



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP MEDIANTE UN TANQUE
ESTACIONARIO DE 0.45 m³ PARA EL USO DEL LABORATORIO DE
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
DEL BLOQUE G DESTINADO AL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA DE
VAPOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de: **INGENIERO MECÁNICO**

AUTORA Y AUTOR: MARÍA BELÉN PILLAJO LUGMAÑA

LUDWIN ANTONIO COX FLORES

TUTOR: LUIS FERNANDO TOAPANTA RAMOS

Quito – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, María Belén Pillajo Lugmaña con documento de identificación N.º 1721931226 y Ludwin Antonio Cox Flores con documento de identificación N.º 1723921324; manifestamos que:

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

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



María Belén Pillajo Lugmaña

1721931226



Ludwin Antonio Cox Flores

1723921324

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

Nosotros, María Belén Pillajo Lugmaña con documento de identificación N.º 1721931226 y Ludwin Antonio Cox Flores con documento de identificación N.º 1723921324, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Diseño de sistema centralizado de GLP mediante un tanque estacionario de 0.45 m³ para el uso del laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad politécnica salesiana del bloque G destinado al funcionamiento de la caldera de vapor”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



María Belén Pillajo Lugmaña

1721931226



Ludwin Antonio Cox Flores

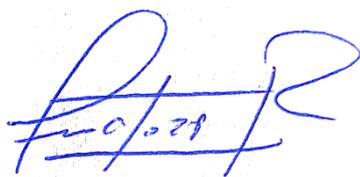
1723921324

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Fernando Toapanta Ramos con documento N° 1721113759, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP MEDIANTE UN TANQUE ESTACIONARIO DE 0.45 m³ PARA EL USO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL BLOQUE G DESTINADO AL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA DE VAPOR, realizado por María Belén Pillajo Lugmaña con documento de identificación N° 1721931226 y por Ludwin Antonio Cox Flores con documento de identificación N° 1723921324, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos, M.Sc.

1721113759

DEDICATORIA

“Este trabajo de titulación está dedicada a:

A mi madre Elena quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mi padre que, aunque no este conmigo, siempre me bendice desde el cielo.

A mi hijo que es el motor de mi vida, mi mayor motivación, quien me impulsa a cada día superarme y ser mejor para él.

Mis hermanos Sindy, Esteban y Juan Diego por su cariño y apoyo incondicional, durante este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis amigos, Alejandra, Ludwin, Kevin, José y Harrison, por apoyarme cuando más los necesito, por estar conmigo siempre en momentos difíciles y a Jonathan por su apoyo incondicional.”

María Belén Pillajo Lugmaña

Una dedicatoria a Dios por darme salud y sabiduría para poder terminar esto que empezó un día como una meta, también a quiero dedicar esta tesis a mis padres Ana y Welington, quienes fueron un pilar fundamental durante toda la etapa de formación, inculcándome valores y principios morales.

A mis hermanos Luis y Samantha quienes me supieron ayudar en numerosas ocasiones y brindar su apoyo en momentos de dificultad.

Finalmente quiero dedicar a Alejandra que estuvo conmigo en mis momentos difíciles brindado todo el apoyo y siendo un soporte para poder lograr esta meta.

Ludwin Antonio Cox Flores

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana y a la Carrera Ingeniería Mecánica, que con los conocimientos impartidos a través de los años supieron brindarnos la guía y encaminarnos por la senda del conocimiento para tener una formación profesional de calidad.

De manera especial agradecer a nuestro tutor el Ingeniero Fernando Toapanta, quien con sus sabios consejos, pautas e instrucciones nos ha colaborado con su apoyo, siendo más que maestro y tutor... un amigo. Además, ha sido un elemento fundamental para que el proyecto tenga una buena directriz obteniendo resultados satisfactorios.

María Belén Pillajo Lugmaña y Ludwin Antonio Cox Flores

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	i
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	ii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1.....	3
ESTADO DEL ARTE Y ASPECTOS TEÓRICOS	3
1.1. Estado del arte	3
1.2. Tanque estacionario.....	5
1.2.1. Tipos de tanques estacionarios	5
1.3. Reguladores de presión.....	5
1.3.1. Reguladores de etapa única	6
1.3.2. Reguladores de dos etapas.....	6
1.3.3. Regulador de primera etapa	6
1.3.4. Regulador de segunda etapa.....	6
1.4. Presiones permisibles	7
1.5. Tubería de cobre	7
1.6. Tubería de polietileno.....	8
1.6.1. Clasificación del polímero	8
1.6.2. Propiedades químicas y mecánicas.....	8
1.7. Gas Licuado de Petróleo (GLP).....	9
1.8. Propiedades del GLP	9
1.9. Presión de GLP fase vapor	10
1.10. Soldadura por capilaridad	10
1.10.1. Soldadura capilar blanda.....	11
1.10.2. Soldadura capilar fuerte	11
1.11. Conclusiones del capítulo	12
CAPITULO 2.....	13
DISEÑO DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP.....	13

2.1.	Flujo laminar en tuberías	13
2.3.	Cálculos para el diseño del sistema centralizado de GLP	18
2.3.1.	<i>Selección del recipiente</i>	19
2.3.2.	<i>Cálculo de vaporización natural</i>	23
2.5.	Cálculo de diámetros de las tuberías del sistema de GLP	27
2.5.1.	<i>Cálculo de consumo de GLP en estado de vapor</i>	27
2.5.2.	<i>Presiones de trabajo para sistemas de media presión</i>	27
2.5.3.	<i>Longitud total de la instalación</i>	28
2.5.4.	<i>Dimensiones de tubería de la primera etapa en línea</i>	29
2.5.5.	<i>Velocidades del gas en instalaciones de bajo consumo</i>	30
2.5.6.	<i>Pérdidas de carga (fórmula de RENOUARD)</i>	30
2.6.	Sistema de acoplamiento de tuberías	33
2.7.	Selección de accesorios para el sistema de GLP	34
2.8.	Conclusiones del capítulo	35
CAPÍTULO 3		36
CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP		36
3.1.	Selección del tanque	36
3.1.1.	<i>Recomendaciones del fabricante</i>	38
3.2.	Selección de elementos del sistema.....	39
3.2.1.	<i>Selección de tuberías</i>	39
3.2.2.	<i>Accesorios de acople para la tubería</i>	39
3.2.3.	<i>Elementos de seguridad</i>	40
3.2.4.	Regulador de primera etapa.....	40
3.2.5.	Regulador de segunda etapa.	41
	Aunque la presión de salida tiene un valor de 30 mbar, el rango de presión es ajustable y oscila entre 22 y 50 mbar y sus características son:	41
3.2.6.	<i>Selección de suministrador volumétrico de gas</i>	42
3.2.7.	Aspectos adicionales de contadores volumétricos.....	42
3.2.8.	Válvula de exceso de flujo.....	44
3.2.9.	Instrumento de medición de presión.....	45
3.3.	Pruebas de hermeticidad.....	45
3.3.1.	<i>Prueba a accesorios de regulación</i>	46
3.3.2.	<i>Prueba a accesorios de seguridad</i>	46
3.4.	Resumen de características del sistema de GLP	46

