 60/60°F below 0.600 the table takes into account only the change in volume of the oil because the change in volume of the hydrometer is insignificant in comparison with the accuracy of the values for the change in volume of the oil.

**This table must be entered with specific gravities measured with a soft glass hydrometer calibrated at 60/60°F.**

### Anexo 13. Instrucciones de uso de la Tabla 34 descrita en la NORMA ASTM D1250-80

#### USO DE TABLA 34 APLICADA EN LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN VOLUMÉTRICA A 60°F PARA EL GLP EN ESTADO LÍQUIDO

##### REDUCTION OF VOLUME TO 60°F AGAINST SPECIFIC GRAVITY 60/60°F

This table gives the factors for converting oil volumes observed at temperatures other than 60°F to the corresponding volumes at 60°F for values of specific gravity 60/60°F in the range 0.500 to 1.100.

It is emphasized that the volume correction factors in this table make no allowance for the thermal expansion of tanks and other types of containers. In order to facilitate interpolation in specific gravity, differences are provided between adjacent specific gravity values.

**This table must be entered with specific gravity values 60/60°F and volumes measured at Fahrenheit temperatures.**

##### EXAMPLE

What is the volume at 60°F of 63,162 Imperial gallons at 34°F of an oil whose specific gravity 60/60°F is 0.7236?

Enter the table in the column for "Specific Gravity 60/60°F," headed 0.720, and note that against an "Observed Temperature" of 34°F the factor is . . . . . 1.0170

Likewise, for the same temperature, note that the difference between the factor for 0.720 specific gravity and the factor for 0.725 specific gravity is . . . . . 0.0003

This represents a decrease of 0.0003 units in the multiplication factor for an increase of 0.0050 specific gravity units. Therefore, by simple proportion, an increase in specific gravity from 0.720 to 0.7236 decreases the factor

by  $\frac{0.0036}{0.0050} \times 0.0003$  or . . . . . 0.0002

Hence, one Imperial gallon of oil of 0.7236 specific gravity 60/60°F and measured at 34°F occupies a volume at 60°F of 1.0170 - 0.0002 or . . . . . 1.0168 Imperial gallons

Then, 63,162 Imperial gallons measured at 34°F occupy a volume at 60°F of  $63,162 \times 1.0168$  or . . . . . 64,223 Imperial gallons

FUENTE: (ASTM-IP D1250-80, 1952)

Anexo 14. Tabla 23 extraída de la NORMA ASTM D1250-80

TABLA 23. DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL GLP A 60°F, A PARTIR DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y TEMPERATURA OBTENIDAS CON EL DENSÍMETRO DENTRO DE UN RANGO DE  $\gamma$  (0,455-0,500) Y T°F (40-90)

**Table 23**

**0.455-0.500 Specific Gravity Reduction to 60°F. ASTM-IP**

**40-90°F.**

Observed Temperature, °F.	Observed Specific Gravity									
	0.455	0.460	0.465	0.470	0.475	0.480	0.485	0.490	0.495	0.500
Corresponding Specific Gravity 60/60°F.										
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.483
41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.484
42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.485
43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.485
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.486
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.487
46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.488
47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.489
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.489
49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.490
50	—	—	—	—	—	—	—	0.490	0.485	0.491
51	—	—	—	—	—	—	—	0.481	0.486	0.492
52	—	—	—	—	—	—	—	0.482	0.487	0.493
53	—	—	—	—	—	—	—	0.483	0.488	0.494
54	—	—	—	—	—	—	—	0.484	0.489	0.494
55	—	—	—	—	—	—	—	0.485	0.490	0.495
56	—	—	—	—	—	—	—	0.486	0.491	0.496
57	—	—	—	—	—	—	—	0.487	0.492	0.497
58	—	—	—	—	—	—	—	0.488	0.493	0.498
59	—	—	—	—	—	—	—	0.489	0.494	0.499
60	—	—	—	—	—	0.480	0.485	0.490	0.495	0.500
61	—	—	—	—	—	0.481	0.486	0.491	0.496	0.501
62	—	—	—	—	—	0.482	0.487	0.492	0.497	0.502
63	—	—	—	—	—	0.483	0.488	0.493	0.498	0.503
64	—	—	—	—	—	0.484	0.489	0.494	0.498	0.504
65	—	—	—	—	—	0.485	0.490	0.494	0.499	0.504
66	—	—	—	—	—	0.485	0.490	0.495	0.500	0.505
67	—	—	—	—	—	0.486	0.491	0.496	0.501	0.506
68	—	—	—	—	—	0.487	0.492	0.497	0.502	0.507
69	—	—	—	—	—	0.488	0.493	0.498	0.503	0.508
70	—	—	—	0.479	0.484	0.489	0.494	0.499	0.504	0.509
71	—	—	—	0.480	0.485	0.490	0.495	0.500	0.505	0.510
72	—	—	—	0.481	0.486	0.491	0.496	0.501	0.506	0.511
73	—	—	—	0.482	0.487	0.492	0.497	0.501	0.506	0.511
74	—	—	—	0.483	0.488	0.493	0.497	0.502	0.507	0.512
75	—	—	—	0.484	0.488	0.493	0.498	0.503	0.508	0.513
76	—	—	—	0.484	0.489	0.494	0.499	0.504	0.509	0.513
77	—	—	—	0.485	0.490	0.495	0.500	0.504	0.509	0.514
78	—	—	—	0.486	0.491	0.496	0.501	0.505	0.510	0.515
79	—	—	—	0.487	0.492	0.497	0.502	0.506	0.511	0.516
80	—	0.479	0.485	0.488	0.493	0.498	0.503	0.507	0.512	0.517
81	—	0.480	0.486	0.489	0.494	0.499	0.503	0.508	0.513	0.518
82	—	0.481	0.486	0.490	0.495	0.500	0.504	0.509	0.514	0.519
83	—	0.482	0.487	0.491	0.496	0.501	0.505	0.510	0.514	0.519
84	—	0.483	0.488	0.492	0.497	0.501	0.506	0.510	0.515	0.520
85	—	0.484	0.489	0.493	0.498	0.502	0.507	0.511	0.516	0.521
86	—	0.484	0.490	0.493	0.498	0.503	0.507	0.512	0.517	0.521
87	—	0.485	0.491	0.494	0.499	0.504	0.508	0.513	0.517	0.522
88	—	0.486	0.491	0.495	0.500	0.504	0.509	0.513	0.518	0.523
89	—	0.487	0.492	0.496	0.501	0.505	0.510	0.514	0.519	0.524
90	0.484	0.488	0.493	0.497	0.502	0.506	0.511	0.516	0.520	0.524

FUENTE: (ASTM-IP D1250-80, 1952)

CONTINUACIÓN DE LA TABLA 23

**Table 23**  
**ASTM—IP**                      **Specific Gravity Reduction to 60°F.**                      **0.455–0.500**  
90–140°F.

