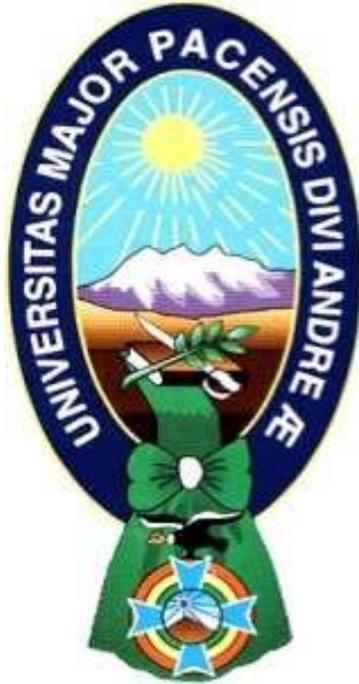


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA**



PROYECTO DE GRADO

**DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN CANALIZADA DE GLP POR
MEDIO DE TANQUES ESTACIONARIOS**

POSTULANTE: JUAN JOSUE ROJAS CHOQUE

TUTOR: ING. JIMMY ROLANDO GUILLEN ESPINOZA

LA PAZ – BOLIVIA

2022



**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

Con todo el cariño y amor a mi mamá Benita Choque Mendoza quien con su paciencia, esfuerzo y amor incondicional me ha permitido llegar a cumplir el objetivo de ser profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme salud, perseverancia y fuerza en todo momento para culminar el presente proyecto.

A mi querida familia que siempre me apoya y me motiva en cada etapa de mi vida.

A los profesionales, Ing. Alexander, Ing. Ronald, Ing. Freddy, Ing. Víctor, Lic. Carla, Ing. Jenny que me ayudaron y brindaron su experiencia, conocimiento y orientación para la realización del parte técnica y económica del presente trabajo.

A la Universidad Mayor de San Andrés y a los docentes de la carrera de Ingeniería Petrolera por sus enseñanzas en mi formación profesional.

A las instituciones como YPFB, ANH, Protank, Veloman, Inoxsupply, Vaporinox que me brindaron información esencial para la elaboración del presente proyecto.

A mi tutor Ing. Jimmy Guillen por haberme apoyado y guiado en la presentación de mi proyecto de grado.

RESUMEN

Los métodos de comercialización y distribución del GLP en el país se han mantenido sin ofrecer nuevas innovaciones, esto debido a que el gas natural se volvió el principal componente por norma. Sin embargo, hay bastantes localidades que no cuenta aún con gas natural domiciliario por su lejanía o su baja población, resultando dificultoso llegar a todos los hogares con una conexión de gas. Por tal motivo se busca proponer una solución mediante el presente proyecto de grado la cual tiene como objetivo principal realizar un diseño de una distribución canalizada por medio de tanques estacionarios tomando la localidad de Palca como lugar de estudio. El trabajo se realizó a través de una investigación cuantitativa con datos obtenidos por cálculo o criterios de validación. Donde primeramente se realiza la obtención de parámetros físicos y químicos del GLP claves para el diseño, luego se selecciona la cantidad y autonomía que ofrecen los tanques en base al caudal de consumo que se tendrá hasta el año 2031, posteriormente se calcula parámetros de diseño que deben cumplir dichos tanques. Todo esto se plasma en un PFD para el área de tanques y sus conexiones. También se tomó en cuenta factores de seguridad como el área mínima, distancias permitidas y un método de extinción contraincendios para los tanques. Por otra parte, se tiene el diseño de las redes de distribución que se encuentran interconectadas por PE enterrado. Utilizando Google Earth y AutoCAD para el trazado de la red, luego se usó el CypeCAD para realizar la simulación en base a parámetros establecidos y su posterior compensación de caudales en los nudos de consumo. Igualmente, todo esto se plasma en un plano hidráulico para la red de distribución. Por último, se realizó un esquema de distribución logística y se consideró una ruta mínima viable para la reposición del combustible. Para la parte económica se calculó el VAR y TIR en función a los materiales y actividades referenciales para la inversión inicial que el proyecto necesita. Finalmente se elaboró conclusiones y recomendaciones que reflejan las ventajas y desventajas del proyecto.

ABSTRACT

LPG marketing and distribution methods in the country have remained unchanged, without offering new innovations, because natural gas has become the main component as a rule. However, there are many localities that still do not have domestic natural gas due to their remoteness or low population, making it difficult to reach all households with a gas connection. For this reason, I seek to propose a solution through this degree project whose main objective is to design a channeled distribution through stationary tanks, taking the town of Palca as a study site. The work was carried out through quantitative research with data obtained by calculation or validation criteria. First, the physical and chemical parameters of LPG key to the design were obtained, then the quantity and autonomy offered by the tanks were selected based on the consumption flow that will be available until 2031, and then the design parameters that the tanks must meet were calculated. All this is reflected in a PFD for the area of tanks and their connections. Safety factors such as minimum area, allowable distances and a fire extinguishing method for the tanks were also considered. On the other hand, we have the design of the distribution networks that are interconnected by buried PE. Using Google Earth and AutoCAD for the network layout, then CypeCAD was used to perform the simulation based on established parameters and subsequent compensation of flow rates at the consumption nodes. Likewise, all this is reflected in a hydraulic plan for the distribution network. Finally, a logistic distribution scheme was developed and a minimum viable route for fuel replenishment was considered. For the economic part, the VAR and IRR were calculated based on the materials and reference activities for the initial investment required by the project. Finally, conclusions and recommendations reflecting the advantages and disadvantages of the project were drawn.

INDICE

CAPITULO I CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	2
1.3.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TECNICA.....	4
1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONOMICA	5
1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	5
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO	5
1.6.1. ALCANCE TEMATICO	5
1.6.2. ALCANCE GEOGRAFICO	6
1.6.3. ALCANCE TEMPORAL.....	6
1.6.4. ALCANCE LEGAL	6
CAPITULO II GENERALIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN DE GLP CANALIZADO POR REDES	7
2.1. CARACTERISTICAS DEL GAS LICUADO DE PETROLEO.....	7
2.1.1. COMPOSICIÓN DEL GLP.....	7
2.1.2. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL GLP.....	8
2.1.2.1. PODER CALORIFICO	9

2.1.2.2.	GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	10
2.1.2.3.	FACTOR DE COMPRESIBILIDAD.....	11
2.1.2.4.	PRESIÓN DE VAPOR.....	13
2.1.2.5.	INFLAMABILIDAD	15
2.1.2.6.	ESTADO LIQUIDO Y GASEOSO.....	16
2.1.3.	OBTENCIÓN DEL GLP	17
2.1.3.1.	GLP POR PROCESOS DE REFINACIÓN.....	17
2.1.3.2.	GLP POR SEPARACIÓN DE LIQUIDOS DEL GAS NATURAL	19
2.1.4.	USOS Y VENTAJAS DEL GLP	20
2.1.4.1.	SECTOR INDUSTRIAL	20
2.1.4.2.	SECTOR DOMESTICO	21
2.1.5.	GAS LICUADO DE PETROLEO EN BOLIVIA.....	22
2.1.5.1.	VOLUMENES DE PRODUCCIÓN	22
2.1.6.	COSUMO DE GLP.....	23
2.2.	TANQUES DE ALMACENAJE DE GLP.....	24
2.2.1.	TIPOS DE TANQUES.....	25
2.2.1.1.	TANQUES VERTICALES	25
2.2.1.2.	TANQUES HORIZONTALES	26
2.2.2.	PARTES DE UN TANQUE DE GLP.....	27
2.2.2.1.	CUBIERTA.....	27
2.2.2.2.	CABEZALES.....	28
2.2.2.3.	SOPORTE.....	28
2.2.2.4.	CONEXIONES	28
2.2.2.5.	PLACA DE IDENTIFICACIÓN.....	29
2.2.3.	PARAMETROS DE DISEÑO DE TANQUES A PRESIÓN.....	30

2.2.4.	ACCESORIOS DE UN TANQUE DE GLP.....	32
2.2.4.1.	VÁLVULA DE LLENADO.....	33
2.2.4.2.	VÁLVULA DE ALIVIO POR EXCESO DE PRESIÓN.....	33
2.2.4.3.	VÁLVULA DE EXCESO DE FLUJO.....	34
2.2.4.4.	VÁLVULA ANTIRRETORNO.....	34
2.2.4.5.	VALVULA DE CORTE.....	35
2.2.4.6.	VÁLVULA DE DRENAJE.....	35
2.2.4.7.	MULTIVÁLVULA.....	36
2.2.4.8.	INDICADOR DE NIVEL.....	36
2.2.4.9.	MANÓMETRO.....	39
2.2.4.10.	TERMÓMETRO.....	39
2.2.5.	EQUIPOS DE TRASVASE.....	40
2.2.5.1.	EQUIPOS DE TRASVASE CON BOMBA.....	40
2.2.5.2.	EQUIPOS DE TRASVASE CON COMPRESOR.....	41
2.2.6.	EQUIPO DE VAPORIZACIÓN.....	42
2.2.6.1.	TIPOS DE VAPORIZACIÓN.....	42
2.2.6.1.1.	VAPORIZACIÓN NATURAL.....	43
2.2.6.1.2.	VAPORIZACIÓN FORZADA.....	43
2.2.6.2.	TIPOS DE VAPORIZADORES.....	43
2.2.6.2.1.	VAPORIZADORES DE FUEGO DIRECTO.....	44
2.2.6.2.2.	VAPORIZADORES ELÉCTRICOS.....	44
2.2.6.2.3.	VAPORIZADORES INDIRECTOS.....	44
2.2.6.2.4.	VAPORIZADORES DE BAÑO MARÍA.....	45
2.2.7.	SEGURIDAD EN EL MANEJO DE GLP.....	45
2.2.7.1.	SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE DE GLP POR CISTERNAS.....	45

2.2.7.1.1.	PROTECCIÓN A DAÑOS POR ACCIDENTE	45
2.2.7.1.2.	PARACHOQUES TRASERO	46
2.2.7.1.3.	IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	46
2.2.7.2.	SEGURIDAD EN LA CARGA DEL GLP EN TANQUES FIJOS	47
2.2.7.3.	DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE LOS TANQUES DE GLP	48
2.2.7.4.	EQUIPOS DE SEGURIDAD	51
2.2.7.4.1.	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA	51
2.2.7.4.2.	PUESTA A TIERRA	51
2.2.7.4.3.	PARARRAYOS	52
2.2.7.4.4.	BARRERAS CONTRA CHOQUES	52
2.2.7.4.5.	EXTINTORES	52
2.2.7.4.6.	EQUIPOS DE DETECCIÓN DE FUGAS	52
2.2.7.5.	SEÑALIZACIÓN DEL GLP	53
2.2.8.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TANQUES	54
2.2.8.1.	AUTONOMÍA DE LA INSTALACIÓN	55
2.2.8.2.	CAPACIDAD DE VAPORIZACIÓN	56
2.3.	SISTEMA DE DISTRIBUCION POR REDES	56
2.3.1.	TIPOS DE REDES	57
2.3.1.1.	RED PRIMARIA	57
2.3.1.2.	RED SECUNDARIA	58
2.3.2.	INSTALACIONES DOMICILIARIAS	59
2.3.2.1.	ACOMETIDA DE GAS	59
2.3.3.	COMPONENTES Y ACCESORIOS PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN	60
2.3.3.1.	TUBERIAS DE ACERO	60
2.3.3.1.1.	TUBOS DE ACERO NEGRO	62

2.3.3.2.	TUBERIAS DE POLIETILENO.....	62
2.3.3.3.	VÁLVULAS O LLAVES DE BLOQUEO.....	64
2.3.3.3.1.	TIPOS DE VALVULA DE PASO	65
2.3.3.4.	OTROS ACCESORIOS	67
2.3.3.4.1.	CODOS.....	68
2.3.3.4.2.	TEES.....	69
2.3.3.4.3.	UNIONES Y BRIDAS	69
2.3.3.4.4.	REDUCTODES.....	70
2.3.3.4.5.	TAPONES.....	70
2.3.4.	UNIÓN DE TUBERIAS	71
2.3.4.1.	MÉTODOS DE UNIÓN PARA POLIETILENO.....	71
2.3.4.1.1.	TERMOFUSIÓN	72
2.3.4.1.2.	ELECTROFUSIÓN	73
2.3.4.2.	METODOS DE UNIÓN PARA ACERO	75
2.3.4.2.1.	UNIONES POR SOLDEO	75
2.3.4.2.2.	UNIONES MEDIANTE SISTEMAS MECANICOS.....	76
2.3.5.	CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE RUTAS DE TRAZADO	77
2.3.5.1.	SECCIONAMIENTO DE LA RED.....	79
2.3.5.2.	PRESIONES DE SUMINISTRO.....	79
2.3.5.3.	VELOCIDADES DEL GAS DENTRO DE LA TUBERÍA.....	81
2.3.5.4.	NÚMERO DE USUARIOS PARA NUDO DE CONSUMO.....	82
2.3.6.	PERDIDA DE CARGA.....	83
2.3.6.1.	TIPOS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS	83
CAPITULO III DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO DE PETROLEO POR REDES EN LA LOCALIDAD DE PALCA		85

3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD.....	85
3.2.	ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DE GLP EN BOLIVIA.....	86
3.2.1.	CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO.....	86
3.2.2.	CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA	88
3.2.3.	CÁLCULO DEL FACTOR DE COMPRESIBILIDAD	89
3.3.	CÁLCULO DE DEMANDA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO	91
3.3.1.	CRECIMIENTO POBLACIONAL DE PALCA.....	92
3.3.2.	CONSUMO DOMÉSTICO	93
3.3.3.	CONSUMO COMERCIAL.....	95
3.3.4.	CONSUMO TOTAL.....	96
3.4.	ANÁLISIS DE LOS TANQUES ESTACIONARIOS.....	96
3.4.1.	CAPACIDADES NOMINALES DE TANQUES.....	97
3.4.2.	TEMPERATURA DEL GLP	98
3.4.3.	PRESIONES DE VAPORIZACIÓN DEL GLP	99
3.4.4.	CÁLCULO DE LOS FACTORES DE VAPORIZACIÓN.....	103
3.4.5.	CÁLCULO DE LA AUTONOMÍA DE TANQUES.....	106
3.4.6.	ESPEORES MÍNIMOS Y PRESIONES MÁXIMAS DE LOS TANQUES.....	109
3.4.6.1.	CÁLCULO DE LOS ESPEORES	109
3.4.6.2.	CÁLCULO DE LAS PRESIONES MÁXIMAS ADMISIBLES.....	112
3.4.7.	UBICACIÓN DE LOS TANQUES.....	114
3.4.8.	SISTEMAS DE SEGURIDAD EN EL ÁREA DE TANQUES.....	115
3.4.8.1.	ÁREA MÍNIMA PARA ALMACENAJE.....	116
3.4.8.2.	DISTANCIAS DE SEGURIDAD.....	116
3.4.8.3.	SISTEMAS CONTRA INCENDIOS	117
3.4.9.	SELECCIÓN DE VAPORIZADORES.....	120

3.4.10.	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE TANQUES.....	121
3.5.	DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP CANALIZADO.....	122
3.5.1.	TIPOS DE TUBERIAS EMPLEADOS	122
3.5.2.	TRAZADO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP	123
3.5.3.	PARÁMETROS BASE PARA EL CÁLCULO	125
3.5.4.	COMPENSACIÓN DE CAUDALES EN LOS NUDOS.....	126
3.5.5.	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP.....	129
3.5.6.	RESULTADOS DEL ANALISIS HIDRAULICO POR CYPECAD.....	130
3.5.6.1.	ANÁLISIS DEL PLANO HIDRAULICO DE DISTRIBUCIÓN DE GLP	132
3.5.7.	ACOMETIDAS E INSTALACIONES INTERNAS DE GLP	133
3.6.	CADENA LOGISTICA DE SUMINISTRO DE GLP	135
3.6.1.	RUTA MINIMA VIABLE DE REPOSICIÓN DE GLP.....	136
CAPITULO IV ANALISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.....		139
4.1.	COSTOS DE INVERSIÓN.....	139
4.2.	INGRESOS POR VENTAS.....	142
4.3.	INDICADORES DE EVALUACIÓN ECONOMICA.....	144
4.3.1.	VALOR ACTUAL NETO	144
4.3.2.	TASA INTERNA DE RETORNO	145
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		147
5.1.	CONCLUSIONES	147
5.2.	RECOMENDACIONES.....	149
BIBLIOGRAFIA.....		152
ANEXOS		164

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ESTRUCTURAS MOLECULARES DEL GLP	8
FIGURA 2.2. GRAVEDAD ESPECIFICA DE GLP LIQUIDO A 15 °C	10
FIGURA 2.3. GRAVEDAD ESPECIFICA DE GLP VAPOR A 15 °C	11
FIGURA 2.4. RANGO DE INFLAMABILIDAD DEL GLP	16
FIGURA 2.5. CAMBIO DE VOLUMEN DE GLP SEGÚN SU ESTADO	16
FIGURA 2.6. GLP OBTENIDO POR LA REFINACIÓN DEL PETROLEO.....	18
FIGURA 2.7. GLP OBTENIDO POR LA SEPARACIÓN DE LIQUIDOS DEL GAS NATURAL..	19
FIGURA 2.8. BALANZA COMERCIAL DE GLP	22
FIGURA 2.9. OFERTA Y DEMANDA DEL GLP	23
FIGURA 2.10. CONTROL DE CALIDAD DE TANQUES VERTICALES.....	26
FIGURA 2.11. ALMACEN DE TANQUES HORIZONTALES	27
FIGURA 2.12. ACCESORIOS DE UN TANQUE A PRESIÓN PARA GLP	32
FIGURA 2.13. VALVULA DE LLENADO.....	33
FIGURA 2.14. VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN.....	34
FIGURA 2.15. VÁLVULA DE EXCESO DE FLUJO.....	34
FIGURA 2.16. VÁLVULA ANTIRRETORNO.....	35
FIGURA 2.17. VÁLVULA DE CORTE	35
FIGURA 2.18. VÁLVULA DE DRENAJE.....	36
FIGURA 2.19. MULTIVÁLVULA.....	36
FIGURA 2.20. INDICADOR DE NIVEL MAGNETICO CON FLOTADOR.....	37
FIGURA 2.21. INDICADOR DE NIVEL ROTATIVO	37
FIGURA 2.22. INDICADOR DE NIVEL DE TUBO DESLIZANTE	38
FIGURA 2.23. INDICADOR DE NIVEL DIGITAL MULTIPLE	38
FIGURA 2.24. MANÓMETRO PARA TANQUES	39

FIGURA 2.25. TERMOMETRO BIMETÁLICO.....	40
FIGURA 2.26. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE TRASVASE MEDIANTE UNA BOMBA.....	41
FIGURA 2.27. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE TRASVASE MEDIANTE UNA COMPRESORA.....	42
FIGURA 2.28. PICTOGRAMAS PARA LA SEÑALIZACIÓN DEL GLP	53
FIGURA 2.29. PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DEL GAS.....	59
FIGURA 2.30. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DOMESTICA DE GAS.....	60
FIGURA 2.31. TUBOS DE ACERO NEGRO Y GALVANIZADO.....	61
FIGURA 2.32. TUBOS DE POLIETILENO.....	63
FIGURA 2.33. VÁLVULA DE BOLA.....	65
FIGURA 2.34. VÁLVULA MARIPOSA.....	66
FIGURA 2.35. VÁLVULA DIAFRAGMA.....	66
FIGURA 2.36. VÁLVULA DE COMPUERTA	67
FIGURA 2.37. SISTEMA DE TERMOFUSIÓN	73
FIGURA 2.38. SISTEMA DE ELECTROFUSIÓN	74
FIGURA 3.1. VISTA SATELITAL DE PALCA	85
FIGURA 3.2. ESQUEMA POBLACIONAL DE PALCA.....	91
FIGURA 3.3. ESQUEMA DE VOLUMEN UTIL DE ALMACENAMIENTO DE GLP	97
FIGURA 3.4. TEMPERATURAS MENSUALES DE PALCA.....	99
FIGURA 3.5. PRESIÓN DE VAPOR VS TEMPERATURA	101
FIGURA 3.6. VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DE TANQUES.....	115
FIGURA 3.7. DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA LOS TANQUES DE GLP.....	117
FIGURA 3.8. TRAZADO DE RUTA DE DISTRIBUCIÓN	124
FIGURA 3.9. DISTRIBUCIÓN DE LONGITUDES EN UN NUDO.....	127
FIGURA 3.10. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE USO DOMICILIARIO	134

FIGURA 3.11. ESQUEMA DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE GLP..... 136

FIGURA 3.12. RUTAS DE RECARGA DE GLP POR CISTERNAS 137

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1. PROPIEDADES DEL GLP EN BOLIVIA	8
TABLA 2.2. PRESIÓN DE VAPOR DE MEZCLAS DE GLP	14
TABLA 2.3. DISTANCIAS DE TANQUES HACIA LOS EDIFICIOS Y LINDEROS.....	49
TABLA 2.4. DISTANCIAS ENTRE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO Y CONEXIÓN DE LLENADO A LAS ABERTURAS	49
TABLA 2.5. DISTANCIAS ENTRE GRUPO DE TANQUES	50
TABLA 2.6. DISTANCIAS ENTRE LOS PUNTOS DE RIESGO	50
TABLA 3.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE PALCA.....	86
TABLA 3.2. CROMATOGRAFÍA DE GLP	86
TABLA 3.3. CÁLCULO DE PODER CALORIFICO SUPERIOR E INFERIOR.....	87
TABLA 3.4. CÁLCULO DE PESO MOLECULAR APARENTE.....	88
TABLA 3.5. CÁLCULO DE PROPIEDADES CRITICAS DEL GLP	89
TABLA 3.6. INDICADORES DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DE PALCA	91
TABLA 3.7. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE PALCA HASTA 2031	92
TABLA 3.8. PARAMETROS DE CÁLCULO DE CONSUMO DOMESTICO	94
TABLA 3.9. PROYECCIÓN DE CONSUMO DOMESTICO HASTA 2031	94
TABLA 3.10. CAPACIDADES NOMINALES PARA TANQUES DE GLP.....	97
TABLA 3.11. CAPACIDADES DE TANQUES EN PORCENTAJE DE MASA	98
TABLA 3.12. TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PALCA	99
TABLA 3.13. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN DE C ₃ , C ₄ Y LA MEZCLA.....	100
TABLA 3.14. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN A 0 C	101
TABLA 3.15. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN A 11 C	102
TABLA 3.16. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN A 20 C	102
TABLA 3.17. FACTORES DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA F	103

TABLA 3.18. FACTORES DE PORCENTAJE DE LLENADO K	104
TABLA 3.19. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN PARA 0 C Y 20% DE LLENADO.....	105
TABLA 3.20. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN PARA 20 C Y 85% DE LLENADO.....	105
TABLA 3.21. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN PARA 11 C Y 50% DE LLENADO.....	106
TABLA 3.22. AUTONOMIA DE TANQUES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN	108
TABLA 3.23. COODENADAS GEOGRÁFICAS DE LA UBIACIÓN DE TANQUES	114
TABLA 3.24. AREAS MINIMAS PARA ALMACENAR TANQUES DE GLP.....	116
TABLA 3.25. DISTANCIAS DE SEGURIDAD EN BASE A NFPA 58.....	117
TABLA 3.26. CLASIFICACIÓN DE EXTINTORES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN.....	118
TABLA 3.27. CANTIDAD REQUERIDA DE EXTINTORES PARA EL PROYECTO	119
TABLA 3.28. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN DE ALGAS-SDI.....	120
TABLA 3.29. CARACTERISTICAS DE TUBERIAS UTILIZADAS.....	122
TABLA 3.30. REPRESANTACIÓN DE CODIGO DE COLORES PARA TRAZADO DE REDES	123
TABLA 3.31. BASE DE CALCULO PARA EL DISEÑO.....	125
TABLA 3.32. DATOS PARA CALCULAR EL CAUDAL EN NUDOS.....	128
TABLA 3.33. CONDICIONES CRITICAS DEL SISTEMA DE RED DE GLP	131
TABLA 3.34. LONGITUDES Y DIÁMETROS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TUBERÍA...	131
TABLA 3.35. DISTANCIA, TIEMPO Y VELOCIDAD DE LAS RUTAS.....	137
TABLA 4.1. COSTOS DE AREA DE TANQUES Y CONEXIONES	139
TABLA 4.2. COSTOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN	140
TABLA 4.3. COSTOS POR ACTIVIDADES.....	141
TABLA 4.4. CONSUMOS DE GLP EN KILOGRAMOS AÑO	143
TABLA 4.5. INGRESOS ANUALES POR VENTA DE GLP.....	143
TABLA 4.6. FLUJO DE CAJA ANUAL	144

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CÁLCULO DE CAUDALES DE CONSUMO POR NUDO.....	165
ANEXO B. MEMORIA DE CALCÚLO.....	169
ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE TANQUES DE GLP.....	180
ANEXO D. ESQUEMA DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP.....	181
ANEXO E. PLANO HIDRAULICO DE DISTRIBUCIÓN DE GLP.....	182

CAPITULO I CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

En Bolivia se exportaba Gas Natural con contenido de líquido esto debido a que no se contaba con plantas de separación de líquidos, la cual afectaba económicamente al país, por tal motivo se vio la necesidad de construir dichas plantas para maximizar los recursos gasíferos.

En los últimos años YPFB incrementó la producción del volumen de Gas Licuado de Petróleo (GLP) con la puesta en marcha de las Plantas Separadoras de Líquidos Rio Grande y Carlos Villegas, obteniendo un autoabastecimiento y excedentes en todo el país. Esto permitió la exportación del GLP hacia los países del Perú, Paraguay y Brasil; generando ingresos económicos y desarrollo a Bolivia.

Existen zonas donde aún no se llega con la Red de Distribución de Gas Natural Domiciliario debido a su baja densidad poblacional o que se encuentren muy distantes, en el cual se tiene como una posibilidad y oportunidad la distribución del GLP domiciliario por redes a través de tanques fijos.

En este proyecto se diseñará una red de distribución de GLP a granel por medio de tanques estacionarios dispuestos de forma estratégica y se distribuirá por medio de una red secundaria de polietileno, hacia los domicilios.

Analizando los costos e ingresos que implicaran en el proyecto. Logrando así subsanar una necesidad y mejorando la calidad de vida de aquellas personas que no cuentan con una conexión de gas natural domiciliario de una manera rentable y eficiente.

1.2. ANTECEDENTES

Los hidrocarburos son un componente muy importante de la historia en Bolivia. Si bien el país ha estado históricamente ligado a la explotación de minerales, a través del descubrimiento

de zonas con contenido de gas natural se logró activar más la economía del país. Pero este proceso resultó ser altamente variable, con las privatizaciones, nacionalizaciones y procesos de cambio de políticas en relación con este sector.

La nacionalización del 2006 fue un punto de inflexión para el sector petrolero, logrando la recuperación de los hidrocarburos por parte del estado favoreciendo con un mayor porcentaje de regalías al tesoro general de la nación.

Asimismo, genero inversiones y proyectos por parte de YPFB, entre los cuales se logró la implementación de las Plantas Separadoras de Líquidos de Río Grande, Santa Cruz (inversión \$us191 millones) y Carlos Villegas de Gran Chaco, Tarija (inversión \$us695 millones). Por otro lado, si sumamos lo que se hubiera erogado por la importación (\$us710 millones), más los ingresos generados por la exportación (\$us194 millones), son \$us904 millones; es decir la inversión en ambas plantas fue cubierta en su totalidad.

Donde estas plantas extraen los “líquidos” de la corriente de gas natural de exportación a Brasil y Argentina, para la producción de GLP tanto así para su exportación y su consumo interno(garrafas).

El GLP en parte fue la principal matriz energética de los hogares bolivianos por bastantes años y que ahora está siendo reemplazado en gran parte por el gas natural, pero no deja de ser una alternativa para ser utilizado en proyectos que generen mayor beneficio y desarrollo al país.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Se tiene alrededor del 58 % de la población del país que no cuenta con conexión de gas domiciliario debido a diferentes factores, pero se tiene como objetivo nacional llegar a la mayor cantidad de familias posibles con una conexión de gas domiciliario, esto abre oportunidades a

más proyectos futuros, como el uso de GLP por redes iguales a la de red de gas natural ofreciendo también un sistema ininterrumpido de gas.

1.3.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Las zonas sin conexiones de redes de gas domiciliario en localidades alejadas y pequeñas del país vienen a ser una problemática para ser mejorada por parte del estado con proyectos entre los cuales podemos destacar la distribución de Gas Licuado de Petróleo por redes a través de tanques estacionarios y así mejorar la calidad de vida de las personas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una distribución de GLP canalizado a partir de tanques estacionarios por medio de redes de distribución en la localidad de Palca del departamento de La Paz.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la normativa vigente y normativa internacional para su aplicación.
- Calcular el consumo total de GLP de la localidad de Palca en base al DS. 1996 y sus anexos.
- Analizar y calcular las condiciones de Presión, Temperatura, Factor de Vaporización del GLP.
- Seleccionar los tanques estacionarios según la autonomía y el consumo requerido por la localidad en base al D.S. N° 3269, NFPA 58, Reglamento para la distribución de GLP a Granel RAN-ANH N° 006/2016 y manuales de instalación de GLP.

- Calcular parámetros de diseño en función al tamaño de los tanques utilizando el ASME VIII división 1.
- Ubicar la posición de los tanques en la localidad de manera estratégica para su distribución.
- Seleccionar parámetros de seguridad para el sistema de tanques.
- Diseñar el diagrama de flujo de proceso para la carga y distribución en la zona de almacenamiento de tanques.
- Diseñar la red de Distribución de GLP para el Municipio de Palca, por medio del D.S. N° 1996 y sus anexos, utilizando el software de Cypecad.
- Diseñar el plano hidráulico de la de la red de distribución con sus debidos caudales y diferenciales de presión.
- Seleccionar la ruta viable para la reposición del GLP en tanques estacionarios.
- Realizar un análisis económico por medio de indicadores de evaluación (VAR y TIR).
- Realizar recomendaciones y conclusiones una vez concluida con el diseño para su aplicación como alternativa de distribución de GLP.

1.5. JUSTIFICACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN TECNICA

En todo el territorio nacional se llegó a más del millón de conexiones de Gas Natural Domiciliario, sin embargo, existen zonas alejadas y pequeñas a las que aún no se llegó con Gas Natural, por lo tanto, surge como alternativa la distribución de Gas Propano-Butano por redes a través de la instalación de tanques fijos según la demanda requerida de la población.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

Los gastos implicados al instalar tanques y sus accesorios de GLP para su distribución por un enmallado de red de polietileno común; son menores comparados con una estación de regasificación de GNL o de la prolongación de una red primaria de gas natural a zonas donde la topografía o la distancia sea inviable económicamente. Por tal motivo el proyecto que se presenta se hace menos costoso y más viable.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Según la Constitución Política del Estado en su artículo 20 la cual garantiza el derecho a los servicios básicos a las personas en todo el territorio boliviano, así como en su artículo 360 donde señala que el estado promoverá su desarrollo integral, sustentable, equitativo, garantizando la soberanía energética.

También la Ley de Hidrocarburos en su artículo 9 señala que se tiene como política nacional promover e incentivar el consumo de hidrocarburos en todos los sectores de la sociedad; justificando así aquellas familias que no cuenten con una conexión de Gas Natural, puedan gozar con un sistema de distribución alternativo como lo es el GLP canalizado como suministro continuo.

1.6. ALCANCE DEL PROYECTO

1.6.1. ALCANCE TEMATICO

En el presente proyecto se tiene como finalidad enfocarse en el diseño técnico de red de distribución desde los tanques hasta la distribución por cuadras y los volúmenes que se requerirán para la selección de tanques, así como el consumo que se tendrá de manera mensual

por los próximos años en la localidad de estudio; también se analizará los costos de inversión que se tendrán.

1.6.2. ALCANCE GEOGRAFICO

El proyecto será enfocado en la comercialización de GLP a Granel por medio de Redes de Gas en el área del altiplano específicamente en la localidad de Palca del departamento de La Paz la cual no cuenta con red de distribución de gas natural domiciliario.

1.6.3. ALCANCE TEMPORAL

El periodo comprendido en la elaboración del proyecto está estipulado desde la aprobación del perfil del proyecto y será terminado antes de la conclusión de la gestión 2021, el cual tendrá un tiempo de validez de propuesta hasta 10 años una vez concluido el proyecto debido al crecimiento poblacional que se tiene en la localidad.

1.6.4. ALCANCE LEGAL

Se tendrá como guía para el desarrollo del proyecto el Decreto Supremo N 1996 "Reglamento de diseño, construcción, operación de redes de gas natural e instalaciones internas"; Reglamento para la Distribución de GLP a Granel RAN-ANH-UN N 006/2016; Anexos 1 al 7 del Decreto Supremo N 1996; Decreto Supremo N 3269 "Reglamento para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y abandono de plantas de almacenaje de hidrocarburos líquidos". También se utilizará normativa internacional como la NFPA 58 y otros como referencia según se desarrolle el proyecto. Actualmente no existe normativa específica en el país para las implementaciones de este tipo de unidades de distribución por lo que este proyecto podrá servir como una base para realizar una normativa regulatoria para futuros proyectos.

CAPITULO II GENERALIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN DE GLP CANALIZADO POR REDES

2.1. CARACTERISTICAS DEL GAS LICUADO DE PETROLEO

El GLP es fundamentalmente una combinación de moléculas de propano y butano, con trazas de otros compuestos. El GLP es incoloro e inodoro. Se le añade un agente fuertemente “odorizantes” para detectar con facilidad cualquier fuga, por pequeña que sea. En condiciones normales de temperatura, el GLP es un gas. Cuando se somete a presiones moderadas o se enfría, se transforma en líquido. En estado líquido, se transporta y almacena con facilidad. Una vez enfriado o presurizado, el GLP suele almacenarse en contenedores de acero o aluminio. (The World LPG Association, 2015)

2.1.1. COMPOSICIÓN DEL GLP

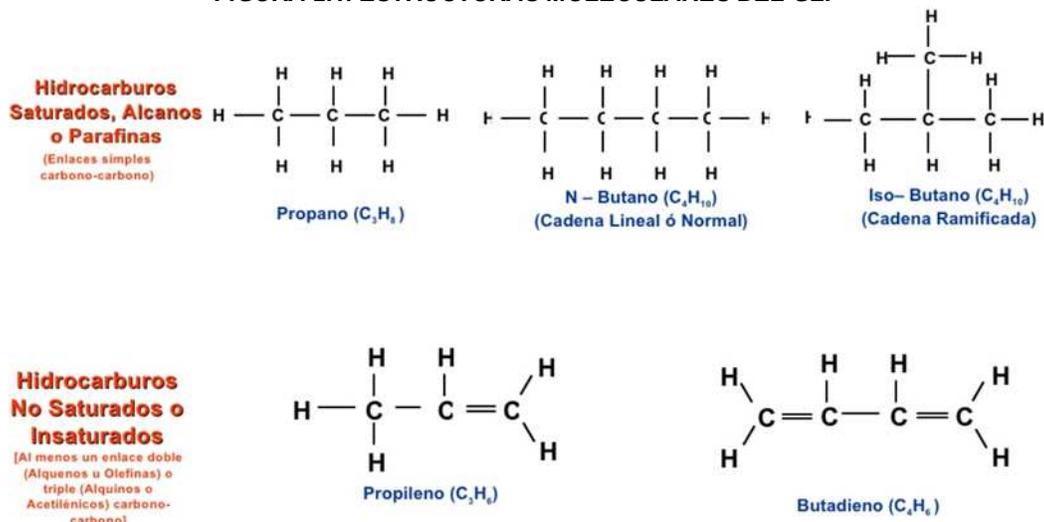
El GLP puede ser propano o butano solo o estar compuesto por la mezcla de hidrocarburos C_3H_8 y C_4H_{10} . La composición del GLP en zonas donde las temperaturas son en promedio altas, el GLP está compuesto de mayor porcentaje de C_4H_{10} (abutanado), mientras en las zonas donde las temperaturas son en promedio bajas, el GLP está compuesto de mayor porcentaje de C_3H_8 (apropanado). (Osinergmin, 2011)

Las principales diferencias entre el propano y el butano son:

- El propano tiene mayor presión de vapor que el butano a una temperatura determinada.
- El propano se vaporiza a temperaturas por encima de $-44\text{ }^{\circ}\text{F}$ a presión atmosférica.
- El butano no vaporiza adecuadamente a una temperatura por debajo de los $32\text{ }^{\circ}\text{F}$.
- Cuando se produce una combustión, el propano produce menos calor en comparación con la misma cantidad de gas butano.

- Un galón de gas propano pesa menos que un galón de gas butano. (Osinergmin, 2011)

FIGURA 2.1. ESTRUCTURAS MOLECULARES DEL GLP



FUENTE: (Osinergmin, 2011)

2.1.2. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL GLP

Se muestra las propiedades del GLP en Bolivia, así como los métodos ASTM para su medición.

TABLA 2.1. PROPIEDADES DEL GLP EN BOLIVIA

PRUEBA	ESPECIFICACIONES		UNIDAD	METODO ASTM	
	MIN.	MAX.		Altern. 1	Altern. 2
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	0,52	0,57		D-1657	D-2598
Tensión de vapor a 100°F(38°C)	80	170	psig	D-1267	D-2598
Residuo volátil, 95% vol.		2,2 (36)	°C (°F)	D-1837	
Pentano y más pesados		2	% vol.	D-2163	
Residuo por evaporación 100 ml.		0,05	ml.	D-2158	
Corrosión lámina de cobre		1		D-1838	
Azufre total (*)		200	ppm/p	D-2784	
Humedad	Cumple			D-2713	
Poder calorífico superior	Informar		BTU/lb	D-3588	
Contenido de etano		3	% Vol	D-2163	

FUENTE: (ANH, 2014)

2.1.2.1. PODER CALORIFICO

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor que se obtiene tras su combustión. Durante la combustión, la energía química del combustible se transforma en energía térmica, la cual se transfiere en forma de calor. (Selectra, 2020)

Con respecto al poder de calorífico de los componentes del Gas Licuado de Petróleo se tiene lo siguiente:

- Butano comercial, el poder calorífico inferior (P.C.I.) es: 10.938 Kcal/Kg y el poder calorífico superior (P.C.S.) es: 11.867Kcal/Kg.
- Propano comercial, el poder calorífico inferior (P.C.I.) es: 11.082 Kcal/Kg y el poder calorífico superior (P.C.S.) es: 12.052 Kcal/Kg.