3.5. Conclusiones del capítulo.....	49
CAPÍTULO 4.....	50
ANÁLISIS ECONÓMICO	50
4.1. Costo del proyecto	50
4.1.1. <i>Costo de materiales</i>	50
4.1.2. <i>Mano de obra</i>	51
4.1.3. <i>Inversión total</i>	51
4.2. Conclusiones del capítulo.....	52
CONCLUSIONES GENERALES	53
RECOMENDACIONES GENERALES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS.....	59

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de cuerpo libre para un fluido con forma de anillo [29].	16
Figura 2. Diagrama de cuerpo libre para un fluido con forma de disco [29].	16
Figura 3. Relación para la disminución de coacción y la disminución de carga [32].	18
Figura 4. Esquema de dimensiones del tanque estacionario [42].	37
Figura 5. Esquema del tanque estacionario respecto al edificio o área de operación	38
Figura 6. Reguladores de primera etapa [19].	40
Figura 7. Curva característica de regulador de primera etapa SERIE LV4403TR [19].	41
Figura 8. Señalética de peligro gas inflamable [15].	43
Figura 9. Señalética de prohibido fumar [15].	43
Figura 10. Válvula de exceso de flujo [18].	44
Figura 11. Manómetro modelo 2343-2 [18].	45

Índice de tablas

Tabla 1. Máximas presiones de operación permisible “MPOP” [21] [15].	7
Tabla 2. Propiedades del GLP [22], [27].	10
Tabla 3. Características de la caldera.	18
Tabla 4. Potencia consumida de los diferentes calentadores acumuladores de agua [34].	19
Tabla 5. Gravedad específica en relación al agua y al aire [36].	20
Tabla 6. Punto de ebullición[37],[38].	20
Tabla 7. Valores de K para hallar la capacidad de vaporización.	24
Tabla 8. Capacidad de vaporización para varias temperaturas del aire.	25
Tabla 9. Datos primarios para cálculo de la autonomía de llenado.	26
Tabla 10. Caracterización de tubería de cobre.	29
Tabla 11. Caracterización de tubería de polietileno.	29
Tabla 12. Diámetros exteriores de las tuberías de cobre y polietileno.	33
Tabla 13. Criterios para selección de accesorios del sistema.	34
Tabla 14. Características de regulador de segunda etapa [18].	42
Tabla 15. Descripción del contador volumétrico [47], [48].	44
Tabla 16. Cuadro resumen con los resultados de cada elemento seleccionado para el sistema de GLP.	46
Tabla 17. Costo de elementos para sistema centralizado de GLP.	50
Tabla 18. Valor de mano de obra.	51
Tabla 19. Valor de inversión total para el sistema centralizado de GLP.	52

Índice de anexos

Anexo 1. Tuberías de cobre para GLP	59
Anexo 2. Tuberías de polietileno para GLP.....	60
Anexo 3. Distancias para tanques estacionarios	61
Anexo 4. Plan de mantenimiento del sistema centralizado de GLP	62

RESUMEN

El presente proyecto se encuentra relacionado con el diseño de un sistema centralizado que tenga como combustible principal el GLP (Gas Licuado de Petróleo), cuya distribución se realizará desde un tanque estacionario de 0.45 m^3 para el uso en una caldera de vapor que se encuentra ubicada en el laboratorio de termodinámica de la UPS sede Quito campus sur.

El estudio se encuentra fundamentado en elementos teóricos que van a ser la base para establecer parámetros óptimos de funcionamiento, entre ellos el análisis de consumo de una caldera de vapor, el cálculo del caudal y capacidad útil del GLP en el sistema, estableciéndose una propuesta tentativa de los elementos como son: las tuberías y elementos de regulación y control.

La finalidad del proyecto es hallar la factibilidad mediante procesos numéricos y posterior a eso hacer una selección de sus elementos, por consiguiente, establecer criterios intrínsecos de cada elemento (caudal, diámetro, presión) con los cuales van a operar, y por último un análisis económico de manera somera que servirá para definir un valor monetario aproximado del proyecto.

Palabras claves: sistema centralizado, GLP, tanque estacionario, vaporización.

ABSTRACT

This project is related to the design of a centralized system whose main fuel is LPG (Liquefied Petroleum Gas), whose distribution will be carried out from a stationary tank of 0.45 m³ for use in a steam boiler that is It is located in the thermodynamics laboratory of the UPS Quito headquarters south campus.

The study is based on theoretical elements that will be the basis for establishing optimal operating parameters, one of them is the consumption analysis of a steam boiler, the calculation of the flow rate and the useful capacity of LPG in the system, establishing a tentative proposal of the elements such as the pipes and regulation and control elements.

The purpose of the project is to find the feasibility by means of numbers and after that make a selection of its elements, therefore, establish intrinsic criteria of each element (flow, diameter, pressure) with which they will operate, and finally an economic analysis. in a brief way that will serve to define an approximate monetary value of the project.

Keywords: centralized system, LPG, stationary tank, vaporization.

INTRODUCCIÓN

La situación actual del laboratorio de termodinámica de la UPS campus sur ubicado en el bloque G, cuenta con un cilindro de GLP con un almacenamiento de 45 kg que es el elemento principal para el funcionamiento de una caldera a base de fluidos en estado gaseoso.

Es importante considerar que la bombona puede ser transportada una vez no quede GLP en él, lo que se traduce en problemas de movilización, manipulación y operación de las bombonas. Adicional a esto, el GLP cuenta con una alta volatibilidad, peligroso y promotor de grandes accidentes tanto humanos como bienes inmuebles, es necesario establecer el diseño y construcción de un sistema eficaz que reduzca los problemas de transporte e instalación generando condiciones seguras de funcionamiento.

Para dar una solución eficaz a este tópico, se propone el diseño de un sistema canalizado de Gas Licuado de Petróleo mediante un tanque estacionario de 0.45 m^3 para el uso del laboratorio de termodinámica del bloque G destinado al funcionamiento de la caldera de vapor, recabando información acerca del proceso y su funcionamiento. Este sistema contará con elementos de seguridad como válvulas antirretornos y se diseñará bajo normas y estándares de calidad internacionales como las normas API, ASME y principalmente las normas NTE INEN2261:2010, buscando con ello mejorar la autonomía del sistema y mitigar problemas presentados mediante bombas móviles de GLP.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema centralizado de GLP mediante un tanque estacionario de 0.45 m^3 para el uso del laboratorio de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana del bloque G destinado al funcionamiento de la caldera de vapor.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el estado actual de las líneas de distribución de gas licuado de petróleo en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito campus Sur.

Rediseñar el sistema de distribución de GLP con la adición de una línea para los laboratorios de Ingeniería Mecánica.

Establecer de forma económica del proyecto mediante indicadores financieros.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de GLP para instituciones educativas a modo de ser utilizados en prácticas de laboratorio conlleva a establecer criterios óptimos de funcionamiento, los elementos actuantes y las dimensiones de cada uno de ellos, lo que trae a cola las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los parámetros de normalización para sistemas de GLP? ¿Cómo disminuir riesgos con respecto a manipulación y funcionamiento de los elementos de GLP? Estas interrogantes responden a situaciones de rigor que influyen en la manipulación de sistemas de GLP.