Observed Temperature, °F.	Observed Specific Gravity									
	0.455	0.460	0.465	0.470	0.475	0.480	0.485	0.490	0.495	0.500
	Corresponding Specific Gravity 60/60°F.									
90	0.484	0.488	0.493	0.497	0.502	0.506	0.511	0.515	0.520	0.524
91	0.485	0.489	0.494	0.498	0.503	0.507	0.512	0.516	0.521	0.525
92	0.486	0.490	0.495	0.499	0.503	0.508	0.512	0.517	0.521	0.526
93	0.486	0.491	0.495	0.500	0.504	0.509	0.513	0.518	0.522	0.527
94	0.487	0.492	0.496	0.500	0.505	0.509	0.514	0.518	0.523	0.528
95	0.488	0.492	0.497	0.501	0.506	0.510	0.515	0.519	0.524	0.528
96	0.489	0.493	0.498	0.502	0.507	0.511	0.515	0.520	0.524	0.529
97	0.490	0.494	0.499	0.503	0.507	0.512	0.516	0.521	0.525	0.530
98	0.491	0.495	0.499	0.503	0.508	0.512	0.517	0.521	0.526	0.531
99	0.491	0.496	0.500	0.504	0.509	0.513	0.518	0.522	0.527	0.531
100	0.492	0.497	0.501	0.505	0.510	0.514	0.519	0.523	0.527	0.532
101	0.493	0.498	0.502	0.506	0.511	0.515	0.520	0.524	0.528	0.533
102	0.494	0.499	0.503	0.507	0.512	0.516	0.520	0.525	0.529	0.533
103	0.495	0.500	0.503	0.508	0.512	0.516	0.521	0.525	0.529	0.534
104	0.496	0.501	0.504	0.509	0.513	0.517	0.521	0.526	0.530	0.534
105	0.497	0.502	0.505	0.510	0.514	0.518	0.522	0.527	0.531	0.535
106	0.498	0.503	0.506	0.511	0.515	0.519	0.523	0.528	0.532	0.536
107	0.499	0.504	0.507	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.533	0.537
108	0.500	0.504	0.508	0.512	0.516	0.520	0.524	0.529	0.533	0.537
109	0.501	0.505	0.509	0.513	0.517	0.521	0.525	0.529	0.534	0.538
110	0.502	0.506	0.510	0.514	0.518	0.522	0.526	0.530	0.535	0.539
111	0.503	0.507	0.511	0.515	0.519	0.523	0.527	0.531	0.536	0.540
112	0.503	0.508	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.541
113	0.504	0.508	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.537	0.541
114	0.504	0.509	0.513	0.517	0.521	0.525	0.529	0.533	0.537	0.542
115	0.505	0.510	0.514	0.518	0.522	0.526	0.530	0.534	0.538	0.543
116	0.506	0.511	0.515	0.519	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.544
117	0.507	0.511	0.515	0.519	0.523	0.527	0.532	0.536	0.540	0.544
118	0.507	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540	0.545
119	0.508	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.533	0.537	0.541	0.545
120	0.509	0.513	0.517	0.521	0.525	0.529	0.534	0.538	0.542	0.546
121	0.510	0.514	0.518	0.522	0.526	0.530	0.535	0.539	0.543	0.547
122	0.511	0.515	0.519	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.543	0.548
123	0.511	0.515	0.519	0.523	0.527	0.531	0.536	0.540	0.544	0.548
124	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540	0.544	0.549
125	0.513	0.517	0.521	0.525	0.529	0.533	0.537	0.541	0.545	0.550
126	0.514	0.518	0.522	0.526	0.530	0.534	0.538	0.542	0.546	0.551
127	0.515	0.519	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551
128	0.516	0.519	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.543	0.547	0.552
129	0.517	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540	0.544	0.548	0.552
130	0.518	0.521	0.525	0.529	0.533	0.537	0.541	0.545	0.549	0.553
131	0.519	0.522	0.526	0.530	0.534	0.538	0.542	0.546	0.550	0.554
132	0.519	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551	0.555
133	0.520	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551	0.555
134	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540	0.544	0.548	0.552	0.556
135	0.521	0.525	0.529	0.533	0.537	0.541	0.545	0.549	0.553	0.557
136	0.522	0.526	0.530	0.534	0.538	0.542	0.546	0.550	0.554	0.558
137	0.523	0.527	0.530	0.534	0.538	0.542	0.546	0.550	0.554	0.558
138	0.523	0.527	0.531	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551	0.555	0.559
139	0.524	0.528	0.531	0.535	0.539	0.543	0.547	0.551	0.555	0.559
140	0.525	0.529	0.532	0.536	0.540	0.544	0.548	0.552	0.556	0.560

FUENTE: (ASTM-IP D1250-80, 1952)

Anexo 15. Tabla 34 extraída de la NORMA ASTM D1250-80

TABLA 34. OBTENCIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN VOLUMÉTRICO (DE REDUCCIÓN DE VOLUMEN) DEL GLP A 60°F, A PARTIR DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA A 60°F Y LA TEMPERATURA OBSERVADA EN EL TANQUE.

Table 34  
Volume Reduction to 60°F for LPG 0.495 to 0.604  
-20 to +27°F

Observed Temperature, deg F	Specific Gravity 60/60°F										
	0.495 to 0.504	0.505 to 0.514	0.515 to 0.524	0.525 to 0.534	0.535 to 0.544	0.545 to 0.554	0.555 to 0.564	0.565 to 0.574	0.575 to 0.584	0.585 to 0.594	0.595 to 0.604
	Factor for Reducing Volume to 60°F										
-20	1.120	1.114	1.109	1.104	1.099	1.095	1.090	1.086	1.082	1.079	1.076
-19	1.118	1.113	1.108	1.103	1.098	1.094	1.089	1.085	1.081	1.078	1.075
-18	1.117	1.111	1.106	1.101	1.097	1.093	1.088	1.084	1.080	1.077	1.074
-17	1.115	1.110	1.105	1.100	1.095	1.091	1.086	1.082	1.079	1.076	1.073
-16	1.114	1.108	1.103	1.098	1.094	1.090	1.085	1.081	1.078	1.075	1.072
-15	1.112	1.107	1.102	1.097	1.093	1.089	1.084	1.080	1.077	1.074	1.071
-14	1.111	1.105	1.101	1.096	1.092	1.088	1.083	1.079	1.076	1.073	1.070
-13	1.109	1.104	1.099	1.095	1.091	1.087	1.082	1.078	1.075	1.072	1.069
-12	1.108	1.103	1.098	1.093	1.089	1.085	1.081	1.077	1.074	1.071	1.068
-11	1.106	1.101	1.096	1.092	1.088	1.084	1.080	1.076	1.073	1.070	1.067
-10	1.105	1.100	1.095	1.091	1.087	1.083	1.079	1.075	1.072	1.069	1.066
-9	1.104	1.099	1.094	1.090	1.086	1.082	1.078	1.074	1.071	1.068	1.065
-8	1.102	1.098	1.093	1.089	1.085	1.081	1.077	1.073	1.070	1.067	1.064
-7	1.101	1.096	1.091	1.087	1.083	1.080	1.076	1.072	1.069	1.067	1.063
-6	1.099	1.095	1.090	1.086	1.082	1.079	1.075	1.071	1.068	1.066	1.062
-5	1.098	1.094	1.089	1.085	1.081	1.078	1.074	1.070	1.067	1.065	1.061
-4	1.097	1.093	1.088	1.084	1.080	1.077	1.073	1.069	1.066	1.064	1.060
-3	1.096	1.092	1.087	1.083	1.079	1.076	1.072	1.068	1.065	1.063	1.059
-2	1.094	1.090	1.086	1.082	1.078	1.075	1.071	1.068	1.065	1.063	1.059
-1	1.093	1.089	1.085	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067	1.064	1.062	1.058
0	1.092	1.088	1.084	1.080	1.076	1.073	1.069	1.066	1.063	1.061	1.057
1	1.090	1.086	1.083	1.079	1.075	1.072	1.068	1.065	1.062	1.060	1.056
2	1.089	1.085	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067	1.064	1.061	1.059	1.055
3	1.088	1.084	1.080	1.076	1.073	1.069	1.066	1.063	1.060	1.058	1.055
4	1.086	1.082	1.079	1.075	1.071	1.068	1.065	1.062	1.059	1.057	1.054
5	1.085	1.081	1.077	1.074	1.070	1.067	1.063	1.061	1.058	1.055	1.053
6	1.084	1.080	1.076	1.072	1.069	1.065	1.062	1.059	1.057	1.054	1.052
7	1.082	1.078	1.075	1.071	1.068	1.064	1.061	1.058	1.056	1.053	1.051
8	1.081	1.077	1.074	1.070	1.066	1.063	1.060	1.057	1.055	1.052	1.050
9	1.079	1.076	1.072	1.069	1.065	1.062	1.059	1.056	1.054	1.051	1.049
10	1.078	1.074	1.071	1.067	1.064	1.061	1.058	1.055	1.053	1.050	1.048
11	1.077	1.073	1.070	1.066	1.063	1.060	1.057	1.054	1.052	1.049	1.047
12	1.075	1.071	1.068	1.064	1.061	1.059	1.056	1.053	1.051	1.048	1.046
13	1.074	1.070	1.067	1.063	1.060	1.057	1.054	1.052	1.050	1.047	1.045
14	1.072	1.069	1.066	1.062	1.059	1.056	1.053	1.051	1.049	1.046	1.044
15	1.071	1.068	1.064	1.061	1.058	1.055	1.052	1.050	1.047	1.045	1.043
16	1.070	1.066	1.063	1.060	1.056	1.054	1.051	1.048	1.046	1.044	1.042
17	1.069	1.065	1.062	1.058	1.055	1.052	1.050	1.047	1.045	1.043	1.041
18	1.067	1.064	1.061	1.057	1.054	1.051	1.049	1.046	1.044	1.042	1.040
19	1.066	1.062	1.059	1.056	1.053	1.050	1.047	1.045	1.043	1.041	1.039
20	1.064	1.061	1.058	1.054	1.051	1.049	1.046	1.044	1.042	1.040	1.038
21	1.063	1.060	1.056	1.053	1.050	1.048	1.045	1.043	1.041	1.039	1.037
22	1.061	1.058	1.055	1.052	1.049	1.046	1.044	1.042	1.040	1.038	1.036
23	1.060	1.057	1.053	1.051	1.048	1.045	1.043	1.041	1.039	1.037	1.036
24	1.058	1.055	1.052	1.049	1.046	1.044	1.042	1.040	1.038	1.036	1.035
25	1.057	1.054	1.050	1.048	1.045	1.043	1.041	1.039	1.037	1.035	1.034
26	1.055	1.052	1.049	1.047	1.044	1.042	1.039	1.037	1.036	1.034	1.033
27	1.054	1.051	1.048	1.045	1.043	1.041	1.038	1.036	1.035	1.033	1.032