De forma aproximada, 1 Kg de propano equivale a la energía proporcionada por: 1,24 m³ de gas natural; 1,20 L de fuel-oíl; 1,30 L de gas oíl; 3 a 6 Kg de leña; 14 kWh de electricidad; a 2 Kg de carbón. (Gobierno de España-MITECO, 2020)

Para el cálculo del Poder Calorífico Superior de una mezcla de componentes, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$PCS = \sum Y_i * PCS_i \quad (1)$$

Donde:

Y_i = Fracción Molar de Componente

PCS_i = Poder Calorífico Superior ideal de componente

PCS = Poder Calorífico Superior ideal de la mezcla

Igualmente se tiene la siguiente ecuación para el cálculo del Poder Calorífico Inferior de una mezcla de componentes:

$$PCI = \sum Y_i * PCI_i \quad (2)$$

Donde:

Y_i = Fracción Molar de Componente

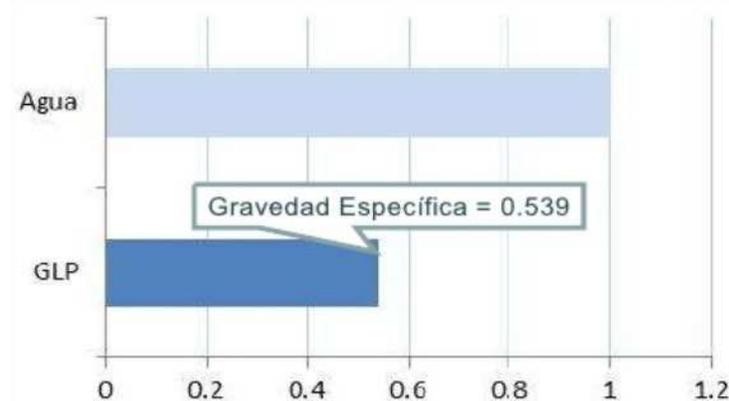
PCI_i = Poder Calorífico Inferior ideal de componente

PCI = Poder Calorífico Inferior ideal de la mezcla (Hidnay & Parrish, 2006)

2.1.2.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica de un líquido es la comparación entre el peso de un volumen dado de un líquido a cierta temperatura, con el peso del mismo volumen de agua a la misma temperatura. El GLP líquido tiene una gravedad específica promedio de 0,539. Esto significa que para un mismo volumen el GLP líquido pesa un poco más de la mitad del peso del agua a 15 °C. (Osinermin, 2011)

FIGURA 2.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE GLP LIQUIDO A 15 °C



FUENTE: (Osinermin, 2011)

La gravedad específica de un vapor es la comparación entre el peso de un volumen dado de un vapor a cierta temperatura y con el peso del mismo volumen de aire a la misma temperatura. El GLP vapor tiene una gravedad específica promedio de 1,716. Esto significa que, para un mismo volumen, el GLP vapor pesa un poco más de la 1,5 veces del peso específico del

aire a 15 °C. Por lo que en caso de fuga el GLP vapor tendería a acumularse por debajo. (Osinermin, 2011)



La gravedad específica de un hidrocarburo en fase gaseosa se calcula por medio de las siguientes ecuaciones.

$$M_{GLP} = \sum Y_i * M_i \quad (3)$$

$$GE_{GLP} = \frac{M_{GLP}}{M_{AIRE}} \quad (4)$$

Donde:

Y_i = Fracción Molar de Componente

M_i = Peso Molecular de Componente

M_{GLP} = Peso Molecular Aparente de la mezcla

M_{AIRE} = Peso Molecular del agua

GE_{GLP} = Gravedad Específica de GLP gaseoso (Bahadori, 2014)

2.1.2.3. FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

La ecuación de estado del gas ideal es una herramienta conveniente y a menudo satisfactoria cuando se trata de gases a presiones que no superen 1 atm. Los errores asociados

con esta ecuación son aproximadamente del 2 al 3% en este rango de presión, sin embargo, los errores pueden escalar a presiones más altas. (Bahadori, 2014)

El factor Z de compresibilidad proporciona la relación entre el volumen de gas real y el del gas ideal. Este es un parámetro adimensional, independiente de la cantidad de gas, determinada por las características del gas, la temperatura y la presión. Conociendo el factor Z, los cálculos de las relaciones de presión, temperatura y volumen son más exactas a altas como a bajas presiones. Los valores de la presión y temperatura crítica puede ser estimados por las siguientes ecuaciones, si la composición del gas y las propiedades críticas de los componentes individuales son conocidas. (Bahadori, 2014)

$$P_{C_{GLP}} = \sum Y_i * P_{C_i} \quad (5)$$

$$T_{C_{GLP}} = \sum Y_i * T_{C_i} \quad (6)$$

Donde:

Y_i = Fracción Molar de Componente

P_{C_i} = Presión Crítica de Componente

T_{C_i} = Temperatura Crítica de Componente

$P_{C_{GLP}}$ = Presión Crítica de Mezcla

$T_{C_{GLP}}$ = Temperatura Crítica de Mezcla (Bahadori, 2014)

El cual la propiedad reducida, es la propiedad dividida por el valor de la propiedad en el punto crítico.

$$Pr_{GLP} = \frac{P}{P_C} \quad (7)$$

$$Tr_{GLP} = \frac{T}{T_C} \quad (8)$$

Donde:

P = Presión de la mezcla

T = Temperatura de la mezcla

P_c = Presión Crítica de Mezcla

T_c = Temperatura Crítica de Mezcla

$P_{r_{GLP}}$ = Presión Reducida de Mezcla

$T_{r_{GLP}}$ = Temperatura Reducida de Mezcla (Bahadori, 2014)

Para calcular el factor Z, se tiene varios métodos, el cual podemos mencionar el método de Papay, donde es recomendado para cálculos manuales, y se basa en la siguiente ecuación.

$$Z = 1 - \frac{P_r}{T_r} * \left(0,36748758 - 0,4188423 * \frac{P_r}{T_r} \right) \quad (9)$$

Donde:

Z = Factor de Compresibilidad

P_r = Presión Reducida de Mezcla

T_r = Temperatura Reducida de Mezcla (Hernandez , 2014)

2.1.2.4. PRESIÓN DE VAPOR

La presión de vapor de una sustancia es la presión a la cual la fase vapor está en equilibrio con su fase líquida a una determinada temperatura. Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existen ambas.

Las sustancias más ligeras tienen mayor presión de vapor que las sustancias pesadas. Cuando se trata de una mezcla de sustancias, la presión de vapor de la mezcla dependerá, además de la temperatura, de la composición que tenga la fase líquida. (Osinergmin, 2011)

Las presiones se incrementan con la temperatura y ello conduce a grandes variaciones en el volumen de GLP en el estado líquido. Por lo tanto, si un recipiente (balón o tanque) está completamente lleno de GLP en su estado líquido y aumenta la temperatura, se produce un

rápido incremento de la presión, creando el riesgo de una explosión, por esta razón nunca debe llenarse completamente un recipiente de GLP. (Osinergmin, 2011)

TABLA 2.2. PRESIÓN DE VAPOR DE MEZCLAS DE GLP

COMPOSICION (% VOL.)		TEMPERATURA			
PROPANO	BUTANO	37.8 °C		15.0 °C	0.0 °C
		Psig	Kg/cm ²	Psig	Psig
100	0	208.0	14.62	107.0	70.0
90	10	206.0	14.48	99.0	64.0
80	20	191.0	13.43	91.0	59.0
75	25	183.0	12.87	87.0	56.0
70	30	176.0	12.37	83.0	53.0
65	35	168.0	11.81	79.0	50.0
60	40	160.0	11.25	75.0	48.0
55	45	153.0	10.76	70.0	45.0
50	50	145.0	10.19	66.0	42.0
45	55	138.0	9.70	62.0	39.0
40	60	130.0	9.14	58.0	37.0
35	65	123.0	8.65	54.0	34.0
30	70	113.0	7.94	50.0	31.0
25	75	107.0	7.52	46.0	28.0
20	80	100.0	7.03	42.0	26.0
10	90	85.0	5.98	34.0	20.0
0	100	70.0	4.92	25.0	15.0

FUENTE: (Osinergmin, 2011)

La fórmula de Antoine mide la presión del vapor de saturación. La importancia de la ecuación a pesar de ser empírica da una expresión analítica sencilla que puede ser usada con facilidad en los cálculos termodinámicos. (Zapata, 2019)

$$P_V = 10^{\left(A - \frac{B}{T+C}\right)} \quad (10)$$

Donde:

P_V = Presión de Vapor

A, B, C= Constantes de Antoine del Componente

T= Temperatura de Componente (Zapata, 2019)

En un sistema multi componente podemos aplicar la expresión obtenida mediante la combinación de las leyes de Dalton y Raoult.

$$P_{TOTAL MEZCLA} = \sum_{i=0}^n X_1 * P_1^{\circ} + X_2 * P_2^{\circ} + \dots + X_n * P_n^{\circ} \quad (11)$$

Donde:

P_n° = Presión de Vapor de Componente

X_n = Fracción Molar de Componente

$P_{TOTAL MEZCLA}$ = Presión Total de Mezcla (Brito, 2016)

2.1.2.5. INFLAMABILIDAD

Esta propiedad muestra la facilidad de un material para encenderse o hacer combustión.

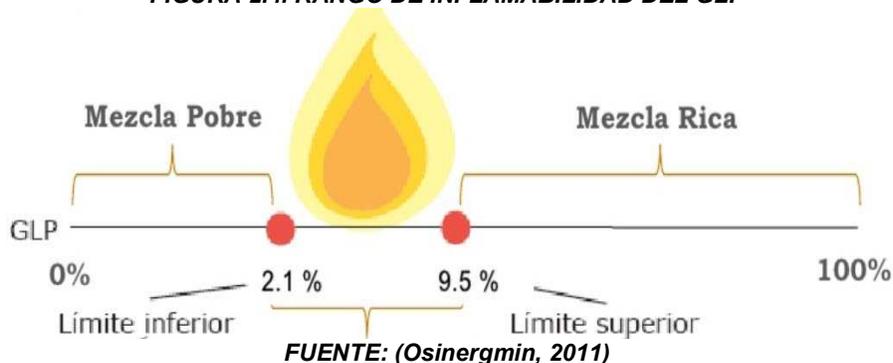
Para que haya combustión deben estar presentes los siguientes elementos:

- Combustible (gas inflamable)
- Oxígeno del aire
- Fuente de ignición (chispas, llama, calor, etc.) (Osinermin, 2011)

Cuando estos elementos se mezclen en las cantidades apropiadas, producirán la combustión. Es decir, que la mezcla gas-aire solo será inflamable si la concentración del gas se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad. (Osinermin, 2011)

En una mezcla GLP-aire solo se presentará combustión cuando el porcentaje de gas en esta mezcla se encuentra entre un 2,1% y 9,5% (y entre el 97,9% y el 90,5% de aire). Por encima de estos límites de inflamabilidad la mezcla es rica en gas y por debajo, la mezcla es pobre en gas, de forma que fuera del límite de inflamabilidad no habrá fuego al contacto con una fuente de ignición. El límite de inflamabilidad puede variar por el porcentaje de oxígeno, concentración de gas inerte, presión y temperatura. (Osinermin, 2011)

FIGURA 2.4. RANGO DE INFLAMABILIDAD DEL GLP



2.1.2.6. ESTADO LIQUIDO Y GASEOSO

A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el GLP se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas. (Rednova, 2020)

Como mezcla el GLP se licua a bajas presiones entre 60 y 120 psi aproximadamente, dependiendo de la mezcla propano – butano. (Osinermin, 2010)

FIGURA 2.5. CAMBIO DE VOLUMEN DE GLP SEGÚN SU ESTADO



Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano. No tiene color en su estado líquido es transparente similar al agua, no es tóxico, pero no se recomienda respirarlo por mucho tiempo debido a que desplaza el oxígeno.

Es inflamable enciende fuertemente cuando se libera y vaporiza con las mínima llama o chispa. Es muy frío en su estado líquido, de tener contacto con la piel puede quemar como lo hace el fuego. (Rednova, 2020)

2.1.3. OBTENCIÓN DEL GLP

Las fuentes de obtención de este combustible son las refinerías (destilación del petróleo) y las plantas de proceso de gas natural, las cuales aportan alrededor de un 25% y un 75% de GLP respectivamente. (Vallencillos Jiménez, 2017)

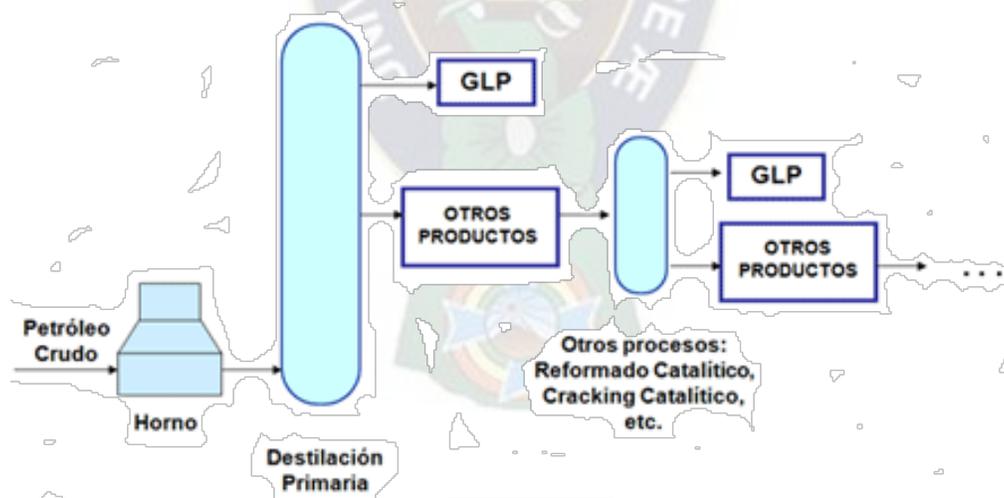
2.1.3.1. GLP POR PROCESOS DE REFINACIÓN

Luego de haber estabilizado el petróleo crudo para su transporte a la refinería, cantidades pequeñas pero significativas de GLP y componentes más ligeros (metano, etano) permanecerán en el petróleo. En la refinería, el petróleo crudo primero se separa por destilación en un número de fracciones (fraccionamiento). (Textos Científicos, 2014)

El Gas, que es la fracción más ligera, se produce como producto de la parte superior de la columna de fraccionamiento a presión atmosférica; consta de GLP, etano y metano. Otras fracciones que contienen los principales productos de la refinería son, en orden ascendente de puntos de ebullición atmosférico, nafta, queroseno, gasóleo, y residuos. En la práctica, el rendimiento de cada fracción no coincide con la demanda del mercado. En consecuencia, las fracciones pesadas menos valiosas deben ser convertidas en más ligeras, y las fracciones más ligeras deben ser modificadas químicamente para mejorar sus propiedades. Ejemplos de estos procesos de conversión son el reformado catalítico, craqueo catalítico, craqueo térmico, hidrocrqueo, y alquilación. (Textos Científicos, 2014)

- Reformado catalítico: Se alimenta de naftas ligeras para producir aromáticos y gasolinas. El rendimiento en GLP está entre un 5 – 10%.
- Cracking catalítico: Se alimenta de gas-oil o nafta produciendo etileno y propileno para petroquímica. El rendimiento en GLP está entre un 5 – 12%.
- Steam Cracking: Se alimenta con gas-oil o nafta produciendo etileno y propileno. El rendimiento en GLP está entre un 23 – 30%.
- Polimerización y alquilación: Se alimentan de butenos para producir gasolinas. El rendimiento en GLP está entre un 10 – 15%.
- Cracking térmico: Se alimenta de gas-oil y fuel-oil para producir gasolina. El rendimiento en GLP está entre un 10 - 20%.
- Coking y Visbreaking: Se alimenta de gas-oil pesado y residuo para producir coque. El rendimiento en GLP está entre un 5 – 10%. (Gobierno de España-MITECO, 2020)

FIGURA 2.6. GLP OBTENIDO POR LA REFINACIÓN DEL PETROLEO



FUENTE: (Osinermin, 2010)

Estas corrientes de gas se usan como gas combustible para los hornos de las refinerías. Sin embargo, el GLP tiene normalmente un valor económico significativamente más alto que el

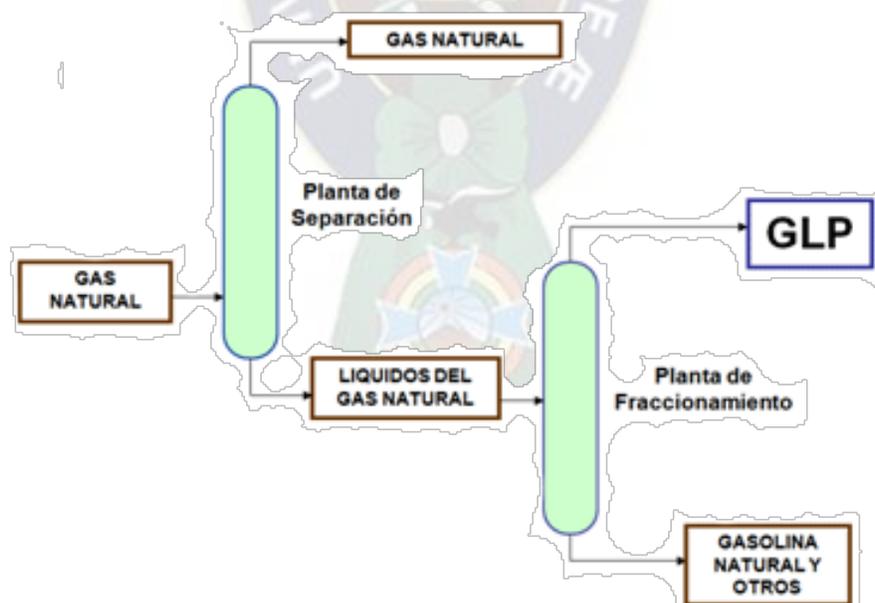
gas combustible, y la recuperación de GLP es económicamente atractiva. (Textos Científicos, 2014)

2.1.3.2. GLP POR SEPARACIÓN DE LIQUIDOS DEL GAS NATURAL

La obtención de GLP a partir de gas natural es conocida como proceso de licuefacción del GLP. Dicho proceso es explicado a continuación:

El gas natural está constituido por metano, etano, propano, butano e hidrocarburos más pesados, así como por impurezas tales como el azufre. Este gas se envía a las plantas de proceso. En una primera etapa la corriente de gas pasa por una planta endulzadora, donde se elimina el azufre. Posteriormente se introduce en una planta criogénica, en la cual mediante enfriamiento y expansiones sucesivas se obtienen dos corrientes: una gaseosa formada básicamente por metano (gas residual) y otra líquida (licuables). (Vallencillos Jiménez, 2017)

FIGURA 2.7. GLP OBTENIDO POR LA SEPARACIÓN DE LIQUIDOS DEL GAS NATURAL



FUENTE: (Osinermin, 2010)

En el proceso siguiente de fraccionamiento, la fase líquida se separa en diferentes componentes: etano, Gas Licuado de Petróleo y gasolinas naturales. Para facilitar su transporte

y almacenamiento, el gas licuado del petróleo que se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales de presión y temperatura se licua y se utiliza a bajas presiones (entre 5 y 9 bar) para así mantenerlo en estado líquido. El almacenamiento se realiza en tanques o en depósitos. (Vallencillos Jiménez, 2017)

2.1.4. USOS Y VENTAJAS DEL GLP

El GLP se utiliza de más de mil maneras. En la actualidad, cientos de millones de personas lo utilizan y dependen de él para aplicaciones muy variadas, en el sector terciario, la industria, el transporte, la agricultura, la generación de energía, o para cocinar, como combustible de calefacción y en aplicaciones recreativas. Ningún otro combustible admite usos tan variados como el GLP. (The World LPG Association, 2015)

2.1.4.1. SECTOR INDUSTRIAL

La industria es uno de los sectores donde se usa bastante el GLP ya que se necesita para determinados usos entre los cuales tenemos:

- **Agricultura**, el GLP se utiliza frecuentemente en el sector agrícola para desecación térmica, secado de cultivos, como combustible de vehículos agrícolas y como repelente contra insectos. (The World LPG Association, 2015)
- **Industria Alimentaria**, el GLP responde a las exigencias muy estrictas de los procesos alimentarios siendo un combustible limpio y de fácil control. El GLP se utiliza por ejemplo en hornos de panadería para hornear el pan, galletas o cualquier otro producto horneado.
- **Proceso de Calentamiento**, como el GLP es de combustión limpia y no deja residuos, es muy valorado en los procesos industriales que requieren limpieza, de alta energía de

calor, etc. Muchas industrias ya utilizan gas propano en los hornos de proceso de poder, secadoras, calderas (para generación de vapor), etc.

- **Fundición y soldadura**, el GLP actúa como combustible en las combinaciones oxígeno-gas o aire-gas, proporciona llamas de alta intensidad requeridas para la fundición y los tratamientos térmicos de metales.
- **Electricidad y Energía Térmica**, sistema integrado que puede proporcionar electricidad y energía térmica para aplicaciones industriales, comerciales y residenciales, denominado cogeneración, que puede ser impulsado por GLP que tiene la ventaja de ser silencioso y limpio.
- **Petroquímica**, emplea como materias primas básicas las olefinas y los aromáticos obtenidos a partir del gas natural y de los productos de refinación del petróleo. (Osinergmin, 2011)

2.1.4.2. SECTOR DOMESTICO

- **Cocina**, Cocinar alimentos es una de las actividades consumidoras de energía más universales que existen. El GLP es el combustible preferido por muchos, porque proporciona calor inmediato desde el instante mismo del encendido, sin necesidad de un periodo de calentamiento. En las zonas rurales de los países en desarrollo, el GLP es en muchas ocasiones la primera alternativa moderna a los combustibles de cocina tradicionales, como la leña, el carbón vegetal o el estiércol.
- **Calefacción**, Las viviendas y los hoteles necesitan una fuente de energía fiable para numerosas aplicaciones, como calefacción central, producción de agua caliente, climatización de piscinas o aire acondicionado. El GLP puede cubrir todas esas necesidades, con la ventaja añadida de proteger a particulares y empresas contra la vulnerabilidad de los cortes en el suministro. (The World LPG Association, 2015)

2.1.5. GAS LICUADO DE PETROLEO EN BOLIVIA

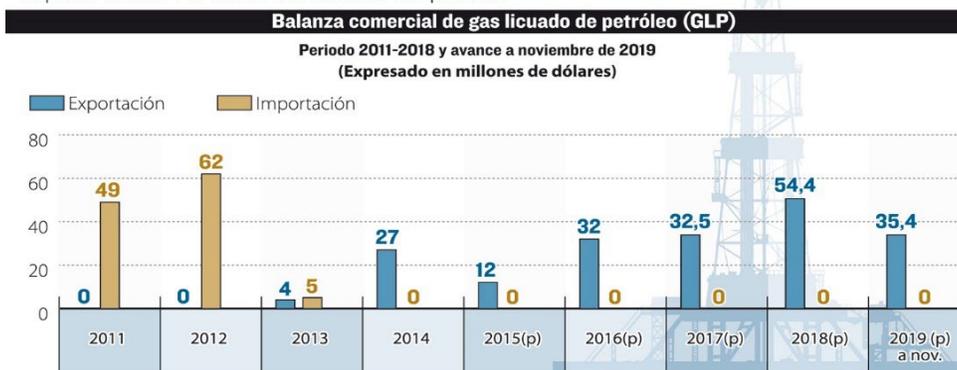
De tres sectores a donde va dirigida la oferta de la producción de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en el país, la demanda del sector doméstico ocupa el 95% del consumo de dicho combustible; en tanto la actividad industrial tiene un 3,6% y la comercial con solo 2%. En ese contexto, todos los años tenemos el mismo comportamiento de crecimiento de demanda, en función de ello se programa volúmenes altos, además de contar con saldos de prevención ante cualquier eventualidad. (El Dia, 2015)

En marzo del año 2019, Bolivia y Paraguay suscribieron un contrato comercial que establece la venta de 54.000 toneladas métricas al año de gas licuado de petróleo, convenio que permite profundizar la integración energética entre ambos países y generaría más de \$us 26,4 millones durante la pasada gestión. (Vasquez, 2020)

FIGURA 2.8. BALANZA COMERCIAL DE GLP

Comercio exterior de GLP

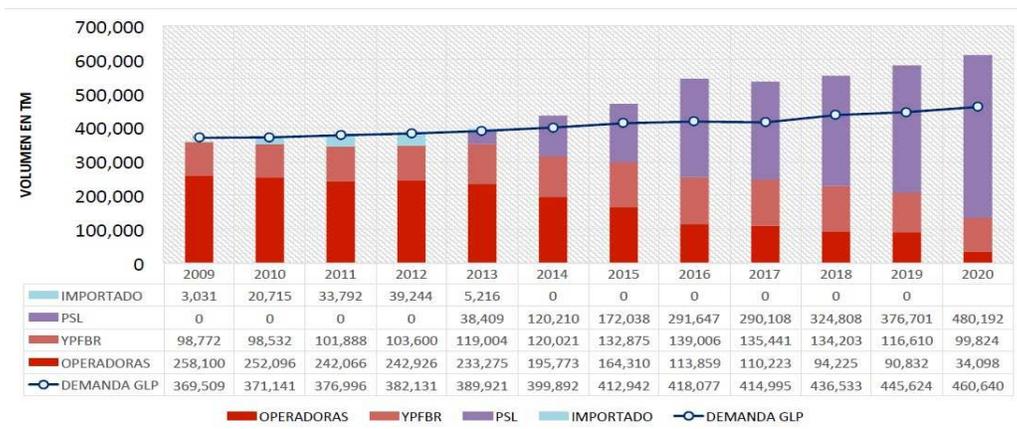
A partir de 2014 la balanza comercial fue positiva



FUENTE: (Vasquez, 2020)

2.1.5.1. VOLUMENES DE PRODUCCIÓN

En el informe nacional de situación de la estatal YPF B se dio a conocer los volúmenes de producción y sus demandas de diferentes productos entre ellos el GLP la cual se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 2.9. OFERTA Y DEMANDA DEL GLP

FUENTE: (YPFB, 2020)

2.1.6. COSUMO DE GLP

Para el consumo de GLP, el número de usuarios (N) proyectado deberá ser en un tiempo mínimo de 10 años utilizando datos estadísticos actualizados. El caudal total será la suma de los caudales correspondientes a cada una de las categorías establecidas en el reglamento vigente. Para el cálculo de la Tasa de Crecimiento Anual Acumulativo, se tiene la siguiente ecuación.

$$P_{(i+n)} = P_i * (1 + T_c)^n \quad (12)$$

Donde:

$P_{(i+n)}$ = Población proyectada

P_i = Población inicial

T_c = Tasa de Crecimiento

T_c = Periodo (Pérez, 2012)

Para el cálculo del caudal de consumo doméstico se utilizará las siguientes fórmulas.

$$C = \frac{P}{PCI} \quad (13)$$

$$Q_{domestico} = [(A * C * S)_{cocina} + (A * C * S)_{calentador\ de\ agua}] * N \quad (14)$$

Donde:

P = Potencia absorbida del aparato a gas (KW)

PCI = Poder calorífico inferior del GLP, (KWh/m3)

A = Porcentaje de cobertura del aparato, (%)

C = Consumo del aparato, (m3/h)

S = Coeficiente de simultaneidad del aparato, (adimensional)

N = Número de usuarios de categoría domestico proyectado, (adimensional)

$Q_{domestico}$ = Caudal demandado en la categoría doméstica, (m3/h) (ANH, 2015)

Para el caudal de la categoría comercial y el cálculo demandado total para la red de distribución se tiene las siguientes ecuaciones.

$$Q_{comercial} = 15\% * Q_{domestico} \quad (15)$$

$$Q_{TOTAL} = Q_{domestico} + Q_{comercial} \quad (16)$$

Donde:

$Q_{domestico}$ = Caudal demandado en la categoría doméstica, (m3/h)

$Q_{comercial}$ = Caudal demandado en la categoría comercial, (m3/h)

Q_{TOTAL} = Caudal demandado proyectado de la red de distribución, (m3/h) (ANH, 2015)

2.2. TANQUES DE ALMACENAJE DE GLP

En los hogares, el GLP es utilizado a través de tanques estacionarios verticales, los cuales se adecuan a cualquier ambiente, debido a su tamaño ideal para espacios pequeños. En las industrias, este gas se almacena en tanques estacionarios horizontales, los cuales cuentan con mayor tamaño y requieren de una instalación especial. (Dincorsa, 2017)

Los tipos de materiales y accesorios son usados dependiendo de la capacidad del tanque y sus aplicaciones. Los recipientes están fabricados en acero al carbono, con una protección de alta calidad. Los Tanques Estándares para GLP están equipados con los siguientes accesorios:

- Válvula de llenado.
- Válvula de admisión de fase gas.
- Manómetro.
- Válvula de desbordamiento máximo.
- Válvula de admisión de fase líquida.
- Sensor de nivel.
- Válvula (s) de seguridad. (Chemet, 2009)

2.2.1. TIPOS DE TANQUES

Existen dos tipos de tanques Verticales y Horizontales según su forma.

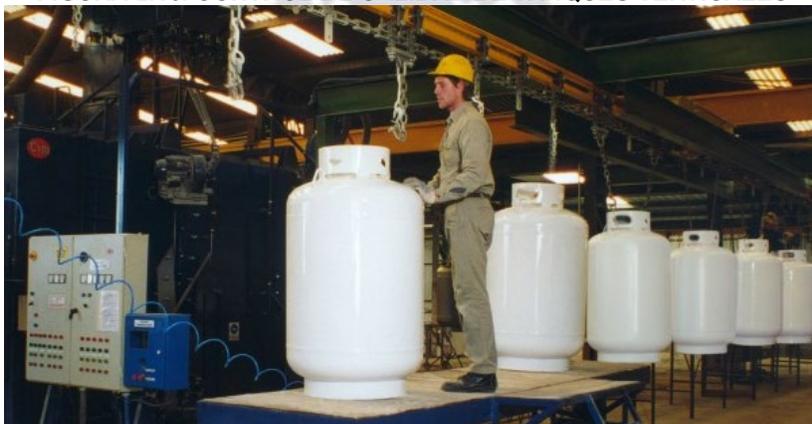
2.2.1.1. TANQUES VERTICALES

Es a través de los tanques estacionarios verticales, que las personas pueden utilizar el GLP en sus hogares sin peligro. Los tanques estacionarios verticales para GLP están diseñados y fabricados de acuerdo con la norma ASME, los cuales han logrado gran acogida dentro del mercado por su excelente calidad. Estos tanques se caracterizan por lo siguiente: (Dincorsa, 2017)

- Debido a su practicidad en tamaño y diseño, los tanques estacionarios verticales son ideales para casas y departamentos pequeños.
- Los tanques almacenan el gas en forma líquida y durante el consumo, lo pasan a su estado gaseoso.

- Estos tanques permiten un consumo constante del GLP.
- Cuenta con una llave que ayuda a regular el consumo.
- Cuentan con una excelente calidad y durabilidad.
- La capacidad de los tanques varía según el consumo de los usuarios.
- Si se realiza un mantenimiento continuo y adecuado, los tanques estacionarios pueden durar hasta 20 años. (Dincorsa, 2017)

FIGURA 2.10. CONTROL DE CALIDAD DE TANQUES VERTICALES



FUENTE: (SICA, 2020)

2.2.1.2. TANQUES HORIZONTALES

Los tanques estacionarios horizontales son tanques diseñados y fabricados de acuerdo con la norma ASME. Estos tanques, brindan muchas ventajas y beneficios, son ideales para las diferentes actividades rutinarias, tanto para los hogares como negocios. Son muy eficientes y te permiten disponer de este combustible de forma constante. A continuación, te brindamos algunas de las principales características de estos productos: (Dincorsa, 2016)

- Tienen la capacidad de almacenar el gas en forma líquida. Luego, durante su consumo pasa a su estado gaseoso.
- Cuenta con una llave que ayuda a los usuarios a regular el consumo.
- Ubicarlos en el exterior de las casas o negocios, brindan seguridad y tranquilidad.

- Cuentan con válvulas de seguridad, llenado, servicio e indicador.
- El indicador te permite ver las cantidades de GLP que vayas consumiendo.
- A través de este indicador también podrás ver la cantidad de combustible restante.
- El indicador te muestra el consumo semanal y mensual.
- Además, te permite comprobar y confirmar que el monto facturado va de acuerdo con las cantidades consumidas. (Dincorsa, 2016)



FUENTE: (Chemet, 2009)

2.2.2. PARTES DE UN TANQUE DE GLP

Las partes de los tanques deberán fabricarse con materiales apropiados para el servicio con GLP y deberán resistir la acción de este bajo condiciones de servicio. 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.

2.2.2.1. 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. (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

2.2.2.2. CABEZALES

Los cabezales 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 plano. 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. (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

2.2.2.3. SOPORTE

Con este tipo de dispositivo de sujeción el recipiente se apoya en 4 patas soldadas a la cubierta. Estas patas o soporte 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. (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

2.2.2.4. CONEXIONES

Todo recipiente debe tener como mínimo una conexión de entrada del fluido y otra de salida, aunque siempre tienen muchas más. Seguidamente se indican los servicios más comunes que precisan conexiones en el recipiente:

- De entrada y salida de fluidos.

- Para instrumentos, como manómetros, termómetros, indicadores o reguladores de nivel.
- Para válvula de seguridad.
- Para servicios tales como drenaje, venteo, de limpieza, paso de hombre, paso de mano, etc. (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

2.2.2.5. PLACA DE IDENTIFICACIÓN

El tanque contará 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. La placa se adherirá de forma tal que se minimice la corrosión de esta o sus medios de sujeción y no contribuya a la corrosión del tanque. Los tanques deberán marcarse con la siguiente información: (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

- Nombre y dirección del fabricante.
 - Capacidad de agua equivalente.
 - Presión de diseño.
 - Especificar el producto a la presión y temperatura máximas a almacenar.
 - La superficie exterior en metros o pies cuadrados.
 - Año de fabricación
 - Espesor del cuerpo y cabezales.
 - Largo total (OL), Diámetro exterior (OD), Diseño de cabezal (HD).
 - Número de serie del fabricante.
 - Mínima temperatura de diseño del metal a la máxima presión de Operación Permitida.
- (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

2.2.3. PARAMETROS DE DISEÑO DE TANQUES A PRESIÓN

La mayoría de los recipientes a presión están diseñados y construidos “taylor-made”, es decir, bajo demanda. Así son dimensionados, diseñados y fabricados para cumplir determinadas condiciones de proceso, presión y temperatura, así como que tengan su material seleccionado para operar con una condición determinada de fluido y la corrosión. El propósito de diseño y fabricación es asegurarse de que el equipo pueda realizar sus funciones sin riesgo considerable, sin perjuicio de las cargas, temperaturas y presiones.

El código ASME Sección VIII – División 1, contempla el cálculo de espesores mínimos para los recipientes, estos son calculados con la siguiente ecuaciones. (Peixoto Donato, 2021)

- **Parte cilíndrica:**

$$t_{cilindro} = \frac{P_{DISEÑO} * R}{S * E - 0,6 * P_{DISEÑO}} \quad (17)$$

Donde:

$t_{cilindro}$ = Espesor de cilindro, (mm)

$P_{DISEÑO}$ = Presión de diseño, (Kgf/cm²)

E = Eficiencia de junta, (adimensional)

S = Tensión admisible a la temperatura de diseño, (Kgf/cm²)

R = Radio interno del componente, (mm) (Peixoto Donato, 2021)

- **Parte de los cabezales toro esféricas:**

$$M_c = \left(\frac{1}{4}\right) * \left[3 + \left(\frac{L_c}{r_c}\right)^{\frac{1}{2}}\right] \quad (18)$$

$$t_{cabezal} = \frac{P_{DISEÑO} * L_c * M_c}{2 * S * E - 0,2 * P_{DISEÑO}} \quad (19)$$

Donde:

$t_{cabezal}$ = Espesor del cabezal, (mm)

$P_{DISEÑO}$ = Presión de diseño, (Kgf/cm²)

L_c = Radio corroído de la tapa central de la parte superior, (mm)

r_c = Radio corroído de la región superior de reforma, (mm)

M_c = Factor geométrico en condición corroído, (adimensional)

E = Eficiencia de junta, (adimensional)

S = Tensión admisible a la temperatura de diseño, (Kgf/cm²) (Peixoto Donato, 2021)

Las presiones máximas admisibles son utilizados por el código para la definición de las condiciones de las pruebas hidrostáticas de los equipos en la fábrica. Estos son calculados con la siguiente ecuaciones.

- **Parte cilíndrica:**

$$PMA_{cilindro} = \frac{t_c * S_{cilindro} * E}{R_c + 0,6 * t_c} \quad (20)$$

Donde:

$PMA_{cilindro}$ = Presión máxima admisible del cilindro, (Kgf/cm²)

t_c = espesor nominal corroído, (mm)

E = Eficiencia de junta, (adimensional)

$S_{cilindro}$ = Tensión admisible a la temperatura de diseño, (Kgf/cm²)

R_c = Radio interno del componente corroído, (mm) (Peixoto Donato, 2021)

- Parte de los cabezales toro esféricas:

$$PMA_{cabezal} = \frac{2 * t_c * S_{cabezal} * E}{L_c * M_c + 0,2 * t_c} \quad (21)$$

Donde:

$PMA_{cabezal}$ = Presión máxima admisible del cabezal, (Kgf/cm²)

t_c = espesor nominal corroído, (mm)

L_c = Radio corroído de la tapa central de la parte superior, (mm)

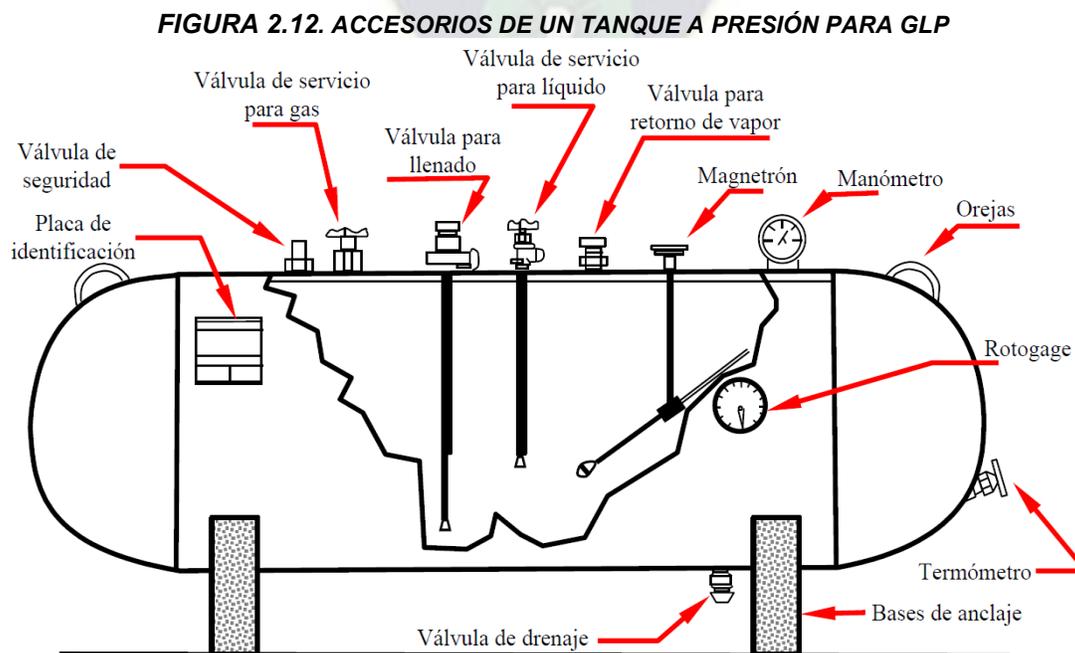
M_c = Factor geométrico en condición corroído, (adimensional)

E = Eficiencia de junta, (adimensional)

$S_{cabezal}$ = Tensión admisible a la temperatura de diseño, (Kgf/cm²) (Peixoto Donato, 2021)

2.2.4. ACCESORIOS DE UN TANQUE DE GLP

Los tanques de Gas Licuado de Petróleo deben construirse bajo ciertas condiciones y siguiendo ciertas normativas. La base del diseño deberá estar basado al ASME Sección VIII Div.1 o 2 según sea aplicable. Finalmente debe estar certificado por un organismo acreditador. Todos los tanques llevan al menos una válvula de servicio a través de la cual se adiciona o retira gas y una válvula de seguridad para aliviar cualquier acumulación de presión, disminuyendo el riesgo de explosión. (Petroblogger, 2012)



FUENTE: (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

2.2.4.1. VÁLVULA DE LLENADO

Es el elemento conectado a un depósito de almacenamiento de GLP destinado a acoplar el equipo de suministro de GLP en fase líquida a dicho depósito. Este tipo de válvula funciona cuando en posición de reposo, la presión del gas en el interior del depósito cierra un asiento con lo que el cierre interior queda cerrado, y el otro cierre (el exterior) queda también cerrado debido a la presión de un muelle.

Para realizar la carga, al introducir la conexión macho de la manguera la fuerza que ejerce vence la fuerza del muelle del primer cierre y la fuerza del gas que cierra el segundo cierre, con lo que la válvula queda abierta y se introduce el GLP líquido. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.13. VALVULA DE LLENADO



FUENTE: (Ferrekasa, 2020)

2.2.4.2. VÁLVULA DE ALIVIO POR EXCESO DE PRESIÓN

Es el elemento conectado a un depósito de almacenamiento de GLP destinado a aliviar la presión del interior del depósito cuando ésta excede de 20 kg/cm² (284,47 psi). El funcionamiento de este dispositivo se da porque el cierre dispone de un muelle que se encuentra tarado a 20 kg/cm² (284,47 psi), con lo que, al elevarse la presión en el interior del depósito, vence a la presión del muelle y el gas se libera al exterior hasta que la presión en el interior del depósito es menor que la ejercida por el muelle y la válvula se vuelve a cerrar. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.14. VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN

FUENTE: (Almacén Ing Jacome, 2019)

2.2.4.3. VÁLVULA DE EXCESO DE FLUJO

Es el elemento conectado a un depósito de almacenamiento de GLP destinado a limitar la salida de caudal. Disponen de un muelle que ejerce una presión contra la salida del gas; en cuanto el caudal del gas se eleva más del límite de la fuerza del resorte, este avanza en la dirección de salida del gas, cerrando un asiento y por tanto la salida del gas. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.15. VÁLVULA DE EXCESO DE FLUJO

FUENTE: (MAKO, 2020)

2.2.4.4. VÁLVULA ANTIRRETORNO

Las válvulas antirretorno son dispositivos destinados a permitir el paso del gas en un solo sentido de circulación, cerrando el paso en sentido contrario. Mientras no fluya gas, la válvula permanece en posición cerrada, en el momento que existe una demanda de gas en el sentido

correcto el flujo vence la pequeña fuerza del muelle y la válvula se abre dando paso al gas. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.16. VÁLVULA ANTIRRETORNO



FUENTE: (Barrene, 2020)

2.2.4.5. VALVULA DE CORTE

Son dispositivos destinados a abrir o cerrar el paso del gas por una conducción de cobre, acero o polietileno. Las características que la definen son: el tipo de cierre, el tipo de conexión, la resistencia mecánica y el tipo de maniobra. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

Incorpora medios de cierre térmicos y manuales, que igualmente cuenta con medios de cierre remotos. (NFPA 58, 2014)

FIGURA 2.17. VÁLVULA DE CORTE



FUENTE: (Imfluid, 2020)

2.2.4.6. VÁLVULA DE DRENAJE

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. (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

FIGURA 2.18. VÁLVULA DE DRENAJE



FUENTE: (TISGAS, 2017)

2.2.4.7. MULTIVÁLVULA

Es el elemento conectado a un depósito de almacenamiento de GLP destinado a albergar una serie de dispositivos, relacionados con la fase gaseosa. Sirve de soporte de algunos dispositivos mencionados anteriormente, siendo la función más relevante la de la válvula de salida gaseosa de GLP. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.19. MULTIVÁLVULA



FUENTE: (Tomasetto Achille, 2020)

2.2.4.8. INDICADOR DE NIVEL

Es un elemento anclado a un depósito de almacenamiento de GLP destinado a indicar el nivel de líquido en el interior del depósito. Los indicadores de nivel pueden ser de nivel magnético, rotativo, tubo deslizante y digital.