En este proyecto se propone diseñar un canalizado de gas que cumpla con la norma técnica vigente NTE INEN 2260 y obtenga los permisos de funcionamiento en el Cuerpo de Bomberos de Quito (CBDMQ) para poder operar en los laboratorios de termodinámica de la UPS sede Quito campus sur.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el desarrollo mediante el diseño de canalizados de GLP en Quito es exigente debido al cumplimiento de la norma nacional NTE INEN 2260 y las normas internacionales NFPA 54 y 58 las cuales hacen referencia a la seguridad, el funcionamiento del sistema y evitar el congelamiento del tanque estacionario.

Por lo tanto, esta clase de sistemas favorece al consumo parcial del tanque estacionario en beneficio de un ahorro económico para la Universidad Politécnica Salesiana ya que no existe devolución de GLP para lo cual al momento del abastecimiento se realiza por medio de una granelera.

Este proyecto procura contribuir en el ahorro de consumo de combustible y seguridad de la instalación de gas centralizado para el uso de la caldera de vapor.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE Y ASPECTOS TEÓRICOS

En esta sección se profundizará y especificará los componentes del sistema centralizado, además de conocer los accesorios de acuerdo con los requerimientos que presente la instalación y las normas a utilizar para este procedimiento. Por otra parte, se establecerá un análisis económico para la disminución de gastos de este proyecto y sea rentable. Se adicionarán antecedentes históricos que ayuden a abordar el tema en su totalidad.

1.1. Estado del arte

Los suministros de Gas Licuado de Petróleo (GLP) tienen una gran aplicación en el ámbito residencial, comercial, industrial y en las instituciones educativas ya sea para el área de las cocinas de la cafetería o para el funcionamiento de equipos de laboratorio tales como crisoles, marmitas, quemadores. En el Ecuador para que una instalación de gas centralizado pueda entrar en funcionamiento debe cumplir la norma NTE INEN 2260:2010 que hace referencias a aspectos técnicos y me

didadas de seguridad mínimas para que no existan ningún percance al momento que las instalaciones inicien sus operaciones [1]. El GLP en términos de emisiones al ambiente es bajo, cuenta con un alto poder calorífico en relación a otras fuentes de energía es muy seguro su uso y también cuenta con su ficha de riesgos toxicológicos que se deben tener en cuenta [2].

Para poder satisfacer las necesidades de potencia y de consumo se debe realizar el cálculo de vaporización del tanque que se va a implementar para evitar el escarchamiento y que después se vaya a congelar el tanque [3]. Los tanques estacionarios se considera que el 85 % de su capacidad total está en fase líquido y el 15 % restante se encuentra en fase gaseosa por lo cual cuando los equipos están en funcionamiento el líquido se convierte en vapor para llegar a estabilizarse [4]. Un factor que también influye al momento del dimensionamiento de tanque es la frecuencia con la que el recipiente será abastecido, si en algún caso el tanque dimensionado no se encuentra localmente o dicho volumen no se encuentra en el mercado se debe seleccionar el tanque con capacidad superior que se encuentran en el mercado o en su defecto sumar volúmenes de tanques pequeños hasta obtener un volumen igual o superior al dimensionado [5].

Para una adecuada selección de la tubería se tiene que considerar que la caída de presión debe ser menor al 20 %, tener un flujo laminar y una velocidad menor o igual a 10 m/s, la presión a la cual debe trabajar la tubería influye de sobremanera en los parámetros antes mencionados [6], [5]. En los parámetros de selección se puede tomar como referencia los catálogos de CEPESA Y REGO que ilustran y muestran información más precisa del tipo de aplicación requerimiento al cual será destinado la instalación de GLP [7].

Segovia et. al [8] mencionan que en el Ecuador el método más común para el abastecimiento tanto en residencias, restaurantes y en algunas industrias son los cilindros de 15 kg o 45 kg por lo cual se hace un estudio en cuanto a eficiencia ahorro del cambio de los cilindros por un tanque estacionario de 7,59 m³ de capacidad para que cumpla con las necesidades del proyecto, cumpliendo con todas las normas de seguridad que mencionan en la publicación de la norma técnica ecuatoriana INEN 2260:2010, adicional el retorno de la inversión del proyecto es en aproximadamente 3 años.

Campana et. al [9] señalan que la mejora de un sistema de GLP tiene que ver con los dispositivos de seguridad que se vayan a implementar en el diseño, también influye mucho el tema de diseño para tener una eficiencia casi del 100 % al contrario de trabajar con un sistema de cilindros de 15 kg o 45 kg, también se hace referencia al tipo de aplicación para la optimización en el tiempo del proceso.

Espinoza [10] aportó que para la instalación de un sistema de GLP se debe considerar el tema de costo e inversión inicial para la ejecución no solo debido al costo como tal del sistema centralizado de gas sino la inversión de obra civil y otros rubros adicionales que en muchos casos no es beneficioso en el aspecto rentable y del reintegro de lo invertido para implementar un sistema a base de GLP.

Se debe tomar en cuenta el aspecto de la seguridad en la implementación de sistemas de GLP debido a que no solo está en riesgo el mobiliario sino vidas por este motivo se deben instalar elementos de control adicional al sistema como la electroválvula con sensor de gas que en caso de que existiera una fuga se corte el paso del GLP para impedir que pudiese ocurrir un daño a las inmediaciones o exista afectaciones a las personas [11], [12].

Los indicadores financieros ayudan a validar la viabilidad del proyecto sin dejar de lado el tema de incrementar la seguridad aplicando elementos adicionales como sensores de gas electroválvulas que pueden aumentar un poco más el costo del proyecto [13] , [14]

1.2. Tanque estacionario

Los recipientes deben ser diseñados para que se sostengan por sí solos sin requerimiento previo de cables o soportes que deben cumplir con normas ASME Sec VIII, Div 1 y 2, los parámetros de diseño deben considerar las fuerzas externas provenientes del aire, sismos o cargas hidrostáticas [15].

En esta división, ASME consta de requerimientos preceptivos, restricciones puntuales y orientación no obligatoria, para el alcance de esta división como también las presiones que deben soportar los recipientes tanto internas como externas. Dicha presión puede ser alcanzada por medio de fuentes externas, también por incidencia del calor de energías directas o indirectas, o una mezcla de dichas fuentes, encontrándose también criterios esenciales de diseño de recipientes a presión que sirven para su diseño, fabricación, examinación y certificación [16].

1.2.1. Tipos de tanques estacionarios

La implementación de tanques de GLP a sobre nivel del terreno o ubicados en terraza deben ser propuestos y elaborados conforme con lo dispuesto en la norma técnica ecuatoriana INEN 2261 vigente y el Código normas ASME Secc.VIII, Div 1 y 2, también pueden verse en API 650 en referencia a normas de construcción de tanques estacionarios y tener certificación de aquiescencia con la normativa, el sistema no debe encontrarse ni en la parte interna ni por abajo de las edificaciones, a excepción de las establecidas en la NTE INEN 2260:20210 en la sección 7.9.1.3 literal a [15].

1.3. Reguladores de presión

Estos dispositivos son implementados debido a la necesidad de reducir la presión requerida por conceptos de consumo, buscando garantizar un suministro controlado del gas combustible. Para las aplicaciones locales se consideran reguladores divididos en tres etapas y en reguladores de etapa única [17].