FUENTE: (ASTM-IP D1250-80, 1952)

CONTINUACIÓN DE LA TABLA 34

Table 34  
0.495 to 0.604  
28 to 74°F  
Volume Reduction to 60°F for LPG

Observed Temper- ature, deg F	Specific Gravity 60/60°F										
	0.495 to 0.504	0.505 to 0.514	0.515 to 0.524	0.525 to 0.534	0.535 to 0.544	0.545 to 0.554	0.555 to 0.564	0.565 to 0.574	0.575 to 0.584	0.585 to 0.594	0.595 to 0.604
	Factor for Reducing Volume to 60°F										
28	1.052	1.049	1.047	1.044	1.041	1.039	1.037	1.035	1.034	1.032	1.031
29	1.051	1.048	1.045	1.043	1.040	1.038	1.036	1.034	1.033	1.031	1.030
30	1.049	1.046	1.044	1.041	1.039	1.037	1.035	1.033	1.032	1.030	1.029
31	1.047	1.045	1.042	1.040	1.038	1.036	1.034	1.032	1.031	1.029	1.028
32	1.046	1.043	1.041	1.038	1.036	1.035	1.033	1.031	1.030	1.028	1.027
33	1.044	1.042	1.040	1.037	1.035	1.034	1.032	1.030	1.029	1.027	1.026
34	1.043	1.040	1.038	1.036	1.034	1.032	1.031	1.029	1.028	1.026	1.025
35	1.041	1.039	1.037	1.035	1.033	1.031	1.029	1.028	1.027	1.025	1.024
36	1.039	1.037	1.035	1.033	1.031	1.030	1.028	1.027	1.025	1.024	1.023
37	1.038	1.036	1.033	1.032	1.030	1.029	1.027	1.026	1.024	1.023	1.022
38	1.036	1.034	1.032	1.031	1.029	1.027	1.026	1.025	1.023	1.022	1.021
39	1.035	1.033	1.031	1.029	1.028	1.026	1.025	1.024	1.022	1.021	1.020
40	1.033	1.031	1.029	1.028	1.026	1.025	1.024	1.023	1.021	1.020	1.019
41	1.031	1.030	1.028	1.027	1.025	1.024	1.023	1.022	1.020	1.019	1.018
42	1.030	1.028	1.027	1.025	1.024	1.023	1.022	1.021	1.019	1.018	1.017
43	1.028	1.027	1.025	1.024	1.022	1.021	1.020	1.019	1.018	1.017	1.016
44	1.027	1.025	1.023	1.022	1.021	1.020	1.019	1.018	1.017	1.016	1.015
45	1.025	1.024	1.022	1.021	1.020	1.019	1.018	1.017	1.016	1.015	1.015
46	1.023	1.022	1.021	1.020	1.018	1.018	1.017	1.016	1.015	1.014	1.014
47	1.022	1.021	1.019	1.018	1.017	1.016	1.015	1.015	1.014	1.013	1.013
48	1.020	1.019	1.018	1.017	1.016	1.015	1.014	1.013	1.013	1.012	1.012
49	1.019	1.018	1.017	1.015	1.015	1.014	1.013	1.012	1.012	1.011	1.011
50	1.017	1.016	1.015	1.014	1.013	1.013	1.012	1.011	1.011	1.010	1.010
51	1.015	1.014	1.013	1.013	1.012	1.011	1.011	1.010	1.010	1.009	1.009
52	1.014	1.012	1.012	1.011	1.010	1.010	1.009	1.009	1.009	1.008	1.008
53	1.012	1.011	1.011	1.010	1.009	1.009	1.008	1.008	1.008	1.007	1.007
54	1.010	1.009	1.009	1.008	1.008	1.007	1.007	1.007	1.007	1.006	1.006
55	1.009	1.008	1.008	1.007	1.007	1.006	1.006	1.006	1.006	1.005	1.005
56	1.007	1.006	1.006	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.004	1.004	1.004
57	1.005	1.005	1.005	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.003	1.003	1.003
58	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002
59	1.002	1.002	1.002	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
60	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
61	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
62	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
63	0.995	0.995	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997	0.997
64	0.993	0.994	0.994	0.994	0.994	0.995	0.995	0.995	0.996	0.996	0.996
65	0.991	0.992	0.992	0.993	0.993	0.993	0.994	0.994	0.994	0.995	0.995
66	0.990	0.990	0.990	0.991	0.992	0.992	0.993	0.993	0.993	0.993	0.994
67	0.988	0.989	0.989	0.990	0.990	0.991	0.991	0.992	0.992	0.992	0.993
68	0.986	0.987	0.987	0.988	0.989	0.990	0.990	0.990	0.991	0.991	0.992
69	0.985	0.985	0.986	0.987	0.987	0.988	0.989	0.989	0.990	0.990	0.991
70	0.983	0.984	0.984	0.985	0.986	0.987	0.988	0.988	0.989	0.989	0.990
71	0.981	0.982	0.983	0.984	0.984	0.986	0.986	0.987	0.988	0.988	0.989
72	0.979	0.981	0.981	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986	0.987	0.987	0.988
73	0.978	0.979	0.980	0.981	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986	0.986	0.987
74	0.976	0.977	0.978	0.980	0.980	0.982	0.983	0.984	0.985	0.985	0.986

FUENTE: (ASTM-IP D1250-80, 1952)