- **Indicador de nivel magnético.** El indicador de nivel se compone de una varilla o eje con un flotador en un extremo y un contrapeso en el otro. El flotador se mantiene sobre la línea de flotación del líquido y mediante un sistema de engranajes, con uno solidario a la varilla, se hace la conversión a un giro que con un imán en el interior del depósito y uno fuera del mismo se hace la lectura correspondiente en una escala graduada. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.20. INDICADOR DE NIVEL MAGNETICO CON FLOTADOR



FUENTE: (Rouchester Gauges, 2020)

- **Indicador de nivel rotativo.** Tipo de medidor de nivel variable de líquido que indica el nivel de líquido en un dial calibrado instalado en un recipiente ASME mediante la rotación manual de un tubo de extremo abierto dentro del recipiente, que está conectado a una válvula de ventilación de cierre positivo. (NFPA 58, 2014)

FIGURA 2.21. INDICADOR DE NIVEL ROTATIVO



FUENTE: (Tarantin Industries INC, 2020)

- **Indicador de nivel de tubo deslizable.** Medidor de nivel de líquido variable en el que una válvula pequeña de cierre positivo se coloca en el extremo exterior de un tubo recto, que se instala verticalmente dentro del recipiente. (NFPA 58, 2014)

FIGURA 2.22. INDICADOR DE NIVEL DE TUBO DESLIZANTE



FUENTE: (Unionsud, 2019)

- **Indicador de nivel digital.** El indicador de medición digital proporciona el nivel de volumen compensado de temperatura automático del contenido del tanque con exactitud, la temperatura del contenido del tanque, la gravedad específica del contenido del tanque posee configuración inalámbrica y capacidad de lectura a distancia. (Rochester Gauges LLC, 2020)

FIGURA 2.23. INDICADOR DE NIVEL DIGITAL MULTIPLE



FUENTE: (Rochester Gauges LLC, 2020)

2.2.4.9. MANÓMETRO

Es el elemento conectado a un depósito de almacenamiento de GLP destinado a medir la presión, de forma continua, en el interior de este, en la zona de GLP en fase gaseosa. Los manómetros pueden ser de medida directa y de medida indirecta. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.24. MANÓMETRO PARA TANQUES



FUENTE: (Dincorsa, 2020)

- **Manómetros de medida directa.** Se basan en la diferencia de presión entre el gas del interior del depósito, con una presión conocida; por ejemplo, los manómetros de columna de líquido.
- **Manómetros de medida indirecta.** Se basan en la deformación de un elemento, proporcional a la presión ejercida por el gas. Dentro de esta clase se encuentran los de tubo metálico, los de membrana, los de fuelle, etc. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

2.2.4.10. TERMÓMETRO

Según la Norma NFPA 58 el tanque de almacenamiento de GLP debe constar de un termómetro bimetálico roscado de dial, con un intervalo de -40°C a 50°C y precisión de 1°C . el

cual debe estar ubicado de preferencia en una distancia cercana al rotogage o medidor de volumen del tanque. (Guato Santamaria & Guayasamin Vozmediano, 2014)

FIGURA 2.25. TERMOMETRO BIMETÁLICO



FUENTE: (Rototherm, 2020)

2.2.5. EQUIPOS DE TRASVASE

Los equipos de trasvase son dispositivos utilizados para suministrar GLP desde un depósito a un camión cisterna o viceversa, o entre depósitos. Los equipos de trasvase pueden ser con compresor o con bomba. Se componen de los siguientes elementos: mangueras, bomba o compresor y elementos y accesorios auxiliares. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

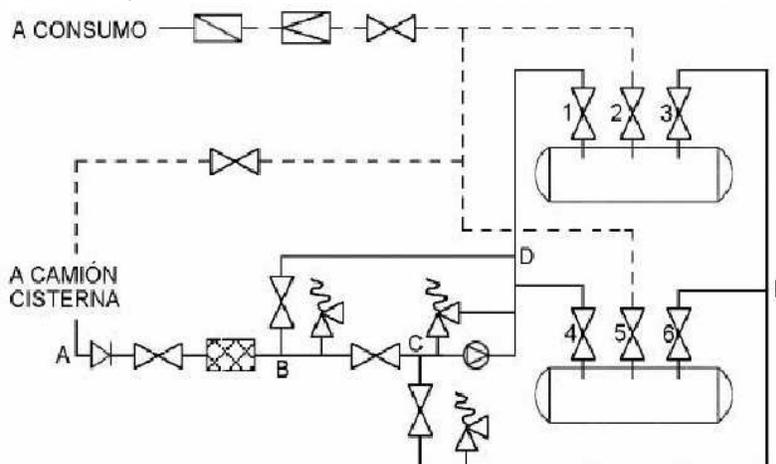
2.2.5.1. EQUIPOS DE TRASVASE CON BOMBA

Este equipo es el encargado de impulsar GLP en fase líquida desde un camión cisterna hasta un depósito o entre depósitos. El trazo continuo representa la circulación de GLP en fase líquida y en trazo discontinuo en fase gaseosa. El funcionamiento es el siguiente:

El líquido del camión cisterna pasa desde A hasta B, de aquí hasta C, a continuación, hasta D pasando por la bomba y hasta los depósitos. En esta operación se tiene cerrada la llave de paso entre C y E, así como la situada entre B y D. También se tiene cerrada la llave de paso situada antes del consumo. En los depósitos se tienen cerradas las llaves 3 y 6. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

En caso de fallo o para mantenimiento de la bomba del equipo de trasvase, se puede realizar un “bypass” abriendo la llave de paso situada entre los puntos B Y D, y el llenado se puede realizar con la bomba que equipa el camión cisterna.

FIGURA 2.26. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE TRASVASE MEDIANTE UNA BOMBA



FUENTE: (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

2.2.5.2. EQUIPOS DE TRASVASE CON COMPRESOR

Este equipo es el encargado de aspirar GLP en fase gaseosa desde el recipiente a llenar con GLP líquido e introducirlo en el depósito o camión cisterna que se quiere vaciar, provocando con esta operación una sobrepresión en el depósito a vaciar que hace circular el GLP líquido de su interior al depósito que se encuentra en depresión. En trazo continuo se representa la circulación de GLP en fase líquida y en trazo discontinuo en fase gaseosa. El funcionamiento es el siguiente: (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

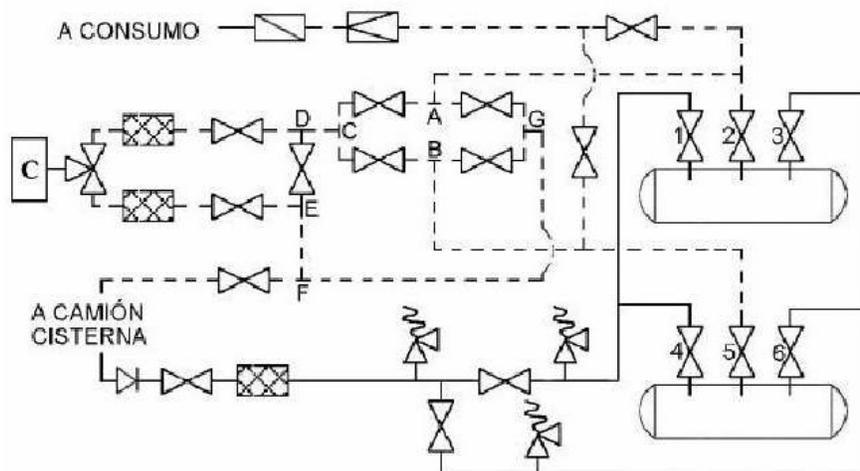
El gas aspirado por el compresor pasa desde la llave 2 del depósito superior por el punto A, luego por el punto C, D, por el propio compresor, de ahí por el punto E, F y al camión cisterna. Para el depósito inferior los pasos son pasando de la llave 5 al punto B e ídem que para el depósito superior.

En esta operación se tienen cerradas las llaves de paso de fase líquida, así como las situadas entre A y G, B y G, D y E. También se tienen cerradas las llaves de paso situadas antes

del consumo. En los depósitos se tienen cerradas las llaves 3 y 6. Con la presión creada en el interior del depósito del camión cisterna, el líquido pasa a los depósitos de forma análoga al trasvase con bomba.

Durante esta operación deben mantenerse cerradas las siguientes llaves de paso; las situadas entre los puntos A y C, B y C, y las adyacentes al compresor. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

FIGURA 2.27. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE TRASVASE MEDIANTE UNA COMPRESORA



FUENTE: (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

2.2.6. EQUIPO DE VAPORIZACIÓN

El GLP es almacenado en tanques de acero en estado líquido, mientras que su uso es en estado gaseoso. Para poder vaporizar el GLP se necesita cierta cantidad de calor, la cual es suministrada desde el aire que se encuentra alrededor del tanque a través de las paredes de este, llamado a esto vaporización natural. Cuando es desde dispositivos de apoyo es llamado vaporización artificial, forzada o ambos. (Carpio Álvarez, 2016)

2.2.6.1. TIPOS DE VAPORIZACIÓN

2.2.6.1.1. VAPORIZACIÓN NATURAL

En el interior de los tanques, donde se almacena GLP, este se encuentra en equilibrio entre sus fases líquida y gaseosa. El equilibrio es alterado cuando la temperatura ambiente varía o cuando se realiza el uso del GLP, ya que para cada temperatura corresponde una presión en la cual se equilibra el sistema. La vaporización natural se ve afectada en los siguientes casos:

- Superficie mojada por el GLP dentro del recipiente.
- Temperatura del ambiente
- Ubicación del tanque (aéreo o enterrado). (Carpio Álvarez, 2016)

2.2.6.1.2. VAPORIZACIÓN FORZADA

Para aportar calor al GLP se recurre a dispositivos llamados vaporizadores. Estos son los encargados de entregar la energía para la vaporización. Se utiliza este método por una o varias de las siguientes circunstancias: (Carpio Álvarez, 2016)

- Cuando la temperatura ambiente es baja.
- Cuando el caudal de consumo del GLP es mayor al aportado por la vaporización natural.
- Cuando se desea un valor fijo de las concentraciones de la mezcla en estado gaseoso.

Dado que, en la vaporización natural, al tener componentes de diferentes densidades y puntos de ebullición, suelen ser los más pesados los que se depositan en el fondo del recipiente conforme disminuye el nivel dentro del mismo. (Carpio Álvarez, 2016)

2.2.6.2. TIPOS DE VAPORIZADORES

Son equipos que reciben el GLP en estado líquido para luego transformarlo al estado gaseoso por medio del suministro de calor. Los principales tipos de vaporizadores son los

vaporizadores de fuego directo, vaporizadores eléctricos, vaporizadores indirectos y vaporizadores de inmersión. (Carpio Álvarez, 2016)

2.2.6.2.1. VAPORIZADORES DE FUEGO DIRECTO

En los vaporizadores de contacto directo el calor que se suministra mediante una llama se aplica directamente sobre la superficie de un intercambiador de calor que se encuentra en contacto con el GLP líquido que se quiere vaporizar. En esta clasificación se encuentran los vaporizadores de combustión sumergida, que vaporizan el GLP que fluye dentro de tubos sumergidos en un baño de agua con un quemador. (Castellanos Sastre, 2011)

2.2.6.2.2. VAPORIZADORES ELÉCTRICOS

En los vaporizadores eléctricos, se utiliza la electricidad como fuente de calor.

- **Vaporizador eléctrico de inmersión directa:** es aquel dentro del cual un elemento eléctrico se encuentra sumergido directamente en el líquido y vapor del GLP.
- **Vaporizador eléctrico indirecto:** dentro del vaporizador hay un elemento eléctrico que calienta una solución intermedia, dentro de la cual se encuentra sumergido el intercambiador de calor de GLP, o un absorbedor de calor intermedio. (Castellanos Sastre, 2011)

2.2.6.2.3. VAPORIZADORES INDIRECTOS

En los vaporizadores indirectos o de fuego indirecto, el calor suministrado por vapor, agua caliente u otro medio de calentamiento, se aplica a un intercambiador que contiene el GLP que se desea vaporizar. La característica principal es que el calentamiento del medio usado se produce en una instalación alejada. (Castellanos Sastre, 2011)

2.2.6.2.4. VAPORIZADORES DE BAÑO MARÍA

En los vaporizadores de baño María, también denominados de inmersión, una cámara de vaporización, tuberías, serpentín u otra superficie de intercambio de calor que contiene el GLP líquido para vaporizar, se sumerge en un baño de agua de temperatura controlada, una combinación de agua-glicol u otro medio de transferencia de calor incombustible, calentado por un dispositivo de inmersión que no entra en contacto con la superficie de intercambio de calor del GLP. (Castellanos Sastre, 2011)

2.2.7. SEGURIDAD EN EL MANEJO DE GLP

El manejo y utilización de este combustible genera riesgos hacia las personas y edificaciones que se encuentran en sus cercanías, los cuales no pueden ser eliminados, pero si pueden ser minimizados, si se lo manipula de forma técnica. (Venegas Vasconez & Ayabaca Sarria, 2018)

2.2.7.1. SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE DE GLP POR CISTERNAS

2.2.7.1.1. PROTECCIÓN A DAÑOS POR ACCIDENTE

Cualquier accesorio en el tanque cisterna, debe ser instalado de tal forma que en caso de un siniestro se minimice la posibilidad de daño o falla adversa que afecte la integridad de retención del producto del tanque.

Los miembros estructurales, tales como la suspensión del sub armazón, protección de vuelque, cuando sea practico, serán utilizados como sitios para colocar accesorios y cualquier otro componente. La soldadura de cualquier accesorio a la carcasa o cabezal debe ser hecho por adhesión a la montura del cuerpo. Las monturas deben ser adheridas por una soldadura continua alrededor de la montura. (ANH, 2016)

Las estructuras externas, sujetadores de ductos, sujetadores de frenos y similares adherencias livianas, deben ser aseguradas a la carcasa del tanque con soldadura continua para excluir la formación de espacios que pueden llegar a ser sitios de corrosión no deseada. (ANH, 2016)

2.2.7.1.2. PARACHOQUES TRASERO

A objeto de minimizar la posibilidad de daño al tanque en caso de una colisión, este debe contar con un parachoques trasero para proteger el tanque y la tubería. El parachoques deberá estar localizado por lo menos a 20 cm de cualquier componente que sea utilizado para propósitos de carga o descarga o pueda en cualquier momento contener carburante mientras este en tránsito. (ANH, 2016)

2.2.7.1.3. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

- Bocina y luces de retroceso.
- Dos extintores de incendio de 10 kg cada uno. Clase ABC.
- Seis piezas conos señalizadores de peligro.
- Dos triángulos reflectivos.
- Un botiquín de primeros auxilios, con los siguientes elementos: Gasas compresas, adhesivos para sostener las gasas y crema para quemaduras.
- Un rollo (50 m) de cinta amarilla de seguridad.
- Un kit para pequeños derrames (balde de 20 litros con paños absorbentes, guantes de acrilonitrilo).
- Una pieza arresta llamas que se ajuste según esta norma.
- Equipo de protección personal. (ANH, 2016)

2.2.7.2. SEGURIDAD EN LA CARGA DEL GLP EN TANQUES FIJOS

Antes de comenzar cualquier operación de carga o descarga de tanques se debe asegurar que los equipos utilizados (tuberías, válvulas, tanques y otros accesorios) cumplen con lo establecido en las normas NFPA 58 y NFPA 59. Se recomienda establecer un plan de mantenimiento de estos equipos.

Durante la operación de transvase deberá permanecer en la zona el responsable de la boca de expendio y el conductor del transporte. Los camiones tanque deberán tener instalado en su tubo de escape el correspondiente arresta llamas antes de su entrada al predio en que deba operar. Éstos serán de construcción metálica y anexo al tubo de escape de los automotores, impedirá que las chispas o llamas producidas por falsas explosiones en la combustión del motor del vehículo salgan al exterior. Se consideran las siguientes precauciones: . (Cistema - ARP Sura, 2020)

En el atraque:

- El responsable de la estación indicará al conductor el lugar para el estacionamiento del transporte.
- Constatará la ubicación del transporte en dirección a “libre fuga”.

Una vez ubicado en la zona de descargue:

- Se revisará la correcta puesta a tierra del camión con la instalación.
- Se ubicarán los extintores o matafuegos de la estación y del camión en lugar apropiado listos para ser usados.
- Se colocarán las calzas a las ruedas del transporte.

Durante la descarga:

- Se Prohibirá la presencia de personas ajenas a la operación, el uso de todo equipo motorizado sin arresta llamas, presencia de fuegos o efectuar trabajos o reparaciones que produzcan chispas.
- No se emplearán faroles o linternas comunes y solo serán permitidas linternas seguras contra explosión.
- Se mantendrá el orden y limpieza de la zona.

La descarga deberá suspenderse o no iniciarse en los siguientes casos:

- Durante tormentas eléctricas.
- En caso de incendio de malezas en zonas vecinas.
- Por cualquier circunstancia que configure una situación de riesgo o peligro con respecto a la operación de descarga.

Terminada la descarga:

- Desconectar la manguera de líquido previamente despresurizada.
- Desconectar la toma de tierra fija.
- Permitir la salida del transporte. (Cistema - ARP Sura, 2020)

2.2.7.3. DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE LOS TANQUES DE GLP

- **Distancias mínimas de separación para recipientes.** Los recipientes para GLP se deben ubicar al exterior de las edificaciones a menos que sean permitidos en forma específica, para ser ubicados dentro de las edificaciones. La distancias de separación entre recipientes, edificios importantes y linderos con la propiedad donde se puede construir, debe cumplir con lo dispuesto en la siguiente tabla (2.3.): (NFPA 58, 2014)

TABLA 2.3. DISTANCIAS DE TANQUES HACIA LOS EDIFICIOS Y LINDEROS

Capacidad de agua por Recipiente		Distancias Mínimas					
		Recipientes Enterrados o Atrincherados ^a		Recipientes De Superficie		Entre Recipientes ^b	
gal	m ³	pies	m	pies	m	pies	m
<125 ^c	<0.5 ^c	10	3	0 ^d	0 ^d	0	0
125-250	0.5-1.0	10	3	10	3	0	0
251-500	>1.0-1.9	10	3	10	3	3	1
501-2,000	>1.9-7.6	10	3	25 ^e	7.6	3	1
2,001-30,000	>7.6-114	50	15	50	15	5	1.5
30,001-70,000	>114-265	50	15	75	23		
70,001-90,000	>265-341	50	15	100	30	¼ de la suma de diámetros de los recipientes adyacentes	
90,001-120,000	>341-454	50	15	125	38		
120,001-200,000	>454-757	50	15	200	61		
200,001-1,000,000	>757-3,785	50	15	300	91		
>1,000,000	>3,785	50	15	400	122		

FUENTE: (NFPA 58, 2014)

- **Distancias entre las válvulas de alivio y aberturas del edificio.** La distancia medida horizontalmente desde el punto de descarga de la válvula de alivio del recipiente a cualquier abertura de la edificación localizada por debajo del nivel de dicha descarga, debe estar de acuerdo con la siguiente tabla (2.4.): (NFPA 58, 2014)

TABLA 2.4. DISTANCIAS ENTRE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO Y CONEXIÓN DE LLENADO A LAS ABERTURAS

Tipo de Recipiente	De intercambio o Llenado in Situ en el Punto de Uso	Distancia Horizontal desde la Descarga de la Válvula de Alivio a las Aberturas por debajo de la Descarga		Descarga de la Válvula de Alivio Decarga de Ventilación y Conexión de Llenado a la Fuente Exterior de Ignición, Aberturas de Artefactos de Ventilación Directa y Entradas de Ventilación Mecánica	
		pies	m	pies	m
Cilindro	Intercambio	3	0.9	5	1.5
Cilindro	Llenado in situ en el punto de uso	3	0.9	10	3.0
ASME	Llenado in situ en el punto de uso	5	1.5	10	3.0

FUENTE: (NFPA 58, 2014)

- **Distancias de separación entre grupos de recipientes.** Las instalaciones compuestas por varios recipientes ASME, con una capacidad individual de agua de 12,000 gal o más

e instaladas para uso en un solo sitio, se deben limitar por el número de recipientes en un grupo, y cada grupo separado del siguiente grupo de acuerdo con el grado de protección contra incendio suministrado. (NFPA 58, 2014)

TABLA 2.5. DISTANCIAS ENTRE GRUPO DE TANQUES

Protección Contra Incendio Provista por	Máximo Número de Recipientes en Un Grupo	Separación Mínima entre Grupos	
		pies	m
Solamente chorro de manguera (<i>ver</i> 6.4.1.2 y 6.27.3.1)	6	50	15
Boquillas de monitor fijas según 6.27.6.3	6	25	7.6
Rociado fijo de agua según 6.27.6.1	9	25	7.6
Aislamiento según 6.27.5.1	9	25	7.6

FUENTE: (NFPA 58, 2014)

- **Distancias entre los puntos de trasiego y puntos de riesgo.** Si el punto de trasiego de recipientes ubicados al exterior en instalaciones estacionarias no está localizado en el recipiente, se debe ubicar de acuerdo con la siguiente tabla (2.6.): (NFPA 58, 2014)

TABLA 2.6. DISTANCIAS ENTRE LOS PUNTOS DE RIESGO

Parte	Punto de Riesgo	Distancia horizontal mínima	
		pies	m
A	Edificios, ^a casas móviles, vehículos recreacionales y viviendas modulares con muros con piroresistencia mínima de 1 hora ^b	10 ^c	3.1
B	Edificios ^a con piroresistencia mínima diferente a 1 hora ^b	25 ^c	7.6 ^c
C	Aberturas o fosos en muros del edificio debajo o al nivel del punto de trasiego	25 ^c	7.6 ^c
D	Línea lindero sobre la que se puede construir	25 ^c	7.6 ^c
E	Lugares al aire libre para reuniones públicas, incluyendo patios de colegios, campos de atletismo y de deportes	50 ^c	15 ^c
F	Vías públicas, incluyendo calles públicas, carreteras, peatonales y aceras		
	(1) Desde puntos de trasiego en expendios de Gas-LP y en surtidores de combustible vehicular	10	3.1
	(2) Desde otros puntos de trasiego	25 ^c	7.6 ^c
G	Entradas para automóviles ^d	5	1.5
H	Al eje central de las vías férreas	25	7.6
I	Recipientes ^e diferentes a los que se están llenado	10	3.1
J	Expendios de líquido ^f combustible inflamable y de Clase II y las conexiones de llenado de los recipientes	10 ^c	3.1 ^c
K	Recipientes de líquido combustible inflamable y Clase II, recipientes de superficie y recipientes enterrados	20	6.1

FUENTE: (NFPA 58, 2014)

2.2.7.4. EQUIPOS DE SEGURIDAD

2.2.7.4.1. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

En espacios de alto riesgo de incendio o cuando la capacidad de almacenamiento es considerable, o cuando el recipiente está ubicado en zonas remotas o azoteas se recomienda se recomienda la instalación de sistemas de enfriamiento a base de agua. Su diseño debe estar de acuerdo a NFPA 15 y su actuación debe ser manual con dispositivos sensibles al fuego. Estos sistemas se instalan con el fin de mantener una temperatura estable en los tanques en caso de fuego externo alrededor de ellos hasta que puedan llegar las autoridades y encargados de la mitigación y extinción del evento. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

En el caso ideal, este sistema nunca debería funcionar, ya que no es deseable tener fuego en los alrededores del almacenamiento del combustible, y partiendo de esta premisa, todas sus partes se verían fácilmente deterioradas por no realizar la tarea para la que fueron diseñadas. Es por esta razón que los sistemas de enfriamiento no deberían operar, por la operatividad de sus elementos, se sugiere echar a andar los mismos una vez cada mes por un tiempo de 10 minutos. (Venegas, y otros, 2016)

2.2.7.4.2. PUESTA A TIERRA

Para evitar que los recipientes absorban cargas electrostáticas por descargas atmosféricas o defectos de aislamiento, se recomienda la instalación de sistemas de descargas a tierra. Estos sistemas constan de alambre de cobre desnudo de 35 mm² de sección y varillas con conector Coperwell 5/8" x 1.80 m. Si la autoridad competente lo considera necesario, también deberá proveerse de sistema de puesta a tierra para el tanque de carga. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.2.7.4.3. PARARRAYOS

En recipientes ubicados en terrazas, debe preverse la instalación de pararrayos que cubran el área donde está instalado el recipiente. Si la zona donde se ubica el tanque tiene antecedentes de continuas tormentas eléctricas, la Autoridad Competente será quien decida la obligatoriedad de la instalación de pararrayos sin importar el nivel sobre el suelo que se encuentre ubicado el recipiente. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.2.7.4.4. BARRERAS CONTRA CHOQUES

En espacios de estacionamiento vehicular, o donde el flujo de automotores es alto, es necesaria la instalación de barreras o protecciones contra impactos. Estas barreras deberán ser de hormigón armado y estar diseñadas para soportar el choque de vehículos que puedan circular en las cercanías a velocidad moderada. La instalación de barreras de protección debe considerarse incluso para proteger a las tomas desplazadas para carga ya que estas manejan el combustible en fase líquida. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.2.7.4.5. EXTINTORES

En las cercanías de los recipientes, la recomendación es ubicar extintores de polvo químico seco, y en la zona de equipos de consumo, extintores de CO₂. Su ubicación debe ser en un lugar de fácil acceso para su manipulación. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.2.7.4.6. EQUIPOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

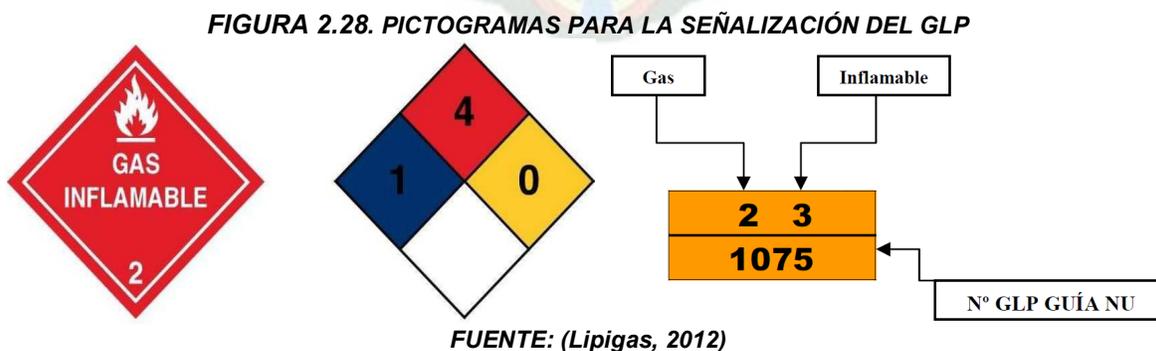
Como el GLP en estado gaseoso es más pesado que el aire, en caso de una fuga tiende a discurrir por las partes bajas, y a acumularse, lo cual en presencia del oxígeno y ante una fuente de ignición puede ocasionar un incidente muy serio. Existen detectores de fugas de combustible los cuales, al momento de saturarse un ambiente por una fuga, emiten una señal

acústica muy aguda, lo cual da una advertencia para el usuario y puede tomar la acción correctiva. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.2.7.5. SEÑALIZACIÓN DEL GLP

Los tanques exteriores de gran capacidad para almacenar GLP pueden ser de color blanco (porque se acumula menos calor) pero se deben señalar de modo que se identifique claramente. Se recomienda indicar en lugar visible el nombre del combustible y colocar la señal adecuada (rombo de 30 cm de lado como mínimo), el número de rombos es el necesario para que se pueda identificar el tanque por todos los lados y se determina según la forma como se encuentre ubicado el tanque en el lugar. Adicionalmente se puede colocar debajo de cada rombo, un rectángulo de fondo naranja con el número de identificación de las Naciones Unidas (UN) para compuestos y materiales. También se deben colocar los rombos de riesgos para casos de incendio. Estos son los rótulos de la NFPA que indican, en una escala de 0 a 4, los riesgos en salud (fondo azul), inflamabilidad (rojo) y reactividad (amarillo) en el evento de un incendio.

Es muy importante aclarar que las señales que se coloquen; estos deben estar elaboradas de un material y pintura especiales a fin de que sean resistentes al fuego durante al menos una hora o a la corrosión ya que en caso de emergencia estas deben mantenerse intactas por un tiempo tal que permita la identificación durante el mayor tiempo posible. (Cistema - ARL Sura, 2013)



En la zona de almacenamientos y bombas se colocarán carteles bien visibles con leyendas:

- "PELIGRO INFLAMABLE"
- "PROHIBIDO FUMAR" (o gráfico correspondiente).
- "PROHIBIDA LA ENTRADA A PERSONAS AJENAS".

En la zona de trasvase se colocarán vallas y carteles bien visibles con leyendas:

- "PELIGRO CAMIÓN TANQUE OPERANDO".
- "PROHIBIDO FUMAR" (o gráfico correspondiente).
- "NO OPERE SIN LA CONEXIÓN PUESTA A TIERRA". (Cistema - ARP Sura, 2020)

Para la señalización en las cisternas de carga mínimamente se debe contar con:

- Rombo "NFPA", ubicado en los laterales y trasera del tanque cisterna.
- Placa "DOT", ubicado en los laterales y trasera del tanque cisterna.
- Panel Naranja, ubicado en los laterales y trasera del tanque cisterna.
- Cinta reflectiva, en los laterales y trasera del tanque cisterna.
- Pictograma de "NO FUMAR" o "PROHIBIDO ENGENDER FUEGO", en los laterales y trasera del tanque cisterna.
- "MANTENGA DISTANCIA" en la parte trasera del tanque cisterna.
- Teléfono de emergencia, en la parte trasera del tanque cisterna. (ANH, 2016)

2.2.8. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TANQUES

Los depósitos fijos se eligen a partir de dos condicionantes esenciales:

- Autonomía de la Instalación.

- Capacidad de Vaporización.

2.2.8.1. AUTONOMÍA DE LA INSTALACIÓN

Es la reserva de combustible que tiene un recipiente en un determinado periodo de tiempo (generalmente en días), y deberá ser la suficiente hasta que la empresa comercializadora del combustible pueda abastecer nuevamente. En este periodo de autonomía el usuario podrá operar el sistema sin interrupciones por falta de combustible. (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

Para calcular el volumen que satisface la autonomía de una instalación hay que tener en cuenta la cantidad de máximo producto que se puede consumir de los depósitos, que será la cantidad que se restituye en cada llenado. Un depósito no se puede llenar más del 85% de su volumen total, y, por otra parte, no se debe vaciar más del 20% por lo que el volumen útil que se debe considerar es el 65% de su volumen total. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

Para calcular la autonomía se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$Aut = \frac{0,65 * V_{tanque} * 260}{Q_{GLP \text{ gaseoso}} * Hr} * N_{tanques} \quad (22)$$

Donde:

Aut = Autonomía de los tanques, (día)

V_{tanque} = Capacidad real del tanque, (m³)

$Q_{GLP \text{ gaseoso}}$ = Caudal de consumo en fase gaseosa, (m³/h)

Hr = Horas al día de consumo, (h/día)

$N_{tanques}$ = Número de tanques a utilizar, (adimensional) (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.2.8.2. CAPACIDAD DE VAPORIZACIÓN

Tal como se describió anteriormente, la capacidad para vaporizar GLP de cualquier recipiente depende fundamentalmente del calor absorbido a través de sus paredes, ya que el GLP líquido para vaporizarse necesita aporte de calor. Los depósitos deben suministrar la cantidad de GLP en fase gaseosa necesaria para el correcto funcionamiento de los aparatos de consumo que componen la instalación receptora. En casos especiales se utilizan vaporizadores cuando el depósito no proporciona, por vaporización natural, la demanda requerida. (Benavides Chamorro & Marcillo Ramos, 2008)

Esta capacidad de vaporización del recipiente se mide en (BTU/h) o unidades equivalentes, y representa la cantidad de vapor por unidad de tiempo que entrega dicho recipiente a una condición de llenado y se puede expresar como: (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

$$C_{VAP} = F \times D \times L \times K \quad (23)$$

Donde:

C_{VAP} = Capacidad de vaporización del tanque, (BTU/h)

F = Factor de temperatura, (adimensional)

D = Diámetro del tanque, (plg)

L = Longitud del tanque, (plg)

K = Factor de llenado, (adimensional) (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2017)

2.3. SISTEMA DE DISTRIBUCION POR REDES

Es la actividad de suministro de Gas en calidad de servicio público, a los usuarios del área geográfica de distribución, así como la construcción de redes, administración y operación del servicio bajo los términos indicados en la Ley de Hidrocarburos. (ANH, 2015)

Están comprendidos entre la salida de la estación receptora, estación receptora local o tanque de almacenamiento, hasta la válvula de corte (registro) ubicada en la acometida individual. La red de distribución requiere una disminución de la presión. (Cabrera Beltrán & Martínez Hernández, 2017)

Las redes de distribución se diseñan en forma de ramal (cada usuario tiene una única línea de suministro o ramal) o de forma mallada (la red que suministra al usuario está interconectada en varios puntos con el resto de la red de distribución), el diseño mallado es más costoso, aunque ofrece mayor fiabilidad y garantía de suministro en caso de averías. (Energía y Sociedad, 2020)

2.3.1. TIPOS DE REDES

2.3.1.1. RED PRIMARIA

Sistema de Distribución de Gas Natural que opera a presiones mayores a 4 bar hasta 42 bar inclusive; está compuesta por tuberías de acero, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, que conforman la matriz del Sistema de Distribución. (Decreto Supremo N° 1996, 2014).
Características: (Gomez Trujillo, 2012)

- Red de distribución de alta presión (promedio 250 psig - máxima 275 psig).
- Tubería de acero (diámetro de 4 plg – 20 plg).
- Transporta el gas a través de la ciudad, hasta las estaciones de regulación de distrito.
- Incluye las facilidades de operación: Válvulas de corte, monitoreo de corrosión, actuadores, etc. (Gomez Trujillo, 2012)

2.3.1.2. RED SECUNDARIA

Sistemas de tuberías que se derivan de las líneas primarias y se extienden hacia la línea de acometida de todos los usuarios en un sector determinado de la red de distribución. Por lo general se componen de tuberías de materiales plásticos especiales, operadas a media presión. Para el caso de redes de distribución abastecidas con tanques de almacenamiento las líneas secundarias se derivan de los reguladores de presión de primera etapa, asociados a los respectivos tanques de almacenamiento hasta la línea de acometida de todos los usuarios en un sector determinado de la red de distribución. Las características son: (Cabrera Beltrán & Martínez Hernández, 2017).

- Red de distribución de media presión (promedio 60 psig - máxima 90 psig).
- Tubería de polietileno (diámetro de 1/2 plg – 6 plg).
- Transporta el gas a través de la ciudad, hasta los centros de medición y regulación de cada usuario.
- Incluye las facilidades de operación: Válvulas de corte. (Gomez Trujillo, 2012)

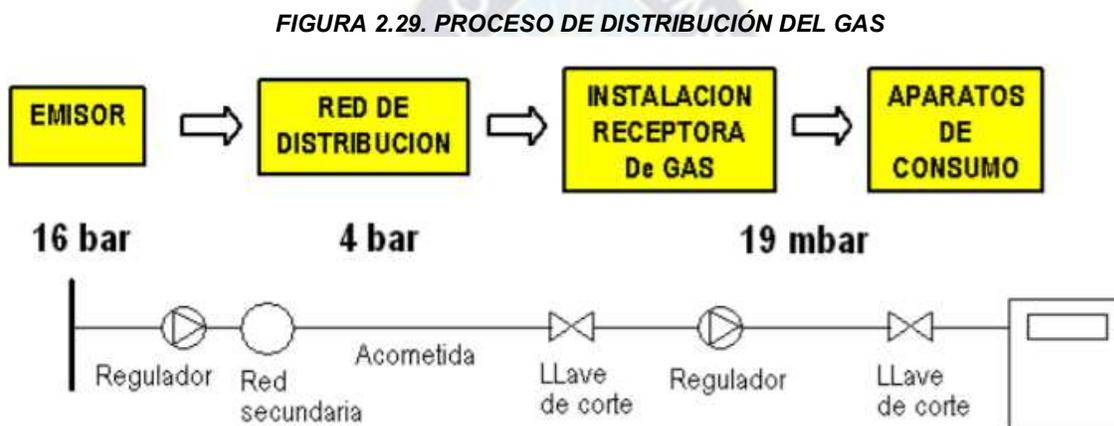
Los componentes del sistema de distribución secundario son:

- **Troncal.** Compuesta por el sistema de tuberías y accesorios de polietileno de media densidad comprendida entre la estación de almacenamiento, regulación y poli válvulas, que permiten la conexión de estas con cada una de las mallas. Los diámetros comúnmente usados en los municipios varían sus diámetros de uno a cuatro pulgadas.
- **Anillos.** Es el conjunto de tuberías y accesorios de polietileno de media densidad operados a media presión que se derivan de las troncales formando circuitos cerrados o

mallas. De estos anillos se hace la entrega de gas a los usuarios por medio de la acometida correspondiente. (Cabrera Beltrán & Martínez Hernández, 2017)

2.3.2. INSTALACIONES DOMICILIARIAS

En los últimos años se ha visto un crecimiento acelerado de las instalaciones de gas en Bolivia, ya sean de categoría doméstica, comercial o industrial. El gas es utilizado a distintas presiones según su uso. En el caso del uso doméstico se puede mostrar el proceso de distribución mediante el siguiente esquema. (Ochoa Capaico, 2015)



FUENTE: (Ochoa Capaico, 2015)

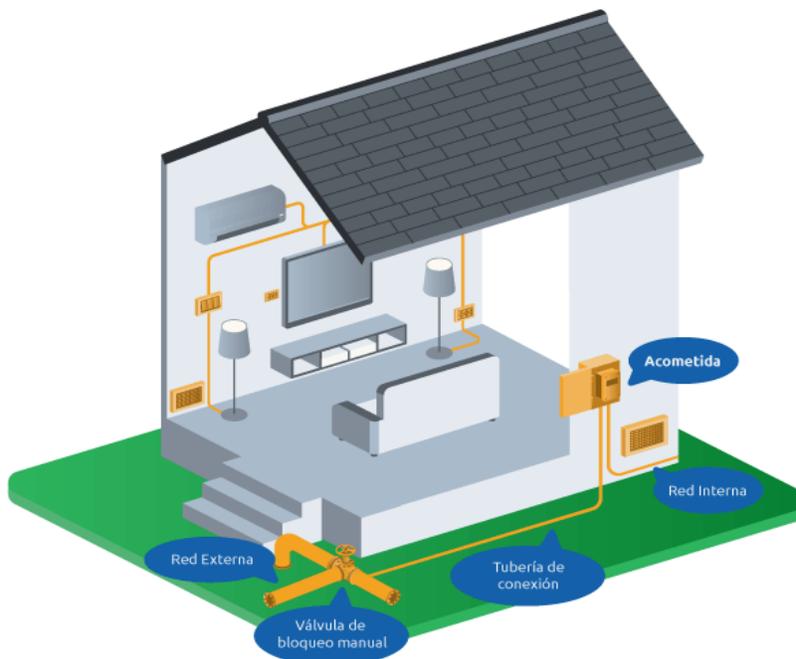
2.3.2.1. ACOMETIDA DE GAS

La acometida de gas es la canalización necesaria para que un nuevo punto de suministro pueda tener acceso al gas. Esto se consigue mediante una conexión desde la red gasística de la distribuidora hasta la vivienda o edificio. Desde la tubería de la distribuidora, que se encuentra en la calle, se abre una línea de acometida para que el gas natural llegue a la vivienda. Antes de llegar a esta, debe pasar por una válvula que permita el cierre general. Esta válvula se puede encontrar antes de llegar al armario de regulación o estar dentro de este. (Selectra, 2020)

Estas son instaladas y son propiedad de la empresa distribuidora, que se encarga de velar por su buen funcionamiento. En la actualidad el material más utilizado en la red secundaria y acometidas es el polietileno. Si es que se usarán varios medidores, entonces se requiere de un

gabinete de regulación y por separado uno o varios gabinetes de medición. (Ochoa Capaico, 2015)

FIGURA 2.30. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DOMESTICA DE GAS



FUENTE: (Selectra, 2020)

2.3.3. COMPONENTES Y ACCESORIOS PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN

2.3.3.1. TUBERIAS DE ACERO

Las tuberías de acero por su calidad, características y propiedades determinadas hacen a estos productos ideales para cualquier tipo de uso e industrias por lo que han logrado obtener gran acogida en el mercado. (González M. , 2017)

Este tipo de tuberías pueden ser utilizadas en instalaciones de boca de carga o de alta presión y se pueden utilizar siempre y cuando se cuente con una protección interna, con un recubrimiento galvanizado o equivalente. Serán fabricadas bajo las normas ASTM A53 grados A y B. (Ortiz Caaspa, 2018)

Las tuberías de acero ligero de paredes delgadas se utilizan exclusivamente en tuberías de gas de baja presión. El bajo peso del material facilita el trabajo con tuberías y le permite

instalar fácilmente la red, que se caracteriza por características estructurales complejas. Tienen una alta conductividad térmica, lo que a menudo conduce a la formación de condensado. (Tophometips, 2019)

FIGURA 2.31. TUBOS DE ACERO NEGRO Y GALVANIZADO



FUENTE: (González M. , 2017)

Las ventajas son:

- Debido a sus cualidades físicas, los productos de acero se caracterizan por su alta resistencia.
- Los trabajos de soldadura de alta calidad garantizan la confiabilidad y la estanqueidad de la costura.
- Pueden considerarse universales debido a la posibilidad de realizar instalaciones de superficie y subterráneas.
- Son adecuados tanto para uso interior como exterior. (Tophometips, 2019)

Las desventajas son:

- La complejidad del trabajo de instalación.
- Baja resistencia a la corrosión.
- Tendencia a la formación de condensados.