1.3.1. Reguladores de etapa única

Los reguladores de doble etapa o (twin) se conforman de dos niveles que controlan la presión de entrada provenientes del recipiente y amenora la presión requerida para que los equipos funcionen. Una de sus ventajas es que todos sus componentes forman un solo conjunto. Es recomendado para sistemas con tuberías no tan largas[18].

1.3.2. Reguladores de dos etapas

Los reguladores de primera y segunda etapa suelen ser utilizados en el sector residencial o comercial, teniendo que la primera etapa sirve para disminuir la presión de entrada desde el tanque, estableciendo la correcta distribución para no incurrir en daños del regulador de segunda etapa que se encuentra interconectado de manera directa con los artefactos que requieran de su servicio, con lo que cumple de forma adecuada su función de disminuir la presión a menos de 10 psi [18].

Suele darse casos de que se utilice estabilizadores de presión después del regulador de segunda etapa, cuya función es compensar tal vez problemas que se puedan suscitarse en el suministro si hay un fallo en la segunda etapa y su uso se da más en sistemas centralizados interiores cumpliendo la norma ANSI Z2180 [19].

1.3.3. Regulador de primera etapa

Fueron diseñados como reductores de la presión que entra del recipiente a una presión aproximada de 10 psi, cuya presión es recibida por el regulador de segunda etapa y su identificación se da con el color rojo [20].

1.3.4. Regulador de segunda etapa

Sirven de reductores de presión que vienen desde la primera etapa, ayudando a controlar de manera eficiente la presión de entrada hacia los artefactos que lo requieran. La presión a la que este regulador la reduce es inferior a 10 psi y su identificación se da con el color verde [19].

1.4. Presiones permisibles

Las restricciones del MPOP (Máxima presión de operación permisible) en tuberías que transportan GLP, tienen que ser correspondientes con la Tabla 1 que hace mención a las locaciones y disposiciones de las tuberías [15].

Tabla 1. Máximas presiones de operación permisible “MPOP” [21] [15].

Categoría de sistema de conductos y grupo de usuario	GLP
<i>Presión prominente: $P > 500 \text{ kPa}$ ($P > 5 \text{ bar}$)</i>	
Transportación	N.A.
Tuberías principales	N.A.
Instalaciones para suministro establecido para empleo de industrias, procedente de tubería de acarreo o tuberías primarias.	N.A.
<i>Media presión: 14 kPa (140 mbar) $< P = 500 \text{ kPa}$ (5 bar)</i>	
Tuberías de segundo orden, acometidas y tuberías exterior del edificio	200 (2 000)
Instalaciones de suministro industrial que vienen desde líneas de segundo orden.	200 (2 000)
Líneas interiores en instalaciones de abastecimiento de gas residencial y comercial.	35 (350)
Líneas individuales para abastecimiento de gas para el sector comercial.	35 (350)
<i>Presión inferior: $P \leq 14 \text{ kPa}$ (140 mbar)</i>	
Tuberías independientes en sistemas de abastecimiento de Gas Licuado de Presión a aparatos con reductores de presión.	14 (140)
Tuberías independientes para sistemas con abastecimiento de Gas Licuado de Petróleo a aparatos sin regulador asociado.	3,7 (37)

1.5. Tubería de cobre

El cobre se puede desarrollar tanto en estado de cobre batido o cobre duro, con longitud permisible de 5 m y en estado de cobre recocido o blando con diferentes longitudes en forma de rollo. Su uso se puede dar para diferentes gases y su geometría debe ser redonda estirada en frío sin la utilización de soldadura tipo Cu-DHP, estas se encuentran determinadas por la norma

UNE-EN 1057, y cuando se trate de cobre pre-aislado con recubrimiento macizo, debe ser fabricado acorde a la norma UNE-EN 13349 [20], [22].

Las propiedades mecánicas así como las dimensiones vienen dadas para tuberías endurecidas o recocidas, con un espesor nominal de 1 mm para tuberías a la vista de todos, instaladas en canaletas, empotradas o en conexión de artefactos con grosor nominal de 1.5 mm para tuberías bajo el suelo [22], [23].

1.6. Tubería de polietileno

El polietileno es un plástico formado mediante síntesis química, cuya base es el etileno, resultando en moléculas gigantes determinadas como polímeros. En el desarrollo de la rugosidad antes de la extracción hacia la elaboración de tuberías o complementos, adicionando suplementos de alta consistencia (anticorrosivo, elementos de pigmentación, elementos que dan color, elementos estabilizadores y elementos lubricadores) cuya función principal es el de mejorar las propiedades mecánicas ante efectos casuales como lo son la luz y el calor [22].

Este tipo de polímeros en forma de tuberías se emplean para acometidas bajo tierra con presiones de operación máxima de 10 bar, en dependencia del polietileno que vaya a emplearse y espesores de las tuberías debido a sus características, donde su temperatura de actuación no debe ser menor a -20 °C ni debe ser superior a los 40 °C [20], [22].

1.6.1. Clasificación del polímero

Desde hace tiempo atrás se ha mencionado que la densidad del polietileno se encuentra entre 931 y 944 kg/m³, aunque actualmente se lo determina mediante la norma UNE-EN ISO 12162 y se los designa mediante las siglas PE, como por ejemplo PE80 o PE100 cuya resistencia mínima requerida oscila entre los 8 y 10 MPa, respectivamente [20], [22].

1.6.2. Propiedades químicas y mecánicas

Es un elemento inerte que cuenta con buenas propiedades químicas y una gran resistencia a productos químicos agresivos, resistente al agua, a bases ácidos orgánicos no oxidantes, sustancias salinas, resistentes a corrosión externa debido a agentes microbiológicos, también resisten combustibles en estado gaseoso, donde presenta un inconveniente es en los que se encuentran en fase líquida donde sus propiedades mecánicas se ven afectadas por una pérdida significativa en las mismas [22].

La afectación por agentes tensoactivos puede ser un problema para el polietileno, estos pueden ser detergentes, jabones hidrocarburos pesados, parafinas y ciertos aromáticos en fase líquida. Adicional a esto los rayos UV y el calor los deterioran, provocando oxidación en sus moléculas y por tanto una disminución en sus propiedades mecánicas. El coeficiente de dilatación del PE es 10 veces más que la del acero, por lo que resulta necesario tener ciertas precauciones en la instalación, teniendo menor afectación cuando estos se encuentran enterrados ya que la variación de temperatura no es mucha [22].

Este también se convierte en un buen aislante eléctrico, volviéndose poco afectable ante la corrosión electroquímica. En ciertas circunstancias como en la circulación de gas con ciertas cantidades de polvo se debe tener cuidado, ya que si no es tratado de manera adecuada puede ser un causante de chispas en presencia de gas y de aire [22] [24].

1.7. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Para la obtención del (GLP) se combinan pequeños grupos hidrocarbúferos, con temple estándar y con presión ambiente, se hallan en fase de gas, y tiene la característica de pasar a fase líquida al colocar a presiones bajas [25].

El GLP es obtenido mediante el fraccionamiento ligero de la destilación del crudo, así como en los pozos de gas natural, donde aparece en pequeñas cantidades, siendo fácil su disociación y purificación. Cada litro de GLP líquido que contiene 70 % de propano y 30 % de butano de un tanque o recipiente está en la capacidad de producir 262 a 270 litros de vapor. La capacidad de vaporización que tiene el GLP permite guardar grandes cantidades de gas en recipientes pequeños [25], [26].