CONTINUACIÓN DE LA TABLA 34

Table 34 Y  
Volume Reduction to 60°F for LPG 0.495 to 0.604  
75 to 120°F

Observed Temperature, deg F	Specific Gravity 60/60°F										
	0.495 to 0.504	0.505 to 0.514	0.515 to 0.524	0.525 to 0.534	0.535 to 0.544	0.545 to 0.554	0.555 to 0.564	0.565 to 0.574	0.575 to 0.584	0.585 to 0.594	0.595 to 0.604
	Factor for Reducing Volume to 60°F										
75	0.974	0.976	0.977	0.978	0.979	0.980	0.981	0.983	0.983	0.984	0.985
76	0.972	0.974	0.975	0.977	0.978	0.979	0.980	0.981	0.982	0.983	0.985
77	0.970	0.972	0.973	0.975	0.976	0.978	0.979	0.980	0.981	0.982	0.984
78	0.969	0.970	0.972	0.974	0.975	0.977	0.978	0.979	0.980	0.981	0.983
79	0.967	0.969	0.970	0.972	0.974	0.975	0.977	0.978	0.979	0.980	0.982
80	0.965	0.967	0.969	0.971	0.972	0.974	0.975	0.977	0.978	0.979	0.981
81	0.963	0.965	0.967	0.969	0.971	0.973	0.974	0.975	0.977	0.978	0.980
82	0.961	0.963	0.966	0.968	0.969	0.971	0.972	0.974	0.976	0.977	0.979
83	0.959	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.971	0.973	0.975	0.976	0.978
84	0.957	0.960	0.962	0.965	0.966	0.968	0.970	0.972	0.974	0.975	0.977
85	0.956	0.958	0.960	0.963	0.965	0.967	0.969	0.971	0.972	0.974	0.976
86	0.954	0.956	0.959	0.961	0.964	0.966	0.967	0.969	0.971	0.973	0.975
87	0.952	0.955	0.957	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.972	0.974
88	0.950	0.953	0.955	0.958	0.961	0.963	0.965	0.967	0.969	0.971	0.973
89	0.948	0.951	0.954	0.957	0.959	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.972
90	0.946	0.949	0.952	0.955	0.958	0.960	0.962	0.964	0.967	0.968	0.971
91	0.944	0.947	0.951	0.954	0.956	0.959	0.961	0.963	0.965	0.967	0.970
92	0.942	0.946	0.949	0.952	0.955	0.957	0.959	0.962	0.964	0.966	0.969
93	0.940	0.944	0.947	0.950	0.953	0.956	0.958	0.961	0.963	0.965	0.968
94	0.938	0.942	0.946	0.949	0.952	0.954	0.957	0.959	0.962	0.964	0.967
95	0.937	0.940	0.944	0.947	0.950	0.953	0.956	0.958	0.961	0.963	0.966
96	0.935	0.939	0.942	0.946	0.949	0.952	0.954	0.957	0.959	0.962	0.965
97	0.933	0.937	0.941	0.944	0.947	0.950	0.953	0.956	0.958	0.961	0.964
98	0.931	0.935	0.939	0.943	0.946	0.949	0.952	0.954	0.957	0.960	0.963
99	0.929	0.933	0.937	0.941	0.945	0.948	0.950	0.953	0.956	0.959	0.962
100	0.927	0.932	0.936	0.940	0.943	0.946	0.949	0.952	0.954	0.958	0.961
101	0.925	0.930	0.934	0.938	0.941	0.945	0.948	0.951	0.953	0.957	0.960
102	0.923	0.928	0.932	0.936	0.940	0.943	0.947	0.950	0.952	0.956	0.959
103	0.921	0.927	0.931	0.935	0.938	0.942	0.945	0.948	0.951	0.954	0.958
104	0.919	0.925	0.929	0.933	0.937	0.940	0.944	0.947	0.950	0.953	0.957
105	0.917	0.923	0.927	0.931	0.935	0.939	0.943	0.946	0.949	0.952	0.956
106	0.915	0.921	0.925	0.929	0.933	0.938	0.942	0.945	0.948	0.951	0.955
107	0.913	0.919	0.923	0.928	0.932	0.936	0.940	0.943	0.947	0.950	0.954
108	0.911	0.917	0.922	0.926	0.930	0.935	0.939	0.942	0.945	0.949	0.953
109	0.909	0.915	0.920	0.925	0.929	0.933	0.937	0.940	0.944	0.948	0.952
110	0.907	0.913	0.918	0.923	0.927	0.932	0.936	0.939	0.943	0.947	0.951
111	0.905	0.911	0.916	0.921	0.926	0.931	0.935	0.938	0.942	0.946	0.950
112	0.903	0.909	0.914	0.920	0.924	0.929	0.934	0.937	0.941	0.945	0.949
113	0.901	0.908	0.913	0.918	0.923	0.928	0.932	0.935	0.939	0.943	0.948
114	0.899	0.906	0.911	0.917	0.921	0.926	0.931	0.934	0.938	0.942	0.947
115	0.897	0.904	0.909	0.915	0.920	0.925	0.930	0.933	0.937	0.941	0.946
116	0.895	0.902	0.907	0.913	0.918	0.924	0.929	0.932	0.936	0.940	0.945
117	0.893	0.900	0.905	0.912	0.917	0.922	0.927	0.931	0.935	0.939	0.944
118	0.891	0.898	0.904	0.910	0.915	0.921	0.926	0.929	0.933	0.938	0.943
119	0.889	0.896	0.902	0.909	0.914	0.919	0.924	0.928	0.932	0.937	0.942
120	0.887	0.894	0.900	0.907	0.912	0.918	0.923	0.927	0.931	0.936	0.941

FUENTE: (ASTM-IP D1250-80, 1952)

**Anexo 16. Tabla 3. Factores de conversión de Volumen Vapor Saturado a Volumen Líquido a 60°F, en TK de GLP.**

(Para gravedad específica 0,505 a 0,590)

**TABLA 3**

Presión manométrica		0,5100	0,5150	0,5200	0,5250	0,5300	0,5350	0,5400		
Kg/cm2	Lbs/Pulg2	0,505	0,513	0,518	0,523	0,528	0,533	0,538	0,541	0,566
		0,512	0,517	0,522	0,527	0,532	0,537	0,540	0,565	0,590
0,00	0,00	0,00886	0,00888	0,00890	0,00892	0,00893	0,00895	0,00895		
0,10	1,42	0,00915	0,00917	0,00919	0,00921	0,00922	0,00924	0,00924		
0,20	2,84	0,00943	0,00946	0,00948	0,00950	0,00951	0,00952	0,00953		
0,30	4,27	0,00972	0,00974	0,00976	0,00978	0,00980	0,00981	0,00982		
0,40	5,69	0,01001	0,01003	0,01005	0,01007	0,01009	0,01010	0,01011		
0,50	7,11	0,01029	0,01032	0,01034	0,01036	0,01038	0,01039	0,01040		
0,60	8,53	0,01058	0,01060	0,01063	0,01065	0,01066	0,01068	0,01069		
0,70	9,95	0,01086	0,01089	0,01091	0,01093	0,01095	0,01096	0,01097		
0,80	11,38	0,01115	0,01117	0,01120	0,01122	0,01124	0,01125	0,01126		
0,90	12,80	0,01143	0,01146	0,01148	0,01150	0,01152	0,01154	0,01155		
1,00	14,22	0,01172	0,01174	0,01177	0,01179	0,01181	0,01182	0,01183		
1,10	15,64	0,01200	0,01203	0,01205	0,01207	0,01209	0,01211	0,01212		
1,20	17,06	0,01229	0,01231	0,01234	0,01236	0,01238	0,01239	0,01240	0,01268	0,01268
1,30	18,49	0,01257	0,01260	0,01262	0,01264	0,01266	0,01268	0,01269	0,01303	0,01303
1,40	19,91	0,01285	0,01288	0,01290	0,01293	0,01295	0,01296	0,01297	0,01338	0,01338
1,50	21,33	0,01313	0,01316	0,01319	0,01321	0,01323	0,01325	0,01326	0,01372	0,01373
1,60	22,75	0,01342	0,01344	0,01347	0,01349	0,01351	0,01353	0,01354	0,01407	0,01408
1,70	24,17	0,01370	0,01373	0,01375	0,01378	0,01380	0,01381	0,01382	0,01441	0,01443
1,80	25,60	0,01398	0,01401	0,01404	0,01406	0,01408	0,01410	0,01411	0,01476	0,01477
1,90	27,02	0,01426	0,01429	0,01432	0,01434	0,01436	0,01438	0,01439	0,0151	0,01512
2,00	28,44	0,01454	0,01457	0,01460	0,01463	0,01465	0,01466	0,01467	0,01544	0,01546
2,10	29,86	0,01482	0,01485	0,01488	0,01491	0,01493	0,01494	0,01495	0,01578	0,0158
2,20	31,28	0,01511	0,01514	0,01516	0,01519	0,01521	0,01523	0,01524	0,01612	0,01614
2,30	32,71	0,01539	0,01542	0,01545	0,01547	0,01549	0,01551	0,01552	0,01646	0,01648
2,40	34,13	0,01567	0,01570	0,01573	0,01575	0,01577	0,01579	0,01580	0,0168	0,01682
2,50	35,55	0,01595	0,01598	0,01601	0,01603	0,01606	0,01607	0,01608	0,01714	0,01716
2,60	36,97	0,01623	0,01626	0,01629	0,01631	0,01634	0,01635	0,01636	0,01747	0,01749
2,70	38,39	0,01651	0,01654	0,01657	0,01660	0,01662	0,01663	0,01665	0,01781	0,01782
2,80	39,82	0,01679	0,01682	0,01685	0,01688	0,01690	0,01692	0,01693	0,01814	0,01815
2,90	41,24	0,01707	0,01710	0,01713	0,01716	0,01718	0,01720	0,01721	0,01847	0,01848
3,00	42,66	0,01735	0,01738	0,01741	0,01744	0,01746	0,01748	0,01749	0,0188	0,01881
3,10	44,08	0,01763	0,01766	0,01769	0,01772	0,01774	0,01776	0,01777	0,01913	0,01914
3,20	45,50	0,01790	0,01794	0,01797	0,01800	0,01802	0,01804	0,01805	0,01946	0,01946
3,30	46,93	0,01818	0,01822	0,01825	0,01828	0,01830	0,01832	0,01833	0,01978	0,01979
3,40	48,35	0,01846	0,01850	0,01853	0,01856	0,01858	0,01860	0,01861	0,02011	0,02011
3,50	49,77	0,01875	0,01878	0,01881	0,01884	0,01886	0,01888	0,01889	0,02043	0,02043
3,60	51,19	0,01902 ▲	0,01906 ▲	0,01909 ▲	0,01912 ▲	0,01914 ▲	0,01916 ▲	0,01917	0,02076	0,02075
3,70	52,61	0,01930	0,01933	0,01937	0,01940	0,01942	0,01944	0,01945	0,02108	0,02107
3,80	54,04	0,01958	0,01961	0,01965	0,01967	0,01970	0,01972	0,01973	0,0214	0,02139
3,90	55,46	0,01985	0,01989	0,01993	0,01995	0,01998	0,02000	0,02001	0,02172	0,02170
4,00	56,88	0,02013	0,02017	0,02020	0,02023	0,02026	0,02220	0,02029	0,02204	0,02202
4,10	58,30	0,02042	0,02045	0,02048	0,02051	0,02054	0,02055	0,02056	0,02236	0,02233
4,20	59,72	0,02069	0,02073	0,02076	0,02079	0,02081	0,02083	0,02084	0,02267	0,02264
4,30	61,15	0,02097	0,02101	0,02101	0,02107	0,02109	0,02111	0,02112	0,02299	0,02296
4,40	62,57	0,02124	0,02128	0,02132	0,02135	0,02137	0,02139	0,02140	0,02331	0,02327
4,50	63,99	0,02152	0,02156	0,02160	0,02163	0,02165	0,02167	0,02168	0,02362	0,02358