- Alto costo.
- Poca flexibilidad. (Tophometips, 2019)

2.3.3.1.1. TUBOS DE ACERO NEGRO

El tubo de acero negro (comúnmente conocido como el acero básico) es diferente al tubo galvanizado. El color oscuro proviene del óxido de hierro formado en su superficie durante la fabricación. El propósito principal de tubo de acero negro es llevar el propano o el gas natural a las viviendas residenciales y edificios comerciales. El tubo se fabrica sin costuras, por lo que es mejor un tubo para transportar el gas. La tubería de acero negro también se utiliza para los sistemas de rociadores contra incendios, ya que es más resistente al fuego que el tubo galvanizado. (González M. , 2017)

Sus uniones se realizan por soldadura o mecanizando las piezas en roscas. Estas tuberías tienen una alta resistencia a la tensión y unas de las propiedades de este material son su dureza y uniformidad. Este tipo de tubería necesita un mantenimiento y una protección contra la corrosión. En el mercado, se suministran con el diámetro en la unidad de pulgadas. (AverroesBlogs, 2020)

2.3.3.2. TUBERIAS DE POLIETILENO

El polietileno es uno de los mejores materiales para la conducción tanto de líquidos como de gases. A lo largo de los años hemos ido viendo una gran mejora en el uso de materiales para la conducción de gas. Estos últimos han sido los que finalmente se han impuesto en el mercado debido a las sobradas ventajas que ofrecen frente a tuberías de hierro y derivados. (Aristegui Maquinaria, 2017)

El polietileno es un termoplástico no polar, semicristalino con distintos grados de reticulación, que se obtiene por polimerización del etileno y plastificantes, llevando incorporado

el negro de carbono para protegerlas de la luz solar, conformándose por extrusión. Están diseñadas para trabajar enterradas a 20° C durante una vida útil de cómo mínimo 50 años, teniendo en cuenta de que a partir de 0,8 m. de profundidad de enterramiento dejan de influir sobre las tuberías las condiciones de temperatura ambiental, podemos decir que su duración total todavía es mucho más. (AverroesBlogs y Junta de Andalucía, 2020)

Podemos encontrar dos tipos de tuberías de diferentes densidades: Alta densidad; y baja densidad. Estas tuberías son resistentes a la corrosión y a la exposición de rayos UV. Dependiendo de la densidad de la tubería nos varían las características específicas y el comportamiento en nuestra instalación. (AverroesBlogs, 2020)

FIGURA 2.32. TUBOS DE POLIETILENO



FUENTE: (Aristegui Maquinaria, 2017)

Las principales ventajas son:

- Las longitudes de los tubos suelen ser mucho más extensas. Al ser un material mucho más flexible y liviano, los tubos son más largos. Esto consigue que se disminuyan lo máximo posible el número de uniones.
- Es un material que resiste totalmente a la corrosión. Evitando de este modo uno de los problemas más peligrosos que se pueden ocasionar en tuberías de otros materiales.
- Al ser un material muy flexible, esto permite que las tuberías se adapten perfectamente a prácticamente cualquier tipo de entorno y terreno.

- Las uniones que hay entre tuberías son más seguras que en otros materiales como el hierro.
- El polietileno es uno de los materiales para tuberías con vida útil más larga que existe.
- Su coste es mucho más reducido. Sobre todo, si lo comparamos con materiales como y hierro fundido. (Aristegui Maquinaria, 2017)

Las desventajas son:

- Es imposible usar PE en zonas activas sísmicas, en áreas donde la temperatura desciende a -45 grados, en tuberías de gas con una presión de más de 1.2 MPa.
- Cuando el polietileno se calienta a 80 grados, se produce su deformación y luego se destruye. (Tophometips, 2019)
- No resisten las sobrecargas excesivas.
- Susceptibles a la dilataciones térmicas. (AverroesBlogs y Junta de Andalucía, 2020)

Todos estos factores son los que influyen a la hora de realizar una instalación de gas. De ahí a que la gran mayoría de instalaciones de gas se realicen actualmente con polietileno. (Aristegui Maquinaria, 2017)

2.3.3.3. VÁLVULAS O LLAVES DE BLOQUEO

Son el tipo de válvulas que permiten o impiden el paso del fluido por el interior de la tubería, pero no son capaces de regular el caudal. Son dispositivos que impiden por completo la circulación del fluido cuando se encuentran cerradas y ofrecen resistencia mínima al paso del fluido cuando se encuentran abiertas.

Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta unos de más de diámetro. Lo mismo ocurre en las presiones, ya que podemos encontrar válvulas para presiones de vacío

hasta alta presión. En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen tanta importancia. (Boixader, y otros, 2016)

2.3.3.3.1. TIPOS DE VALVULA DE PASO

Se tienen a las válvulas de bola, mariposa, diafragma y de compuerta.

- **Válvulas de bola:** Son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto. Son muy recomendadas para servicios de conducción y corte sin estrangulación, cuando se requiere una apertura rápida y cuando se necesita resistencia mínima a la circulación. Su coste es bajo en comparación con otro tipo de válvulas, funcionan bien en temperaturas moderadas y además requieren poco mantenimiento y no son propensas a las fugas. Hay que tener en cuenta que este tipo de válvulas son propensas a la cavitación. (Boixader, et al., 2016)

FIGURA 2.33. VÁLVULA DE BOLA



FUENTE: (Cueva del Ingeniero Civil, 2019)

- **Válvula de mariposa:** El cuerpo es un anillo cilíndrico en cuyo interior está colocado un disco que puede efectuar un giro máximo de 90° , cerrando completamente o permitiendo el paso máximo del fluido. En la selección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de

cierre. Se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada. Se emplea en el control de grandes caudales de fluidos a baja presión. (Bellera, Fernandez, Serna, Domenech, & Lopez, 2010)

FIGURA 2.34. VÁLVULA MARIPOSA



FUENTE: (DirectIndustry, 2020)

- **Válvulas de diafragma:** Son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación. (Boixader, y otros, 2016)

FIGURA 2.35. VÁLVULA DIAFRAGMA



FUENTE: (Crane ChemPharma & Energy, 2014)

Son muy recomendadas para servicios de apertura o cierre total, para servicios de estrangulación y en tramos de baja presión. Este tipo de válvulas todo y ser susceptibles al desgaste, tiene un coste muy bajo, no presentan posibilidad de fuga por el vástago y son inmunes a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan por su interior. (Boixader, y otros, 2016)

- **Válvula de Compuerta:** Resistencia mínima al fluido en la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente. Se utiliza para servicio de líquidos limpios (contienen poco o ningún material sólido). Este tipo de válvula supera en número a otros tipos de válvulas en servicio donde se requieren circulación ininterrumpida y poca caída de presión. No se recomiendan para servicios de estrangulación, porque la compuerta y el sello tienden a sufrir erosión rápida, cuando se restringe la circulación y producen turbulencia con la compuerta parcialmente abierta. (González & Rosas, 2008)

FIGURA 2.36. VÁLVULA DE COMPUERTA



FUENTE: (Grupo Almagromur, 2019)

2.3.3.4. OTROS ACCESORIOS

Los accesorios son un conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que se unen a las tuberías o equipos del proceso para asegurar la correcta unión y distribución. Los accesorios se

clasifican en distintos grupos según la función que desempeñan en el circuito. Las características a tener en cuenta son: diámetro nominal, material de fabricación, resistencia, espesor y dimensión del accesorio. (Boixader, y otros, 2016)

Cada accesorio de acero soldado a tope deberá tener regímenes de presión y temperatura basados en tensiones para tubo del mismo material o equivalente. El menor espesor admitido de los accesorios es el estándar o schedule 40.

Para la unión de los accesorios de polietileno a emplear en las redes de distribución de gas es el sistema de electrofusión en concordancia con las normas EN 1555 Parte 3, NAG-131 o norma equivalente. Otros sistemas de unión deberán ser autorizados expresamente.

Para la unión de los tubos de polietileno con las tuberías de acero se deberá emplear accesorios de transición, que confinen el polietileno en ranuras practicadas en la parte metálica, impidiendo su desarme. Está absolutamente prohibido el empleo de accesorios de polietileno que sellen sus uniones mediante el uso de roscas talladas en su cuerpo, o los denominados rosca - compresión. (ANH, 2015)

2.3.3.4.1. CODOS

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías. Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la prefabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas. (Ortega Siguenza, Mazzini Flores, & Socasi Taco, 2009)

- Los tamaños de diámetro de los codos varían desde $\frac{1}{4}$ " hasta 120", también existen codos de reducción.
- Sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.

- Según sus radios los codos pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra largo.
- La normativa o codificación del fabricante determina el espesor o grosor de la pared del codo.
- Puede ser soldable a tope, roscable, embutible y soldable. (Ortega Siguenza, Mazzini Flores, & Socasi Taco, 2009)

2.3.3.4.2. TEES

Son accesorios fabricados en diferentes aleaciones, materiales y diámetros y se utilizan para conectar distintas líneas de tubería. Por esta razón, además de contar con dos bocas, cuentan con una tercera, destinada a recibir una tubería de forma perpendicular.

- Pueden ser de diámetros iguales, como reductoras con dos bocas de igual diámetro y uno desigual. (Sodimac Colombia S.A., 2020)
- Las tes existen en diámetros desde ¼" " hasta 72" " en el tipo Fabricación.
- El espesor depende del tubo o accesorio a la cual va instalada.
- Para instalar las tees en líneas de tubería se puede hacer, mediante procedimiento de rosca embutible, soldadura o soldadura a tope. (Ortega Siguenza, Mazzini Flores, & Socasi Taco, 2009)

2.3.3.4.3. UNIONES Y BRIDAS

- **Las uniones.** Existen dos tipos de uniones, las coplas son destinadas a interconectar dos tuberías del mismo diámetro de forma lineal. Llevan el hilo en el interior y se unen con soldadura, apriete mecánico o adhesivo. Los nipples cumplen con la misma función que una copla, pero llevan el hilo por el exterior. Se unen con soldadura, apriete mecánico o adhesivo. (Sodimac Colombia S.A., 2020)

- **Las bridas.** Son accesorios para conectar tuberías con equipos (Bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.). La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado. La ventajas de las uniones bridadas radica en el hecho de que, por estar unidas por espárragos, permite el rápido montaje y desmontaje a objeto de realizar reparaciones o mantenimiento. Entre los tipos de bridas tenemos. (Ortega Siguenza, Mazzini Flores, & Socasi Taco, 2009)

2.3.3.4.4. REDUCTODES

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías. Existen dos tipos el estándar concéntrica que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje. Y el estándar excéntrica que se utiliza también para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad, pero perdiendo su eje. Entre sus características tenemos: (Ortega Siguenza, Mazzini Flores, & Socasi Taco, 2009)

- El diámetro variable.
- El grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extra pesado.
- Se instala a través de juntas roscables, embutible saldables y soldable a tope. (Ortega Siguenza, Mazzini Flores, & Socasi Taco, 2009)

2.3.3.4.5. TAPONES

Son piezas terminales que cierran una tubería, pudiendo ser un cierre estanco o con registro. Su objetivo es bloquear o impedir el paso o salida de fluidos en momentos determinados.

Son utilizados principalmente en tuberías de diámetro reducido y según su forma de instalación pueden ser macho o hembra. Se unen con soldadura, apriete mecánico o adhesivo. (Sodimac Colombia S.A., 2020)

2.3.4. UNIÓN DE TUBERIAS

Las uniones de los tubos entre sí y de éstos con los accesorios y elementos de las instalaciones, se deben hacer de forma que el sistema utilizado asegure la estanqueidad sin que esta sea afectada por los distintos tipos y presiones de gas que se puedan suministrar, ni por el medio exterior que estén en contacto. (FullMecánica, 2014)

2.3.4.1. MÉTODOS DE UNIÓN PARA POLIETILENO

Las uniones de los tubos de polietileno entre sí, accesorios, a elementos auxiliares o a tubos metálicos se harán mediante soldeo o sistemas de transición apropiados. Si se realiza esta operación adecuadamente, puede dar como resultado una unión tan resistente o más que el propio tubo. (CEPSA, 2001)

Existen dos métodos para unir Tuberías de Polietileno la Termofusión y Electrofusión; y podemos clasificarlas de la siguiente manera:

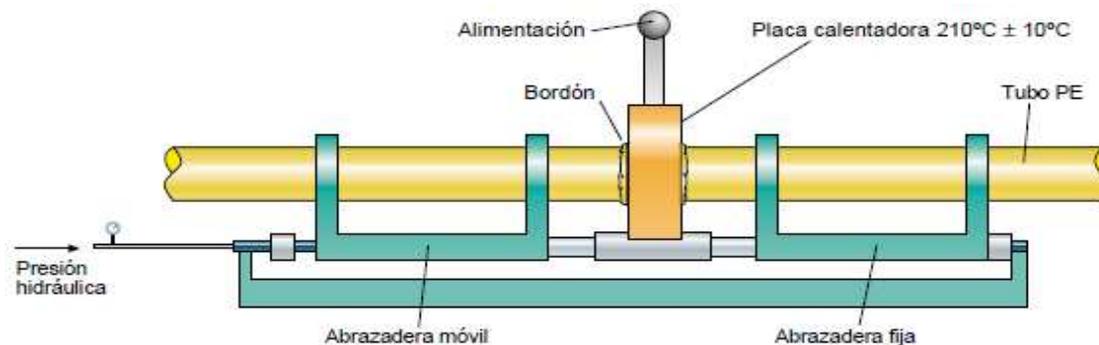
- Unión a tope: se realiza cuando se enfrentan los extremos a unir. Se puede realizar tanto entre tubos como entre tubo y accesorio.
- Unión a Socket: Se efectúa entre un extremo a unir macho (tubo) y otro hembra (accesorio).
- Unión con silla: Se utiliza para realizar derivaciones (ramales) y acometidas. (PAVCO, 2014)

2.3.4.1.1. TERMOFUSIÓN

Posibilita realizar la unión de dos tubos en un corto tiempo con maquinaria específica, a través del calentamiento de los extremos del tubo, con una temperatura determinada para el tipo de diámetro exterior y la pared de cada tubo, en el que una vez alcanzada la temperatura se lo somete a una presión constante predeterminada durante un tiempo, resultando una fusión molecularmente homogénea, conformando un solo cuerpo con los tubos a instalar. (AverroesBlogs y Junta de Andalucía, 2020)

Los Parámetros Básicos son la temperatura de la plancha calentadora, tiempo de calentamiento y presión. Y entre las condiciones básicas a tener en cuenta tenemos: (PAVCO, 2014)

- Se debe disponer en el lugar de trabajo de todas las herramientas y equipos adecuados para la termofusión.
- Asegurarse que todas las superficies a unir estén limpias y secas.
- Tener en condiciones óptimas de uso las herramientas necesarias, siguiendo las recomendaciones del proveedor del sistema.
- Asegurarse que la temperatura de la plancha calentadora sea la adecuada y comparar con el termómetro de contacto el funcionamiento del sistema de medición de temperatura de las superficies calentadoras.
- Aplicar los tiempos de calentamiento y presiones adecuadas para el tipo de unión. No se deberá tocar o soplar las superficies que hayan sido limpiadas y preparadas para la unión.
- No debe recalentar la Tubería o el accesorio, después de haber intentado una unión inadecuada.
- Para proteger el área de trabajo de la influencia del viento o la lluvia, al realizar la unión se deberá usar una carpa protectora. (PAVCO, 2014)

FIGURA 2.37. SISTEMA DE TERMOFUSIÓN

FUENTE: (CEPSA, 2001)

2.3.4.1.2. ELECTROFUSIÓN

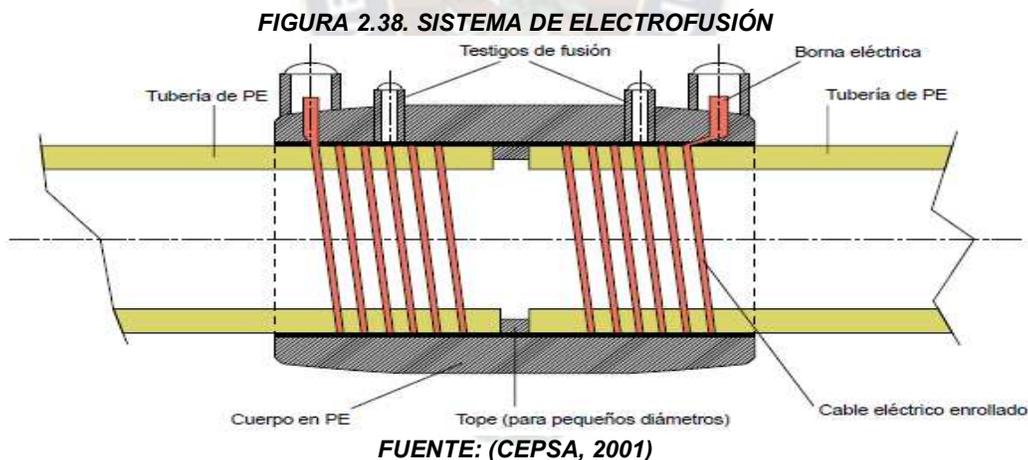
La electrofusión hace uso de la energía eléctrica para realizar la unión de tubo y accesorio. El principio de funcionamiento de la electrofusión se basa en la circulación de una corriente eléctrica originada al cerrarse el circuito formado por la unidad de control (máquina de electrofusión) y el accesorio que está provisto de una resistencia interna. Debido a las pérdidas causadas por las corrientes parásitas, parte de la energía eléctrica se transforma en calor.

El calor así generado produce la plastificación del polietileno del tubo y del accesorio. Al aumentar la temperatura, el polietileno se dilata produciendo una interferencia entre las piezas a unir. Esta interferencia es la que origina la presión necesaria para la correcta unión. Los parámetros de toda buena unión son básicamente tres, a saber: temperatura, presión y tiempos (de calentamiento y enfriamiento). Hay dos tipos de electrofusión, la clásica y la inteligente. (PAVCO, 2014)

- **Electrofusión Clásica.** El tiempo de fusión es cargado por el operario mediante un teclado provisto en la unidad de control. Dicho tiempo viene especificado por el accesorio a unir. En este punto puede existir un error de carga y por consiguiente una mala unión,

no obstante, el rango de error se ve muy disminuido con respecto a la termofusión. (PAVCO, 2014)

- **Electrofusión Inteligente.** En este sistema tanto unidad de control como accesorio deben ser compatibles. La característica es que la unidad de control reconoce el accesorio que ha sido conectado y automáticamente lee el tiempo de fusión y tiene en cuenta otros factores, como la temperatura ambiental y la correcta instalación del accesorio sobre la Tubería. Con esta clase de equipo se eliminan los errores humanos ya que la máquina de electrofusión controla todos los parámetros de forma automática y ante cualquier problema emite mensajes de error. Además, existe como opción un equipo que guarda en la memoria todos los datos de la unión, para así llevar una estadística de control y ubicar rápidamente cualquier problema actual o futuro. (PAVCO, 2014)



Y entre las instrucciones básicas a tener en cuenta tenemos:

- Mantener las manos alejadas de los contactos eléctricos y colocar siempre “polo a tierra”.
- Revisar el cableado eléctrico como también las conexiones eléctricas y todas las herramientas para asegurarse que están en condiciones de uso y seguridad.

- En caso de inclemencias climáticas durante la operación se deberá proteger el equipo (con una carpa). Si el día es muy húmedo se deben extremar las precauciones de seguridad. (PAVCO, 2014)

2.3.4.2. METODOS DE UNIÓN PARA ACERO

2.3.4.2.1. UNIONES POR SOLDEO

En general las técnicas de soldadura y, en su caso, los materiales de aportación para su ejecución deben cumplir con unas características mínimas de temperaturas y tiempo de aplicación, resistencia a la tracción, resistencia a la presión y al gas distribuido y deben ser adecuadas a los materiales a unir. El proceso de soldadura y los soldadores que lo apliquen deben estar calificados, según Código ASME Sección IX o ANSI/AWS A 5.8. En la realización de las soldaduras se deben seguir las instrucciones del fabricante de los tubos, de los accesorios y del material de aportación, teniendo especial precaución en la limpieza previa de las superficies a soldar. (FullMecánica, 2014)

- **Unión Acero - Acero.** Las uniones de tuberías de acero entre sí o con sus accesorios (manguitos, codos, curvas, reducciones, derivaciones, etc.), se realizarán, en general, mediante soldadura eléctrica, pudiéndose utilizar la soldadura oxiacetilénica para la unión de tubos de DN 50 o inferior, aunque se recomienda la soldadura eléctrica para tramos en media presión. En el caso de que los tubos estén protegidos contra la corrosión mediante galvanizado, antes de efectuar el proceso de soldadura deberá eliminarse previamente la capa de zinc de protección de los extremos a unir. Si no es posible eliminar esta protección, se procederá a efectuar soldadura oxiacetilénica utilizando un conjunto de varilla y desoxidante que impida la destrucción de la capa protectora galvanizada.

Debido a que el proceso de soldadura para tubos galvanizados es complicado y de difícil ejecución, al igual que su proceso de pintado, se recomienda utilizar siempre el tubo de acero sin revestimiento galvánico. (Landete Morató & Enguidanos Jávega, 2012)

- **Unión Acero inoxidable - Acero inoxidable.** Las uniones de las tuberías de acero inoxidable se realizarán mediante soldadura fuerte por capilaridad por mediación de un accesorio adecuado. Este tipo de soldadura fuerte por capilaridad se realizará con material de aportación con aleación de plata con un contenido no inferior al 40 % de plata y exenta de metaloides, aluminio, mercurio y antimonio (punto de fusión 655 ° C), específico para el acero inoxidable. (Landete Morató & Enguidanos Jávega, 2012)
- **Unión de Polietileno - Acero.** Se realizará mediante un enlace de transición, fijo o desmontable según el caso, que cumpla los requisitos que exige la Empresa Suministradora a estos tipos de enlaces. (Landete Morató & Enguidanos Jávega, 2012)

2.3.4.2.2. UNIONES MEDIANTE SISTEMAS MECANICOS

Las uniones mediante sistemas mecánicos se utilizarán principalmente para unir elementos o accesorios, como pueden ser contadores, reguladores, llaves de corte, tomas de presión, etc., a las tuberías de gas. Las uniones mediante sistemas mecánicos sólo podrán utilizarse en tuberías vistas o alojadas en armarios. (Landete Morató & Enguidanos Jávega, 2012)

- **Unión por Junta Plana.** Sirve para conectar las tuberías a los accesorios desmontables pertenecientes a la instalación receptora (dispositivos de corte, contadores, reguladores,

válvulas de seguridad por mínima presión, etc.) y en las conexiones rígidas de aparatos a gas fijos. (CEDIC, 2008)

- **Unión Roscada.** Las tuberías que se han de unir mediante roscado solamente pueden ser de acero, debiendo cumplir condiciones de estanqueidad y para ello se recomienda el uso de compuestos anaeróbicos o compuestos no endurecibles o bien con cinta de estanqueidad de teflón, la presión de servicio que circule por una junta roscada no debe superar los 35 kPa en instalaciones interiores y 68 kPa en instalaciones exteriores. (Ortiz Caaspa, 2018)
- **Unión por Bidas.** Este tipo de unión se puede utilizar exclusivamente en accesorios desmontables pertenecientes a la instalación receptora y en los tramos de conexión rígida de aparatos y quemadores a gas fijos. (CEDIC, 2008)

Las bridas son muy utilizadas y la razón principal es la capacidad de desmontaje que ofrecen, ya que sus pernos permiten un desmontaje ágil. (Gutiérrez Yagüe, 2020)

2.3.5. CRITERIOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE RUTAS DE TRAZADO

Los tendidos de tuberías se dividen en general en tuberías de acero para las redes primarias hasta 42 bar en función de la clase de trazado y tuberías de polietileno para las redes secundarias hasta 4 bar. Asimismo, se permite emplear en las redes secundarias, tuberías de acero, a juicio de la Distribuidora responsable. En cuanto a las tuberías de cobre, se circunscriben exclusivamente a los servicios domiciliarios interiores. Los criterios generales de selección de trazado son: (ANH, 2015)

- El estudio del trazado debe contener el análisis de una fácil instalación y una operación posterior sin causar inconvenientes mayores a terceros.
- Debe contemplarse la seguridad y acceso permanente a las válvulas de bloqueo que sean necesarias ubicar en el tendido de la red.
- También se deberá elegir entre los trazados previstos inicialmente, los que presenten menores riesgos por obras de terceros e interactúen en menor medida con el resto de las instalaciones subterráneas.
- Evitar atravesar propiedades privadas o de difícil acceso en caso de accidentes. e) Se deberá obtener la información correspondiente de los organismos oficiales, sobre planes futuros de ampliación o de construcción de viviendas.
- Antes de iniciar el diseño se deberá obtener como referencias la disposiciones sobre vías, pliegos de especificaciones de concesión, códigos de las comunas, reglamentos de empresas (ferrocarriles, vías fluviales, otros servicios públicos etc.), reglamento de seguridad y especificaciones de YPFB. (ANH, 2015)

El objetivo del diseño de una red de gas es suministrar el fluido a los usuarios finales a los que va destinados, por lo que:

- Deberá ser capaz de alimentar a todos los clientes para la que fue diseñada, aun en su pico de consumo.
- El diseño deberá comprender y justificar en su protocolo de cálculo, la capacidad de la red para abastecer todos los consumos previstos, así sean domésticos, comerciales, industriales o gubernamentales.
- Los métodos de cálculo deberán tener en cuenta, además de los consumos específicos de la población, en el momento del diseño, su incremento por mejoras del servicio y mayor

confort a lo largo del tiempo durante la utilidad de la red y por futuras ampliaciones de los usuarios previstos en los planes oficiales. (ANH, 2015)

El diámetro mínimo de una tubería de red de distribución enterrada, exceptuando a los servicios domiciliarios será de 40 mm, a pesar de que del cálculo puedan aconsejar diámetros menores. Para los servicios domiciliarios externos el diámetro mínimo será de 20 mm. (ANH, 2015)

2.3.5.1. SECCIONAMIENTO DE LA RED

Se deberá prever el seccionamiento de la red en zonas de un número de manzanas adecuadas y en relación con el número de clientes abastecidos, para facilitar el bloqueo y venteo de la zona en caso de accidente. Y para simplificar la operación de bloqueo se deberán ubicar el conjunto de válvulas necesarias para seccionar la red en la proximidad inmediata unas de otras y cuando sea posible su ubicación en cámaras compartidas. Para evitar que algún bloqueo de red derive en el corte de suministro a un número mayor de clientes que al necesario, se deberán alimentar las redes secundarias por más de una derivación. El plano de seccionamiento debe ser realizado en una cartografía de fácil comprensión, con indicación de las zonas de bloqueo, ubicación de las válvulas de bloqueo, su marcado en el terreno y formato utilizable en los vehículos de operación. (ANH, 2015)

2.3.5.2. PRESIONES DE SUMINISTRO

El diseño de la red secundaria se realizará con una presión máxima de 4 bar, considerada técnicamente apta para otorgarle una buena elasticidad operativa y un grado de seguridad compatible con el trazado en medio de la ciudad. La mínima presión de la red de distribución de gas como condición de borde, será de 1.0 bar, salvo en los lugares donde se prevea la ampliación

futura de la red. El diseño de la red se realizará por el sistema de programación variable, es decir que se preverán las ampliaciones y mejoras de suministro por un lapso de 5 años, luego se realizarán los refuerzos necesarios que surjan del análisis del monitoreo permanente de las presiones operativas. La presión máxima de alimentación a los clientes será de 4 bar y la mínima de 1.0 bar, mientras que dichos clientes serán alimentados por intermedio de reductores – reguladores individuales, con sistema de seguridad incorporado. (ANH, 2015)

- Ecuación de Renouard Cuadrática

Para tuberías horizontales y tomando valores de viscosidad, temperatura y presión base, factor de compresibilidad Z, y transformando unidades en la ecuación cuadrática de Renouard de media presión se tiene:

$$P_1^2 - P_2^2 = C_{RC} * \rho_r * L * \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}} \quad (24)$$

Donde:

P_1 = Presión absoluta al inicio del tramo, (bar)

P_2 = Presión absoluta al final del tramo, (bar)

C_{RC} = Coeficiente de Renouard cuadrática, (adimensional)

ρ_r = Densidad relativa del gas, (adimensional)

L = Longitud de tramo equivalente, (m)

Q = Caudal, (m³/h)

D = Diámetro interno, (mm) (ANH, 2015)

El coeficiente constante de la fórmula de Renouard cuadrática, que es el factor constante que multiplica en la fórmula de Renouard cuadrática para presiones entre a 100 mbar y 16 bar.

Este valor suele tomarse igual a 48,66 entre 100 mbar y 4 bar e igual a 51,5 entre 4 y 16 bar. (Cypecad, 2017)

2.3.5.3. VELOCIDADES DEL GAS DENTRO DE LA TUBERÍA

Para evitar la alta velocidad del gas en las tuberías, lo que traería aparejado un importante desgaste, pérdida de carga y movimiento del polvo contenido en el gas, se limitarán a los siguientes valores, según su presión y zona de red:

- En tramos de red nueva: 20 m/seg.
- En tramos de equipos de medición: 15 m/seg.
- En tramos extremos de la red sin posibilidad de expansiones: 40 m/seg. (ANH, 2015)

- Ecuación de Velocidad de Gas

La velocidad v del gas en m/s, se calcula mediante la fórmula:

$$v = \frac{354 \cdot Q \cdot z}{P \cdot D^2} \quad (25)$$

Donde:

v = Velocidad del gas, (m/s)

Q = Caudal, (m³/h)

z = Coeficiente de compresibilidad del gas, (adimensional)

P = Presión media absoluta en tramo, (bar)

D = Diámetro interno, (mm)

La presión promedio P en el tramo puede calcularse por la siguiente expresión:

$$P = \frac{2(P_1^3 - P_2^3)}{3(P_1^2 - P_2^2)} \quad (26)$$

Donde:

P_1 = Presión absoluta al inicio del tramo, (bar)

P_2 = Presión absoluta al final del tramo, (bar)

P = Presión media absoluta en tramo, (bar) (ANH, 2015)

2.3.5.4. NÚMERO DE USUARIOS PARA NUDO DE CONSUMO

Para el caudal en los nudos se realiza en base a una compensación de caudales, a través de la ecuación 14, la cual se tiene como datos conocidos el consumo de equipos, simultaneidad, el porcentaje de cobertura de equipos. La variable restante es N el número de usuarios que se tiene en el tramo. En el caso de no contar con la planimetría o planos de urbanización con la respectiva división de lotes, se puede estimar el número de usuarios en base a la siguientes ecuaciones. (Manchengo, 2021)

$$N_n = \frac{L_{total}}{2 * FP} \quad (27)$$

$$L_{total} = \sum L_a + L_b + \dots + L_{enésima} \quad (28)$$

Donde:

N_n = Número de usuarios en el nudo de consumo, (adimensional)

L_{total} = Sumatoria de longitudes adyacentes, (m)

FP = Frente promedio de lote, (m)

$L_a, L_b \dots L_{enésima}$ = Longitudes adyacentes al nudo de análisis, (m) (Manchengo, 2021)

2.3.6. PERDIDA DE CARGA

La pérdida de carga en tuberías es la pérdida de presión de un fluido al producirse fricción entre las partículas del fluido y las paredes del conductor, y por obstáculos en la conducción, para un determinado caudal. La modificación del estado inicial de energía del flujo por la tubería es una pérdida de energía, que habitualmente se expresa en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante y se denomina pérdida de carga. Debemos tener en cuenta que la pérdida de carga está relacionada con variables fluidodinámicas según el tipo de flujo. La pérdida de carga depende principalmente de las siguientes variables: (Arco, 2019)

- **La sección:** a menor sección mayor pérdida de carga.
- **La longitud:** a mayor longitud mayor pérdida de carga.
- **El caudal que circula:** a mayor caudal mayor pérdida de carga.
- **El material:** Cuando más rugoso es el material mayor es la pérdida de carga.
- **El tipo de fluido:** según el fluido y su densidad tendremos valores distintos. (Arco, 2019)

2.3.6.1. TIPOS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

Existen dos partes de pérdidas de carga: pérdida de carga por fricción, también conocidas como pérdida lineal o continua, y pérdida de carga localizada, conocidas como pérdida singular o en accesorios. (Arco, 2019)

- **Pérdidas continuas.** Son las que ocurren por los rozamientos del fluido con las tuberías y dependen de parámetros como longitud y rugosidad de la tubería, y la velocidad, viscosidad o densidad del fluido. Muchos fabricantes de tuberías tienen a su disposición tablas con las pérdidas de carga y la relación entre pérdida y caudal. Sin duda facilita el trabajo para el dimensionado de la instalación. (Arco, 2019)

- **Pérdidas localizadas.** Son las causadas por el cambio de movimiento que experimenta el fluido cuando cambia de dirección. Se les conoce también como pérdidas en accesorios, accidentales o singulares. A diferencia de la pérdida continua, no son causadas por la fricción, sino por fenómenos de turbulencia originados en puntos específicos de los sistemas de tuberías. Estos puntos pueden ser: válvulas, codos, cambios de dirección, juntas, derivaciones, etc. (Arco, 2019)

Los encargados de dimensionar y calcular las instalaciones hidráulicas consideran tres aspectos fundamentales: la resistencia mecánica, las pérdidas de carga y el presupuesto. Es así como el éxito de una instalación cuenta con una buena presión del servicio con el menor coste energético gracias a la reducción a la expresión mínima de las pérdidas de carga. (Arco, 2019)



CAPITULO III DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO DE PETROLEO POR REDES EN LA LOCALIDAD DE PALCA

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD

El presente proyecto involucra a la localidad de Palca, que se encuentra en la provincia Murillo del departamento de La Paz. La población se encuentra en desarrollo, donde las calles y avenidas son de tierra en su mayoría. La topografía de la zona presenta pendientes no tan pronunciadas como las de un valle.

FIGURA 3.1. VISTA SATELITAL DE PALCA



FUENTE: (Google Maps, 2021)

Las coordenadas de la localidad son señaladas en la siguiente tabla (3.1.).

TABLA 3.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE PALCA

LOCALIDAD	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
PALCA	LATITUD	S16°33'40.0044"
	LONGITUD	W67°57'10.8934"

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Google Maps)

3.2. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DE GLP EN BOLIVIA

Se tiene la siguiente composición de GLP obtenida por parte YPFB. Donde el componente en mayor concentración es el Propano con un porcentaje del 64% en volumen y en menor concentración tenemos al Butano con alrededor del 34% en volumen.

TABLA 3.2. CROMATOGRAFÍA DE GLP

COMPONENTE	%Vol.
C ₁	0
C ₂	0,74
C ₃	63,98
iC ₄	13,79
nC ₄	20,05
iC ₅	1,26
nC ₅	0,18
TOTAL	100

FUENTE: (YPFB, 2014)

3.2.1. CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO

Se cálculo el poder calorífico a partir de las fracciones molares obtenidas por parte de la cromatografía y los poderes caloríficos superiores e inferiores de cada componente tabulados en el GPSA. Las ecuaciones utilizadas son (1) y (2).

$$PCS = \sum Y_i * PCS_i$$

$$PCI = \sum Y_i * PCI_i$$

TABLA 3.3. CÁLCULO DE PODER CALORIFICO SUPERIOR E INFERIOR

COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR	PCI (gas) BTU/ft3	Yi*PCI (gas)	PCS (gas) BTU/ft3	Yi*PCS (gas)
C ₁	0,000000	909,4	0	1010	0
C ₂	0,007400	1618,7	11,97838	1769,6	13,09504
C ₃	0,639800	2314,9	1481,07302	2516,1	1609,80078
iC ₄	0,137900	3000,4	413,75516	3251,9	448,43701
nC ₄	0,200500	3010,8	603,6654	3262,3	654,09115
iC ₅	0,012600	3699	46,6074	4000,9	50,41134
nC ₅	0,001800	3706,9	6,67242	4008,9	7,21602
SUMATORIA	1		2563,752		2783,051

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de YPFB)

Donde tenemos el Poder Calorífico Superior del GLP en BTU/ft³, BTU/m³ y KWh/m³.

$$PCS_{GLP} = 2783,051 \text{ (BTU/ft}^3\text{)}$$

$$PCS_{GLP} = 98282,680 \text{ (BTU/m}^3\text{)}$$

$$PCS_{GLP} = 28,804 \text{ (KWh/m}^3\text{)}$$

Mientras que el Poder Calorífico Inferior del GLP en BTU/ft³, BTU/m³ y KWh/m³ son los siguientes.

$$PCI_{GLP} = 2563,752 \text{ (BTU/ft}^3\text{)}$$

$$PCI_{GLP} = 90538,196 \text{ (BTU/m}^3\text{)}$$

$$PCI_{GLP} = 26,534 \text{ (KWh/m}^3\text{)}$$

Para los cálculos se considera los PCIs esto debido a que no se toma en cuenta al calor latente del vapor de agua de la combustión y a su vez este se ajusta más a un valor real de calor que genera el GLP.