1.8. Propiedades del GLP

El GLP se encuentra basado en criterios promedio de la industria el cual es producido tanto de plantas de gas natural como de refinerías de petróleo, por tanto, las propiedades no suelen tener tanta variación en sus propiedades, teniendo un aproximado de dichas propiedades según lo indica la Tabla 2 [22], [27].

Tabla 2. Propiedades del GLP [22], [27].

Propiedad	Propano	Butano
<i>Presión en fase gaseosa en psia (presión absoluta)</i>		
70°F	145	32
100°F	218	52
105°F	233	56
130°F	315	84
Gravedad específica en fase líquida a 60 °F, [kg/L]	0.504	0.582
Punto de ebullición inicial a 14.7 psia, °F	-44	31
Calor específico en fase líquida, Btu/lb a 60 °F	0.630	0.549
Gravedad específica en fase gaseosa (aire = 1) a 60 °F	1.50	2.01
<i>Presión en fase gaseosa en kPa abs (presión absoluta)</i>		
20°C	1000	220
40°C	1570	360
45°C	1760	385
55°C	2170	580
Gravedad específica en fase líquida a 15.56 °C	0.504	0.582
Calor específico en fase líquida a 15.56 °C, kJ/kg	1.464	1.276
Gravedad específica en fase gaseosa (aire = 1) a 15,56 °C	1.50	2.01

1.9. Presión de GLP fase vapor

Entre las características fundamentales es la mezcla conocida como GLP y para que entre en juego la presión de vapor es necesario que este elemento se encuentre en un sistema cerrado y así estudiar su comportamiento en fase de vapor, considerando que la presión crece o decrece con la temperatura [28].

1.10. Soldadura por capilaridad

La introducción por un lado de un tubo de vidrio dentro de un recipiente que se encuentre con líquido, se notará el ascenso del agua por la parte interna del tubo sobre la altura del líquido contenido por el embace, teniendo en consideración que el nivel en el tubo es inversamente proporcional a su diámetro, y a esto se lo denomina como capilaridad, uno de estos principios

es aplicado en la soldadura, donde el metal de aporte en fase líquida atraviesa y se desplaza entre las piezas así como en el ejemplo del tubo de vidrio [22].

Este tipo de soldadura resulta bastante buena cuando la abertura entre las piezas a hacerse el aporte de material sea regular, siendo necesario hacer una rectificación en las tuberías para evitar defectos y por consiguiente, hacer una limpieza como en todo material previo a ser soldado para evitar la incrustación de material en el proceso de soldadura [22].

1.10.1. Soldadura capilar blanda

Este tipo de soldadura se da con una temperatura de fusión de la plata menor a 450 °C, cuya aleación se encuentra con porcentaje en composición de 95.5 % - 3.5 % y 96.5 % - 3.5 % que se establece acorde a la norma UNE-EN 29453 [22].

Es empleado desoxidante para este tipo de soldadura que es una sustancia pastosa formada por un mix entre el cloruro de zinc, glicerina, vaselina, entre otros. El tiempo de uso no debe sobrepasar las 3 horas, ya que sus propiedades son limitadas, teniendo que para usar esta soldadura se usa soplete de butano o propano [22], [24].

1.10.2. Soldadura capilar fuerte

Este tipo de soldadura se da con una temperatura de fundición del elemento de aporte por encima de los 450 °C, y su metal de aporte tiene diferentes composiciones y estos se rigen bajo la norma UNE-EN 1044 y estos son [22]:

La composición del elemento de aporte puede ser variado, se puede citar de acuerdo con la norma UNE-EN 1044 [22].

Cobre 92 % - Fósforo 8 %

Cobre 89 % - Fósforo 6 % - Plata 5 %

Cobre 80 % - Fósforo 5 % - Plata 15 %

Plata 30 % - Cobre 29 % - Zinc 21 % - Cadmio 20 % [22].

1.11. Conclusiones del capítulo

En la sección se ha indagado información relevante sobre el gas licuado de petróleo, sus propiedades y las tuberías más comunes que se utilizan para su transporte en fase de vapor en las instalaciones centralizadas.

Las instalaciones centralizadas de dicho producto poseen más eficiencia en comparación de los cilindros individuales ya sea para uso domésticos o industriales donde se aprovecha al máximo la vaporización y el consumo que presenta el tanque estacionario.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP

En este apartado se selecciona el diámetro de la tubería, en función de los caudales y el consumo estimado por artefacto o elemento que en este caso es un calderín. La vaporización que va a ser de forma natural debido a que el tanque funcionará a temperatura ambiente y no habrá una fuente externa que provoque un aumento de temperatura o de presión; las pérdidas por carga que este va a presentar debido a los accesorios con los que debe contar el sistema y el consumo que va a presentar el sistema en funcionamiento y como criterio adicional plantear el dimensionamiento del tanque estacionario.

2.1. Flujo laminar en tuberías

Cengel [29] señala que en tuberías para flujo laminar se considerará el Reynolds menor o igual a 2300 y se considera totalmente desarrollado cuando la tubería cuenta con suficiente longitud respecto a la longitud en la entrada, despreciando los efectos que se presentan en esta área. En una sección tubular recta se considera flujo laminar estacionario ya que sus propiedades se mantienen constantes a lo largo de la tubería y esta es obtenida mediante el análisis de balance de energía derivándose en ecuaciones de cantidad de movimiento volumétrico respecto a la velocidad en el fluido, logrando relacionarlo posteriormente con el factor de fricción [30].

En un flujo laminar desarrollado en su totalidad, las moléculas contenidas en el fluido tienden a desplazarse con rapidez persistente en la longitud por donde pasa el fluido, y el vector de velocidad $u(r)$ se mantiene constante en dicho sentido. El movimiento radial es nulo, por consiguiente, la componente de la rapidez con rumbo normal a la corriente es cero en todas las direcciones. La aceleración no es considerada debido a que el fluido puede mantener estacionario o puede mantenerse totalmente desarrollado [30].

Se considera un componente diferencial volumétrico que tiene configuración de aro con radio (r), espesor (dr) y distancia (dx) orientado de manera coaxial con las líneas de transporte, según lo muestra la Figura 1. En el componente volumétrico influye la presión y viscosidad, teniendo una igualdad con la coacción y las energías de corte. El vector presión que interviene en una superficie plana sumergida viene dada por la presión en su centroide y el área superficial en la que se encuentra actuando. Una igualdad de las energías actuantes encima del elemento

volumétrico con dirección del fluido circundante da como resultado lo que se muestra en la expresión (1) [30]:

$$(2\pi r \cdot dr \cdot P)_x - (2\pi r \cdot dr \cdot P)_{x+dx} + (2\pi r \cdot dx \cdot \tau)_r - (2\pi r \cdot dx \cdot \tau)_{r+dr} = 0 \quad (1)$$

lo cual pernota que, el flujo desarrollado en su totalidad en una sección tubular horizontal, las fuerzas actuantes de viscosidad y coacción encuentran su equilibrio de manera mutua. Cuando se hace la división entre $1/2\pi r dx$ y se redistribuye, se obtiene la ecuación (2) [30]:

$$r \frac{P_{x+dx} - P_x}{dx} + \frac{(r\tau)_{r+dr} - (r\tau)_r}{dr} = 0 \quad (2)$$