FUENTE: (UGLP, s.f)

### CONTINUACIÓN DE LA TABLA 3.

Presión manométrica		0,5100	0,5150	0,5200	0,5250	0,5300	0,5350	0,5400		
Kg/cm2	Lbs/Pulg2	0,505	0,513	0,518	0,523	0,528	0,533	0,538	0,541	0,566
		0,512	0,517	0,522	0,527	0,532	0,537	0,540	0,565	0,590
4,60	65,41	0,02180	0,02184	0,02187	0,02190	0,02193	0,02195	0,02196	0,02393	0,02389
4,70	66,83	0,02208	0,02212	0,02215	0,02218	0,02221	0,02223	0,02224	0,02425	0,0242
4,80	68,26	0,02236	0,02239	0,02243	0,02246	0,02249	0,02250	0,02251	0,02456	0,02451
4,90	69,68	0,02263	0,02267	0,02271	0,02274	0,02276	0,02278	0,02279	0,02487	0,02482
5,00	71,10	0,02291	0,02295	0,02299	0,02302	0,02304	0,02306	0,02307	0,02518	0,02512
5,10	72,52	0,02319	0,02323	0,02326	0,02329	0,02332	0,02334	0,02335	0,02549	
5,20	73,94	0,02346	0,02351	0,02354	0,02357	0,02360	0,02362	0,02363	0,0258	
5,30	75,37	0,02374	0,02378	0,02382	0,02385	0,02388	0,02389	0,02390	0,02611	
5,40	76,79	0,02402	0,02406	0,02410	0,02413	0,02415	0,02417	0,02418	0,02642	
5,50	78,21	0,02430	0,02434	0,02437	0,02441	0,02443	0,02445	0,02446	0,02673	
5,60	79,63	0,02157	0,02461	0,02465	0,02468	0,02471	0,02473	0,02474	0,02704	
5,70	81,05	0,02485	0,02489	0,02493	0,02496	0,02499	0,02501	0,02502	0,02735	
5,80	82,48	0,02513	0,02517	0,02521	0,02524	0,02526	0,02528	0,02529	0,02766	
5,90	83,90	0,02540	0,02545	0,02548	0,02552	0,02554	0,02556	0,02557	0,02797	
6,00	85,32	0,02568	0,02572	0,02576	0,02582	0,02582	0,02584	0,02585	0,02827	
6,10	86,74	0,02596	0,02600	0,02604	0,02579	0,02610	0,02612	0,02613	0,02858	
6,20	88,16	0,02623	0,02628	0,02631	0,02607	0,02637	0,02639	0,02640	0,02889	
6,30	89,59	0,02651	0,02655	0,02659	0,02635	0,02665	0,02667	0,02668	0,0292	
6,40	91,01	0,02679	0,02683	0,02687	0,02662	0,02693	0,02695	0,02696	0,02951	
6,50	92,43	0,02706	0,02711	0,02715	0,02690	0,02721	0,02722	0,02723	0,02981	
6,60	93,85	0,02734	0,02738	0,02742	0,02718	0,02748	0,02750	0,02751	0,03012	
6,70	95,27	0,02762	0,02766	0,02770	0,02773	0,02776	0,02778	0,02779	0,03043	
6,80	96,70	0,02789	0,02794	0,02798	0,02801	0,02804	0,02806	0,02807	0,03074	
6,90	98,12	0,02817	0,02821	0,02825	0,02829	0,02831	0,02833	0,02834	0,03105	
7,00	99,54	0,02845	0,02849	0,02853	0,02856	0,02859	0,02861	0,02862	0,03135	
7,10	100,96	0,02872	0,02877	0,02881	0,02884	0,02887	0,02889	0,02890	0,03166	
7,20	102,38	0,02900	0,02904	0,02908	0,02912	0,02914	0,02916	0,02917	0,03197	
7,30	103,81	0,02928	0,02932	0,02936	0,02939	0,02942	0,02944	0,02945	0,03228	
7,40	105,23	0,02955	0,02960	0,02964	0,02967	0,02970	0,02972	0,02973	0,03258	
7,50	106,65	0,02983	0,02987	0,02991	0,02995	0,02997	0,02999	0,03000	0,03289	
7,60	108,07	0,03010	0,03015	0,03019	0,03022	0,03025	0,03027	0,03028	0,03319	
7,70	109,49	0,03038	0,03043	0,03047	0,03050	0,03053	0,03055	0,03056	0,0335	
7,80	110,92	0,03066	0,03070	0,03074	0,03078	0,03081	0,03082	0,03083	0,03381	
7,90	112,34	0,03093	0,03098	0,03102	0,03105	0,03108	0,03110	0,03111	0,03411	
8,00	113,76	0,03121	0,03126	0,03130	0,03133	0,03136	0,03138	0,03139	0,03441	
8,10	115,18	0,03149	0,03153	0,03157	0,03161	0,03164	0,03165	0,03166	0,03471	
8,20	116,60	0,03176	0,03181	0,03185	0,03188	0,03191	0,03193	0,03194	0,03501	
8,30	118,03	0,32040	0,03208	0,03213	0,03216	0,03219	0,03221	0,03222	0,03531	
8,40	119,45	0,03231	0,03236	0,03240	0,32440	0,03247	0,03248	0,03249	0,03561	
8,50	120,87	0,03259	0,03264	0,03268	0,03271	0,03274	0,03276	0,03277	0,0359	
8,60	122,29	0,03287	0,03291	0,03296	0,03299	0,033020	0,03304	0,03305	0,03619	
8,70	123,71	0,03314	0,03319	0,03323	0,03327	0,033290	0,03331	0,03332	0,03648	
8,80	125,14	0,03342	0,03347	0,03351	0,03354	0,033570	0,03359	0,03360	0,03677	
8,90	126,56	0,03369	0,03374	0,03379	0,03382	0,033850	0,03387	0,03387	0,03705	
9,00	127,98	0,03397	0,03402	0,03406	0,03410	0,034120	0,03414	0,03415	0,03732	
9,10	129,40	0,03425	0,03430	0,03434	0,03437	0,034400	0,03442	0,03443	0,0376	
9,20	130,82	0,03452	0,03457	0,03461	0,03465	0,034680	0,03470	0,03470	0,03786	
9,30	132,25	0,03480	0,03485	0,03489	0,03493	0,034950	0,03497	0,03498	0,03813	
9,40	133,67	0,03508	0,03512	0,03517	0,03520	0,035230	0,03525	0,03526	0,03838	
9,50	135,09	0,03535	0,03540	0,03544	0,03548	0,035510	0,03553	0,03553	0,03863	
9,60	136,51	0,03563	0,03568	0,03572	0,03576	0,035780	0,03580	0,03581	0,03888	
9,70	137,93	0,03590	0,03595	0,03600	0,03603	0,036060	0,03608	0,03609	0,03912	
9,80	139,36	0,03618	0,03623	0,03627	0,03631	0,036340	0,03635	0,03636	0,03934	
9,90	140,78	0,03646	0,03651	0,03655	0,03659	0,036610	0,03663	0,03664	0,03956	
10,00	142,20	0,03673	0,03678	0,03683	0,03686	0,036890	0,03691	0,03691	0,03978	