3.2.2. CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA

El peso molecular aparente de la mezcla de GLP se calculó mediante la ecuación (3) y datos tabulados de pesos moleculares de cada componente.

$$M_{GLP} = \sum Y_i * M_i$$

TABLA 3.4. CÁLCULO DE PESO MOLECULAR APARENTE

COMPONENTE	FRACCION MOLAR	M (g/mol)	Yi *Mi
C ₁	0,000000	16,043	0
C ₂	0,007400	30,07	0,222518
C ₃	0,639800	44,097	28,2132606
iC ₄	0,137900	58,123	8,0151617
nC ₄	0,200500	58,123	11,6536615
iC ₅	0,012600	72,15	0,90909
nC ₅	0,001800	72,15	0,12987
SUMATORIA	1,000000		49,144

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de YPFB)

Utilizando la ecuación (4), se obtiene una gravedad especifica del GLP en estado gaseoso, para su posterior utilización en la selección de los tanques y la simulación en las redes de distribución.

$$GE_{GLP} = \frac{M_{GLP}}{M_{AIRE}} = \frac{49,144}{29}$$

$$GE_{GLP} = 1,695$$

3.2.3. CÁLCULO DEL FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

Para calcular el factor de compresibilidad (z), primeramente, se calculará las propiedades críticas (P_c y T_c) con las ecuaciones (5) y (6).

$$P_{c_{GLP}} = \sum Y_i * P_{c_i}$$

$$T_{c_{GLP}} = \sum Y_i * T_{c_i}$$

TABLA 3.5. CÁLCULO DE PROPIEDADES CRÍTICAS DEL GLP

COMPONENTE	FRACCION MOLAR	P_c (Psia)	$Y_i * P_c$	T_c (R)	$Y_i * T_c$
C ₁	0,000000	667	0	343,34	0
C ₂	0,007400	707,8	5,23772	550,07	4,070518
C ₃	0,639800	615	393,477	665,92	426,055616
iC ₄	0,137900	527,9	72,79741	734,41	101,275139
nC ₄	0,200500	548,8	110,0344	765,51	153,484755
iC ₅	0,012600	490,4	6,17904	828,96	10,444896
nC ₅	0,001800	488,1	0,87858	845,7	1,52226
SUMATORIA	1,000000		588,6042		696,8532

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de YPFB)

Donde las propiedades críticas obtenidas son:

$$P_{c_{GLP}} = 588,604 \text{ (Psia)}$$

$$T_{c_{GLP}} = 696,853 \text{ (R)}$$

Considerando la presión de operación y la temperatura promedio ambiente para el cálculo de las propiedades reducidas.

$$P_{GLP} = 4 \text{ (bar)} = 58,045 \text{ (Psia)}$$

$$T_{GLP} = 11 \text{ (C)} = 511,470 \text{ (R)}$$

En base a la ecuación (7) se calcula la propiedad reducida para la presión:

$$Pr_{GLP} = \frac{P}{P_c} = \frac{58,045}{588,604}$$

$$Pr_{GLP} = 0,0986$$

Con la ecuación (8) se calcula la propiedad reducida para la temperatura:

$$Tr_{GLP} = \frac{T}{T_c} = \frac{511,470}{696,853}$$

$$Tr_{GLP} = 0,7340$$

Una vez obtenidas las propiedades críticas utilizamos la ecuación de Papay (9) para calcular el factor de compresibilidad:

$$Z = 1 - \frac{Pr}{Tr} * \left(0,36748758 - 0,4188423 * \frac{Pr}{Tr} \right)$$

$$Z = 1 - \frac{0,0986}{0,7340} * \left(0,36748758 - 0,4188423 * \frac{0,0986}{0,7340} \right)$$

$$Z = 0,958$$

3.3. CÁLCULO DE DEMANDA DE GAS LICUADO DE PETROLEO

Para el cálculo de la demanda de Gas Licuado de Petróleo se utilizó datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística correspondientes al censo nacional de 2012. Tomando en cuenta el número de habitantes, viviendas y la tasa de crecimiento poblacional. En base a los datos descritos se realizó una proyección a 10 años a partir de la gestión 2022, esto para garantizar el suministro de Gas Licuado de Petróleo en base al crecimiento para el periodo de 2022-2031.

FIGURA 3.2. ESQUEMA POBLACIONAL DE PALCA

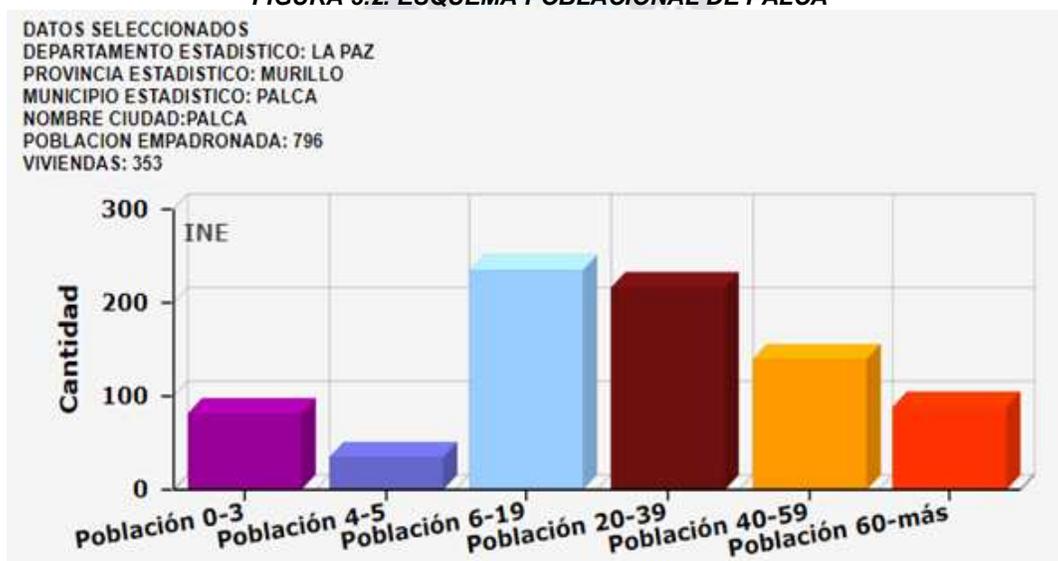


TABLA 3.6. INDICADORES DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DE PALCA

MUNICIPIO	CRECIMIENTO				TASA MEDIA DE CRECIMIENTO ANUAL	
	Absoluto		Relativo		1992-2001	2001-2012
	1992-2001	2001-2012	1992-2001	2001-2012		
PALCA	1825	2437	14,8	17,2	1,5	1,4

FUENTE: (INE, 2021)

3.3.1. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE PALCA

A continuación, se realiza el cálculo correspondiente para el crecimiento poblacional de la localidad de Palca hasta el año 2031, en base a la siguiente ecuación (12).

$$P_{(i+n)} = P_i * (1 + T_C)^n$$

TABLA 3.7. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE PALCA HASTA 2031

AÑO	POBLACIÓN
2012	796
2013	808
2014	819
2015	830
2016	842
2017	854
2018	866
2019	878
2020	890
2021	903
2022	915
2023	928
2024	941
2025	954
2026	968
2027	981
2028	995
2029	1009
2030	1023
2031	1037

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos del INE)

Para el cálculo de la demanda se lo realizara en base a los niveles de usuario Domésticos y Comerciales.

3.3.2. CONSUMO DOMESTICO

El cálculo del consumo doméstico se lo calculara a partir de la ecuación (14) descrita en el D.S. 1996.

$$Q = [(A * C * S)_{cocina} + (A * C * S)_{calentador\ de\ agua}] * N$$

Para el consumo de GLP de consumo de la cocina o calentador de agua se utiliza la ecuación (13). Utilizaremos el Poder Calorífico Inferior para el uso de GLP, considerando una potencia de combustión lo más real posible.

$$C = \frac{P}{PCI}$$

Las potencias de los equipos, en el caso de las cocinas se toma un referencial según el reglamento especificado en el D.S. 1996:

$$P_{cocina} = 10,56 \text{ (Kwh/h)}$$

Para la potencia del calentador de agua se tomó una potencia promedio en base a las capacidades de almacenamiento de catálogos debido a que la potencia que se tiene como referencia en el decreto supremo 1996 es muy baja en comparación al promedio que se utiliza comúnmente en los calentadores.

$$P_{calentador\ de\ agua} = 20,6 \text{ (Kwh/h)}$$

Los consumos de los equipos calculados son:

$$C_{cocina} = \frac{10,56}{26,534} = 0,398 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$C_{calentador \text{ de agua}} = \frac{20,6}{26,534} = 0,776 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

En la siguiente tabla se describe los parámetros de los equipos tomados en cuenta para el cálculo de consumo doméstico.

TABLA 3.8. PARAMETROS DE CÁLCULO DE CONSUMO DOMESTICO

DESCRIPCIÓN	COCINA	CALENTADOR DE AGUA
Porcentaje de cobertura del aparato (A)	1	0,2
Consumo del aparato (C)	0,398	0,776
Simultaneidad del aparato (S)	0,15	0,3

FUENTE: (Elaboración Propia en base al D.S. 1996)

El consumo doméstico estimado para la población de Palca en base a los datos del INE, con una proyección a 10 años a partir del 2022, se muestran en la siguiente tabla (3.9.).

TABLA 3.9. PROYECCIÓN DE CONSUMO DOMESTICO HASTA 2031

AÑO	POBLACIÓN	HOGARES	CONSUMO
2012	796	353	37,52
2013	808	359	38,15
2014	819	364	38,69
2015	830	369	39,22
2016	842	374	39,75
2017	854	379	40,28

2018	866	385	40,92
2019	878	390	41,45
2020	890	395	41,98
2021	903	401	42,62
2022	915	406	43,15
2023	928	412	43,79
2024	941	418	44,42
2025	954	424	45,06
2026	968	430	45,70
2027	981	436	46,34
2028	995	442	46,98
2029	1009	448	47,61
2030	1023	454	48,25
2031	1037	460	48,89

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos del INE)

Hasta 2031 se tendría una población de alrededor de 1037 habitantes y total de 460 hogares, con la siguiente demanda de Gas Licuado de petróleo.

$$Q_{domestico} = 48,89 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

3.3.3. CONSUMO COMERCIAL

Para el cálculo de consumo comercial se considera en proporción al consumo doméstico, esto se debe a las proyecciones de la demanda. Por lo cual se tendrá un consumo comercial del 15% con respecto al consumo doméstico, como se indica en la ecuación (15).

$$Q_{comercial} = 15\% * Q_{domestico}$$

$$Q_{comercial} = 15\% * 48,89$$

$$Q_{comercial} = 7,33 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

3.3.4. CONSUMO TOTAL

Finalmente, para el consumo total hasta el 2031, tanto para los usuarios comerciales y domésticos sumados se tiene el siguiente caudal en base a la ecuación (16).

$$Q_{TOTAL} = Q_{domestico} + Q_{comercial}$$

$$Q_{TOTAL} = 48,89 + 7,33$$

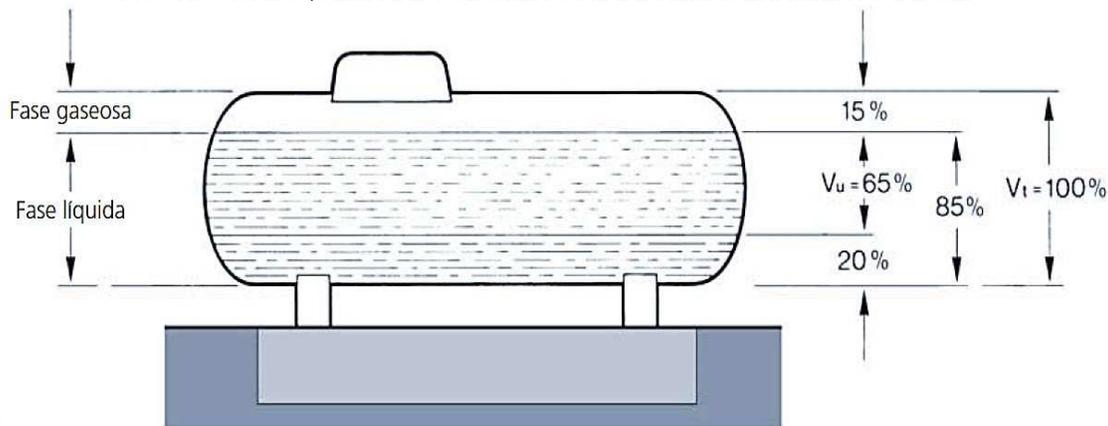
$$Q_{TOTAL} = 56,22 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

En base a datos estadísticos del INE se logró obtener un caudal de consumo para el uso doméstico y comercial con una proyección hasta 2031 de 56,22 (m³/h) para 460 hogares, que es relativamente bajo debido a la densidad poblacional que tiene la localidad de Palca. Para el cálculo de compensación de caudales en los nodos y la simulación de la red por Cypecad se considera un caudal de 58 (m³/h), debido a un incremento de seguridad para evitar caudales fuera de requerimiento.

3.4. ANALISIS DE LOS TANQUES ESTACIONARIOS

Los tanques horizontales de GLP son recipientes a presión diseñados en base a la norma ASME VIII División 1. Estos tanques al momento de su almacenamiento poseen un volumen útil, debido a que dentro del recipiente existen dos fases, líquida y gaseosa. El cual el 20% de volumen del tanque se queda remanente con GLP en estado líquido esto se debe a que la capacidad de vaporización es muy deficiente por debajo de ese nivel. Y que para el llenado máximo se considera un 85% de su volumen total, esto debido a que se mantiene un 15% en fase gaseosa para su vaporización y evitar una sobrepresión dentro del tanque. Por lo tanto, el volumen útil es del 65% del volumen total.

FIGURA 3.3. ESQUEMA DE VOLUMEN UTIL DE ALMACENAMIENTO DE GLP



2

FUENTE: (Conaif-Sedigas, 2008)

3.4.1. CAPACIDADES NOMINALES DE TANQUES

En base a los catálogos de la empresa Lapesa tomados de manera referencial, la cual fabrica tanques a presión para GLP del tipo aéreo y enterrado, se muestran a continuación los siguientes capacidades nominales con sus respectivos diámetros externos y largos de extremo a extremo.

TABLA 3.10. CAPACIDADES NOMINALES PARA TANQUES DE GLP

MODELO	CAPACIDAD	DIAMETRO	LARGO
	LITROS		
LP1450	1450	1200	1562
LP4440	4440	1200	4230
LP7000	7000	1500	3140
LP10	10000	1500	6050
LP13	13000	1500	7790
LP16	16000	1500	9520
LP24	24450	1750	10700
LP34	33600	1750	14580
LP59A-22	59400	2200	16390
LP100A-24	100200	2450	22170

FUENTE: (Lapesa, 2021)

Para calcular las capacidades en masa al 20% y 85% de llenado de los diferentes tanques estacionarios, se consideró la gravedad específica promedio de GLP en estado líquido con respecto a la tabla (2.1.) de las especificaciones de la ANH la cual es (0,54).

$$\rho_{GLP \text{ LIQUIDO}} = GE_{GLP} * \rho_{Agua} = 0,54 * 1 = 0,54 \left(\frac{Kg}{l}\right)$$

Para las capacidades en masa se realiza por regla de tres en base a los factores de conversión.

$$CAP_{GLP \text{ LIQUIDO}} = V * \rho_{GLP \text{ LIQUIDO}} * \%Llenado$$

TABLA 3.11. CAPACIDADES DE TANQUES EN PORCENTAJE DE MASA

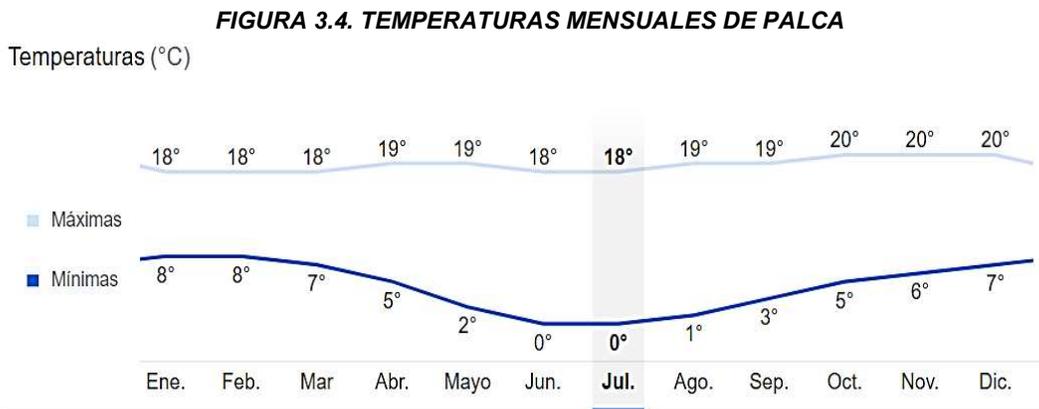
V(m3)	D(mm)	L(mm)	CAP (KG)	
			85%	20%
1,45	1200	1562	665,55	156,60
4,44	1200	4230	2037,96	479,52
7	1500	3140	3213,00	756,00
10	1500	6050	4590,00	1080,00
13	1500	7790	5967,00	1404,00
16	1500	9520	7344,00	1728,00
24,45	1750	10700	11222,55	2640,60
33,6	1750	14580	15422,40	3628,80
59,4	2200	16390	27264,60	6415,20
100,2	2450	22170	45991,80	10821,60

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de catálogos Lapesa)

3.4.2. TEMPERATURA DEL GLP

La temperatura dentro del recipiente será igual a la temperatura ambiente del entorno.

Donde se analizará la temperatura mínima, máxima y promedio para el cálculo de las capacidades de vaporización y las presiones de vaporización.



FUENTE: (NOAA, 2021)

A continuación, se tiene las condiciones de temperaturas que se analizarán para los cálculos posteriores con respecto a los tanques y las líneas de distribución.

TABLA 3.12. TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO DE PALCA

T_{máxima}	20	C	68	F
T_{promedio}	11	C	51,8	F
T_{mínima}	0	C	32	F

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de estadísticos de NOAA)

3.4.3. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN DEL GLP

Las presiones de vaporización varían en función a la temperatura, es decir a mayor temperatura mayor será la presión de vapor de la mezcla, para calcular la presión total de la solución por medio de tablas de presiones de vapor de propano y butano, se lo realizará en base a dos métodos, el primer método considerada la presión total en base a dos componentes (C₃ y C₄) y utilizará las ecuaciones de Raoult y Dalton combinadas en la ecuación (11).

$$P_1 = X_1 * P_1^\circ$$

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

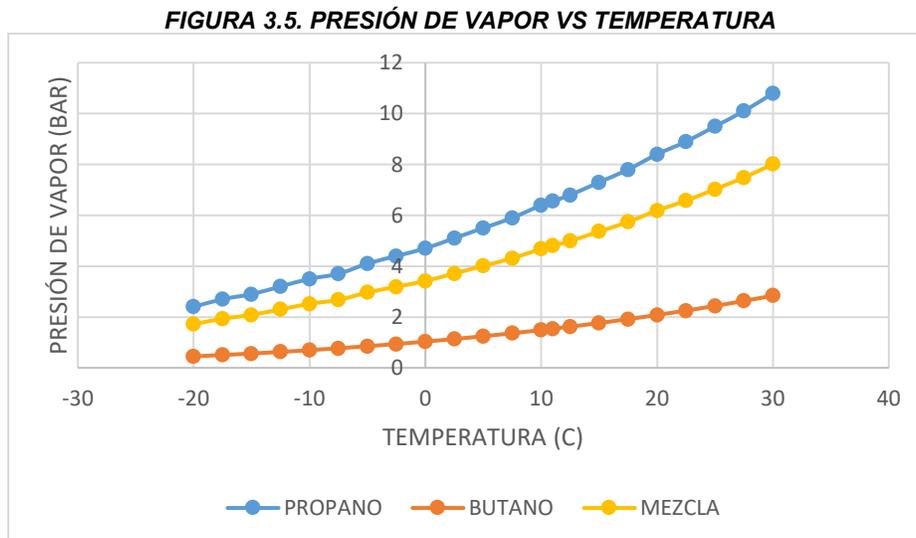
$$P_{TOTAL} = \sum_{i=0}^n X_i * P_i^\circ + X_2 * P_2^\circ + \dots + X_n * P_n^\circ$$

TABLA 3.13. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN DE C₃, C₄ Y LA MEZCLA

TEMPERATURA (C)	PRESIÓN VAPOR APROXIMADA (BAR)		65%C3 / 35%C4
	PROPANO	BUTANO	P TOTAL(BAR)
-20	2,4	0,4524	1,718
-17,5	2,7	0,5057	1,932
-15	2,9	0,5639	2,082
-12,5	3,2	0,6272	2,300
-10	3,5	0,6961	2,519
-7,5	3,7	0,7709	2,675
-5	4,1	0,8518	2,963
-2,5	4,4	0,9392	3,189
0	4,7	1,033	3,417
2,5	5,1	1,135	3,712
5	5,5	1,244	4,010
7,5	5,9	1,361	4,311
10	6,4	1,487	4,680
11	6,56	1,5406	4,803
12,5	6,8	1,621	4,987
15	7,3	1,764	5,362
17,5	7,8	1,917	5,741
20	8,4	2,08	6,188
22,5	8,9	2,253	6,574
25	9,5	2,437	7,028
27,5	10,1	2,632	7,486
30	10,8	2,839	8,014

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos referenciales del software EES)

Las curvas de presión de vapor con la temperatura de los componentes principales y la mezcla se muestran a continuación.



El segundo método de cálculo para la presión de vaporización de la mezcla sería mediante la ecuación de Antoine (10), la cual considera todos los componentes de la mezcla.

$$P_V = 10^{\left(A - \frac{B}{T+C}\right)}$$

Tomando las constantes de Antoine para sustancias puras del libro “The Properties of Gases and Liquids” de Poling y Praunsnitz, se calcularon las presiones para diferentes temperaturas.

Para la temperatura mínima de 0 C.

TABLA 3.14. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN A 0 C

Componente	A	B	C	Psat (Bar)	Xi	P*Xi
C ₁	3,7687	395,744	266,681	192,63703	0,000000	0
C ₂	3,95405	663,72	256,681	23,34922	0,007400	0,172784206
C ₃	3,92828	803,997	247,04	4,71801	0,639800	3,018580073
iC ₄	4,00272	947,54	248,87	1,56802	0,137900	0,216229506

nC ₄	3,93266	935,773	238,789	1,03236	0,200500	0,206988615
iC ₅	3,90935	1018,516	232,919	0,34397	0,012600	0,004333982
nC ₅	3,97786	1064,84	232,014	0,24452	0,001800	0,000440131
Sumatoria					1,000000	3,619

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos referenciales de *Properties of Gases and Liquids*)

Para la temperatura promedio de 11 C.

TABLA 3.15. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN A 11 C

Componente	A	B	C	Psat (Bar)	Xi	P*Xi
C ₁	3,7687	395,744	266,681	220,55914	0,000000	0
C ₂	3,95405	663,72	256,681	29,82164	0,007400	0,220680108
C ₃	3,92828	803,997	247,04	6,49375	0,639800	4,15470183
iC ₄	4,00272	947,54	248,87	2,27254	0,137900	0,313383803
nC ₄	3,93266	935,773	238,789	1,53605	0,200500	0,307978599
iC ₅	3,90935	1018,516	232,919	0,54165	0,012600	0,006824777
nC ₅	3,97786	1064,84	232,014	0,39451	0,001800	0,000710113
Sumatoria					1,000000	5,004

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos referenciales de *Properties of Gases and Liquids*)

Para la temperatura máxima de 20 C.

TABLA 3.16. PRESIONES DE VAPORIZACIÓN A 20 C

Componente	A	B	C	Psat (Bar)	Xi	P*Xi
C ₁	3,7687	395,744	266,681	244,49315	0,000000	0
C ₂	3,95405	663,72	256,681	35,90760	0,007400	0,26571
C ₃	3,92828	803,997	247,04	8,27002	0,639800	5,29115
iC ₄	4,00272	947,54	248,87	3,00998	0,137900	0,41507
nC ₄	3,93266	935,773	238,789	2,07344	0,200500	0,41572
iC ₅	3,90935	1018,516	232,919	0,76262	0,012600	0,00960
nC ₅	3,97786	1064,84	232,014	0,56564	0,001800	0,00102
Sumatoria					1,000000	6,398

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos referenciales de *Properties of Gases and Liquids*)

$$P_V(0\text{ C}) = 3,619\text{ (Bar)}$$

$$P_V(11\text{ C}) = 5,004\text{ (Bar)}$$

$$P_V(20\text{ C}) = 6,398\text{ (Bar)}$$

Se puede observar una variación de los resultados obtenidos por medio de los datos de tablas del EES y por medio de la ecuación de Antoine, esto se debe a que en el EES solo considera dos componentes el C_3 y C_4 , ya que estos se encuentran en casi toda la proporción, mientras que por la ley de Antoine se considera todos los componentes. El cual la tabla y gráfico obtenidos por medio de los datos del EES son datos referenciales, por lo tanto, se considerará los datos de presión de vapor obtenidos por la ley de Antoine.

3.4.4. CÁLCULO DE LOS FACTORES DE VAPORIZACIÓN

Los factores o capacidades de vaporización varían con respecto a la temperatura, la composición del hidrocarburo, la cantidad de GLP líquido que existe en el tanque y las dimensiones del tanque. Para calcular la capacidad de vaporización se lo realiza utilizando la siguiente ecuación (23).

$$C_{VAP} = F \times D \times L \times K$$

Donde los factores de corrección de temperatura están dados en la siguiente tabla (3.17.).

TABLA 3.17. FACTORES DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA F

T(C)	F (FACTORES DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA)
-20	0,8
-15	1,3
-10	1,7
-5	2,2

0	2,6
5	3,1
10	3,5
11	3,59
15	4
20	4,4
25	4,9
30	5,3
35	5,8
40	6,2
45	6,7
50	7,1

FUENTE: (REGO, 2021)

Y los factores de las constantes de porcentaje para el volumen del líquido en el tanque están dados en la siguiente tabla (3.18.).

TABLA 3.18. FACTORES DE PORCENTAJE DE LLENADO K

% DEL RECIPIENTE LLENO	K
90	133,1
85	127,7
80	122,4
70	111,7
60	100
50	90
40	80
30	70
20	60
10	45

FUENTE: (REGO, 2021)

Se calculará las capacidades de vaporización en base a las condiciones críticas y promedio. Para la condición mínima crítica a 0 (C) y con un porcentaje de 20% de llenado se tiene la tabla (3.19.).

TABLA 3.19. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN PARA 0 C Y 20% DE LLENADO

V(m3)	D(plg)	L(plg)	F	K	Cvap (BTU/h)	Cvap (Kwh/h)	Cvap(m3/h)
1,45	47,24	61,50	2,6	60	453230,83	132,83	5,01
4,44	47,24	166,54	2,6	60	1227379,25	359,71	13,56
7	59,06	123,62	2,6	60	1138880,28	333,77	12,58
10	59,06	238,19	2,6	60	2194339,39	643,10	24,24
13	59,06	306,69	2,6	60	2825438,65	828,05	31,21
16	59,06	374,80	2,6	60	3452910,91	1011,95	38,14
24,45	68,90	421,26	2,6	60	4527714,06	1326,94	50,01
33,6	68,90	574,02	2,6	60	6169539,34	1808,11	68,14
59,4	86,61	645,28	2,6	60	8718841,84	2555,24	96,30
100,2	96,46	872,83	2,6	60	13133755,97	3849,13	145,06

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Lapesa)

Para las condiciones máximas de temperatura es decir a 20 (C) y la capacidad de llenado del 85% se tiene las siguientes capacidades de vaporización.

TABLA 3.20. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN PARA 20 C Y 85% DE LLENADO

V(m3)	D(plg)	L(plg)	F	K	Cvap (BTU/h)	Cvap (Kwh/h)	Cvap(m3/h)
1,45	47,24	61,50	4,4	127,7	1632444,47	478,42	18,03
4,44	47,24	166,54	4,4	127,7	4420768,31	1295,60	48,83
7	59,06	123,62	4,4	127,7	4102013,14	1202,18	45,31
10	59,06	238,19	4,4	127,7	7903560,36	2316,31	87,30
13	59,06	306,69	4,4	127,7	10176650,44	2982,48	112,40

16	59,06	374,80	4,4	127,7	12436676,79	3644,83	137,36
24,45	68,90	421,26	4,4	127,7	16307897,27	4779,38	180,12
33,6	68,90	574,02	4,4	127,7	22221415,15	6512,46	245,44
59,4	86,61	645,28	4,4	127,7	31403479,82	9203,46	346,85
100,2	96,46	872,83	4,4	127,7	47305094,89	13863,76	522,49

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Lapesa)

Para las condiciones promedio de temperatura la cual es a 11 (C) y la capacidad de llenado del 50%.

TABLA 3.21. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN PARA 11 C Y 50% DE LLENADO

V(m3)	D(plg)	L(plg)	F	K	Cvap (BTU/h)	Cvap (Kwh/h)	Cvap(m3/h)
1,45	47,24	61,50	3,59	90	938710,77	275,11	10,37
4,44	47,24	166,54	3,59	90	2542091,26	745,01	28,08
7	59,06	123,62	3,59	90	2358796,27	691,30	26,05
10	59,06	238,19	3,59	90	4544814,46	1331,95	50,20
13	59,06	306,69	3,59	90	5851918,13	1715,03	64,63
16	59,06	374,80	3,59	90	7151509,70	2095,90	78,99
24,45	68,90	421,26	3,59	90	9377592,38	2748,30	103,58
33,6	68,90	574,02	3,59	90	12778065,13	3744,88	141,13
59,4	86,61	645,28	3,59	90	18058062,81	5292,30	199,45
100,2	96,46	872,83	3,59	90	27202029,19	7972,13	300,45

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Lapesa)

3.4.5. CALCULO DE LA AUTONOMIA DE TANQUES

Al seleccionar la cantidades de tanques se lo realizará en base a la cantidad optima de días de autonomía de días este deberá ser mayor a 20 días. Se tomará en cuenta que el sistema de distribución tendrá un uso aproximado de 8 (horas) esto para el uso de la cocina en la mañana medio día y noche, así como el uso del calentador de agua por día. También se considera una

capacidad de vaporización mayor a la del caudal de consumo, para satisfacer la demanda sin interrupciones.

Se calculará la autonomía de los tanques en base a la capacidad de vaporización que fueron calculados en la condición más crítica mínima, que es la temperatura baja a el nivel más bajo de llenado del líquido, para no tener problemas con los caudales de consumo en épocas de invierno. Para esto se utilizará la ecuación (22).

$$Autonomia = \frac{0,65 * V_{tanque} * 260}{Q_{GLP \text{ gaseoso}} * Hr} * N_{tanques}$$

A continuación, se tiene la tabla (3.22.), que considera diferentes volúmenes de tanques y en base al caudal de consumo y los capacidades de vaporización se tiene un determinado número de tanques calculados y adoptados, en donde se puede determinar los días para recarga o autonomía que se tendrán.

Finalmente, para la selección de tanques se logró seleccionar dos tanques de 33,6 (m³) y sumando un total de 67,2 (m³) de ambos tanques, cumpliendo con los requerimientos de selección como ser un tiempo mayor a los 20 días para la recarga y que la vaporización sea mayor a la del consumo que se requiere, así como a las capacidades comerciales que se pueden encontrar en el mercado nacional. La desventaja de los tanques de GLP es que solo puede utilizarse un 65% máximo del volumen total, debido a los remanentes y la fase gaseosa en el tanque.

TABLA 3.22. AUTONOMIA DE TANQUES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN

Tanques V(m3)	Caudal fase gaseosa (m3/h)	Capacidad de Vaporización (m3/h)	Caudal fase gaseosa (BTU/h)	Capacidad de Vaporización (BTU/h)	Número de tanques		Consumo de Glp liq (m3/h)	Consumo de Glp liq (Kg/día)	Recarga en días (Uso 24h)	Recarga en días (Uso 8h de trabajo)
					Calculado	Adoptado				
1,45	56,22	5,01	5090373,93	453231,49	11,23	8,00	0,2162	2802,5252	1,45	4,36
4,44	56,22	13,56	5090373,93	1227381,04	4,15	5,00	0,2162	2802,5252	2,78	8,34
7	56,22	12,58	5090373,93	1138881,94	4,47	5,00	0,2162	2802,5252	4,38	13,15
10	56,22	24,24	5090373,93	2194342,59	2,32	4,00	0,2162	2802,5252	5,01	15,03
13	56,22	31,21	5090373,93	2825442,77	1,80	3,00	0,2162	2802,5252	4,88	14,65
16	56,22	38,14	5090373,93	3452915,94	1,47	3,00	0,2162	2802,5252	6,01	18,04
24,45	56,22	50,01	5090373,93	4527720,66	1,12	2,00	0,2162	2802,5252	6,12	18,37
33,6	56,22	68,14	5090373,93	6169548,34	0,83	2,00	0,2162	2802,5252	8,42	25,25
59,4	56,22	96,30	5090373,93	8718854,55	0,58	1,00	0,2162	2802,5252	7,44	22,32
100,2	56,22	145,06	5090373,93	13133775,12	0,39	1,00	0,2162	2802,5252	12,55	37,65

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Lapesa)

3.4.6. ESPEORES MINIMOS Y PRESIONES MAXIMAS DE LOS TANQUES

En base a la norma ASME VIII Div.1 y la norma ASME II, la cual define las características de construcción y detalles de diseño que deben tener los recipientes sujetos a presión. Se calculará el espesor mínimo requerido tanto en el cuerpo y cabezales de los tanques, así como la presión máxima admisible del recipiente.

3.4.6.1. CÁLCULO DE LOS ESPEORES

A continuación, se calcula los espesores para los tanques de GLP.

- **Parte Cilíndrica.** Se tiene los siguientes datos y consideraciones:

$$P_{DISEÑO} = 20 \text{ (bar)} = 20,394 \left(\frac{Kgf}{cm^2} \right)$$

$$E = 1$$

$$C = 3(mm)$$

De parte del tanque se tiene un diámetro y radio:

$$D = 1750(mm)$$

$$R = 875(mm)$$

Para la tensión admisible del material se consideró planchas de acero al carbono con manganeso de alta resistencia (SA-455) y con una temperatura máxima de diseño de 600 (F).

$$S_{cilindro} = 17,9 \text{ (Ksi)} = 1258,4945 \left(\frac{Kgf}{cm^2} \right)$$

Utilizando la ecuación (17) para calcular el espesor de la parte cilíndrica.

$$t_{cilindro} = \frac{P_{DISEÑO} * R}{S * E - 0,6 * P_{DISEÑO}}$$

$$t_{cilindro} = \frac{20,394 * 875}{1258,4945 * 1 - 0,6 * 20,394}$$

$$t_{cilindro} = 14,32 \text{ (mm)}$$

El espesor mínimo requerido al comienzo de la vida útil es:

$$t_{nuevo cilindro} = t_{cilindro} + C = 14,32 + 3 = 17,32 \text{ (mm)}$$

El espesor mínimo comercial es:

$$t_{comercial cilindro} = 17,50 \text{ (mm)}$$

- **Parte de los Cabezales.** Para la parte de los cabezales del tipo toro-esféricas se tiene los siguientes datos y consideraciones:

$$P_{DISEÑO} = 20 \text{ (bar)} = 20,394 \left(\frac{Kgf}{cm^2} \right)$$

$$E = 1$$

$$C = 3 \text{ (mm)}$$

$$C_f = 2 \text{ (mm)}$$

De parte del tanque se tiene un diámetro:

$$D = 1750 \text{ (mm)}$$

Para la tensión admisible del material se consideró planchas de acero al carbono para servicio de moderada y baja temperatura (SA-516 grado70) y con una temperatura máxima de diseño de 600 (F).

$$S_{cabezal} = 19,4 \text{ (Ksi)} = 1363,955 \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

Para la longitud y radio de la cabeza toro-esférica:

$$L = 0,904 * D = 0,904 * 1750 = 1582(\text{mm})$$

$$r = 0,173 * D = 0,173 * 1750 = 302,75(\text{mm})$$

$$L_c = L + C = 1582 + 3 = 1585(\text{mm})$$

$$r_c = r + C = 302,75 + 3 = 305,75(\text{mm})$$

Para el factor geométrico se tiene la ecuación (18) para su cálculo:

$$M_c = \left(\frac{1}{4} \right) * \left[3 + \left(\frac{L_c}{r_c} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = \left(\frac{1}{4} \right) * \left[3 + \left(\frac{1585}{305,75} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 1,319$$

Para el espesor de los cabezales se calcula con la ecuación (19):

$$t_{cabezal} = \frac{P_{DISEÑO} * L_c * M_c}{2 * S * E - 0,2 * P_{DISEÑO}}$$

$$t_{cabezal} = \frac{20,394 * 1585 * 1,319}{2 * 1363,955 * 1 - 0,2 * 20,394}$$

$$t_{cabezal} = 15,653 \text{ (mm)}$$

El espesor mínimo requerido al comienzo de la vida útil es:

$$t_{nuevo\ cabezal} = t_{cabezal} + C + = 15,653 + 3 + 2 = 20,653(mm)$$

El espesor mínimo comercial es:

$$t_{comercial\ cabezal} = 22,4(mm)$$

Donde se puede observar que los espesores obtenidos son considerablemente idóneos para el requerimiento que se tendrá al almacenar GLP Bifásico, así también se pudo comparar con otros tanques sus espesores comerciales lo cual se encuentran en el rango.

3.4.6.2. CÁLCULO DE LAS PRESIONES MAXIMAS ADMISIBLES

La presión máxima admisible es factor de seguridad importante para el diseño de los recipientes a presión, la cual limita la presión a la cual se puede operar en el tanque debido a los factores de material, soldadura y dimensiones.

- **Parte Cilíndrica.** Se tiene los siguientes datos y consideraciones para el cálculo:

$$E = 1$$

$$C = 3(mm)$$

$$S_{cilindro} = 17,9 (Ksi) = 1258,4945 \left(\frac{Kgf}{cm^2} \right)$$

$$t_{comercial\ cilindro} = 17,50(mm)$$

$$= 875(mm)$$

Para el espesor nominal y radio corroído:

$$t_c = t_{\text{comercial cilindro}} - C = 17,50 - 3 = 14,50(\text{mm})$$

$$R_c = R + C = 875 + 3 = 878(\text{mm})$$

Para la presión máxima admisible del cilindro se lo calcula mediante la ecuación (20):

$$PMA_{\text{cilindro}} = \frac{t_c * S_{\text{cilindro}} * E}{R_c + 0,6 * t_c}$$

$$PMA_{\text{cilindro}} = \frac{14,50 * 1258,4945 * 1}{878 + 0,6 * 14,50}$$

$$PMA_{\text{cilindro}} = 20,58 \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

- **Parte de los Cabezales.** La presión admisible para la parte de los cabezales toro-esféricas, se tiene los siguientes datos:

$$E = 1$$

$$C = 3(\text{mm})$$

$$C_f = 2(\text{mm})$$

$$S_{\text{cabezal}} = 19,4 (\text{Ksi}) = 1363,955 \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$t_{\text{comercial cabezal}} = 22,4(\text{mm})$$

$$M_c = 1,319$$

$$L_c = 1585(\text{mm})$$

$$r_c = 305,75(\text{mm})$$

Para el espesor nominal corroído:

$$t_c = t_{\text{comercial cabezal}} - C - C_f = 22,4 - 3 - 2 = 17,4(\text{mm})$$

Para la presión máxima admisible de los cabezales se calcula con la ecuación (21):

$$PMA_{\text{cabezal}} = \frac{2 * t_c * S_{\text{cabezal}} * E}{L_c * M_c + 0,2 * t_c}$$

$$PMA_{\text{cabezal}} = \frac{2 * 17,4 * 1363,955 * 1}{1585 * 1,319 + 0,2 * 17,4}$$

$$PMA_{\text{cabezal}} = 22,66 \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

Por lo tanto, se observa que las presiones máximas admisibles tanto para cabezales y cilindros son óptimos al considerar un factor de seguridad para almacenar GLP.

3.4.7. UBICACIÓN DE LOS TANQUES

La ubicación de los tanques debe ubicarse cerca de la carretera, específicamente en la parte inicial de la localidad de Palca para un fácil y rápido acceso a las cisternas. También se consideró una altura elevada del lugar para que el fluido de GLP en estado gaseoso no tenga una pérdida de presión considerable debido a la diferencia de alturas ya que este presenta una densidad más elevada que el aire por lo que tiende a fluir hacia la parte más baja. Las coordenadas de la ubicación son señaladas en la siguiente tabla (3.23.).

TABLA 3.23. COODENADAS GEOGRÁFICAS DE LA UBIACIÓN DE TANQUES

UBICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
TANQUES DE GLP	LATITUD	S16°33'26.1087"
	LONGITUD	W67°57'06.1277"

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Google Maps)

FIGURA 3.6. VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DE TANQUES



FUENTE: (Google Maps, 2021)

En la figura (3.6.) se muestra el área de tanques desde una vista satelital, donde se consideró una extensión perimetral de 2335,55 (m) para la instalación de tanques, medidores, tuberías de carga y descarga, accesorios, reguladores y demás.

3.4.8. SISTEMAS DE SEGURIDAD EN EL AREA DE TANQUES

Los sistemas de seguridad en los tanques estacionarios descritos en la RAN-ANH-UN 006/2016, están basados según la norma NFPA 58, Reglamento para la Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de GLP, Reglamento para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Abandono de Plantas de Almacenaje de Hidrocarburos Líquidos.

Al ser el GLP un combustible inflamable se debe contemplar los aspectos mínimos de seguridad que se describen en la norma y decretos como el área de requerida para un centro de almacenaje, distancias mínimas de seguridad desde los tanques, sistemas contra incendios y otros complementos.