Al reconocer que los dos numeradores en la ecuación (1) y (2) son dP y $d(r\tau)$, respectivamente. Por lo que se obtiene la fórmula (3).

$$r \frac{dP}{dx} + \frac{d(r\tau)}{dr} = 0 \quad (3)$$

Sustituyendo $\tau = -\mu(du/dr)$, dividiendo entre r , y tomando $\mu =$ invariable se crea la fórmula (4):

$$\frac{\mu}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot \left(r \frac{du}{dr} \right) = \frac{dP}{dx} \quad (4)$$

El valor du/dr es negativo en el fluido que pasa por la tubería, y el signo negativo es incluido para la obtención de valoraciones afirmativas de t . (O $du/dr = -du/dy$ se define y el otro valor $y = R - r$). El lado izquierdo de la ecuación (4) se relaciona con r y el lado derecho se relaciona con x . La ecuación se establece para cualquier valor para el radio y para el grosor, tiene expresión del siguiente modo $f(r) = g(x)$, cumple si $f(r)$ y $g(x)$ tienen similitud a una misma invariable. Por consiguiente, la expresión dP/dx es igual a una invariable. Lo cual es verificado cuando se establece la igualdad de energías encima de un componente volumétrico con radio R y espesor dx , lo que da como resultado la expresión (5) [31].

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{2\tau_w}{R} \quad (5)$$

Aquí τ_w es un valor invariable debido a la viscosidad y el vector rapidez se mantienen invariables con un área determinada como desarrollada en su totalidad. Por lo tanto, dP/dx es

igual a una constante. Las ecuaciones (1) y (4) pueden resolverse haciendo una reordenación e integración de los términos dos veces y como resultado se tiene la ecuación (6) [30]

$$u(r) = \frac{r^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) + C_1 \ln r + C_2 \quad (6)$$

El perfil de velocidad $u(r)$ es obtenido cuando son aplicadas los parámetros de frontera son obtenidos cuando son aplicados criterios de frontera $\partial u / \partial r = 0$ en $r = 0$ y $u = 0$ en $r = R$ (criterio antideslizamiento en la extensión de la tubería) [30]. Se traduce en la expresión (7)

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (7)$$

Por tanto, el vector velocidad cuando el flujo es laminar totalmente desarrollado se da en forma de una parábola cuyo valor máximo se encuentra en la línea del centro de la parábola y el valor mínimo que es cero se da en los setos de las secciones tubulares, teniendo así una rapidez axial u tiene un valor positivo para cualquier valor r , dando como resultado que la gradiente de presión dP/dx es negativo [30].

El promedio de velocidad es determinado a raíz de su definición cuando es sustituida la ecuación (6) en la (7) y se integra la expresión, lo que da como resultado:

$$V_{prom} = \frac{2}{R^2} \int_0^R \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) r dr = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \quad (8)$$

Al combinar las ecuaciones, el vector velocidad se traduce en:

$$u(r) = 2V_{prom} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (9)$$

Resulta un método eficaz para el vector rapidez, debido a que la V_{prom} se determina con facilidad con los datos iniciales obtenidos en la tasa de movimiento [30]. El máximo valor de velocidad se da en el centro de la parábola, cuyo valor es determinado con la ecuación (8) cuando es sustituido la r con el valor de cero [30],

$$u_{m\acute{a}x} = 2V_{prom} \quad (10)$$

Por consiguiente, el valor promedio en el vector velocidad en movimiento laminar absolutamente avanzado en una sección tubular con disposición moverse es un medio de la rapidez colosal [30].

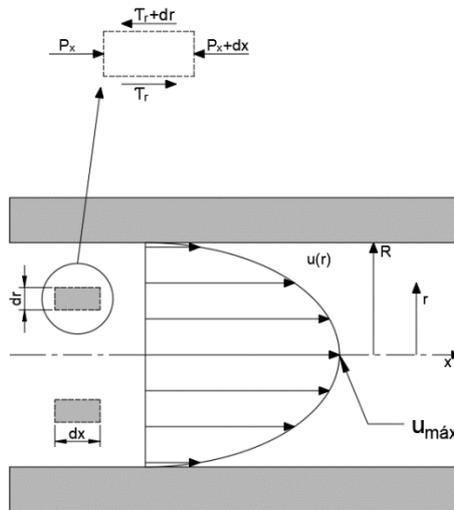


Figura 1. Diagrama de cuerpo libre para un fluido con forma de anillo [29].

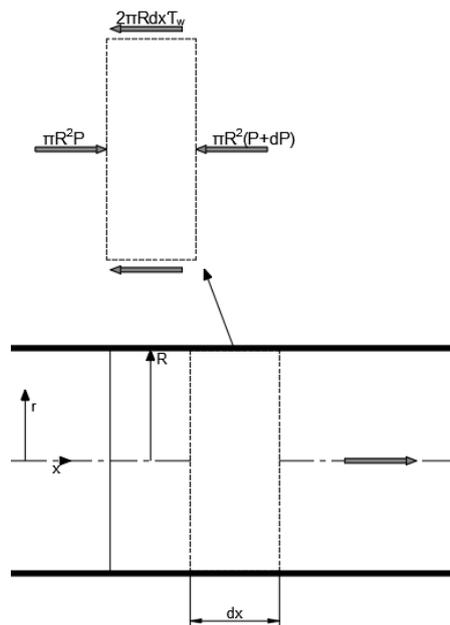


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre para un fluido con forma de disco [29].

2.2. Caída de presión y pérdida de carga

El componente relevante en el estudio del comportamiento de un fluido en una sección tubular es la variación de coacción ΔP , porque el enlace con la energía requerida para que el ventilador

o bomba conserve la circulación del fluido. La variable dP/dx es igual a la invariación y aunque integrado $x = x_1$, donde la coacción es P_1 , también $x = x_1 + L$, donde la coacción es P_2 , produce [30]:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_2 - P_1}{L} \quad (11)$$

Cuando se sustituyen las ecuaciones obtenidas en la ecuación (11) dada en la expresión V_{prom} de, la pérdida de coacción está dada para la corriente laminar como:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu L V_{prom}}{R^2} = \frac{32\mu L V_{prom}}{D^2} \quad (12)$$

Cabe recalcar que a partir de la ecuación (12), la variación de coacción es correspondiente a la viscosidad μ de la corriente, y ΔP tendría un valor de 0 si no existiera la fuerza de fricción. Por consiguiente, la variación entre la presión 1 y la presión 2, se verá afectado de manera directa por los efectos de la viscosidad y la ecuación (13) enmarca la pérdida por presión ΔP_L cuando la corriente con viscosidad μ pasa a lo largo de una sección tubular con diámetro D y distancia L a una rapidez promedio V_{prom} [30].

A través de este análisis cabe resaltar que se vuelve algo necesario establecer la pérdida de presión tanto para flujos laminares o turbulentos totalmente desarrollados, ya sea en secciones circulares o no circulares con rugosidades o lisas, o ya sean estas inclinadas u horizontales como se muestra en la Figura 3 [30].