FUENTE: (UGLP, s.f)

## Anexo 17. Temperatura Mínima Absoluta según estación por año, 2006 – 2022

(en grados centígrados)

ESTACIÓN	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 <sup>(p)</sup>
<b>Chuquisaca</b>																		
Sucre	-2,8	-1,7	-1,8	-1,8	-2,0	-0,8	-1,2	-1,7	-1,8	-0,8	-1,3	2,5	3,0	-0,3	-3,2	3,4	-2,8	-1,7
<b>La Paz</b>																		
La Paz	0,4	0,7	-0,5	1,0	-2,0	-0,3	0,6	-1,6	1,0	0,2	-0,2	0,0	0,8	1,6	-1,5	1,0	1,1	-1,0
El Alto	-8,6	-10,5	-7,2	-9,3	-9,3	-10,0	-8,6	-12,6	-8,6	-9,4	-8,4	-8,7	-9,0	-9,3	-10,0	-12,6	-11,0	-13,2
<b>Cochabamba</b>																		
Cochabamba	-1,2	-4,8	-0,7	-1,8	-4,5	-2,0	-1,3	-2,3	-2,2	-1,8	0,7	0,2	0,2	-0,5	-1,1	-0,5	-0,8	-1,0
<b>Oruro</b>																		
Oruro	-14,2	-13,4	-12,2	-14,5	-19,4	-14,4	-12,0	-12,6	-11,8	-13,6	-11,8	-12,0	-15,0	-10,2	-11,8	-12,6	-11,4	-13,0
<b>Potosí</b>																		
Potosí	-7,5	-7,0	-9,2	-10,0	-11,9	-7,2	-9,0	-10,1	-7,2	-7,0	-8,5	-7,8	-8,9	-13,8	-8,0	-9,0	-9,0	-10,0
<b>Tarija</b>																		
Tarija	-4,2	-4,8	-6,2	-3,8	-5,3	-9,2	-5,0	-3,7	-6,4	-3,8	-2,5	-2,0	-1,5	-2,6	-4,4	-3,4	-7,4	-3,2
Villamontes	-1,5	-0,8	-1,8	1,1	-2,0	-2,1	-3,0	-2,6	-5,8	-1,8	0,0	-1,5	-4,3	-1,7	-3,1	2,0	-5,5	-0,2
Yacuiba	-1,0	0,3	-3,3	-0,5	-3,1	-4,2	-2,8	-0,4	-3,6	-1,0	0,0	0,8	-2,2	0,2	-1,6	2,8	-3,6	-1,1
<b>Santa Cruz</b>																		
Santa Cruz de la Sierra	6,0	9,4	6,7	8,6	2,1	2,7	7,2	7,0	4,4	8,7	9,0	8,4	6,4	8,2	6,8	8,2	5,2	7,0
Ascención Guarayos	6,9	7,7	7,9	7,3	6,0	5,5	7,1	5,1	5,7	9,7	9,8	7,0	4,5	9,2	5,5	15,0	1,2	4,5
Camiri	-1,3	0,5	-2,2	0,0	-1,0	-3,0	-2,4	-1,2	-4,6	1,0	1,0	0,3	-2,3	0,1	-0,8	4,8	-3,5	-1,8
Concepción	7,0	8,0	4,4	5,0	1,4	3,0	6,2	4,8	3,8	8,0	9,5	8,0	6,3	7,2	7,0	15,0	2,4	4,0
Puerto Suarez	8,8	8,6	7,0	9,0	3,0	4,0	3,5	3,5	1,0	7,5	9,0	5,0	3,0	4,8	2,5	13,4	1,0	9,0
Roboré	2,0	4,0	1,5	4,2	0,0	1,8	3,5	0,8	-2,0	7,0	9,6	2,8	0,2	2,0	-0,5	10,4	-2,4	-1,0
San Ignacio de Velasco	5,3	6,5	5,5	5,2	-2,4	4,4	5,7	2,1	3,8	6,0	7,2	5,5	4,5	5,1	5,0	15,8	2,5	3,2
San Javier	0,2	9,0	4,0	5,1	3,3	3,0	5,0	5,1	4,0	6,5	8,0	7,0	5,2	5,4	6,0	11,4	4,1	6,0
San José de Chiquitos	4,0	6,0	3,5	6,0	0,3	4,2	5,2	2,2	2,2	6,2	10,0	4,3	1,0	3,8	7,1	14,1	-1,0	1,0
San Matias	6,5	8,6	8,0	7,4	7,3	5,0	6,2	4,2	4,0	10,0	13,0	5,0	4,5	8,0	3,2	17,0	2,5	2,8
Vallegrande	-2,0	-2,0	-1,0	1,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,3	-4,5	0,5	2,0	-3,1	-2,7	-1,1	-2,9	5,4	-4,2	-1,8
<b>Beni</b>																		
Trinidad	9,3	9,0	8,8	8,6	7,0	7,2	9,2	8,4	7,9	10,2	12,0	11,2	9,5	10,4	7,2	9,0	7,4	9,0
Magdalena	9,5	12,0	10,0	11,6	8,4	8,2	9,0	8,2	10,0	11,1	12,1	11,2	8,0	10,4	6,0	18,6	9,2	10,7
Riberalta	11,0	12,3	12,0	10,8	9,0	9,3	11,0	9,2	9,1	11,3	14,0	12,0	8,4	11,0	9,7	9,0	9,4	10,2
Rurrenabaque	10,0	10,2	10,0	12,0	6,0	-8,0	9,0	8,0	7,0	11,0	13,4	12,0	7,8	7,9	8,0	18,8	2,3	11,6
San Borja	0,4	11,2	9,0	11,0	8,5	7,2	6,4	3,4	7,0	11,0	13,4	10,5	8,4	10,8	8,4	9,4	7,9	9,5
San Ignacio de Moxos	10,2	10,2	8,7	9,6	7,0	5,2	8,1	6,6	7,3	0,0	10,5	10,6	5,5	8,8	4,0	17,5	n.d.	n.d.
San Joaquin	8,0	6,8	10,0	12,0	8,6	9,2	10,2	8,7	9,0	10,4	11,7	10,8	8,2	10,4	4,1	2,7	7,6	8,4
San Ramón	9,1	9,4	9,6	11,9	8,7	7,9	8,8	6,1	8,3	11,3	11,7	9,8	6,3	10,4	5,1	10,5	12,0	n.d.
Santa Ana de Yacuma	9,5	11,5	7,8	10,6	8,2	8,1	10,0	8,8	9,2	11,9	12,5	11,1	8,7	10,5	5,0	17,3	7,0	8,1
<b>Pando</b>																		
Cobija	8,0	12,0	12,0	11,4	8,0	7,1	12,1	11,7	8,4	13,0	15,2	14,0	10,2	13,0	10,6	12,0	7,2	10,0

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

(p): Preliminar

(1): Se entiende como el valor más bajo alcanzado en un período de tiempo.

n.d.: No disponible, por falta de monitoreo. Para el año 2020, debido al estado de emergencia por la Covid-19 no hubo monitoreo para cierto número de estaciones en los meses de abril a agosto.