3.4.8.1. AREA MINIMA PARA ALMACENAJE

El área mínima de seguridad para contener recipientes de GLP se lo considerara en base al Reglamento de Plantas de Engarrafado como referencia. Existen dos tipo de áreas una Urbana (cuenta con servicios básicos) y Rural (sin servicios básicos y población menor a los 2000 habitantes), en el caso de Palca se lo considera como Rural debido a la densidad poblacional (1037 habitantes hasta 2031) y la capacidad de almacenaje es menor a 120 TM (se tiene alrededor de 36,288 TM de GLP).

Donde el área de almacenaje deberá ser mínimamente de 2500 (m²), la cual se tiene alrededor de una dimensión designada para el punto de nodal de suministro de 77x39 (m²) o 3003 (m²). Por lo tanto, se cumple con lo establecido en el reglamento.

TABLA 3.24. AREAS MINIMAS PARA ALMACENAR TANQUES DE GLP

TIPO	ALMACENAJE	TERRENO(m ²)	CAPACIDAD DE ALMACENAJE (TM)
URBANA	GLP	4000	>120
RURAL	GLP	2500	Hasta 120

FUENTE: (DECRETO SUPREMO 24721, 1997)

3.4.8.2. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

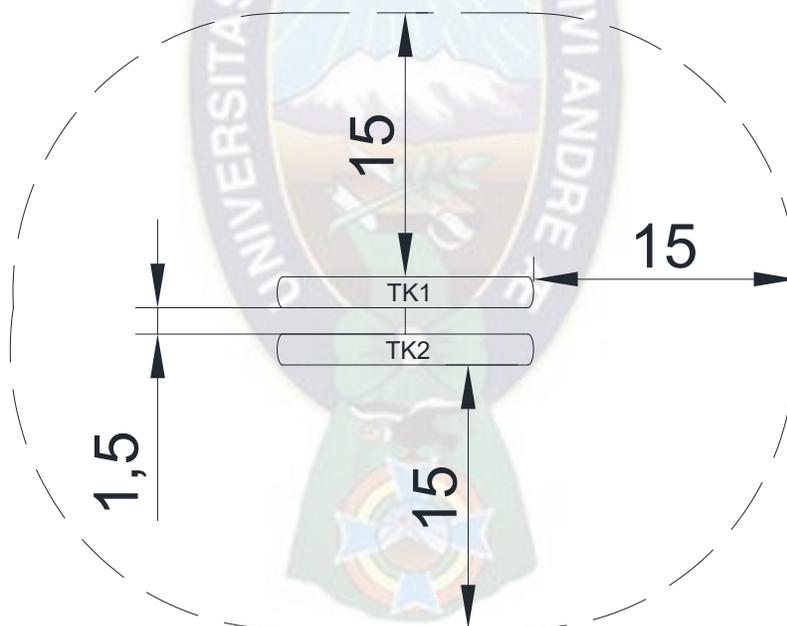
Las distancias mínimas de seguridad que se deben cumplir por los recipientes de GLP esta dado en por NFPA 58, para diferentes rangos de capacidades en m³ de agua. Considera las distancias desde los tanques hacia los edificios, linderos con las propiedades que se pueden construir, distancias entre las válvulas de alivio y las aberturas, así como también considera las distancias entre recipientes. Estos están descritos en la tabla (2.3.), (2.4.) y (2.5.) del marco teórico. En el presente proyecto se tiene dos tanques de 33,6 (m³) sumando un total de 67,2 (m³) de volumen por lo tanto se debe cumplir con las siguientes distancias descritas en la tabla (3.25.). Otras distancias de seguridad que se consideran como puntos de riesgos están descritos en la tabla (2.6).

TABLA 3.25. DISTANCIAS DE SEGURIDAD EN BASE A NFPA 58

Volumen de tanques (m ³)	Rango según NFPA 58 (m ³)	Distancia a muros o edificios (m ³)	Distancia entre tanques (m ³)	Distancia entre válvulas de alivio a las aberturas por debajo la descarga	Distancia entre válvulas de alivio a las aberturas de artefactos de ventilación directa o de entrada mecánica
67,2	7,7 a 114	15	1,5	1,5	3

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de NFPA 58)

La distancia más considerable es de la de distancia de tanques hacia muros, edificios o linderos el cual es de 15 (m) y se refleja en la siguiente figura (3.7).

FIGURA 3.7. DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA LOS TANQUES DE GLP

FUENTE: (Elaboración Propia en base a la NFPA 58)

3.4.8.3. SISTEMAS CONTRA INCENDIOS

La prevención contra incendios son aquellas medidas para poder reducir los riesgos de incendios o explosiones en ambientes donde se tiene sustancias inflamables como el GLP. Entre

los medios para poder controlar una emergencia son el uso de agentes como los extintores y sistemas de agua o espuma, y otros equipos complementarios.

La materia extintora que se utiliza para el control en las instalaciones de almacenaje de GLP es el Polvo Químico Seco (PQS), este es una mezcla de polvo fino de diferentes mezclas de bicarbonatos, la cual se lo utiliza junto a un gas inerte sometido a presión. La clasificación se basa en la capacidad de almacenamiento y en la posición de los tanques enterrados o aéreos.

TABLA 3.26. CLASIFICACIÓN DE EXTINTORES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN

VOLUMEN (m3)	AEREO	NÚMERO DE EXTINTORES
< 5	A-0	2 extintores de 6 Kg de PQS cada uno
5 a 10	A-1	2 extintores de 12 Kg de PQS cada uno
10 a 20	A-2	2 extintores de 12 Kg de PQS cada uno
20 a 100	A-3	1 kg de PQS por cada 1 m3 de volumen geométrico con el mínimo de 2 extintores de 12 Kg cada uno
100 a 500	A-4	100 kg de PQS, incrementándose más 1Kg por cada 10 m3 de volumen que sobrepase los 100 m3 de volumen de almacenamiento
>500	A-5	100 kg de PQS, incrementándose más 1Kg por cada 10 m3 de volumen que sobrepase los 100 m3 de volumen de almacenamiento

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos del D.S. 24721)

Como podemos observar en la tabla (3.26.), los dos tanques que se seleccionó en el proyecto de 33,6(m3) se clasifican en el rango de A-3 que abarca las capacidades de 20 a 100 (m3), por lo cual se tendrá 1(Kg) por cada 1(m3) de volumen.

$$V_{total\ de\ GLP} = 67,2\ m^3$$

$$67,2m^3 * \frac{1\ Kg_{PQS}}{1\ m^3} = 67,2Kg_{PQS} \approx 68\ Kg_{PQS}$$

Para el caso de que no se tenga un sistema de agua contra incendios. Se duplicará la relación de 2 (Kg) por 1(m³) de volumen.

$$67,2m^3 * \frac{2 Kg_{PQS}}{1 m^3} = 134,4Kg_{PQS} \approx 135 Kg_{PQS}$$

Para el caso de uso de vaporizadores en caseta, se utilizará por cada vaporizador 12 (Kg) de PQS.

Para el transvase se deberá proveer de 2,5 (Kg) de PQS por cada 1 (m³/h) de capacidad de trasvase, con al menos dos extintores de 25 (Kg) cada uno. Para el caso del proyectó se considera como referencia el caudal de transvase que utiliza YPFB en la recarga de sus cisternas, en promedio se tiene 42 (m³/h).

$$42 \frac{m^3}{h} * \frac{2,5 Kg_{PQS}}{1 \frac{m^3}{h}} = 105 Kg_{PQS}$$

En resumen, en la siguiente tabla (3.27.) se tendrá la cantidad de extintores y sus capacidades a requerir.

TABLA 3.27. CANTIDAD REQUERIDA DE EXTINTORES PARA EL PROYECTO

REQUERIMIENTO	CANTIDAD MÍNIMA	CANTIDAD CALCULADA	CANTIDAD DE EXTINTORES
AREA DE TANQUES	24 (Kg)	135 (Kg)	[5*25 (Kg)]+[1*12 (Kg)]=137 (Kg)
VAPORIZADORES	24 (Kg)	24 (Kg)	[2*12 (Kg)]=24 (Kg)
ZONA DE TRASVASE	50 (Kg)	105 (Kg)	[5*25 (Kg)]+[1*6 (Kg)]=106 (Kg)
TOTAL	98 (Kg)	264 (Kg)	[10*25 (Kg)]+[1*6 (Kg)]+[3*12 (Kg)]=267 (Kg)

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos del D.S. 24721)

Todos los extintores deben estar colocados en lugares de fácil acceso y visibilidad, también deben estar protegidos del intemperie, para evitar daños y deterioros en los tanques de PQS. Para los implementos complementarios como la señalética tanques y cisternas, puesta a tierra, equipos de puesta a tierra y otros se lo considerara en base a lo descrito en la parte teórica de seguridad.

3.4.9. SELECCIÓN DE VAPORIZADORES

Para la selección de vaporizadores se tomará en cuenta a los vaporizadores de Algas-SDI del tipo de fuego directo, la cual estos no requieren electricidad y consumen una cantidad mínima del vapor que genera. Este tipo de vaporizadores son los más comunes debido a su bajo costo y fácil proceso. los vaporizadores serán utilizados en épocas de invierno y en las horas de noche en la cual la temperatura sea menor a los 5 (C), para poder mantener una presión de vaporización de 4 (bar) como requerimiento que tiene el D.S. 1996.

TABLA 3.28. CAPACIDADES DE VAPORIZACIÓN DE ALGAS-SDI

NÚMERO DE MODELO	40/40	80/40	120/60	160H	320H	480H	640H	800H
CAPACIDAD DE VAPORIZACIÓN								
Kg/h	80	160	240	320	640	960	1280	1535
USGal/h	40	80	120	160	320	480	640	800
MMBTU/h	3,6	7,2	10,9	14,6	29,1	43,7	58,2	72,8

FUENTE: (ALGAS-SDI, 2012)

La capacidad de vaporización de GLP en estado líquido es:

$$C_{GLP\ LIQUIDO} = 2802,5252 \left(\frac{Kg}{dia} \right) = 116,77 \left(\frac{Kg}{h} \right)$$

Se seleccionará un vaporizador la cual tenga una mayor capacidad de vaporización con respecto al requerido.

$$\left(\text{MODELO } \frac{80}{40} \right) 160 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) > (C_{\text{GLP LIQUIDO}}) 116,77 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

Donde se tendrá dos vaporizadores de capacidad de 160 (Kg/h), uno para cada tanque, la cual estará interconectado entre ambos para utilizar solo un vaporizador en el caso de que se realice el mantenimiento, en momento de uso.

3.4.10. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE TANQUES

El Diagrama de Flujo de Proceso para el área de tanques y sus conexiones se realizó en base a las normas ISO 10628 y ANSI/ISA-5.1, donde estas contemplan las disposiciones para la representación esquematizada de un proceso en el área petrolera, el cual indica de manera estandarizada los símbolos de los componentes las denominaciones y líneas de flujo, etc.

En la representación del almacenaje de GLP en tanques se contempla el flujo de transvase de cisterna a tanques por medio de una bomba con retorno de fase gaseosa a cisterna. Las líneas de vaporizadores en reflujo hacia los tanques para mantener temperaturas por encima de los 5 (C) para evitar presiones de vapor menores a los 4 (bar), las líneas de salida de tanques en fase gaseosa presentan un sistema de control de caudal y cierre de emergencia.

También los tanques presentan una línea de venteo de emergencia que se conecta con las válvulas de exceso de flujo, hacia la línea de que conecta con el enmallado se muestra las válvulas de regulación de presión y los medidores de flujo que registran la cantidad fluido ambos con stand by. Una vez medido el GLP gaseoso pasa a través de las líneas de distribución hacia los domicilios y comercios. Finalmente se tiene un cuadro de propiedades del fluido en las líneas

del proceso que describen los estados del GLP y las presiones, dicho PFD se encuentra en la parte de Anexo (C).

3.5. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP CANALIZADO

EL sistema de distribución de GLP se considerará después del punto de medición del fluido hasta las líneas de distribución por las diferentes calles y avenidas de la localidad Palca. Como no existe normativa específica para este tipo de proyectos se tomó como referencia el D.S. 1996 la cual reglamenta la distribución de Gas Natural por Redes, la cual es aplicable por la metodología de cálculo para la distribución de GLP en Fase Gaseosa por Redes.

Se considero los parámetros como la ubicación estratégica del punto de distribución nodal de tanques, las estimaciones de crecimiento de la población proyectada a 10 años, así como la disponibilidad de los diámetros disponibles de Acero y Polietileno en el mercado nacional y los que utiliza YPFB en sus redes de gas natural. Se utilizo Google Maps, AutoCAD y Cypecad especialmente para la realización del trazado, georreferenciación, diseño y simulación.

3.5.1. TIPOS DE TUBERIAS EMPLEADOS

Los materiales utilizados en el diseño son seleccionados en base al caudal de consumo total requerido por la población y también por la velocidad máxima establecida en el reglamento.

TABLA 3.29. CARACTERISTICAS DE TUBERIAS UTILIZADAS

TIPO DE TUBERIA	SDR11 2/4 TUBO HDPE		ACERO NEGRO SCH40
Descripción	DN40	DN63	3 pulgadas
Diámetros Internos (mm)	33.3	52.2	77.9

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Cypecad)

La tubería de acero negro de cedula 40 es la que se utilizara de interconexión entre el sistema de salida de GLP de tanques hasta el punto de inicio de tubería enterrada de polietileno, así como línea de estabilización del fluido, con una distancia de 60 (m). Mientras que las tuberías de polietileno de alta densidad son de diámetro nominal externo de 63 (mm) para las líneas troncales y 40 (mm) para las ramificaciones, estos abarcaran todo el enmallado que pasara por las aceras de todas las viviendas, por lo que deberá ser enterrado en base a reglamento del D.S. 1996. Las longitudes a utilizar estarán en función al trazado que se realiza posteriormente.

3.5.2. TRAZADO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP

El trazado de la ruta de toda la red de distribución de GLP se puede observar en la figura (3.8) así como en el Anexo (D) la cual se encuentra a más detalle y en escala 1:900, el cual se realizó en base a los siguientes criterios: Minimizar el uso de la tubería de un diámetro mayor ya que esto incrementa en los costos. Trazado lo más lineal posible y con la menor cantidad de cruces posibles en las cuadras. Proyección desde el punto nodal de distribución utilizando una ruta troncal que va de norte a sur. Uso de código de colores para un trazado distintivo y se encuentra ilustrado en la siguiente tabla (3.30.).

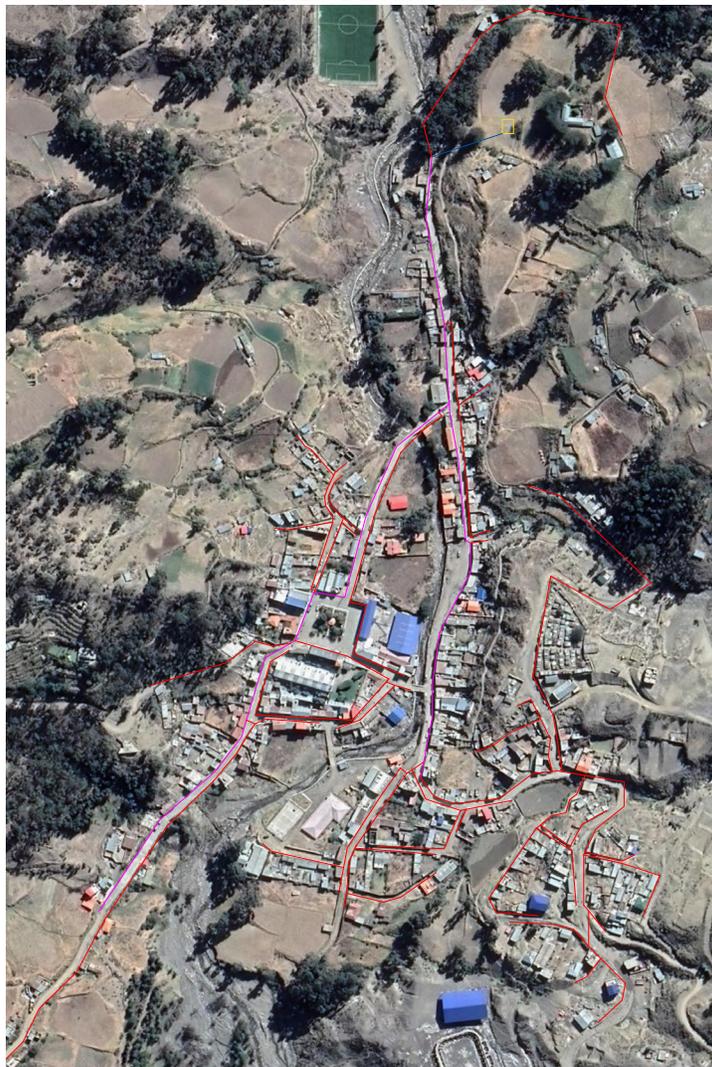
TABLA 3.30. REPRESENTACIÓN DE CODIGO DE COLORES PARA TRAZADO DE REDES

DN	Representación	Grosor de Representación	Codificación	Color			Número del Color CAD
				R	G	B	
2 plg		0.1	ANC 2 plg	0	153	204	142
3 plg		0.2	ANC 3 plg	0	102	204	152
4 plg		0.25	ANC 4 plg	51	0	204	182
6 plg		0.3	ANC 6 plg	19	0	76	188
8 plg		0.35	ANC 8 plg	0	76	76	138
10 plg		0.4	ANC 10 plg	153	0	38	244
125 mm		0.3	PE 125 mm	255	127	0	30
110 mm		0.3	PE 110 mm	128	128	128	8
90 mm		0.3	PE 90 mm	0	255	255	130
63 mm		0.2	PE 63 mm	255	0	210	210
40 mm		0.2	PE 40 mm	255	0	0	10
32 mm		0.1	PE 32 mm	153	95	76	25
20 mm		0.1	PE 20 mm	0	76	0	98

FUENTE: (UPB, 2021)

El procedimiento de la realización del trazado de la red de distribución es la siguiente. Se utilizó las imágenes satelitales de Google Maps, la cual se encuentra actualizada y posee una alta calidad en imagen para tener una mejor visibilidad de las avenidas y calles. La imagen se descargó por medio del programa SASPlanet, posteriormente se lo guardo en formato ecw para poder realizar el cambio en coordenadas UTM.

FIGURA 3.8. TRAZADO DE RUTA DE DISTRIBUCIÓN



FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos de Google Maps)

Una vez guardada la imagen en la extensión ecw se utilizó el programa Global Mapper para el cambio las coordenadas por medio de la configuración de la imagen, después se realizó la exportación manteniendo el formato ecw. Realizado lo descrito anteriormente se utilizó el

AutoCAD para abrir la imagen con las coordenadas corregidas posteriormente se utilizó las coordenadas de los puntos superior izquierdo e inferior derecho de los datos de que se generó al guardar el archivo del Global Mapper para poder ajustar y georreferenciar la imagen corregida en el AutoCAD. Por ende, se obtuvo la imagen satelital georreferenciada para poder realizar los trazos de manera más precisa y real.

Partiendo desde el punto inicial de distribución de tanques representada por un recuadro amarillo, para su posterior conexión con una línea de acero de 3 pulgadas hasta la avenida principal (línea azul). Luego se utilizó tubería de PE 63 mm para conectar a la zona central la cual está dividida por el río Choquecota, donde se pasó por la avenida principal hasta llegar a la plaza de Palca en el lado oeste de la localidad, también se trazó con la misma tubería en el lado este hasta la conclusión de la avenida (línea fuxia).

Para llegar a todas las cuadras se ramifico de la línea principal con una tubería de PE 40 mm llegando a todos los domicilios de la localidad (línea roja), tomado en cuenta un futuro crecimiento, así como la readecuación con GNL o posible conexión troncal por GN. Finalmente se logró un trazado correcto con las características adecuadas para la distribución de GLP en fase gaseosa.

3.5.3. PARÁMETROS BASE PARA EL CÁLCULO

Todos los parámetros para realizar el diseño y la simulación de la distribución por medio del programa CypeCAD son los siguientes:

TABLA 3.31. BASE DE CALCULO PARA EL DISEÑO

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión Máxima de Servicio (Pmax)	4	bar
Densidad relativa de GLP (ρ_r)	1,695	adimensional
Caudal Proyectado (Q)	56,22	m ³ /h
Coefficiente de Renouard Cuadrático (Crc)	48,6	adimensional
Presión Mínima de Servicio (Pmin)	1	bar

Velocidad Máxima(v)	20	m/s
Coefficiente de Mayoración (Cm)	30	%
Coefficiente de Simultaneidad para el cálculo (S)	1	adimensional
Coefficiente de Compresibilidad de Gas(z)	0,958	adimensional

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos calculados o establecidos)

Los datos de coeficiente de compresibilidad del gas y densidad relativa de GLP en estado gaseoso fueron obtenidos por medio de cálculos de la cromatografía del GLP, en el caso de caudal de consumo también fue calculado en base al consumo de la localidad de estudio.

Para los demás datos se referenció o estableció por el programa CypeCAD y normativa vigente, entre estos datos se consideró el factor de Mayoración del 30% porque este factor incrementa las longitudes de las tuberías para simular las caídas de presión que no son consideradas por accesorios o por rugosidad del material. Mientras que para el factor de Simultaneidad se utilizó el valor de 1 para considerar las compensaciones de caudales en los nudos donde ya fueron cálculos en base a las simultaneidades de los equipos que se utilizaran por nudo. Los parámetros como la velocidad máxima del fluido, presiones máximas y mínimas del servicio están contempladas en el D.S. 1996 como datos establecidos.

3.5.4. COMPENSACIÓN DE CAUDALES EN LOS NUDOS

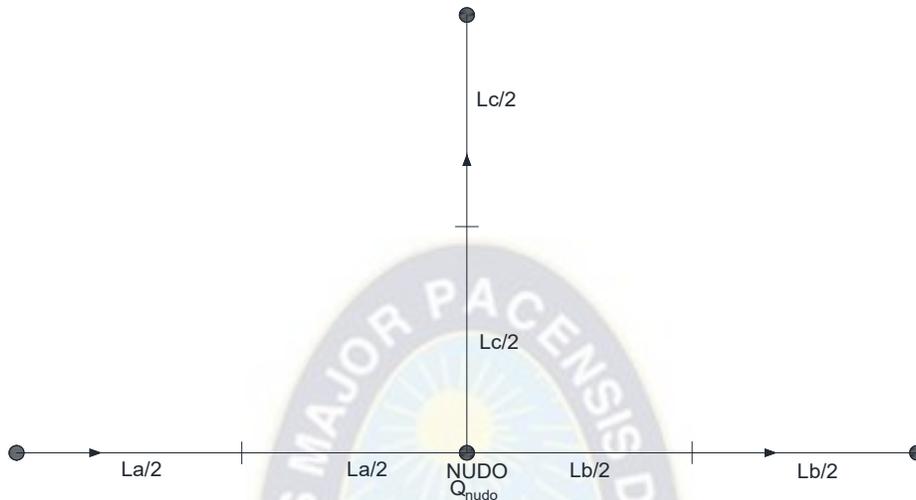
Para la compensación de los caudales en los nudos se generó la memoria de cálculo sin antes haber realizado el cargado de los parámetros de diseño, esto debido a que solo se utilizó las distancias entre los nudos. Donde se analizó en base a la ecuación del consumo de caudal doméstico (14), para obtener una relación entre caudal y número de usuarios.

$$Q_{nudo} = [(A * C * S)_{cocina} + (A * C * S)_{calentador\ de\ agua}] * N_n$$

$$Q_{nudo} = [1 * 0,398 * 0,15 + 0,2 * 0,776 * 0,3] * N_n$$

$$Q = 0,10626 * N_n$$

FIGURA 3.9. DISTRIBUCIÓN DE LONGITUDES EN UN NUDO



FUENTE: (Elaboración Propia en base al libro Cálculo de Tuberías y Redes de Gas de Marcías Martínez)

Para poder calcular el número de usuarios, se podría hallar en base a planos catastrales realizando una división de lotes o contar las casas por tramos por medio de imágenes satelitales. También se tiene una relación para hallar el número de usuarios, donde se define como la relación entre la suma de las longitudes totales que conectan al nudo dividido sobre dos por el frente promedio de lote. Este último es la longitud promedio que ocupa una vivienda hacia la calle o avenida. Estos son definidos por las ecuaciones (27) y (28).

$$N_n = \frac{L_{total}}{2 * FP}$$

$$L_{total} = \sum L_a + L_b + \dots \dots + L_{enésima}$$

Para este caso se utilizará el último método que utiliza el frente promedio para hallar el número de viviendas que consumirán por nudo. Por lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

Primeramente, para obtener un frente promedio común, este se halló en base a la función buscar objetivo de Excel, donde se busca e itera un valor ya conocido para que se ajuste lo máximo al resultado deseado en este caso el resultado deseado es el Caudal Total calculado con el Frente Promedio (FP), donde el valor es de 58 (m³/h) para tener un factor de seguridad en el caudal de consumo.

Posteriormente se obtuvo un valor de frente promedio de 10,083 (m) así como un factor de 0,010539 la cual multiplicando a la longitud total media (LT/2), finalmente se calculó las caudales para los 187 nudos distribuidos en toda la red en base a la siguiente ecuación simplificada de la de consumo doméstico (14):

$$Q_{nudo} = 0,010539 * \left(\frac{L_{total\ de\ nudo}}{2} \right)$$

TABLA 3.32. DATOS PARA CALCULAR EL CAUDAL EN NUDOS

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
CONSUMO POR USUARIO	0,10626	m ³ /h
LONGITUD TOTAL DEL SISTEMA	5503,41	m
Q PROYECTADO	56,22	m ³ /h
Q TOTAL CALCULADO CON FP	58,00	m ³ /h
FRENTE PROMEDIO (FP)	10,083	m
FACTOR (CONSUMO POR USUARIO/FP)	0,010539	m²/h

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos calculados)

La tabla de cálculo obtenido con los caudales calculados para los 187 nudos se encuentra en la parte de Anexo (A) esto debido a la amplitud de dicha tabla. Cabe mencionar que estos caudales se cargaron individualmente a cada nudo en el programa CypeCAD para la simulación del diseño final. Donde se observó que el nudo 3 presenta el mayor nudo de consumo 0,87 (m³/h) debido a la gran longitud que se encuentra interconectada dicho nudo, por el contrario, tenemos

al nudo 144 con el menor caudal de consumo de 0,04 (m³/h) debido a su corta cantidad de longitud que interconecta al nudo.

3.5.5. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GLP

Para realizar el diseño de un sistemas de tuberías que transporta fluido se lo realiza en base a modelos matemáticos que son aplicados a la mecánica de fluidos. El presente proyecto utiliza como herramienta de cálculo el software de CypeCAD para realizar el dimensionamiento, cálculo y comprobación de la red de distribución (sistema ramificado).

Este software es de gran utilidad ya que facilita las tareas de calcular un sinfín de ecuaciones e incógnitas de manera más rápida y eficaz. Las ecuaciones que se utilizaron son las siguientes, para el cálculo de la caída de presión se utilizó la ecuación de Renouard Cuadrático (24) dada para una presión de suministro entre 100 (mbar) y 4 (bar).

$$P_1^2 - P_2^2 = C_{RC} * \rho_r * L * \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}}$$

Para las velocidades que se tiene en los tramos de la red de distribución, se tiene la siguientes ecuaciones (25) y (26):

$$v = \frac{354 * Q * z}{P * D^2}$$

$$P = \frac{2(P_1^3 - P_2^3)}{3(P_1^2 - P_2^2)}$$

Por lo tanto, una vez realizo el trazado de ruta (3.5.2.), los datos base para el cálculo descritos en el punto (3.5.3), y los caudales de los nudos obtenidos por el frente promedio (3.5.4.), se procedió a la corrida de la simulación con las ecuaciones descritas para verificar si existe

algún dato crítico en los tramos, nudos las cuales pueden estar sobredimensionados o fuera de especificación. Previamente antes de obtener la simulación final se realizó diferentes simulaciones con diferentes valores a la base de cálculo para poder observar cómo se comportaría en condiciones diferentes a las establecidas, lo cual se logró evidenciar que se si se cambia la densidad relativa del fluido este influye el porcentaje de caída de presión en los tramos de manera directamente proporcional en un pequeño porcentaje, en el caso de los tamaños de tuberías su diámetro influye de manera inversamente proporcional con la velocidad de flujo. Si se considera tomar presiones menores como 2 (Bar) se tendrá una caída del 3,5 % aproximadamente, por lo que esto indica que se podría considerar presiones menores de suministró, debido a sus bajas caídas de presión.

En resumen, todos los parámetros obtenidos de la simulación final como las caídas de presión y las velocidades del fluido de la memoria de cálculo para los tramos y nudos del enmallado se los muestra en la sección del Anexo (B), debido a su amplitud de las tablas.

3.5.6. RESULTADOS DEL ANALISIS HIDRAULICO POR CYPECAD

Una vez determinado los parámetros base y los caudales de consumo por nudos, se procedió a realizar la simulación de cálculos descritos en el punto anterior. Donde el presente software generó una memoria de cálculo el cual se verificó y analizó para cada tramo y nudo respectivamente. Por ende, se obtuvo resultados importantes como:

- Velocidades en los tramos.
- Presiones en los nudos.
- Caudales en los tramos.
- Perdidas de presión en los tramos.
- Longitudes y diámetros de los diferentes tipos de tubería y tramos.

A continuación, se tiene los nudos y tramos críticos del sistema en la tabla (3.33.).

TABLA 3.33. CONDICIONES CRITICAS DEL SISTEMA DE RED DE GLP

NUDO			
CARACTERISITICA	VALOR	UNIDAD	UBICACIÓN
Presión de Suministró	4	bar	TKS1
Presión Máxima	3,9992	bar	NC1
Presión Mínima	3,9655	bar	NC91
TRAMO			
CARACTERISITICA	VALOR	UNIDAD	UBICACIÓN
Velocidad Máxima	1,32	m/s	NC1-NC2

FUENTE: (Elaboración Propia en base datos de Memoria de Cálculo de Cypecad)

También se obtuvo las longitudes finales de los diferentes tipos de tuberías para el suministró de GLP y se muestran en la siguiente tabla (3.34.).

TABLA 3.34. LONGITUDES Y DIÁMETROS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TUBERÍA

TUBERIAS				
DESCRIPCIÓN	LONGITUD	UNIDAD	DIAMETRO INTERNO	UNIDAD
DN40 (POLIETILENO)	4359,62	m	33,30	mm
DN63 (POLIETILENO)	1083,73	m	52,20	mm
3IN (ACERO NEGRO)	60	m	77,92	mm

FUENTE: (Elaboración Propia en base datos de Memoria de Cálculo de Cypecad)

La longitud total de todo el sistema de red distribución a partir del punto de medición es de 5503,35 (m) de tubería de Polietileno de Alta Densidad y de Acero Negro.

Se puede verificar que no existe gran caída de presión en todas las líneas de distribución, esto debido a que se tiene alrededor de un 1 (km) de distancia de extremo a extremo en la población de Palca, por lo cual las distancias son considerablemente pequeñas, también se puede observar un caudal de consumo hasta el año 2031 de 56,22 (m³/h) la cual es un consumo

relativamente bajo. Por ende, cumple y no se tiene ninguna propiedad de Presión, Velocidad o Caudal fuera de los parámetros establecidos para un suministro continuo y eficiente.

3.5.6.1. ANÁLISIS DEL PLANO HIDRAULICO DE DISTRIBUCIÓN DE GLP

El plano de distribución hidráulico de la localidad de Palca con los resultados de longitudes en tramos, presión y caudales en los nudos se encuentra a escala 1:900 y adjunto en la parte de Anexo (E) por su tamaño. El presente plano se realizó en AutoCAD y CypeCAD conjuntamente, a partir de la simulación final la cual se descargó en formato (dwg) y con los resultados mencionados. También se especificó en función a la memoria de cálculo del Anexo (B) los parámetros críticos de presión máxima, mínima y velocidad máxima, así como los tipos de tubería y la presión de suministro de manera referencial.

Cumpliendo los parámetros que se describen en el D.S. 1996, como el de evitar una presión mínima de 1 (bar) donde se tiene una presión mínima de 3,9655 (bar) en el nudo 91 evidenciando una baja caída de presión en la red, donde es recomendable mantener una presión uniforme y regulada del GLP gaseoso, ya que evitaría posibles condensaciones precipitadas. El caso de presión máxima también se encuentra por debajo de los 4 (bar) establecidos en el nudo 1 con una presión de 3,9992 (bar), incluso esta presión es adecuada para transportar GLP gaseoso según la composición promedio del GLP en Bolivia.

En el caso de la velocidad máxima se tiene 1,32 (m/s) en el tramo entre el nudo 1 y nudo 2 lo cual es bajo y no sobrepasa los 20 (m/s) ya establecidos por normativa, descartando alguna vibración o desgaste en la tubería de polietileno. En el caso de la temperatura como se tendrá toda la red enterrada se tendrá una temperatura no menor a la mínima registrada de 0 (C), por lo que no se tendrá un cambio de fase a lo largo de la red de distribución. En resumen, la red y sus 187 nudos reflejados en el plano hidráulico presentan valores de velocidad, presión y caudal acordes con lo establecido y requerido por la localidad.

3.5.7. ACOMETIDAS E INSTALACIONES INTERNAS DE GLP

Para las acometidas y sus instalaciones de GLP de uso doméstico, comercial e industrial se realizan en base a las normas NFPA 54 y NFPA 58 como indica la RA-ANH-UN 006/2016. También se tendrá en consideración los Anexos 5 y 6 del D.S. 1996.

Con respecto a la categoría de uso doméstico y comercial, para la acometida se tendrá que realizar la derivación por electrofusión y conectar hasta la válvula de acometida, la cual se encuentra en el gabinete de medición, a su vez este debe tener una fijación óptima especialmente en muros de adobe. Este tramo será del mismo material que la red es decir polietileno de alta densidad, además se tendrá una presión inferior a los 4 (bar) debido a la baja caída de presión.

Primeramente, para los reguladores y medidores de GLP se considera las caídas de presiones, caudales y las presiones máximas permitidas dependiendo si será de uso comercial (máximo 20 psi según NFPA 58) o doméstico (máximo 5psi según NFPA 54), también debemos considerar la protección de los mismos de los cambios de temperatura abruptos para evitar trazas de condensados por lo que se recomienda instalar colectores de condensados después de los medidores y se podría utilizar reguladores en dos etapas dependiendo el tipo de equipo.

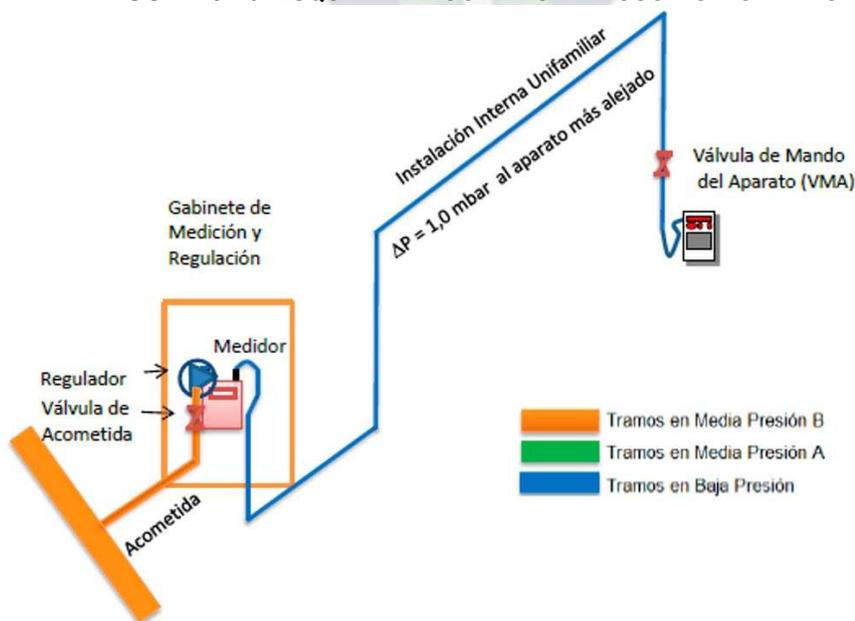
Las conexiones internas para domiciliarias y comerciales deben ser diseñadas con un trazado simple y de la manera más técnicamente factible directa, esto para evitar una mayor caída de presión y uso excesivo de materiales. Para los materiales según el reglamento se podrá utilizar diferentes tipo de tuberías rígidas y flexibles, pero para el caso de estudio de Palca se deberá utilizar por la accesibilidad y costo, la tubería de acero de cedula 40 y que cumpla la normativa ASTM A53 y ASTM A106, en el cual los diámetros a utilizar serán $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$, 2, 2 $\frac{1}{2}$, 3, 4 (plg) dependiendo al dimensionamiento por consumo de cada vivienda y comercio.

Se deberá tener en cuenta también las futuras ampliaciones por lo que deberá detallarse en los proyectos individuales las derivaciones que se ampliaran a futuro. En base a la NFPA 54 se deberá considerar una pendiente en la tubería de 7(mm) en 4,6 (m) a fin de evitar trampas.

Además, las distancias con otras tuberías pueden considerarse en el Anexo 5 del D.S. 1996. Las válvulas manuales de corte para los aparatos deben estar a una distancia no menor de los 1,8 (m) con un fácil acceso. Se tomo en cuenta los artefactos de Categoría I para el uso doméstico de manera general, pero se podrá realizar un reajuste dependió el uso de cada usuario ya que se con un margen en el caudal de consumo inicialmente proyectado.

Por otra parte, el espacio es de suma importancia para realizar una correcta combustión y una ventilación de los gases de combustión, el cual el volumen de aire de combustión será de $50 \text{ (ft}^3\text{) / 1000 (BTU/h)}$ como mínimo, por ende, deberá existir aberturas para el flujo de aire en el recinto de 12 (plg) por extremo. El volumen de espacio mínimo por aparato que se considera en el Anexo 5 es de $8 \text{ (m}^3\text{)}$ como referencia. Toda las líneas externas deberán ser protegidas contra la corrosión mediante revestimiento epoxi o pintura anticorrosiva, así como protegidas térmicamente para evitar su enfriamiento repentino en las temporadas más frías de Palca. A continuación, se muestra la figura (3.10.) de una conexión domiciliaria estándar donde se esquematiza mejor la distribución.

FIGURA 3.10. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE USO DOMICILIARIO



FUENTE: (ANH, 2016)

En la localidad de Palca se tiene la mayoría de usuarios con la categoría de viviendas unifamiliares debido a su densidad demográfica y consumo. Con respecto a los requerimientos y los métodos de instalación que se tiene del GLP en fase gas y el Gas Natural, se observó que son similares en la NFPA 54 y el Anexo 5 para las conexiones de uso doméstico y comercial con algunas particularidades descritas anteriormente. En conclusión, se deberá tener un control riguroso en el suministro de GLP debido a que es más peligroso que el Gas Natural por su acumulación en el suelo en caso de fuga.

Para el uso de categoría industrial se debe realizar instalaciones de GLP a granel de manera individual como se describe en la RA-ANH-UN 006/2016, según sea el caso del requerimiento de las empresas industriales, porque se tendrá mejores tiempos de autonomía para su consumo además que el presente proyecto solo consideró el consumo de uso doméstico y comercial.

3.6. CADENA LOGISTICA DE SUMINISTRO DE GLP

La cadena de suministro del GLP comprende desde la Logística de Insumos desde la extracción de hidrocarburos en pozos para luego ser transportado por ductos a Plantas Separadoras de Líquido (Rio grande y Carlos Villegas) y Refinerías (Gualberto Villarroel y Guillermo Elder Bell). La Logística de Larga distancia comprende desde los PSL y Refinerías donde se separa el fracción de GLP de un hidrocarburos de gas con condesado o líquidos, para su posterior transporte por ductos a las diferentes plantas de almacenaje (centro de distribución) en estado líquido. Estas plantas son puntos nodales estratégicos debido a que se almacena grandes cantidades de GLP en esferas o cilindros, para tener días de autonomía en la comercialización del producto.

La Logística de Ultima Milla comprende desde la salida de los centros de distribución, donde el producto es transportado en fase liquida al 85% en volumen por medio de cisternas,

donde se trasladarán hasta la localidad de Palca para el transvase hacia los tanques estacionarios. Los tanques una vez llenados de producto estos serán suministrados a una red distribución por vaporización natural y en épocas de invierno se utilizará vaporizadores para mantener la temperatura y presión en los tanques de suministró; de las redes se conectarán por acometidas al consumidor final (doméstico y comercial). Toda la cadena logística involucra planes, coordinación y comunicación por parte de las empresas operadoras para obtener mejores márgenes de ganancia.



FUENTE: (Elaboración Propia en base al curso de Optimización de Operaciones y Distribución en UC Chile)

3.6.1. RUTA MINIMA VIABLE DE REPOSICIÓN DE GLP

Las rutas mínima viables de recarga de producto son de suma importancia para poder obtener los menores costos que conllevan y la cantidad de huella de carbón que se genera en el

transporte por cisterna. Por lo tanto, se tendrá como parámetro de selección los tiempos de viaje y los kilómetros recorridos para las diferentes rutas.