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \quad (13)$$

Donde $\frac{\rho V_{prom}^2}{2}$ esta dada por la coacción en movimiento y el factor de fricción de Darcy esta dada por f

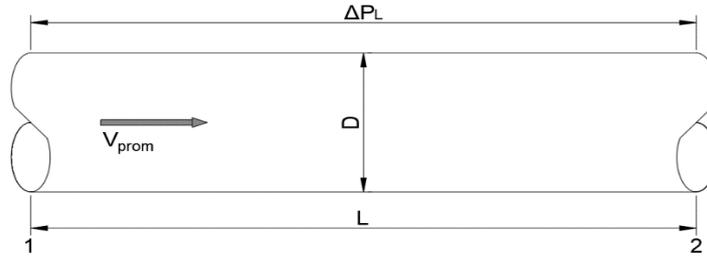


Figura 3. Relación para la disminución de coacción y la disminución de carga [32].

En el estudio de sistema de tuberías, las pérdidas de carga por efectos de la presión usualmente son expresada en valores de altura de columna de fluido, comúnmente denominado pérdida de carga h_L . En la expresión de estudio de la energía en donde intervienen las energías: cinética, potencial elástica y potencial gravitatoria, la que actúa sobre esta es la gravitacional cuyo ecuación es $\Delta P = \rho g h$, donde una altura representa la pérdida por presión en el fluido, teniendo que $h = \Delta P / \rho g$, por consiguiente la pérdida debido a la altura se halla con la siguiente expresión [33]:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L V_{prom}^2}{D 2g} \quad (14)$$

2.3. Cálculos para el diseño del sistema centralizado de GLP

Se tiene que el sistema de GLP a ser calculado en función de su ubicación, en este caso el laboratorio de termodinámica, el sistema será aprovechado exclusivamente por la caldera que se encuentra dentro del mismo, y los parámetros principales de la caldera son:

Tabla 3. Características de la caldera.

Características	Unidades	Valor
Capacidad	kg/hora de vapor	90
Cantidad de combustible	Kg	75
Superficie de transferencia	m ²	5.58
Presión nominal de diseño	Psi	100
Rendimiento térmico	%	87.6
Longitud total	Mm	1475
Ancho total	Mm	822
Altura total	Mm	1850
Volumen de agua	Litros	42.756

Según el manual de instalación para sistemas de GLP de CEPSA [34] se tiene en la Tabla 4 los valores referenciales de potencia consumida por los distintos calentadores acumuladores de agua a los que se les puede ajustar un sistema que use GLP.

Tabla 4. Potencia consumida de los diferentes calentadores acumuladores de agua [34].

Artefacto (considerado por cada 50 litros de volumen de agua que maneja)	Potencia consumida (kcal/h)	Consumo nominal de GLP (Propano 11900 kcal/kg)
Calentador acumulador de agua normal	1600	0.134
Calentador acumulador de agua rápido	4000	0.336
Calentador acumulador de agua ultra-rápido	9000	0.756

Se hace una relación con respecto a las características de consumo mostradas en la caldera en la que, si se tienen los valores en 50 litros los datos, se debe determinar los valores con el volumen real manejado por la caldera:

Volumen de agua=42.76 litros

Consumo de GLP del sistema= 0.65 kg/h

Presión de servicio= 0.34 a 0.56 psi (0.023 a 0.383 bar)

Según Torres y Yunga [35] es fundamental entender que para hallar el consumo real en el sistema se debe aplicar el factor de simultaneidad, denotándose en diversas literaturas que este factor debe ser del 85 % (0.85) y otra recomendación es clasificar a los equipos en función de su consumo (si fuera el caso) en este caso se dará netamente para la caldera por lo que el consumo aplicando el factor de simultaneidad es:

$$x = 0.65 \frac{kg}{h} \cdot 0.85$$

$$x = 0.55 \frac{kg}{h}$$

2.3.1. Selección del recipiente

En el presente proyecto se tiene en consideración que el tanque contará con una capacidad de 0.45 m³ en el cual se va a almacenar GLP y resulta necesario tener la gravedad específica

(similitud con densidad de un elemento y la consistencia de otros fluidos como por ejemplo el agua) y puntos de ebullición tanto del propano y el butano en estado líquido según se indica en la Tabla 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5. Gravedad específica en relación al agua y al aire [36].

	Agua	Aire
Mezcla propano 70 %- butano 30 %	0.531	1.667

Tabla 6. Punto de ebullición[37],[38].

	Temperatura (°C)
Propano	-42.1
Butano	-0.5
Agua	100

El valor del peso específico relativo será utilizado para posteriores cálculos en diferencias de presión del sistema y también a manera de conocer de forma más técnica los diferentes parámetros de los que se encuentra compuesto el GLP. Por consiguiente es necesario tener en consideración la presión de vapor a ser utilizada para el sistema propuesto tanto para propano y butano según las hojas técnicas de AGA y CRYOGAS [37] , [38] se tiene que:

$$P_{vap.prop} = 100 \text{ psi}$$

$$P_{vap.but} = 150 \text{ psi}$$

Para hallar la presión en función de su porcentaje en la mezcla y de su temperatura se utiliza la ecuación (15)

$$P = \% \text{ de propano} \cdot P_p + \% \text{ de butano} \cdot P_b \quad (15)$$

Donde:

P : Presión, [psi]

%: Porcentaje de sustancia

P_p : Presión del propano a 20 °C, [psi]

P_b : Presión del butano a 20 °C, [psi]

Por tanto, haciendo el cálculo matemático para hallar la presión del GLP para el sistema será:

$$P = 0.7 \cdot 100 \text{ psi} + 0.3 \cdot 150 \text{ psi}$$

$$P = 115 \text{ psi (7.92 bar)}$$

Haciendo referencia a un cuadro con porcentaje de llenado en tanques superficiales de 0 a 1200 galones para una gravedad específica líquida con respecto al agua igual a 1 como es indicado por Carmona [39].

Gravedad específica = 0.528 a 0.536 (el valor es 0.531)

Temperatura del líquido a 15 °C (teniendo en consideración las condiciones climáticas de Quito)

% de llenado máximo de líquido en el tanque = 84 %

Luego se establece la capacidad en kg de GLP que va a tener el tanque, este se encuentra estrechamente relacionado con la dimensión del recipiente y el peso específico para el GLP en relación al agua.

$$0.45 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{0.531 \text{ kg (GLP)}}{1 \text{ L}} = 241 \text{ kg (GLP)}$$

Donde:

0.531 kg (GLP): Peso específico en relación a 1 litro de agua (véase en la Tabla 5)

Según el porcentaje máximo de llenado obtenido anteriormente tomando como dato del libro de Carmona [39] y también basado en la norma INEN 260 que fue del 84 % según la tabla de referencia a 15 °C su capacidad será:

$$241 \text{ kg (GLP)} \cdot 0.84 = 202.5 \text{ kg (GLP)}$$

Consultando a personal que instala este tipo de sistemas, sugieren que el tanque debe ocupar hasta un 30 % de GLP, por lo cual:

$$241 \text{ kg (GLP)} \cdot 0.30 = 72.3 \text{ kg (GLP)}$$

Por tanto, la capacidad real que puede ser utilizada con GLP, asumiendo una mezcla de 70 % propano y 30 % butano será de:

$$202.5 \text{ kg (GLP)} - 72.3 \text{ kg (GLP)} = 130.1 \text{ kg (GLP)}$$

Las consideraciones con respecto a cada uno de los cálculos serán las siguientes:

- Para llegar al 100 % de capacidad máxima de llenado va a requerir 241 kg de GLP según la norma INEN 260.
- Para llegar al 84 % de capacidad máxima de llenado se va a requerir de 202.5 kg de GLP según la norma INEN 260.
- Para llegar al 30 % de la capacidad mínima de llenado del tanque se va a requerir 72.3 kg de GLP según la norma INEN 260.
- El valor real a ser utilizado de GLP será 130.1 kg.