Nota: A partir del 2018 se considera la estación de Sucre-Alcantarí y del 2019 Potosí-Ciudad.

**FUENTE:** (Instituto Nacional de Estadística, s.f)

### Anexo 18. Resumen de Costos Operativos por Cliente de la UGLP

Tramos	Longitud Actual [M]	Longitud Optimizada [M]	Reducción de Distancia [M]	Costo de Combustible actual Bs.	Costo de Combustible Óptimo Bs.	Reducción combustible Bs.
PA-P01	34339,6	32084,8	2254,80	38710,09	36168,32	2541,77
PA-P02	12918	11494,4	1423,60	14562,11	12957,32	1604,79
PA-P03	16523	15778,1	744,90	18625,93	17786,22	839,71
PA-P04	18109,3	16521,1	1588,20	20414,12	18623,79	1790,33
PA-P05	18144,4	16556,2	1588,20	20453,69	18663,35	1790,33
PA-P06	21373,8	20408,7	965,10	24094,10	23006,17	1087,93
PA-P07	22354,7	21344,7	1010,00	25199,84	24061,30	1138,55
PA-P08-PB	204402,2	203938,5	463,70	230417,03	229894,31	522,72
PA-P09	27406	25268,2	2137,80	30894,04	28484,15	2409,88
PA-P10	21422,7	20453,4	969,30	24149,23	23056,56	1092,67
PA-P11	21507,8	20709,6	798,20	24245,16	23345,37	899,79
PA-P12	9216,6	8306	910,60	10389,62	9363,13	1026,49
UGLP_CBBA-PB-P13	357722,7	357533,5	189,20	403251,04	403037,76	213,28
PA-P14	73478,3	67225,3	6253,00	82830,08	75781,25	7048,84
PA-P15	2448,3	2325,3	123,00	2759,90	2621,25	138,65
PA-P16	19477,1	18722,4	754,70	21956,00	21105,25	850,75
PA-P17	22014,1	19937,1	2077,00	24815,89	22474,55	2341,35
PA-P18	199812,5	196916,4	2896,10	225243,18	221978,49	3264,69
PA-P19	88771	86937,8	1833,20	100069,13	98002,61	2066,52
PA-P20	23145,2	21876,2	1269,00	26090,95	24660,44	1430,51
PA-P21	19290,8	18315,8	975,00	21745,99	20646,90	1099,09
PA-P22	253583,9	235589,5	17994,40	285858,21	265573,62	20284,60
PA-P23	153020,3	135531,5	17488,80	172495,61	152780,96	19714,65
PA-P24-PB	228455,1	226868,5	1586,60	257531,20	255742,67	1788,53
PC-PB-P25	839177,4	795193,1	43984,30	945981,80	896399,49	49582,30
PC-P25	839982,6	790865,7	49116,90	946889,48	891521,33	55368,14
PA-P26	94463,2	81318,9	13144,30	106485,79	91668,58	14817,21
PA-P27	176831,4	158837	17994,40	199337,21	179052,62	20284,60
PA-P28	9723,1	9361,6	361,50	10960,59	10553,08	407,51
PA-P29	14148	13388,1	759,90	15948,65	15092,04	856,61
PA-P30	1871,1	1851,8	19,30	2109,24	2087,48	21,76
PA-P31	22337,1	21191,2	1145,90	25180,00	23888,26	1291,74
PA-P32	13045,7	11620,5	1425,20	14706,06	13099,47	1606,59

**CONTINUACION DE LA TABLA**

Tramos	Longitud Actual [M]	Longitud Optimizada [M]	Reducción de Distancia [M]	Costo de Combustible actual Bs.	Costo de Combustible Optimo Bs.	Reducción combustible Bs.
PA-P33	17809,3	16213,8	1595,50	20075,94	18277,37	1798,56
PA-P34	14848,8	14074,4	774,40	16738,65	15865,69	872,96
PA-P35	19990,7	18842,2	1148,50	22534,97	21240,30	1294,67
PA-P36	11722,1	10815,8	906,30	13214,00	12192,36	1021,65
PA-P37	21038,2	18923,6	2114,60	23715,79	21332,06	2383,73
PA-P38	7614,3	6727,2	887,10	8583,39	7583,39	1000,00
PA-P39	17679,3	16303,4	1375,90	19929,39	18378,38	1551,01
PA-P40	17266	15224,9	2041,10	19463,49	17162,61	2300,88
PA-P41	51574,8	50564,5	1010,30	58138,87	56999,98	1138,88
PA-P42	15793	13751,9	2041,10	17803,02	15502,14	2300,88
PA-P43	51574,8	3571,5	48003,30	58138,87	4026,05	54112,81
PA-P44	11026,5	10387,7	638,80	12429,87	11709,77	720,10
PA-P45	13082,5	11657,3	1425,20	14747,55	13140,96	1606,59
PA-P46	18668,1	17072,6	1595,50	21044,04	19245,48	1798,56
PA-P47	20841,2	19872,7	968,50	23493,72	22401,95	1091,76
PA-P48	14474,5	13733,6	740,90	16316,71	15481,51	835,20
PA-P49	30596,9	28447,4	2149,50	34491,05	32067,98	2423,07
PC-P50	874093,6	830298,4	43795,20	985341,88	935972,74	49369,13
PA-P51	4866,8	4685,6	181,20	5486,21	5281,95	204,26
PA-P52	12431,8	11683,1	748,70	14014,03	13170,04	843,99
PA-P53	6253,6	6253,6	0,00	7049,51	7049,51	0,00
PA-P54	2330,3	2328,6	1,70	2626,88	2624,97	1,92
PA-P55	18714,2	17819,8	894,40	21096,01	20087,77	1008,23
PA-P56	10767,1	10160,4	606,70	12137,46	11453,54	683,92
PA-P57	17490,3	15678,9	1811,40	19716,34	17674,40	2041,94
PA-P58-PB	225771,9	223921,1	1850,80	254506,51	252420,15	2086,36
PA-P59	22154,3	21144,3	1010,00	24973,94	23835,39	1138,55
PA-P60	21750,4	20673,4	1077,00	24518,63	23304,56	1214,07
PA-P61	13050,7	11625,4	1425,30	14711,70	13105,00	1606,70
PA-P62	5445,8	5259,6	186,20	6138,90	5929,00	209,90
PA-P63	12359,5	12262,6	96,90	13932,53	13823,29	109,23
PA-P64	21783,5	20975	808,50	24555,95	23644,55	911,40
PA-P65	14920,6	12879,5	2041,10	16819,59	14518,71	2300,88
PA-P66	2207,2	2082,6	124,60	2488,12	2347,66	140,46