En la figura (3.11.) se puede observar las siguientes dos rutas generadas desde YPFB Logística Senkata hacia Palca. Las características son las siguientes.

TABLA 3.35. DISTANCIA, TIEMPO Y VELOCIDAD DE LAS RUTAS

N	RUTA	DISTANCIA	TIEMPO	VELOCIDAD PROMEDIO
1	El Alto – Achocalla – Mallasilla – Calacoto – Ovejuyo - Palca	47,4 km	1 h 43 min	28 km/h
2	El Alto – Cotahuma – Següencoma – Calacoto – Ovejuyo - Palca	51 km	1 h 48 min	28 km/h

FUENTE: (Elaboración Propia en base datos de Google Maps)

Las rutas 1 y 2 son muy similares en las distancias y el tiempo con una velocidad promedio, la diferencia con la ruta 1 es que va avenidas y calles donde el tráfico tiende a ser más

congestionado en comparación con la ruta 2 que es mucho más despejada; mientras que la ruta 1 presenta un poco de más distancia asfaltado o pavimentada en comparación con la ruta 2. Respecto a la topografía se tiene un perfil accidentado con elevaciones y descensos en ambos tramos, con diferencial de altura de alrededor de 500 (m) (Senkata 3972 m y Palca 3465 m).

Por lo tanto, se seleccionará la ruta 2 porque es la más cercana y con menos tráfico desde el centro de distribución en Senkata hasta la localidad de Palca, evitando mayores de tiempo de uso de cisterna y consumo de combustible, obteniendo menores costos y menor contaminación al medio ambiente.



CAPITULO IV ANALISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

4.1. COSTOS DE INVERSIÓN

El análisis económico del presente proyecto se realiza en base a los costos de inversión estimados que conlleva los diferentes materiales y actividades para su implementación. Estos costos referenciales pueden variar debido a diversos factores (terreno, materiales, productividad, tecnología, procedimientos constructivos). El cual se recopiló la información de dichos costos tanto nacional como internacional de varias empresas de ventas insumos y equipos, catálogos, guías, empresas de servicios, así como bibliografía referencial.

Para los costos de los tanques y sus conexiones de carga por cisternas y descarga a la red de distribución se tiene la siguiente tabla (4.1.). Donde se realizó en base a las cantidades estimadas de la aplicación práctica.

TABLA 4.1. COSTOS DE AREA DE TANQUES Y CONEXIONES

Materiales	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	PARCIAL (BS)
Tanque de GLP 33,6 (m3)	2 unidades	404840(Bs/unidad)	809680
Tubería de acero carbono 3" Schedule 40 ASTM A-53	240(m)	2150(Bs/12m)	43000
Vaporizadores 160 (m3/h) Modelo 40/80 Algas SDI	2 unidades	52350(Bs/unidad)	104700
Medidor de flujo gaseoso 3"	2 unidades	30000(Bs/Unidad)	60000
Regulador de presión auto actuada con toma de presión interna 3" tipo neumático	2 unidades	40000(Bs/unidad)	80000
Válvula con actuador de cierre rápido 3"	4 unidades	5635(Bs/unidad)	22540
Válvulas de cierre 3"	20 unidades	952(Bs/unidad)	19040
Bridas FF 3"	12 unidades	115(Bs/unidad)	1380
Codo de acero carbono 3"	35 unidades	98(Bs/unidad)	3430

Tee de acero carbono 3"	15 unidades	120(Bs/unidad)	1800
Bomba para 50(m ³ /h) (GLP liquido)	1 unidad	44113,6(Bs/unidad)	44114
Mano de obra	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	PARCIAL (BS)
Instalaciones Mecánicas para los tanques	1 global	67500(Bs/global)	67500
SUMATORIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL (BS)
OBRAS MECANICAS DE TANQUES Y CONEXIONES	1 global	1257184(Bs/global)	1257184

FUENTE: (Elaboración Propia en base datos recopilados)

Con respecto a la parte de los costos de la red de distribución la cual se contempla los costos de los materiales, costos de tendido y soldadura por electrofusión de las tuberías de Polietileno de alta densidad en la tabla (4.2.). Las cantidades de tubería se especifican anteriormente en el punto (3.5.6.) de la aplicación práctica y para los demás materiales se estimó en base al requerimiento que se tiene en la red de distribución.

TABLA 4.2. COSTOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN

Materiales	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	PARCIAL (BS)
Tubería PE DN63	1100(m)	26,56(Bs/m)	29216
Tubería PE DN40	4400(m)	19,2(Bs/m)	84480
Manguito electrosoldable DN63	18 unidades	140(Bs/unidad)	2520
Manguito electrosoldable DN40	110 unidades	45(Bs/unidad)	4950
Codo electrosoldable DN63	10 unidades	76(Bs/unidad)	760
Tee electrosoldable DN 63	1 unidad	133(Bs/unidad)	133
Tee electrosoldable DN 40	25 unidades	145(Bs/unidad)	3625
Reductor Electrosoldable DN 63 a DN 40	12 unidades	125(Bs/unidad)	1500
Tapón electrosoldable DN 63	1 unidad	179(Bs/unidad)	179
Tapón electrosoldable DN 40	35 unidades	104(Bs/unidad)	3640

Válvula de cierre electrosoldable DN63	3 unidades	1020(Bs/unidad)	3060
Válvula de cierre electrosoldable DN40	15 unidades	540(Bs/unidad)	8100
Transición de acero a PE de 3" a DN63	1 unidad	480(Bs/Unidad)	480
Mano de obra	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	PARCIAL (BS)
Tendido de tuberías de PE	5550(m)	36,8(Bs/m)	204240
Soldadura de tuberías de polietileno DN 63 y 40	230 juntas	89,36(Bs/junta)	20555
SUMATORIA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL (BS)
OBRAS MECANICAS DE REDES	1 global	367438(Bs/global)	367438

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos recopilados)

Para los costos de las actividades del proyecto se consideró los materiales y mano de obra en conjunto. Estos se muestran en la tabla (4.3.). En el cual todas las actividades que se contemplaron fueron estimadas en base a las longitudes de la red de distribución, el área de almacenaje que se tendrá para los tanques de GLP, tiempo de transporte de almacén a la localidad, cantidad de viviendas, así como los obras mecánicas para la instalación del proyecto descritas anteriormente.

TABLA 4.3. COSTOS POR ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO SUBTOTAL
Replanteo topográfico	5550(m)	2,16 (Bs/m)	11.988
Nivelación de terreno	250(m3)	45,36(Bs/m3)	11.340
Ingeniera de Detalle	1 global	360000(Bs/global)	360000
Transporte de tuberías, accesorios e insumos	240 hrs	272,2 (Bs/hr)	65328
Obras mecánicas de tanques y conexiones	1 global	1257184(Bs/global)	1257184

Obras mecánicas de redes de distribución	1 global	367438(Bs/global)	367438
Obras civiles para la instalación de tanques	1 global	87220(Bs/global)	87220
Instalación de Faenas	1 global	9645(Bs/global)	9645
Enmallado de protección perimetral	275(m2)	94,92(Bs/m2)	26103
Excavación de zanjas	1320 (m3)	70,28(Bs/m3)	92770
Pruebas de hermeticidad	5680(m)	16(Bs/m)	90880
Relleno y compactación de zanjas	1320 (m3)	160,62(Bs/m3)	212018
Sistema de aterramiento y Pararrayos	1 global	28044(Bs/global)	28044
Sistema Contraincendios con Extintores	267 (Kg)	40(Bs/kg)	10680
Acometidas de viviendas	460 viviendas	4137(Bs/vivienda)	1903020

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos recopilados)

Finalmente se tiene un costo total de inversión estimado de proyecto de Bs. 4.533.658 o su equivalente en dólares de \$us 649.521.

4.2. INGRESOS POR VENTAS

Los ingresos del presente proyecto están proyectados hasta el año 2031, estos ingresos serán calculados por las ventas totales de GLP a la localidad de Palca. Los precios al consumidor final en el mercado interno están dados anualmente por el Ente Regulador (ANH), este precio es de 2,25 (Bs/Kg) el cual se mantuvo por varios años.

Para el cálculo de los consumo anuales en masa se consideró los caudales totales de consumo estimado para el periodo (2022 - 2031), así como la relación de volúmenes fases ($1m^3 \text{ liquido} = 260m^3 \text{ gaseoso}$) y la densidad promedio de liquido de GLP ($0,54 \text{ kg/l}$).

TABLA 4.4. CONSUMOS DE GLP EN KILOGRAMOS AÑO

PERIODO	VIVIENDAS	m3/h GAS	m3/h LIQ	m3/día A 8 HORAS DE USO DIARIO	Kg/día	Kg/año
2022	406	49,013	0,188512	1,508092	814,370	297244,9938
2023	412	50,358	0,193687	1,549492	836,726	305404,934
2024	418	51,083	0,196473	1,571785	848,764	309798,748
2025	424	51,819	0,199304	1,594431	860,993	314262,305
2026	430	52,555	0,202135	1,617077	873,222	318725,862
2027	436	53,291	0,204965	1,639723	885,450	323189,418
2028	442	54,027	0,207796	1,662369	897,679	327652,975
2029	448	54,7515	0,210583	1,684662	909,717	332046,789
2030	454	55,4875	0,213413	1,707308	921,946	336510,346
2031	460	56,2235	0,216244	1,729954	934,175	340973,903

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos calculados y del INE)

Una vez obtenidos los consumos en masa de GLP, se obtiene los flujos de caja de ingresos anuales en base al precio establecido.

TABLA 4.5. INGRESOS ANUALES POR VENTA DE GLP

PERIODO	CANTIDAD EN Kg/año	PRECIO DE VENTA Bs/Kg	INGRESOS Bs/año
2022	297244,9938	2,25	668801
2023	305404,9338	2,25	687161
2024	309798,7477	2,25	697047
2025	314262,3046	2,25	707090
2026	318725,8615	2,25	717133
2027	323189,4185	2,25	727176
2028	327652,9754	2,25	737219

2029	332046,7892	2,25	747105
2030	336510,3462	2,25	757148
2031	340973,9031	2,25	767191

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos calculados)

4.3. INDICADORES DE EVALUACIÓN ECONOMICA

Estos indicadores ayudan a evaluar mediante la viabilidad por medio una cuantificación de los costos y los ingresos. Para dicho análisis se tiene el siguiente flujo de caja anual, donde solo se considera el costo total de inversión inicial y los ingresos brutos anuales.

TABLA 4.6. FLUJO DE CAJA ANUAL

PERIODO	FLUJO DE CAJA
0	-4533658
1	668801
2	687161
3	697047
4	707090
5	717133
6	727176
7	737219
8	747105
9	757148
10	767191

FUENTE: (Elaboración Propia en base a datos calculados)

4.3.1. VALOR ACTUAL NETO

El VAN es un criterio de inversión que busca determinar cuánto valor podría generar un proyecto para una empresa u organización. El cuál es la diferencia de los costos e ingresos expresados en moneda actual y está representado en la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (29)$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial, (Bs)

F_t = Flujos de dinero en el periodo t, (Bs)

t = Periodo anual, (año)

i = Tasa de descuento, (%)

VAN = Valor actual neto, (Bs) (Sapag, Sapag, & Sapag, 2008)

Calculando el VAN para el presente proyecto con una tasa de descuento del 8%:

$$VAN = -4533658 + \frac{668801}{(1+0,08)^1} + \frac{687161}{(1+0,08)^2} + \frac{697047}{(1+0,08)^3} + \frac{707090}{(1+0,08)^4} + \frac{717133}{(1+0,08)^5}$$

$$+ \frac{727176}{(1+0,08)^6} + \frac{737219}{(1+0,08)^7} + \frac{747105}{(1+0,08)^8} + \frac{757148}{(1+0,08)^9} + \frac{767191}{(1+0,08)^{10}}$$

$$VAN = 262.035,06 \text{ (Bs)}$$

Como el VAN es mayor a cero ($262035,06 > 0$) el proyecto se acepta debido a que genera beneficios con respecto a la inversión inicial.

4.3.2. TASA INTERNA DE RETORNO

El TIR es un criterio de inversión que evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento. El cuál la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente igual a los egresos expresados en moneda actual y está representado en la siguiente ecuación.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (30)$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial, (Bs)

F_t = Flujos de dinero en el periodo t, (Bs)

t = Periodo anual, (año)

TIR = Tasa interna de retorno, (%) (Sapag, Sapag, & Sapag, 2008)

Por lo tanto, se calcula el TIR para el presente proyecto con la función solve de la hoja de cálculo de Excel.

$$0 = -4533658 + \frac{668801}{(1 + TIR)^1} + \frac{687161}{(1 + TIR)^2} + \frac{697047}{(1 + TIR)^3} + \frac{707090}{(1 + TIR)^4} + \frac{717133}{(1 + TIR)^5} + \frac{727176}{(1 + TIR)^6} + \frac{737219}{(1 + TIR)^7} + \frac{747105}{(1 + TIR)^8} + \frac{757148}{(1 + TIR)^9} + \frac{767191}{(1 + TIR)^{10}}$$

$$TIR = 0,09 = 9\%$$

Se tiene un TIR mayor a la tasa de descuento para el cálculo del VAN (9% > 8%), el proyecto se acepta debido a que la tasa de rendimiento interno que se obtuvo es superior a la tasa mínima de la rentabilidad, por lo cual el proyecto genera rentabilidad.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con respecto al desarrollo del proyecto de grado se logró determinar las siguientes conclusiones finales:

- En la realización del presente proyecto se obtuvo resultados satisfactorios en base a parámetros de cálculo y selección. Estos factores tan sensibles como la características físicas y químicas del fluido, selección de materiales, disposición de accesorios fueron claves para el diseño y los costos que implican. Utilizando normas nacionales e internacionales como referencia para la Distribución de GLP de Granel por Redes, complementándose con manuales sobre instalaciones de GLP que fueron bastante útiles a la hora de diseño.
- El consumo total calculado es de 56,22 (m³/h) para uso doméstico, comercial y cuenta con una proyección a 2031 en base a datos estadísticos del INE. Para las condiciones a la cual el GLP se encuentra tanto en fase estacionaria como móvil se analizó y calculó las condiciones de presión, temperatura y factores de vaporización, para comprender el comportamiento del fluido en las condiciones críticas del lugar y dentro el tanque. El cual, a mayor concentración de propano, será más baja la temperatura de condensación y se tendrá mejor estabilidad y fluidez del GLP. Por tal motivo se implementó un par de vaporizadores para mantener la temperatura por encima de los 5 (C) para evitar una presión menor a los 4 (bar) en momentos de invierno cuando la temperatura desciende hasta los 0 (C).

- Se seleccionó dos tanques con capacidades de 33,6 (m³) cada uno, porque cumple con los parámetros de selección. Donde la capacidad de vaporización natural es mayor a la requerida por la demanda, y también se tendrá una autonomía de GLP mayor a los 20 días. En la elaboración del diagrama de flujo de proceso para los tanques se realizó según ISO 10628 y ANSI/ISA-5.1, esquematizando los equipos de seguridad, medición y todas las líneas de flujo, así como las presiones en las líneas y estados del GLP en base a los parámetros de diseño y datos de descarga de cisternas por parte de YPFB Logística. Por otra parte, se logró calcular parámetros de diseño que el tanque debe cumplir como el espesor mínimo y presiones máximas admisibles según las dimensiones del recipiente que se seleccionó, esto se realizó en base a la norma Asme VIII div.1 y la Asme II. Verificando que los espesores más anchos son de los cabezales en comparación con la parte cilíndrica y que la presión máxima admisible es proporcional al espesor, debido a los esfuerzos que se ejercen en las partes de los tanques. Se cumplió con los factores de seguridad que exigen las normas como las áreas mínimas en las que se debe construir una batería de tanques, y las distancias de seguridad, también se seleccionó polvo químico seco para la prevención contra incendios por medio de cálculo de capacidades comerciales.
- Se realizó el trazado de la red para la distribución de GLP gaseoso utilizando programas para el diseño de las rutas y las resoluciones de cálculos por tramos para las presiones y las velocidades en la tubería. Mientras que para los caudales de consumo se tuvo que calcular en función del frente promedio para luego ser cargados nudo por nudo a la simulación. En el uso del CypeCAD se obtuvo caídas de presiones bajas esto se debe a la baja rugosidad que presenta el PE y las longitudes cortas. En la memoria de cálculo y plano hidráulico se obtuvieron parámetros que están en los rangos ya establecidos para

una correcto suministro. Sin embargo, el cambio de diámetro a tamaños mayores comerciales genera un sobredimensionamiento ocasionando un gasto innecesario, pero a su vez se tomó en consideración las futuras ampliaciones o el cambio a de matriz a gas natural cuando este pueda adherirse a una red troncal o por GNL. Para las instalaciones internas de uso doméstico y comercial se analizó las características en base a las normativas. Por otro lado, se esquematizo la cadena de suministro para comprender la cadena de valor desde la extracción desde pozo hasta los centros de almacenamiento, donde se realizó una selección de ruta mínima de recarga para la cisterna utilizando Google Maps. Considerando el menor gasto posible y la ruta más corta la cual va desde la planta de Senkata, pasando por Achocalla, Calacoto, Ovejuyo hasta llegar a Palca.

- Por medio de indicadores de análisis económico como el VAR que es positivo y el TIR que es mayor a la tasa mínima de rentabilidad, se considera un proyecto ideal rentable, en el cual se podrá recuperar la inversión inicial a partir de las ventas estimadas, pero a su vez no se consideró en el proyecto los costos indirectos y otros gastos anuales los cuales son complejos de estimar y se necesita de un estudio profundo de costos. Sin embargo, se deberá analizar los beneficios sociales y de crecimiento que esta localidad podría obtener por medio de este proyecto, como la mejora de la calidad de vida, la equidad e inclusión social, generación de nuevos empleos, acceso a los servicios como los describe en la CPE y la ley N°300.

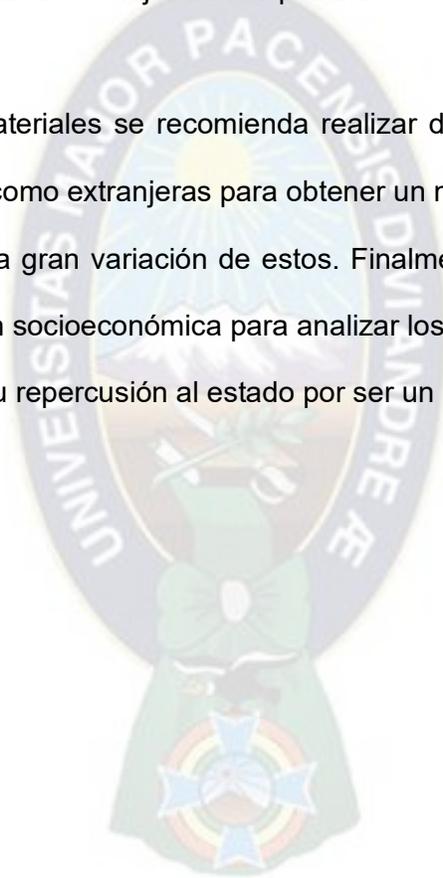
5.2. RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos del presente proyecto se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que para su aplicación se considere materiales y equipos que están disponibles en el mercado nacional y que cumplan con los requerimiento con los estándares de normas y códigos americanos. Para la parte legal también se recomienda que, una vez realizado un estudio completo de ingeniera, se pueda normar por parte de los reguladores del área hidrocarburífera para evitar un vacío legal en este tipo de distribución de GLP por redes.
- Para el tema de uso de cromatografías se deberá seleccionar los datos de las Plantas Separadoras de Líquidos para evitar sesgos en la obtención de parámetros de diseño, porque la producción nacional de GLP en mayor proporción la produce las PSL en cambio las refinerías presentan cortes de GLP con mayor concentración de butano, haciéndolos más volátiles y pesados.
- Para obtener las mejores condiciones de presión y vaporización, así como de evitar el uso de vaporizadores, se sugiere la aplicación de este tipo de proyectos en zonas templadas y cálidas porque la temperatura es un factor fundamental en la eficiencia de flujo. En el caso de zonas con climas frías se recomienda la utilización de GLP con mayores concentraciones posibles de 80% para adelante de propano o también reducir las presiones de suministró entre 2 a 3 (bar). Se recomienda también tomar en cuenta el área mojada de los tanques para la selección de los mismos, porque a mayor área, mayor será la capacidad de vaporización, lo cual influye bastante al momento de decidir el número de tanques y los tamaños.
- En la elaboración de las rutas de trazado se debe tomar en cuenta tanto mapas satelitales como planos catastrales para la verificación de calles y avenidas. Para áreas de trazado

de extensiones pequeñas y que cuente con pocos tramos se recomienda contrastar con métodos manuales para verificar las posibles variaciones de resultados. Por otra parte, en el uso de CypeCAD se deberá tener en cuenta un rango adicional para la presión mínima y el caudal de consumo, esto para obtener resultados con mejores proyecciones y que no se encuentren al límite de su diseño. También se recomienda realizar diferentes simulaciones con diferentes entornos de material, propiedades, rutas para observar la variabilidad y poder obtener el mejor diseño posible.

- Para los costos de materiales se recomienda realizar diferentes cotizaciones tanto de empresas nacionales como extranjeras para obtener un mayor panorama en los precios, ya que se observó una gran variación de estos. Finalmente se recomienda realizar un proyecto de evaluación socioeconómica para analizar los beneficios y desventajas de su aplicación, así como su repercusión al estado por ser un proyecto de inversión pública.



BIBLIOGRAFIA

ALGAS-SDI. (2012). DF Series Vaporizadores de Fuego Directo.

Almacén Ing Jacome. (2019). *Válvulas Rego*. Obtenido de www.jacomerego.com:
<http://www.jacomerego.com/v%C3%A1lvulas-rego.html>

ANH. (2014). *ANH-DCD-EXCEPCIÓN-SCP-N 014/2014*. Obtenido de anh.gob.bo:
<https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Referencia/DafExep/ANH-14-2014.pdf>

ANH. (2014). *Normas minimas para la ejecución de instalaciones domiciliarias de gas natural*. Obtenido de https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-52-140311-20.pdf

ANH. (2015). *Anexo 1 Diseño de Redes de Gas Natural*. Obtenido de https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-279-150907-0420-0.pdf

ANH. (19 de noviembre de 2015). *Anexo 2 Construcción de Redes de Gas Natural*. Obtenido de anh.gob.bo: https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-181-151215-0105-0.pdf

ANH. (Diciembre de 2016). *Anexo 5. Instalaciones de Categorías Doméstica y Comercial de Gas Natural* : https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-257-150120-0744-0.pdf

ANH. (16 de Octubre de 2016). *Reglamento para el transporte de carburantes a traves de unidades de transporte y tanques cisterna*. Obtenido de RAN-ANH-UN N 0024/2016:
<https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Actividad/Dj/RA-2016/RAN-ANH-UN-0024-2016.pdf>

Arco. (29 de Agosto de 2019). *Qué es la pérdida de carga en tuberías*. Obtenido de <https://blog.valvulararco.com/que-es-la-perdida-de-carga-en-tuberias>

- Aristegui Maquinaria. (30 de marzo de 2017). *Ventajas de usar tuberías de polietileno en la conducción de gas*. Obtenido de aristegui.info: <https://www.aristegui.info/ventajas-tuberias-polietileno-conduccion-gas/>
- AverroesBlogs. (2020). *Tipos de tuberías según el tipo de instalación*. Obtenido de Artículos Técnicos: <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/conectandoima/2020/01/24/tipos-de-tuberias-segun-el-tipo-de-instalacion/>
- AverroesBlogs y Junta de Andalucía. (2020). *Tuberías plásticas y sistemas de unión en instalaciones de PE, PB Y PVC*. Obtenido de <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/conectandoima/2020/01/24/tuberias-plasticas-y-sistemas-de-union-en-instalaciones-pe-pb-y-pvc/>
- Bahadori, A. (2014). *Natural Gas Processing Technology and Engineering Design*. Waltham: Gulf Professional Publishing.
- Barrene. (2020). *Válvula antirretorno*. Obtenido de [barrene.es: http://www.barrene.es/es/productos/pagina_1/barrene-gas/glp-butano-propano/liras-accesorios-colector-glp/2602_0/valvula-antirretorno.php](http://www.barrene.es/es/productos/pagina_1/barrene-gas/glp-butano-propano/liras-accesorios-colector-glp/2602_0/valvula-antirretorno.php)
- Bellera, C., Fernandez, E., Serna, A., Domenech, E., & Lopez, L. (14 de Junio de 2010). *Planta de Producción de acetaldehido ESAACLE*. Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl_2072_151832/PFC_esAAcle_v02.pdf
- Benavides Chamorro, O. A., & Marcillo Ramos, M. E. (Febrero de 2008). *Estudio de la distribución de gas licuado de petróleo para edificaciones de la ciudad de Tulcán mediante instalación canalizada*. Obtenido de Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/865>
- Boixader, Q., Falconi, Y., LLadó, J., López, E., López, P., & Peris Miras, M. (2016). *Tuberías, válvulas y accesorios*. Obtenido de Depositorio digital de documentos de la UAB: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v04.pdf

- Brito, L. (11 de julio de 2016). *Ley de Dalton y Ley de Raoult*. Obtenido de <https://misapuntesyacimientos.wordpress.com/2016/07/11/ley-de-dalton-y-ley-de-raoult/>
- Cabrera Beltrán, M., & Martínez Hernández, A. V. (2017). *Diseño de la ampliación de la red de distribución de gas natural en el centro poblado San Antonio de Anapoima*. Obtenido de Repositorio institucional Universidad de América: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6451/1/5122457-2017-2-IP.pdf>
- Carpio Álvarez, J. C. (2016). *Diseño de un vaporizador para glp de una capacidad de 320 kg/h*. Obtenido de Repositorio Dspace: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/34381>
- Castellanos Sastre, S. (2011). *Diseño de una instalación de GLP en una estructura autoportante tipo skid para autoabastecimiento de gas*. Obtenido de Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/14866>
- CEDIC. (Septiembre de 2008). *Manual de tubo y accesorios de Cobre*. Obtenido de <http://www.conexbanninger.com/uploads/322f0c5cd32a1a62fee2c391f0b585b328886a8e.pdf>
- CEPSA. (2001). *Manual de instalaciones de GLP*. Obtenido de http://www.frioycalor.info/Gas/Manual_Instalaciones_glp_cepsa.pdf
- Chemet. (2009). *Tanques de almacenamiento para GLP*. Obtenido de chemet.com: <https://chemet.com.pl/es/productos/tanque-glp/tanques-de-almacenamiento-para-glp/>
- Cistema - ARL Sura. (23 de Agosto de 2013). *Condiciones para almacenamiento en tanques para GLP*. Obtenido de ridsso.com: http://www.ridsso.com/documentos/muro/207_1527288743_5b0893a7a6df7.pdf
- Cistema - ARP Sura. (2020). *Tanques y Cilindros de Gas Propano*. Obtenido de https://www.arlsura.com/files/tanques_cilindros.pdf

Conaif-Sedigas. (Octubre de 2008). Parte19 Depositos fijos de GLP.

Crane ChemPharma & Energy. (2014). *Válvulas de diafragma industriales*. Obtenido de <https://image.indotrading.com/co37420/pdf/p411699/ae4720d0-55e8-43a8-a3d0-f81057d08b81.pdf>

Cueva del Ingeniero Civil. (2019). *Tipos y clasificación de Válvulas*. Obtenido de <https://www.cuevadelcivil.com/2011/05/valvulas-tipos-y-clasificacion.html>

Cypacad. (2017). Índice de instalaciones de gas.

DECRETO SUPREMO 24721. (23 de Julio de 1997). Reglamento para Construcción y Operación en Plantas de Engarrafado. Bolivia.

Decreto Supremo N° 1996. (15 de Mayo de 2014). *Reglamento de Distribución de Gas Natural por Redes y Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural e Instalaciones Internas*. Bolivia.

Dincorsa. (3 de octubre de 2016). *Principales características de los tanques estacionarios horizontales*. Obtenido de dincorsa.com: <https://www.dincorsa.com/blog/caracteristicas-tanques-estacionarios-horizontales/>

Dincorsa. (10 de Mayo de 2017). *Seis propiedades de las tuberías de cobre*. Obtenido de <https://www.dincorsa.com/blog/seis-propiedades-tuberias-cobre/>

Dincorsa. (30 de enero de 2017). *Tanques estacionarios verticales: características y recomendaciones*. Obtenido de dincorsa.com: <https://www.dincorsa.com/blog/tanques-estacionarios-verticales-caracteristicas-recomendaciones/>

Dincorsa. (22 de febrero de 2017). *Tanques estacionarios: ventajas y beneficios del gas GLP*. Obtenido de dincorsa.com: <https://www.dincorsa.com/blog/tanques-almacenamiento-ventajas-beneficios-glp/>

Dincorsa. (2020). *Productos - Manómetros*. Obtenido de dincorsa.com: <https://www.dincorsa.com/es/p/manometros>

- DirectIndustry. (2020). *Válvula de mariposa*. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/nibco/product-12637-681985.html>
- El Dia. (16 de junio de 2015). *Lo doméstico ocupa el 95% de consumo de GLP*. Obtenido de eldia.com: https://www.eldia.com.bo/index.php?c=&articulo=Lo-domestico-ocupa-el-95%-de-consumo-de-GLP-&cat=357&pla=3&id_articulo=174057
- Energía y Sociedad. (2020). *DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL*. Obtenido de energiaysociedad.es: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-6-distribucion-de-gas-natural/>
- Ferrekasa. (2020). *Ferrekasa.com.mx*. Obtenido de <https://ferrekasa.com.mx/collections/newest-products/products/iusa-valvula-de-llenado-mod-2028>
- FullMecánica. (2014). *Instalaciones de gas - 7.3.2 TIPOS DE UNIONES para tubería, elementos y ACCESORIOS*. Obtenido de <http://www.fullmecnica.com/definiciones/i/1422-instalaciones-de-gas-732-tipos-de-uniones-para-tuberia-elementos-y-accesorios>
- Gobierno de España-MITECO. (2020). *Gases Licuados de Petróleo (GLP)*. Obtenido de energia.gob.es: <https://energia.gob.es/glp/Paginas/Index.aspx>
- Gomez Trujillo, L. (2012). *Distribución del Gas Natural*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/luica1985/distribucin-del-gas-natural>
- González, M. (29 de mayo de 2017). *Diferencias y usos de la Tubería de Acero Negro y Galvanizado*. Obtenido de laminasyaceros.com: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/tuber%C3%ADa-de-acero>
- González, M., & Rosas, L. (2008). *Flujo de fluidos en fase líquida: Tubos, válvulas y accesorios*. Obtenido de Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda: <https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2008/12/tema-tubos-tuberias-y-accesorios.pdf>

Google Maps. (Agosto de 2021). *Palca*. Obtenido de [https://www.google.com/maps/place/Palca/@-16.5601975,-](https://www.google.com/maps/place/Palca/@-16.5601975,-67.955527,1317m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x915f3b313ed2d009:0xc490ba54845a4ffe!8m2!3d-16.5611304!4d-67.9531082)

[67.955527,1317m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x915f3b313ed2d009:0xc490ba54845a4ffe!8m2!3d-16.5611304!4d-67.9531082](https://www.google.com/maps/place/Palca/@-16.5601975,-67.955527,1317m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x915f3b313ed2d009:0xc490ba54845a4ffe!8m2!3d-16.5611304!4d-67.9531082)

Google Maps. (2021). Ruta YPFB Logistica-Palca. Obtenido de <https://www.google.com/maps>

Grupo Almagromur. (2019). *Válvula compuerta*. Obtenido de <https://www.grupoalmagromur.es/productos/valvula-compuerta/>

Guato Santamaria, J. L., & Guayasamin Vozmediano, J. D. (15 de Octubre de 2014). *Elaboración de manual de mantenimiento para tanques a presión de almacenamiento de GLP*. Obtenido de El Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8778>

Gutiérrez Yagüe, J. (2020). *Conceptos básicos de tuberías y accesorios*. Obtenido de <https://pumpsbombas.com/tutorial-conceptos-basicos-tuberias-accesorios/>

Hernandez , A. (Enero de 2014). *Ingeniería del Gas Natural*. Obtenido de slideshare.net: <https://es.slideshare.net/angelgabrielhernandezhurtado/7265775-ingenieriadelgasnatural>

Hidnay, A., & Parrish, W. (2006). *Fundamentals of Natural Gas Processing*. Columbus: Taylor and Francis Group.

Hurtado de Mendoza Martin, A. (Septiembre de 2013). *Camión Cisterna de GLP*. Obtenido de http://oa.upm.es/22103/1/PFC_Alejandro_Hurtado_de_Mendoza_Martin.pdf

Imfluid. (2020). *Productos IMFLUID*. Obtenido de <https://www.imfluid.cl/categoria-producto.php?subk=95&k=44>

INE. (Agosto de 2021). *Datos estadísticos de Palca*. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/>

Landete Morató, J., & Enguidanos Jávega, M. (2012). *Guía Instalaciones de Gas*. Obtenido de

<https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/guia-gas-manual-de-instalaciones.pdf>

Lapesa. (2021). Depósitos y Equipos para GLP- Almacenamiento y Servicio. *Catálogo 2021*.

Lipigas. (23 de Julio de 2012). *Hoja de datos de seguridad Gas Licuado del Petróleo*. Obtenido de <http://www.mininco.cl/maderas/sigex/pages/abrearchivo2.asp?arch=archivos/1705/HDS%20GAS%20LIPIGAS.pdf> Mininco.cl:

MAKO. (2020). *Válvulas de Exceso de Flujo Mashall ME880*. Obtenido de [mako.com.mx: https://www.mako.com.mx/soluciones-gas/valvulas-de-exceso-de-flujo-mashall-me880/](https://www.mako.com.mx/soluciones-gas/valvulas-de-exceso-de-flujo-mashall-me880/)

Manchengo, A. (13 de Mayo de 2021). Simulación de redes de gas natural por cypecad-UPB. Bolivia.

NFPA 58. (2014). *Código del Gas Licuado del Petróleo*. Quincy, Massachusetts: NFPA.

NOAA. (2021). *TEMPERATURA DE PALCA*. Obtenido de <https://www.ncei.noaa.gov/>
https://www.google.com/search?q=temperatura+palca+agosto&sxsrf=AOaemvICGLMOT_r8wwHEqw5XpD_AXMpLXg%3A1630887199198&ei=H101YcbPC6Ke5OUPq_Wb6AU&oq=temperatura+palca+agosto&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EANKBAhBGABQ4wIYwhZglx5oAHAAeACAAQCIAQCSAQCYAQCgAQHAAQE&scient=gws

Ochoa Capaico, J. R. (Septiembre de 2015). *Diseño y cálculo de la instalación interna de gas natural para el instituto Bolivia Mar Senkata El Alto*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Mayor de San Andrés:
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/9319/Pg-1575-Ochoa%20Capaico%2C%20Jose%20Rodolfo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortega Siguenza, N. L., Mazzini Flores, P. E., & Socasi Taco, C. R. (noviembre de 2009). *Estudio, diseño, construcción y puesta en marcha de una unidad para la determinación de*

- pérdidas de presión en tubos para fluidos compresibles*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1875>
- Ortiz Caaspa, C. J. (2018). *Diseño de una instalación centralizada de gas licuado de petróleo para abastecimiento de la Hostería - SPA Miramelindo en la ciudad de Baños de Agua Santa*. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica de Ambato : <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28196>
- Osinergmin. (2010). *Cuáles son las propiedades del "GLP"*. Obtenido de Osinerg: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm>
- Osinergmin. (2010). *Producción del GLP*. Obtenido de osinerg: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1432.htm>
- Osinergmin. (Septiembre de 2011). *Historia, Composición y Obtención del Gas Licuado de Petroelo*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/rgrados/historia-composicion-y-obtencion-del-glp-9101622>
- Osinergmin. (Septiembre de 2011). *Propiedades y Características del Gas Licuado de Petroleo*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/rgrados/propiedades-y-caractersticas-del-glp-9166571>
- Osinergmin. (Septiembre de 2011). *Usos del Gas Licuado de Petroleo* . Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/rgrados/usos-del-glp>
- PAVCO. (Abril de 2014). *Manual Técnico Tubosistemas Conducción Gas*. Obtenido de <https://pavcowavin.com.co/download/12>
- Peixoto Donato, G. V. (2021). *Recipientes a Presión. Mestría en Ingeniería de Petroleo y Gas Natural UPB*.
- Pérez, J. (2012). *CÁLCULO DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN*. Obtenido de Apuntesdedemografia.com: <https://apuntesdedemografia.com/curso-de->

demografia/temario/tema-3-crecimiento-y-estructura-de-la-poblacion/calculo-del-crecimiento-de-la-poblacion/

Petroblogger. (2 de diciembre de 2012). *TANQUES PARA EL ALMACENAMIENTO DE GAS LICUADO DE PETROLEO*. Obtenido de ingeneriadepetroleo.com: <https://www.ingeneriadepetroleo.com/tanques-almacenamiento-glp/>

Poling, B., Prausnitz, J., & O'Connell, J. (2001). *Properties of Gases and Liquids*.

Rednova. (2020). *Características del GLP*. Obtenido de Rednova: <https://rednova.com.co/caracteristicas-del-glp/>

REGO. (2021). *Manual de Servicio para el Instalador de GLP*. Obtenido de <https://www.regoproducts.com/PDFs/L-592.pdf>

Rochester Gauges LLC. (2020). *e-Dial™*. Obtenido de rochestergauges.com: <https://rochestergauges.com/es/product/e-dial/>

Rototherm. (2020). *Bi-metallic Thermometers*. Obtenido de rototherm.co.uk: <http://www.rototherm.co.uk/temperature-gauges-bi-metallic-thermometers.asp>

Rouchester Gauges. (2020). *Serie P6293*. Obtenido de rochestergauges.com: <https://rochestergauges.com/es/product/p6293/>

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos*, 6ta edición. MgGRAW-HILL.

Selectra. (24 de Abril de 2020). *Poder Calorífico: PCI y PCS del gas propano en kWh/kg o kWh/m³*. Obtenido de PropanoGas: <https://propanogas.com/faq/poder-calorifico-gas-propano>

Selectra. (2020). *Solicitar acometida de gas natural: precios y derechos*. Obtenido de PrecioGas: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/acometida>

SICA. (2020). *PRODUCTOS*. Obtenido de sica.com.ar: <https://www.sica.com.ar/index.php?act=Pages.showProducto&id=1>

- Sodimac Colombia S.A. (2020). *¿Cómo elegir fittings y accesorios de tuberías?* Obtenido de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/guias-de-compra/elegir-fittings-y-complementos-tuberia/>
- Tarantin Industries INC. (2020). *ROTOGAGES*. Obtenido de tarantin.com: <https://www.tarantin.com/categories/1327>
- Textos Científicos. (09 de Diciembre de 2014). *Producción y Procesamiento de Gas Licuado de Petróleo*. Obtenido de textoscientificos: <https://www.textoscientificos.com/petroleo/gas-licuado-petroleo/produccion-y-procesamiento>
- The World LPG Association. (2015). *What is LPG?* Obtenido de wlpga.org: <https://www.wlpga.org/wp-content/uploads/2015/10/WLPGA-EE-PDF-ES.V1.pdf>
- TISGAS. (2017). *Rego Válvulas y Adaptadores*. Obtenido de Tisgas EIRL Equipment: <http://www.tisgas.pe/productos/marca?id=RegoVal>
- Tomasetto Achille. (2020). *Componentes de calidad para sistemas a GLP y GNC*. Obtenido de tomasetto.com: <https://www.tomasetto.com/es/productos/multivalvulas-glp/modelo-at02>
- Tophometips. (2019). *Tuberías para gas: una descripción comparativa de todos los tipos de tuberías de gas + cómo elegir la mejor opción*. Obtenido de <https://es.top-home-tips.com/9289907-pipes-for-gas-a-comparative-overview-of-all-types-of-gas-pipes-how-to-choose-the-best-option>
- Unionsud. (2019). *Indicadores de nivel - Deslizante*. Obtenido de unionsud.com: <https://unionsud.com/project/deslizante/>
- UPB. (2021). *Diseño y simulación de redes de gas natural. Representación de tuberías de red primaria y secundaria*.
- Vallencillos Jiménez, M. (2017). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. España: Elearning. Obtenido de

<https://books.google.com.bo/books?id=q31XDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Vasquez, W. (9 de enero de 2020). Producción de GLP cae en 42,5% en cinco años. *La Razon*, pág. 1. Obtenido de La Razon: http://www.la-razon.com/suplementos/el_financiero/Produccion-GLP-cae-anos-financiero_0_3291270872.html

Venegas Vásconez, D., & Ayabaca Sarria, C. (2017). *Instalaciones de gas licuado de petróleo para sistemas residenciales, comerciales e industriales*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Diego_Venegas_Vasconez/publication/318776409_Instalaciones_de_gas_licuado_de_petroleo/links/597e776a0f7e9b8802eaf0b8/Instalaciones-de-gas-licuado-de-petroleo.pdf

Venegas Vasconez, F., & Ayabaca Sarria, C. (2018). *El riesgo en el almacenamiento de GLP en el Ecuador*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285638>

Venegas, D., Ayabaca, C., Celi, S., Rocha, J., & Mena, E. (12 de Agosto de 2017). *Factores para seleccionar tuberías de conducción de gas licuado de petróleo en el Ecuador*. Obtenido de Artículo Científico: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5055/505554803005/html/index.html>

Venegas, D., Yañez, J., Celi, S., Ayabaca, C., Tipanluisa, L., Bastidas, D., & Arrocha, M. (Noviembre de 2016). *Mantenimiento necesario en instalaciones de GLP*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/316221019_Mantenimiento_necesario_en_instalaciones_de_GLP

YPFB. (Noviembre de 2014). Cromatografía de GLP en Bolivia.

YPFB. (31 de enero de 2020). *Primer Informe Nacional de Situación YPFB*. Obtenido de ypfb.gob.bo: https://www.ypfb.gob.bo/images/ypfb/otros/YPFB_2020_transicion.pdf

Zapata, F. (26 de junio de 2019). *Constantes de Antoine: fórmulas, ecuaciones, ejemplos*. Obtenido de lifeder.com: <https://www.lifeder.com/constantes-de-antoine/>

ANEXOS

ANEXO A. CÁLCULO DE CAUDALES DE CONSUMO POR NUDO.

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m ³ /h)
NC1	140,97	70,485	0,74
NC2	143,36	71,68	0,76
NC3	164,83	82,415	0,87
NC4	87,51	43,755	0,46
NC5	47	23,5	0,25
NC6	107,37	53,685	0,57
NC7	74,09	37,045	0,39
NC8	43,8	21,9	0,23
NC9	81,89	40,945	0,43
NC10	101,27	50,635	0,53
NC11	71,78	35,89	0,38
NC12	66,58	33,29	0,35
NC13	32,92	16,46	0,17
NC14	108,22	54,11	0,57
NC15	134,87	67,435	0,71
NC16	96,23	48,115	0,51
NC17	70,61	35,305	0,37
NC18	92,5	46,25	0,49
NC19	79	39,5	0,42
NC20	51,99	25,995	0,27
NC21	95,59	47,795	0,50
NC22	151,54	75,77	0,80
NC23	93,04	46,52	0,49
NC24	63,01	31,505	0,33
NC25	85,74	42,87	0,45
NC26	75,88	37,94	0,40
NC27	52,73	26,365	0,28
NC28	50,77	25,385	0,27

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m ³ /h)
NC29	51,19	25,595	0,27
NC30	76,82	38,41	0,40
NC31	48,9	24,45	0,26
NC32	82,53	41,265	0,43
NC33	41,44	20,72	0,22
NC34	81,71	40,855	0,43
NC35	76,94	38,47	0,41
NC36	46,3	23,15	0,24
NC37	59,25	29,625	0,31
NC38	82,55	41,275	0,43
NC39	51,42	25,71	0,27
NC40	70,44	35,22	0,37
NC41	104,95	52,475	0,55
NC42	112,92	56,46	0,60
NC43	104,55	52,275	0,55
NC44	33,91	16,955	0,18
NC45	79,88	39,94	0,42
NC46	69,71	34,855	0,37
NC47	22,18	11,09	0,12
NC48	35,64	17,82	0,19
NC49	26,37	13,185	0,14
NC50	12,84	6,42	0,07
NC51	47,37	23,685	0,25
NC52	45,45	22,725	0,24
NC53	49,57	24,785	0,26
NC54	35,02	17,51	0,18
NC55	69,2	34,6	0,36
NC56	65,36	32,68	0,34

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m3/h)
NC57	11,24	5,62	0,06
NC58	43,66	21,83	0,23
NC59	56,77	28,385	0,30
NC60	69,25	34,625	0,36
NC61	37,59	18,795	0,20
NC62	37,6	18,8	0,20
NC63	54,18	27,09	0,29
NC64	70,09	35,045	0,37
NC65	49,52	24,76	0,26
NC66	8,1	4,05	0,04
NC67	62,57	31,285	0,33
NC68	20,37	10,185	0,11
NC69	88,62	44,31	0,47
NC70	53,53	26,765	0,28
NC71	67,92	33,96	0,36
NC72	24,53	12,265	0,13
NC73	18,62	9,31	0,10
NC74	23,39	11,695	0,12
NC75	23,9	11,95	0,13
NC76	108,82	54,41	0,57
NC77	83,86	41,93	0,44
NC78	46,9	23,45	0,25
NC79	33,53	16,765	0,18
NC80	46,4	23,2	0,24
NC81	51,46	25,73	0,27
NC82	43,86	21,93	0,23
NC83	22,4	11,2	0,12
NC84	80,42	40,21	0,42
NC85	46,38	23,19	0,24
NC86	22,06	11,03	0,12
NC87	58,47	29,235	0,31

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m3/h)
NC88	63,24	31,62	0,33
NC89	43,28	21,64	0,23
NC90	41,7	20,85	0,22
NC91	27,17	13,585	0,14
NC92	62,15	31,075	0,33
NC93	29,81	14,905	0,16
NC94	10,59	5,295	0,06
NC95	37,94	18,97	0,20
NC96	51,84	25,92	0,27
NC97	32,93	16,465	0,17
NC98	63,84	31,92	0,34
NC99	69,2	34,6	0,36
NC100	37,12	18,56	0,20
NC101	54,61	27,305	0,29
NC102	42,31	21,155	0,22
NC103	11,51	5,755	0,06
NC104	98,98	49,49	0,52
NC105	69,35	34,675	0,37
NC106	9,48	4,74	0,05
NC107	70,94	35,47	0,37
NC108	85,48	42,74	0,45
NC109	122,73	61,365	0,65
NC110	33,62	16,81	0,18
NC111	28,09	14,045	0,15
NC112	33,06	16,53	0,17
NC113	30,65	15,325	0,16
NC114	12,14	6,07	0,06
NC115	65,42	32,71	0,34
NC116	44,05	22,025	0,23
NC117	32,72	16,36	0,17
NC118	17,07	8,535	0,09

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m3/h)
NC119	120,27	60,135	0,63
NC120	124,34	62,17	0,66
NC121	64,21	32,105	0,34
NC122	17,85	8,925	0,09
NC123	53,23	26,615	0,28
NC124	60,84	30,42	0,32
NC125	12,64	6,32	0,07
NC126	61,45	30,725	0,32
NC127	20,94	10,47	0,11
NC128	66,08	33,04	0,35
NC129	62,81	31,405	0,33
NC130	102,26	51,13	0,54
NC131	47,21	23,605	0,25
NC132	9,73	4,865	0,05
NC133	15,54	7,77	0,08
NC134	18,23	9,115	0,10
NC135	16,96	8,48	0,09
NC136	19,49	9,745	0,10
NC137	15,04	7,52	0,08
NC138	12,28	6,14	0,06
NC139	16,53	8,265	0,09
NC140	34,54	17,27	0,18
NC141	23,77	11,885	0,13
NC142	20,68	10,34	0,11
NC143	19,83	9,915	0,10
NC144	7,87	3,935	0,04
NC145	15,49	7,745	0,08
NC146	41,38	20,69	0,22
NC147	33,95	16,975	0,18
NC148	16,7	8,35	0,09
NC149	10,86	5,43	0,06

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m3/h)
NC150	52,56	26,28	0,28
NC151	42,92	21,46	0,23
NC152	146,95	73,475	0,77
NC153	143,83	71,915	0,76
NC154	59,59	29,795	0,31
NC155	23,56	11,78	0,12
NC156	45,17	22,585	0,24
NC157	83,52	41,76	0,44
NC158	133,73	66,865	0,70
NC159	89,1	44,55	0,47
NC160	55,53	27,765	0,29
NC161	86,29	43,145	0,45
NC162	44,2	22,1	0,23
NC163	93,3	46,65	0,49
NC164	74,55	37,275	0,39
NC165	51,92	25,96	0,27
NC166	21,25	10,625	0,11
NC167	43,33	21,665	0,23
NC168	29,18	14,59	0,15
NC169	43,96	21,98	0,23
NC170	92,72	46,36	0,49
NC171	63,1	31,55	0,33
NC172	141,06	70,53	0,74
NC173	95,13	47,565	0,50
NC174	144,19	72,095	0,76
NC175	131,25	65,625	0,69
NC176	26,98	13,49	0,14
NC177	30,61	15,305	0,16
NC178	112,35	56,175	0,59
NC179	80,01	40,005	0,42
NC180	16,85	8,425	0,09

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m ³ /h)
NC181	14,42	7,21	0,08
NC182	48,89	24,445	0,26
NC183	103,91	51,955	0,55
NC184	138,07	69,035	0,73

NUDO	LONGITUD TOTAL (m)	L/2	Q(m ³ /h)
NC185	96,98	48,49	0,51
NC186	34,33	17,165	0,18
NC187	60	30	0,32
SUMATORIA		5503,41	58,00

ANEXO B. MEMORIA DE CÁLCULO.

Listado de nudos

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC1	0.74	3.9992	0.0196	Pres. máx.
NC2	0.76	3.9951	0.1221	
NC3	0.87	3.9881	0.2969	
NC4	0.46	3.9835	0.4120	
NC5	0.25	3.9833	0.4171	
NC6	0.57	3.9824	0.4388	
NC7	0.39	3.9809	0.4766	
NC8	0.23	3.9808	0.4792	
NC9	0.43	3.9803	0.4919	
NC10	0.53	3.9792	0.5209	
NC11	0.38	3.9783	0.5422	
NC12	0.35	3.9778	0.5554	
NC13	0.17	3.9770	0.5762	
NC14	0.57	3.9828	0.4289	
NC15	0.71	3.9822	0.4460	
NC16	0.51	3.9814	0.4638	
NC17	0.37	3.9812	0.4697	
NC18	0.49	3.9810	0.4759	
NC19	0.42	3.9809	0.4774	
NC20	0.27	3.9808	0.4800	
NC21	0.50	3.9808	0.4801	
NC22	0.80	3.9808	0.4803	

Nudo	Caudal dem. m ³ /h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC23	0.49	3.9808	0.4803	
NC24	0.33	3.9771	0.5732	
NC25	0.45	3.9768	0.5795	
NC26	0.40	3.9766	0.5843	
NC27	0.28	3.9664	0.8397	
NC28	0.27	3.9662	0.8448	
NC29	0.27	3.9659	0.8516	
NC30	0.40	3.9657	0.8563	
NC31	0.26	3.9656	0.8598	
NC32	0.43	3.9808	0.4811	
NC33	0.22	3.9806	0.4847	
NC34	0.43	3.9812	0.4709	
NC35	0.41	3.9808	0.4799	
NC36	0.24	3.9808	0.4812	
NC37	0.31	3.9806	0.4848	
NC38	0.43	3.9805	0.4879	
NC39	0.27	3.9881	0.2973	
NC40	0.37	3.9880	0.2996	
NC41	0.55	3.9880	0.3005	
NC42	0.60	3.9991	0.0228	
NC43	0.55	3.9988	0.0294	
NC44	0.18	3.9768	0.5798	
NC45	0.42	3.9768	0.5808	

Nudo	Caudal dem. m³/h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC46	0.37	3.9767	0.5821	
NC47	0.12	3.9767	0.5823	
NC48	0.19	3.9766	0.5846	
NC49	0.14	3.9766	0.5850	
NC50	0.07	3.9766	0.5850	
NC51	0.25	3.9766	0.5850	
NC52	0.24	3.9766	0.5852	
NC53	0.26	3.9766	0.5853	
NC54	0.18	3.9766	0.5853	
NC55	0.36	3.9766	0.5844	
NC56	0.34	3.9766	0.5845	
NC57	0.06	3.9766	0.5845	
NC58	0.23	3.9769	0.5783	
NC59	0.30	3.9768	0.5795	
NC60	0.36	3.9768	0.5805	
NC61	0.20	3.9768	0.5806	
NC62	0.20	3.9754	0.6154	
NC63	0.29	3.9740	0.6499	
NC64	0.37	3.9713	0.7181	
NC65	0.26	3.9689	0.7786	
NC66	0.04	3.9675	0.8123	
NC67	0.33	3.9768	0.5806	
NC68	0.11	3.9768	0.5806	
NC69	0.47	3.9768	0.5808	
NC70	0.28	3.9768	0.5809	

Nudo	Caudal dem. m³/h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC71	0.36	3.9668	0.8309	
NC72	0.13	3.9667	0.8330	
NC73	0.10	3.9667	0.8337	
NC74	0.12	3.9666	0.8349	
NC75	0.13	3.9666	0.8361	
NC76	0.57	3.9665	0.8373	
NC77	0.44	3.9665	0.8380	
NC78	0.25	3.9665	0.8381	
NC79	0.18	3.9665	0.8381	
NC80	0.24	3.9665	0.8371	
NC81	0.27	3.9665	0.8373	
NC82	0.23	3.9665	0.8373	
NC83	0.12	3.9665	0.8373	
NC84	0.42	3.9665	0.8375	
NC85	0.24	3.9665	0.8376	
NC86	0.12	3.9656	0.8602	
NC87	0.31	3.9656	0.8602	
NC88	0.33	3.9655	0.8616	
NC89	0.23	3.9655	0.8620	
NC90	0.22	3.9655	0.8620	
NC91	0.14	3.9655	0.8620	Pres. min.
NC92	0.33	3.9655	0.8619	
NC93	0.16	3.9655	0.8619	
NC94	0.06	3.9655	0.8619	
NC95	0.20	3.9655	0.8617	

Nudo	Caudal dem. m³/h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC96	0.27	3.9655	0.8618	
NC97	0.17	3.9655	0.8618	
NC98	0.34	3.9657	0.8567	
NC99	0.36	3.9657	0.8568	
NC100	0.20	3.9657	0.8568	
NC101	0.29	3.9658	0.8559	
NC102	0.22	3.9658	0.8560	
NC103	0.06	3.9658	0.8560	
NC104	0.52	3.9767	0.5823	
NC105	0.37	3.9767	0.5824	
NC106	0.05	3.9767	0.5824	
NC107	0.37	3.9673	0.8177	
NC108	0.45	3.9670	0.8250	
NC109	0.65	3.9668	0.8294	
NC110	0.18	3.9678	0.8062	
NC111	0.15	3.9677	0.8064	
NC112	0.17	3.9677	0.8067	
NC113	0.16	3.9677	0.8070	
NC114	0.06	3.9677	0.8070	
NC115	0.34	3.9677	0.8070	
NC116	0.23	3.9677	0.8071	
NC117	0.17	3.9677	0.8071	
NC118	0.09	3.9677	0.8071	
NC119	0.63	3.9805	0.4863	
NC120	0.66	3.9805	0.4875	

Nudo	Caudal dem. m³/h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC121	0.34	3.9805	0.4876	
NC122	0.09	3.9805	0.4876	
NC123	0.28	3.9806	0.4849	
NC124	0.32	3.9806	0.4850	
NC125	0.07	3.9806	0.4850	
NC126	0.32	3.9806	0.4851	
NC127	0.11	3.9806	0.4851	
NC128	0.35	3.9812	0.4699	
NC129	0.33	3.9812	0.4701	
NC130	0.54	3.9811	0.4724	
NC131	0.25	3.9811	0.4725	
NC132	0.05	3.9811	0.4725	
NC133	0.08	3.9811	0.4725	
NC134	0.10	3.9811	0.4726	
NC135	0.09	3.9811	0.4727	
NC136	0.10	3.9811	0.4728	
NC137	0.08	3.9811	0.4728	
NC138	0.06	3.9811	0.4728	
NC139	0.09	3.9812	0.4709	
NC140	0.18	3.9812	0.4709	
NC141	0.13	3.9812	0.4709	
NC142	0.11	3.9812	0.4709	
NC143	0.10	3.9812	0.4709	
NC144	0.04	3.9812	0.4709	
NC145	0.08	3.9812	0.4709	

Nudo	Caudal dem. m³/h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC146	0.22	3.9811	0.4728	
NC147	0.18	3.9811	0.4729	
NC148	0.09	3.9811	0.4729	
NC149	0.06	3.9811	0.4729	
NC150	0.28	3.9808	0.4812	
NC151	0.23	3.9808	0.4812	
NC152	0.77	3.9803	0.4920	
NC153	0.76	3.9802	0.4962	
NC154	0.31	3.9833	0.4163	
NC155	0.12	3.9833	0.4166	
NC156	0.24	3.9833	0.4182	
NC157	0.44	3.9832	0.4200	
NC158	0.70	3.9831	0.4228	
NC159	0.47	3.9830	0.4246	
NC160	0.29	3.9830	0.4248	
NC161	0.45	3.9830	0.4250	
NC162	0.23	3.9830	0.4251	
NC163	0.49	3.9801	0.4971	
NC164	0.39	3.9801	0.4975	
NC165	0.27	3.9801	0.4975	
NC166	0.11	3.9801	0.4975	

Nudo	Caudal dem. m³/h	Presión bar	Caída de presión %	Coment.
NC167	0.23	3.9810	0.4762	
NC168	0.15	3.9809	0.4764	
NC169	0.23	3.9809	0.4766	
NC170	0.49	3.9809	0.4769	
NC171	0.33	3.9809	0.4770	
NC172	0.74	3.9665	0.8364	
NC173	0.50	3.9664	0.8390	
NC174	0.76	3.9664	0.8401	
NC175	0.69	3.9664	0.8411	
NC176	0.14	3.9664	0.8411	
NC177	0.16	3.9880	0.3005	
NC178	0.59	3.9880	0.3012	
NC179	0.42	3.9879	0.3014	
NC180	0.09	3.9879	0.3014	
NC181	0.08	3.9808	0.4792	
NC182	0.26	3.9988	0.0305	
NC183	0.55	3.9987	0.0317	
NC184	0.73	3.9987	0.0335	
NC185	0.51	3.9986	0.0338	
NC186	0.18	3.9986	0.0339	
TKS1	---	4.0000	0.0000	

Listado de tramos

Valores negativos en caudal o velocidad indican que el sentido de circulación es de nudo final a nudo de inicio.

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m ³ /h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC1	NC2	52.20	DN63	53.51	1.32	0.0079	Vel. máx.
NC1	NC42	28.77	DN40	3.38	0.20	0.0004	
NC1	TKS1	60.00	3in	-57.63	-0.64	0.0013	
NC2	NC3	91.16	DN63	52.75	1.30	0.0077	
NC3	NC4	67.54	DN63	49.43	1.22	0.0068	
NC3	NC39	6.13	DN40	2.45	0.15	0.0003	
NC4	NC5	8.82	DN63	27.26	0.67	0.0023	
NC4	NC154	11.15	DN63	21.71	0.53	0.0015	
NC5	NC6	38.18	DN63	27.01	0.66	0.0023	
NC6	NC7	69.19	DN63	26.44	0.65	0.0022	
NC7	NC8	4.90	DN63	26.05	0.64	0.0021	
NC8	NC9	24.48	DN63	25.74	0.63	0.0021	
NC8	NC181	14.42	DN40	0.08	0.00	0.0000	
NC9	NC10	57.41	DN63	25.31	0.62	0.0020	
NC10	NC11	43.86	DN63	24.78	0.61	0.0019	
NC11	NC12	27.92	DN63	24.40	0.60	0.0019	
NC12	NC24	38.66	DN63	24.05	0.59	0.0018	
NC13	NC24	13.14	DN63	-16.47	-0.41	0.0009	
NC13	NC62	19.78	DN40	16.30	0.99	0.0079	
NC14	NC15	63.62	DN63	17.89	0.44	0.0011	
NC14	NC154	44.60	DN63	-18.46	-0.45	0.0011	
NC15	NC16	71.25	DN63	17.18	0.42	0.0010	
NC16	NC17	24.98	DN63	16.67	0.41	0.0009	
NC17	NC18	44.05	DN63	12.56	0.31	0.0006	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC17	NC128	1.58	DN40	3.74	0.23	0.0005	
NC18	NC32	44.34	DN40	3.47	0.21	0.0005	
NC18	NC167	4.11	DN63	8.60	0.21	0.0003	
NC19	NC35	54.62	DN63	6.75	0.17	0.0002	
NC19	NC167	24.38	DN63	-7.17	-0.18	0.0002	
NC20	NC21	37.09	DN63	1.79	0.04	0.0000	
NC20	NC35	14.90	DN63	-2.06	-0.05	0.0000	
NC21	NC22	58.50	DN63	1.29	0.03	0.0000	
NC22	NC23	93.04	DN63	0.49	0.01	0.0000	
NC24	NC58	11.21	DN40	7.25	0.44	0.0018	
NC25	NC26	73.70	DN40	2.49	0.15	0.0003	
NC25	NC44	6.81	DN40	2.03	0.12	0.0002	
NC25	NC58	5.23	DN40	-4.97	-0.30	0.0009	
NC26	NC55	2.18	DN40	2.09	0.13	0.0002	
NC27	NC28	20.85	DN40	5.21	0.32	0.0010	
NC27	NC71	31.88	DN40	-5.49	-0.33	0.0011	
NC28	NC29	29.92	DN40	4.94	0.30	0.0009	
NC29	NC101	21.27	DN40	4.67	0.28	0.0008	
NC30	NC31	42.52	DN40	2.80	0.17	0.0003	
NC30	NC98	31.76	DN40	0.90	0.05	0.0000	
NC30	NC101	2.54	DN40	-4.10	-0.25	0.0006	
NC31	NC87	6.38	DN40	2.54	0.15	0.0003	
NC32	NC33	38.19	DN40	3.04	0.18	0.0004	
NC33	NC123	3.25	DN40	2.82	0.17	0.0003	
NC34	NC128	61.18	DN40	-1.16	-0.07	0.0001	
NC34	NC139	16.53	DN40	0.09	0.01	0.0000	
NC34	NC140	4.00	DN40	0.64	0.04	0.0000	

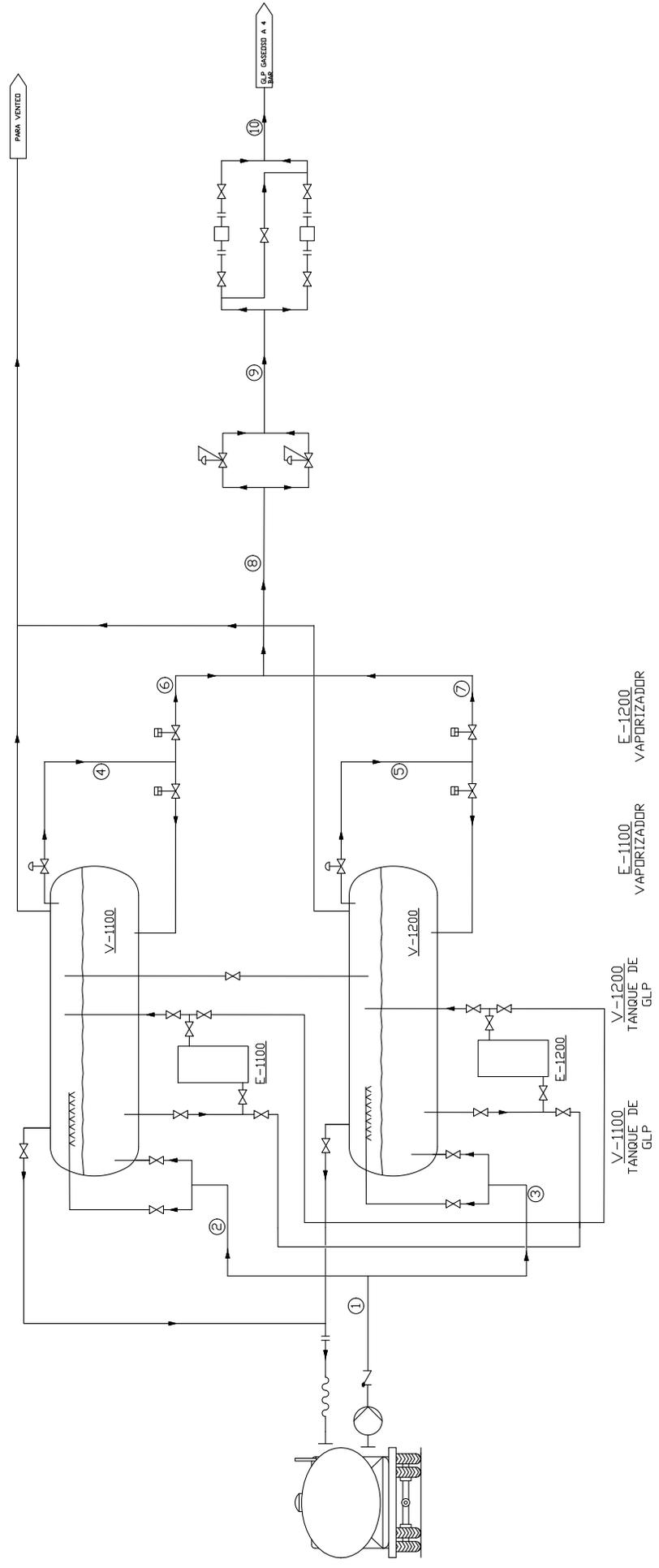
Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC35	NC36	7.42	DN40	4.28	0.26	0.0007	
NC36	NC37	29.24	DN40	3.53	0.21	0.0005	
NC36	NC150	9.64	DN40	0.51	0.03	0.0000	
NC37	NC38	30.01	DN40	3.22	0.19	0.0004	
NC38	NC152	52.54	DN40	2.79	0.17	0.0003	
NC39	NC40	45.29	DN40	2.18	0.13	0.0002	
NC40	NC41	25.15	DN40	1.81	0.11	0.0001	
NC41	NC177	30.61	DN40	0.16	0.01	0.0000	
NC41	NC178	49.19	DN40	1.10	0.07	0.0001	
NC42	NC43	84.15	DN40	2.78	0.17	0.0003	
NC43	NC182	20.40	DN40	2.23	0.13	0.0002	
NC44	NC45	27.10	DN40	1.85	0.11	0.0002	
NC45	NC46	52.78	DN40	1.43	0.09	0.0001	
NC46	NC104	16.93	DN40	1.06	0.06	0.0001	
NC47	NC104	22.18	DN40	-0.12	-0.01	0.0000	
NC48	NC49	22.74	DN40	1.14	0.07	0.0001	
NC48	NC55	12.90	DN40	-1.33	-0.08	0.0001	
NC49	NC51	3.63	DN40	1.00	0.06	0.0000	
NC50	NC51	12.84	DN40	-0.07	-0.00	0.0000	
NC51	NC52	30.90	DN40	0.68	0.04	0.0000	
NC52	NC53	14.55	DN40	0.44	0.03	0.0000	
NC53	NC54	35.02	DN40	0.18	0.01	0.0000	
NC55	NC56	54.12	DN40	0.40	0.02	0.0000	
NC56	NC57	11.24	DN40	0.06	0.00	0.0000	
NC58	NC59	27.22	DN40	2.05	0.12	0.0002	
NC59	NC60	29.55	DN40	1.75	0.11	0.0001	
NC60	NC67	4.61	DN40	0.64	0.04	0.0000	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC60	NC69	35.09	DN40	0.75	0.05	0.0000	
NC61	NC67	37.59	DN40	-0.20	-0.01	0.0000	
NC62	NC63	17.82	DN40	16.10	0.97	0.0077	
NC63	NC64	36.36	DN40	15.81	0.96	0.0075	
NC64	NC65	33.73	DN40	15.44	0.93	0.0072	
NC65	NC110	15.79	DN40	15.18	0.92	0.0070	
NC66	NC107	3.81	DN40	13.59	0.82	0.0057	
NC66	NC110	4.29	DN40	-13.63	-0.82	0.0057	
NC67	NC68	20.37	DN40	0.11	0.01	0.0000	
NC69	NC70	53.53	DN40	0.28	0.02	0.0000	
NC71	NC72	17.51	DN40	3.44	0.21	0.0005	
NC71	NC107	18.53	DN40	-9.29	-0.56	0.0029	
NC72	NC73	7.02	DN40	3.31	0.20	0.0004	
NC73	NC74	11.60	DN40	3.21	0.19	0.0004	
NC74	NC75	11.79	DN40	3.09	0.19	0.0004	
NC75	NC80	12.11	DN40	2.96	0.18	0.0004	
NC76	NC77	70.49	DN40	0.87	0.05	0.0000	
NC76	NC80	4.29	DN40	-2.10	-0.13	0.0002	
NC76	NC84	34.04	DN40	0.66	0.04	0.0000	
NC77	NC78	13.37	DN40	0.43	0.03	0.0000	
NC78	NC79	33.53	DN40	0.18	0.01	0.0000	
NC80	NC81	30.00	DN40	0.62	0.04	0.0000	
NC81	NC82	21.46	DN40	0.35	0.02	0.0000	
NC82	NC83	22.40	DN40	0.12	0.01	0.0000	
NC84	NC85	46.38	DN40	0.24	0.01	0.0000	
NC86	NC87	22.06	DN40	-0.12	-0.01	0.0000	
NC87	NC88	30.03	DN40	2.11	0.13	0.0002	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC88	NC92	14.18	DN40	1.14	0.07	0.0001	
NC88	NC95	19.03	DN40	0.64	0.04	0.0000	
NC89	NC90	14.53	DN40	0.36	0.02	0.0000	
NC89	NC92	28.75	DN40	-0.59	-0.04	0.0000	
NC90	NC91	27.17	DN40	0.14	0.01	0.0000	
NC92	NC93	19.22	DN40	0.22	0.01	0.0000	
NC93	NC94	10.59	DN40	0.06	0.00	0.0000	
NC95	NC96	18.91	DN40	0.44	0.03	0.0000	
NC96	NC97	32.93	DN40	0.17	0.01	0.0000	
NC98	NC99	32.08	DN40	0.56	0.03	0.0000	
NC99	NC100	37.12	DN40	0.20	0.01	0.0000	
NC101	NC102	30.80	DN40	0.28	0.02	0.0000	
NC102	NC103	11.51	DN40	0.06	0.00	0.0000	
NC104	NC105	59.87	DN40	0.42	0.03	0.0000	
NC105	NC106	9.48	DN40	0.05	0.00	0.0000	
NC107	NC108	48.60	DN40	3.93	0.24	0.0006	
NC108	NC109	36.88	DN40	3.48	0.21	0.0005	
NC109	NC172	85.85	DN40	2.83	0.17	0.0003	
NC110	NC111	13.54	DN40	1.37	0.08	0.0001	
NC111	NC112	14.55	DN40	1.22	0.07	0.0001	
NC112	NC115	18.51	DN40	1.05	0.06	0.0001	
NC113	NC114	12.14	DN40	0.06	0.00	0.0000	
NC113	NC115	18.51	DN40	-0.22	-0.01	0.0000	
NC115	NC116	28.40	DN40	0.49	0.03	0.0000	
NC116	NC117	15.65	DN40	0.26	0.02	0.0000	
NC117	NC118	17.07	DN40	0.09	0.01	0.0000	
NC119	NC120	77.98	DN40	1.09	0.07	0.0001	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC119	NC123	42.29	DN40	-1.72	-0.10	0.0001	
NC120	NC121	46.36	DN40	0.43	0.03	0.0000	
NC121	NC122	17.85	DN40	0.09	0.01	0.0000	
NC123	NC124	7.69	DN40	0.82	0.05	0.0000	
NC124	NC125	12.64	DN40	0.07	0.00	0.0000	
NC124	NC126	40.51	DN40	0.43	0.03	0.0000	
NC126	NC127	20.94	DN40	0.11	0.01	0.0000	
NC128	NC129	3.32	DN40	2.23	0.13	0.0002	
NC129	NC130	59.49	DN40	1.90	0.11	0.0002	
NC130	NC131	37.48	DN40	0.30	0.02	0.0000	
NC130	NC133	5.29	DN40	1.06	0.06	0.0001	
NC131	NC132	9.73	DN40	0.05	0.00	0.0000	
NC133	NC134	10.25	DN40	0.98	0.06	0.0000	
NC134	NC135	7.98	DN40	0.88	0.05	0.0000	
NC135	NC136	8.98	DN40	0.79	0.05	0.0000	
NC136	NC146	10.51	DN40	0.69	0.04	0.0000	
NC137	NC138	12.28	DN40	0.06	0.00	0.0000	
NC137	NC146	2.76	DN40	-0.14	-0.01	0.0000	
NC140	NC141	15.05	DN40	0.38	0.02	0.0000	
NC140	NC145	15.49	DN40	0.08	0.00	0.0000	
NC141	NC142	8.72	DN40	0.25	0.02	0.0000	
NC142	NC143	11.96	DN40	0.14	0.01	0.0000	
NC143	NC144	7.87	DN40	0.04	0.00	0.0000	Vel. mín.
NC146	NC147	28.11	DN40	0.33	0.02	0.0000	
NC147	NC148	5.84	DN40	0.15	0.01	0.0000	
NC148	NC149	10.86	DN40	0.06	0.00	0.0000	
NC150	NC151	42.92	DN40	0.23	0.01	0.0000	

Inicio	Final	Longitud m	Diámetros mm	Caudal m³/h	Velocidad m/s	Pérdida bar/100m	Comentario
NC152	NC153	94.41	DN40	2.02	0.12	0.0002	
NC153	NC163	49.42	DN40	1.26	0.08	0.0001	
NC154	NC155	3.84	DN40	2.94	0.18	0.0004	
NC155	NC156	19.72	DN40	2.82	0.17	0.0003	
NC156	NC157	25.45	DN40	2.58	0.16	0.0003	
NC157	NC158	58.07	DN40	2.14	0.13	0.0002	
NC158	NC159	75.66	DN40	1.44	0.09	0.0001	
NC159	NC160	13.44	DN40	0.97	0.06	0.0000	
NC160	NC161	42.09	DN40	0.68	0.04	0.0000	
NC161	NC162	44.20	DN40	0.23	0.01	0.0000	
NC163	NC164	43.88	DN40	0.77	0.05	0.0000	
NC164	NC165	30.67	DN40	0.38	0.02	0.0000	
NC165	NC166	21.25	DN40	0.11	0.01	0.0000	
NC167	NC168	14.84	DN40	1.20	0.07	0.0001	
NC168	NC169	14.34	DN40	1.05	0.06	0.0001	
NC169	NC170	29.62	DN40	0.82	0.05	0.0000	
NC170	NC171	63.10	DN40	0.33	0.02	0.0000	
NC172	NC173	55.21	DN40	2.09	0.13	0.0002	
NC173	NC174	39.92	DN40	1.59	0.10	0.0001	
NC174	NC175	104.27	DN40	0.83	0.05	0.0000	
NC175	NC176	26.98	DN40	0.14	0.01	0.0000	
NC178	NC179	63.16	DN40	0.51	0.03	0.0000	
NC179	NC180	16.85	DN40	0.09	0.01	0.0000	
NC182	NC183	28.49	DN40	1.97	0.12	0.0002	
NC183	NC184	75.42	DN40	1.42	0.09	0.0001	
NC184	NC185	62.65	DN40	0.69	0.04	0.0000	
NC185	NC186	34.33	DN40	0.18	0.01	0.0000	



FLUJO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FASE DE GLP	LIQUIDO	LIQUIDO	LIQUIDO	GAS						
TEMPERATURA(C)	T. Ambiente									
PRESION(BAR)	4 - 8	4 - 8	4 - 8	4 - 6	4 - 6	4 - 6	4 - 6	4 - 6	4	4
CAUDAL(m ³ /h)	42	42	42	58	58	58	58	58	58	58

INGENIERA PETROLERA		UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES	
Postulante	Juan Josue Rojas Choque		
Tutor	Ing. Jimmy Rolando Guillen Espinoza		
ESCALA	N/A	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE TANQUES DE GLP (ANEXO C)	
		LAMINA	1/1

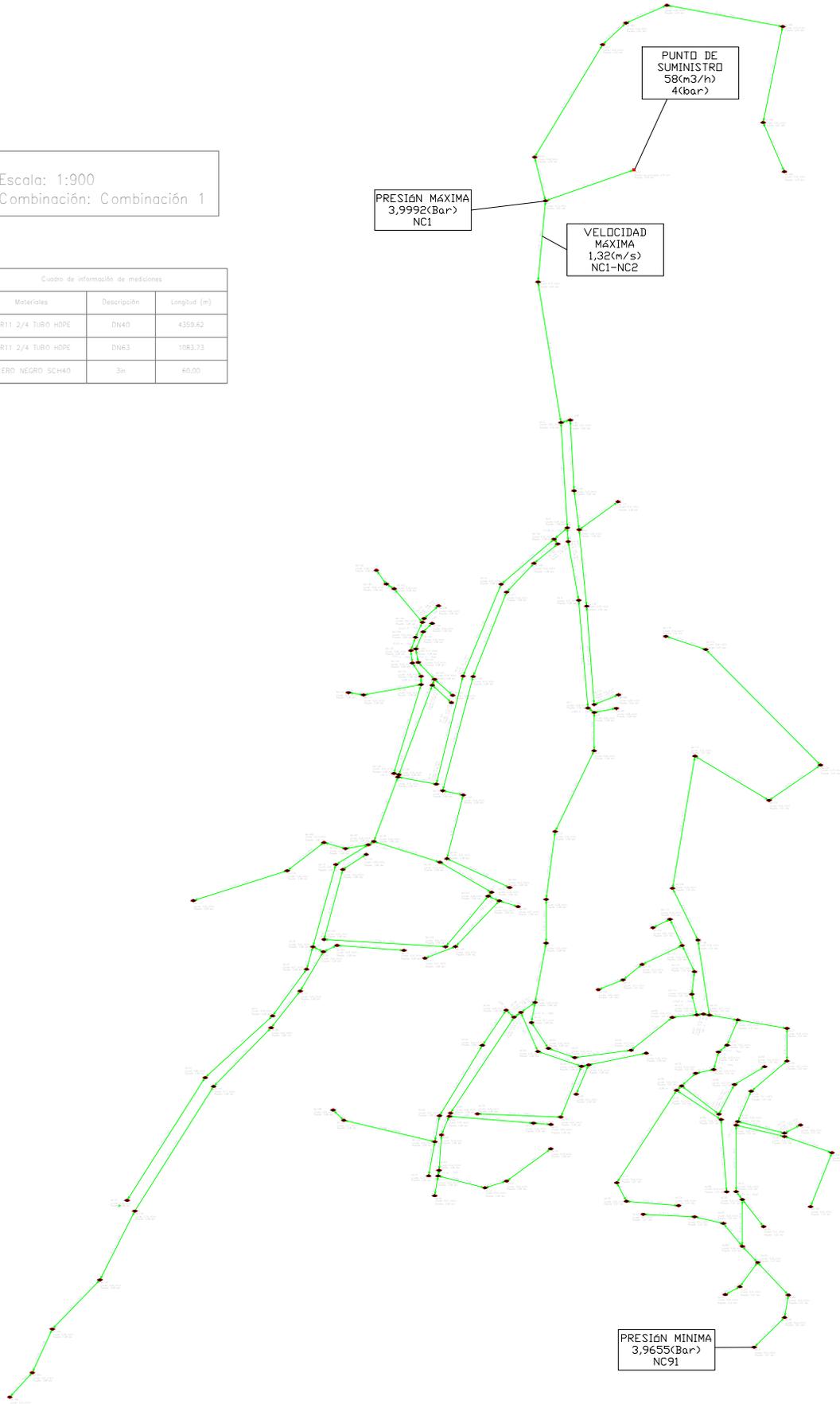


MATERIALES Y COLOR DE LAS TUBERIAS		
Materiales	Descripcion	Color
ODR11 2/4 TUBO HDPE	DN60	ROJO
SDR11 2/4 TUBO HDPE	DN83	FUXIA
ACERO NEGRO 50x32	3in	AZUL

COORDENADAS GEOGRAFICAS		
PALCA	Latitud	S16°33'40.0044"
	Longitud	W67°57'10.8934"

Escala: 1:900
Combinación: Combinación 1

Cuadro de información de mediciones		
Materiales	Descripción	Longitud (m)
SDR11 2/4 TUBO HDPE	DN40	4359,63
SDR11 2/4 TUBO HDPE	DN63	1083,73
ACERO NEGRO SCH40	3in	60,00



INGENIERA PETROLERA		UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS	
Particular	Juan Jose Rojas Orozco		
Tutor	Mig. Jerry Roberto Guillen Espinoza		
ESCALA	1:900	PLANO HIDRAULICO DE DISTRIBUCIÓN DE GLP (ANEXO E)	LÁMINA 1/1