**CONTINUACION DE LA TABLA**

Tramos	Longitud Actual [M]	Longitud Optimizada [M]	Reducción de Distancia [M]	Costo de Combustible actual Bs.	Costo de Combustible Optimo Bs.	Reducción combustible Bs.
PA-P67	13752,5	12327,2	1425,30	15502,82	13896,12	1606,70
PA-P68	22756,4	21111,9	1644,50	25652,67	23798,87	1853,80
PA-P69	12302,7	12170,6	132,10	13868,50	13719,59	148,91
PA-P70	21598,9	20788,7	810,20	24347,85	23434,53	913,32
PA-P71	22575,6	20535,3	2040,30	25448,86	23148,88	2299,97
PA-P72	13916,1	11876,3	2039,80	15687,24	13387,83	2299,41
PA-P73	5649	5541,5	107,50	6367,96	6246,78	121,18
PC-PB-P74	741695,2	697710,8	43984,40	836092,77	786510,36	49582,41
PC-P74	796799	693383,5	103415,50	898209,78	781632,31	116577,47
PA-P75	10946,1	10357,4	588,70	12339,24	11675,61	663,63
PA-P76	14599,8	12488,9	2110,90	16457,96	14078,40	2379,56
PA-P77	17307,2	16256,6	1050,60	19509,93	18325,62	1184,31
PA-P78	20118	19007,2	1110,80	22678,47	21426,30	1252,17
PA-P79	6759,7	6730	29,70	7620,03	7586,55	33,48
PA-P80	6741,4	6740,9	0,50	7599,40	7598,83	0,56
PA-P81	14764	12722,9	2041,10	16643,05	14342,18	2300,88
PA-P82	18081,1	17064,8	1016,30	20382,33	19236,68	1145,65
PA-P83	13884,6	12459,3	1425,30	15651,73	14045,03	1606,70
PA-P84	29871,1	27721,7	2149,40	33672,88	31249,92	2422,96
PA-P85	22209,2	20930,6	1278,60	25035,83	23594,49	1441,33
PA-P86	18930,7	17865,5	1065,20	21340,06	20139,29	1200,77
PA-P87	17670,9	16911,8	759,10	19919,92	19064,21	855,71
PA-P88	21572,8	20764,3	808,50	24318,43	23407,03	911,40
PA-P89	12893,5	11468,2	1425,30	14534,49	12927,79	1606,70
PA-P90	20871,9	19812,8	1059,10	23528,32	22334,43	1193,89
PA-P91	16471,2	14430,1	2041,10	18567,53	16266,66	2300,88
PA-P92	21444,7	20375,8	1068,90	24174,03	22969,08	1204,94
PA-P93	135134,7	119879	15255,70	152333,66	135136,33	17197,33
PA-P94	24955,1	22805,6	2149,50	28131,20	25708,13	2423,07
PA-P95	20275,1	19482,4	792,70	22855,57	21961,98	893,59
PA-P96	20242,5	19449,7	792,80	22818,82	21925,12	893,70
PA-P97	9448,8	9087,4	361,40	10651,37	10243,98	407,40
PA-P98	173793,3	155799	17994,30	195912,45	175627,96	20284,48
PA-P99	5001,7	4900	101,70	5638,28	5523,64	114,64

**CONTINUACION DE LA TABLA**

Tramos	Longitud Actual [M]	Longitud Optimizada [M]	Reducción de Distancia [M]	Costo de Combustible actual Bs.	Costo de Combustible Optimo Bs.	Reducción combustible Bs.
PA-P100	404597	390434,7	14162,30	456091,16	440126,39	15964,77
PA-P101	5850,7	5753,8	96,90	6595,33	6486,10	109,23
PA-P102	79254,9	77197,7	2057,20	89341,89	87022,86	2319,03
PA-P103	9482,3	8899	583,30	10689,14	10031,60	657,54
PA-P104	22499,2	21353,3	1145,90	25362,73	24070,99	1291,74
PA-P105	22499,2	21353,3	1145,90	25362,73	24070,99	1291,74
PA-P106	22499,2	21353,3	1145,90	25362,73	24070,99	1291,74
PA-P107	22499,2	21353,3	1145,90	25362,73	24070,99	1291,74
PA-P108	22499,2	21353,3	1145,90	25362,73	24070,99	1291,74
PA-P109	12849,4	11424,1	1425,30	14484,78	12878,08	1606,70
PA-P110	23676,6	21437,2	2239,40	26689,99	24165,57	2524,41
PA-P111	26887,4	24673,7	2213,70	30309,43	27813,99	2495,44
PA-P112	21042,9	19758,4	1284,50	23721,09	22273,11	1447,98
PA-P113	17022,3	16133,1	889,20	19188,77	18186,40	1002,37
PA-P114	12748,9	11323,6	1425,30	14371,49	12764,79	1606,70
PA-P115	19902	18796,8	1105,20	22434,98	21189,12	1245,86
PA-P116	20818,6	19804,9	1013,70	23468,24	22325,52	1142,72
PA-P117	11728,3	11203,5	524,80	13220,99	12629,40	591,59
PA-P118	13662,7	12237,4	1425,30	15401,59	13794,89	1606,70
PA-P119	2228,1	2151	77,10	2511,68	2424,76	86,91
PA-P120	18787,1	18035,7	751,40	21178,19	20331,15	847,03
PA-P121	10502,4	9913,7	588,70	11839,07	11175,44	663,63
PA-P122	7662,9	6889,6	773,30	8638,18	7766,46	871,72
PA-P123	62792	60740,5	2051,50	70783,71	68471,11	2312,60
PA-P124	28412,7	25702,7	2710,00	32028,86	28973,95	3054,91

*Fuente: Elaboración Propia*

## Anexo 19. Certificado de PASANTIA



La Paz, 26 de septiembre de 2023  
CERT-GTHC - DGPC-LP N° 090/2023

### CERTIFICADO DE PASANTÍA

La Gerencia del Talento Humano Corporativa de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB).

#### CERTIFICA:

Que, la Srta. TANIA THALIA RAMOS FERNANDEZ con Cédula de Identidad N° 10929865 LP, egresada de la carrera de Ingeniería Petrolera de la Universidad Mayor De San Andrés - UMSA - UMSA, realizó su pasantía en la Unidad de GLP a Granel de la Dirección de Comercialización dependiente de la Gerencia de Comercialización (GCOM) de YPFB.

Revisados los antecedentes y de acuerdo al Informe Final de Actividades de Pasantía, se evidencia que la pasantía se desarrolló en el período comprendido de 8/03/2023 al 7/09/2023 en el marco del Convenio Individual de Pasantías suscrito N° 041/2023.

YPFB, agradece a la Srta. Ramos, por el valioso aporte académico, el buen desempeño, la responsabilidad y el compromiso demostrando con la Empresa durante el tiempo de duración de su pasantía.

Es cuanto se certifica en honor a la verdad, para los fines que correspondan.

Atentamente,

Lic. Angélica Claret Huamán Carrillo  
COORDINADORA DE TALENTO HUMANO CORPORATIVO  
GTHC - PRS  
Y.P.F.B.

MCHC/LFMP/mml  
c.c.: Archivo  
HR YPFB-LP2-DAOC-URSG-49541/2023





**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS  
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3183/2024  
La Paz, 18 de octubre de 2024**

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **14 de octubre de 2024**, por **TANIA THALIA RAMOS FERNANDEZ** con **C.I. N° 10929865 LP**, con número de trámite **DA 1812/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"Mejoramiento de la Distribución de Gas Licuado de Petróleo mediante la Implementación de un Sistema Eficiente para la Unidad de GLP a Granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO:**

Que, en observación al Artículo 4º 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 16º 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 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º 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"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 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 N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena*



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani.  
Telfs.: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
N° 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 737,  
entre 16 de Julio y Antezana.  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 58,  
Zona 16 de Julio.  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Urriolagoitia,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avaroa  
Edif. Santa Clara, N° 243.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 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 N° 242,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf.: 72018160

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: **"Mejoramiento de la Distribución de Gas Licuado de Petróleo mediante la Implementación de un Sistema Eficiente para la Unidad de GLP a Granel de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos"** a favor de la autora y titular: **TANIA THALIA RAMOS FERNANDEZ** con **C.I. N° 10929865 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/lm

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI  
**CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO**  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS**  
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



P32Kt8Yt9Qs28L

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB [www.senapi.gob.bo/verificacion](http://www.senapi.gob.bo/verificacion) Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani.  
Telfs: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijaro,  
N° 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 737,  
entre 16 de Julio y Antezana.  
Telfs: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio.  
Telfs: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Umiolagoitia,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avaroa  
Edif. Santa Clara, N° 243.  
Telf: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 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 N° 242,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf: 72018160

**TANIA THALIA RAMOS FERNANDEZ**

**Celular:** 72097394

**Correo:** [ing.pet190495@gmail.com](mailto:ing.pet190495@gmail.com)