Teniendo en consideración que se debe calcular el volumen útil de propano en el tanque es necesario primero definir la capacidad porcentual del tanque, que no es más que la diferencia entre la capacidad real máxima de llenado y la capacidad mínima de llenado, definido con la ecuación (16):

$$C_p = \frac{C_{m\acute{a}x} - C_{m\acute{i}n}}{100\%} \quad (16)$$

Donde:

C_p : Capacidad porcentual teórica de GLP a ser utilizado del tanque (adimensional)

$C_{m\acute{a}x}$: Capacidad máxima de llenado del tanque, [%]

$C_{m\acute{i}n}$: Capacidad mínima de llenado del tanque, [%]

Dando como resultado:

$$C_p = \frac{84\% - 30\%}{100\%}$$

$$C_p = 0.54$$

Una vez hallada esta capacidad porcentual se procede a hallar la capacidad útil del tanque en función de los 0.45 m³ que va a manejar el tanque, por tanto, es usada la expresión (17).

$$V_u = C_p \cdot V_t \quad (17)$$

Donde:

V_u : Volumen o capacidad útiles del propano, [m³]

C_p : Capacidad porcentual teórica de GLP a ser utilizado del tanque, [adimensional]

V_t : Volumen del tanque, [m³]

Haciendo los cálculos respectivos, el resultado es:

$$V_u = 0.54 \cdot 0.45 \text{ m}^3$$

$$V_u = 0.243 \text{ m}^3$$

Por consiguiente, también se establecerá la capacidad útil de almacenamiento de GLP que tendrá el sistema, que se encuentra expresado en la ecuación (18):

$$C_u = C_p \cdot V_t \cdot \rho_{prop} \quad (18)$$

Donde:

C_u : Capacidad útil, [kg de GLP]

ρ_{prop} : Masa volumétrica del propano, [kg/m³]

C_p : Capacidad porcentual teórica de GLP a ser utilizado del tanque, [adimensional]

V_t : Volumen del tanque, [m³]

Obteniendo como resultado para la capacidad útil de almacenamiento un valor aproximado de:

$$C_u = 0.54 \cdot 0.45 \text{ m}^3 \cdot 531 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_u = 129 \text{ kg de GLP}$$

2.3.2. Cálculo de vaporización natural

Para el proyecto será considerado que el sistema de GLP va a tener una vaporización natural que según Lapesa [40] se refiere al otorgamiento de fuerza de modo de calor con la alteración de fase líquido a fase gaseosa del GLP, el cual se hace a expensas de la disminución de la temperatura del GLP líquido y también porque el ambiente interviene y cede calor al tanque a

través de las paredes del mismo, cuyo beneficio se ve en la continuidad de flujo del gas sin necesidad de una fuente externa artificial de calor.

Como menciona Torres y Yunga [35] el uso de GLP conformado por 70 % de propano y 30 % de butano, 262 litros de vapor tienen la capacidad de elaborar un litro en estado líquido de GLP. Su formulación vendrá dada en relación con un tanque con una temperatura de 0 °C, y viene expresada en la ecuación (19).

$$V = D \cdot L \cdot K \quad (19)$$

Donde:

V: Capacidad de Vaporización del propano a 0°F del tanque, [BTU/h]

D: Diámetro exterior del tanque, [plg]

L: Longitud total del tanque, [plg]

K: constante para el valor porcentual del volumen en fase líquida (obtenido del manual de REGO [19]) 70 que equivale a un 30 % de llenado

Tabla 7. Valores de K para hallar la capacidad de vaporización.

Porcentaje de llenado del tanque	Valores de K
60	100
50	90
40	80
30	70
20	60
10	45

El valor establecido para K va a ser de 70, y este se encuentra sustentado por la norma de la NFPA # A54 y 58.

Según REGO [19] la expresión determinada para el análisis cuantitativo de la vaporización permite que la temperatura del líquido sea refrigerado a 20 °F (bajo cero) lo que va a dar como resultado un diferencial de temperatura de 20 °F cuando el transcurso de intercambio de calor con la atmosfera al área mojada del recipiente y luego al fluido. En este caso no se toma en consideración el área del espacio del vapor del tanque, ya que su efecto no influye.

Por lo tanto, el resultado para la vaporización con un valor del diámetro de un tanque estándar de 23.97 plg y una longitud de 68.89 plg el valor será:

$$V = 23.97 \text{ plg} \cdot 68.89 \text{ plg} \cdot 70$$

$$V = 115590.53 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Una de las consideraciones que se tiene para el cálculo de la vaporización en este caso para temperaturas superiores a 0 °C, es que se debe multiplicar por un factor que se encuentra correlacionado con los valores prevalecientes de temperatura del aire, como se encuentra plasmado en la Tabla 8.

Tabla 8. Capacidad de vaporización para varias temperaturas del aire.

Temperatura predominante del aire	Factor
25 °F (-3.8 °C)	2.91
30 °F (-1.1 °C)	3.00
35 °F (1.66 °C)	3.50
40 °F (4.4 °C)	4.00
50 °F (10 °C)	5.00
60 °F (15.5 °C)	6.00
65 °F (18.3 °C)	6.50
70 °F (21.1 °C)	7.00

Por tanto, la vaporización útil en este caso para una temperatura del aire de 15.5 °C con un factor de 6.00 da como resultado:

$$V_u = 115590.53 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \cdot 6.00$$

$$V_u = 693540 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

El factor de conversión para convertirlo a kg de GLP va a ser el siguiente:

$$1 \text{ kg de GLP} = 47219.2 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Teniendo el valor de la vaporización útil de 693540 Btu/h, la conversión da como resultado:

$$693540 \frac{Btu}{h} \cdot \frac{1 \text{ kg de GLP}}{47219.2 \frac{Btu}{h}} = 14.68 \text{ kg de GLP}$$

2.4. Autonomía del tanque

Para el sistema elaborado en este proyecto el tanque de 0.45 m³ va a cumplir la función de abastecimiento de GLP para el sistema de calentamiento de agua ultra rápido o calderín y por datos referidos del uso del calderín este es usado un promedio de 48 horas/año, por lo que se establece la ecuación (20) para determinar la autonomía de llenado del tanque.

$$A_{llenado} = \frac{\text{Capacidad útil de GLP que puede ser consumido del tanque}}{\text{Capacidad consumida por los equipos x día}} \quad (20)$$

Donde

$A_{llenado}$: Autonomía de llenado del tanque por días

Para realizar el cálculo se hace una conversión de unidades, recordando que el calderín será usado 48 horas/año, por tanto:

$$48 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 0.13 \text{ horas x día}$$

Luego se determina el consumo en kg/día de GLP, tomando en consideración que por factor de simultaneidad al 85 % su consumo iba a ser 0.55 kg/h de GLP, por tanto, la ecuación (21) es la utilizada para hallar la capacidad de consumo por día:

$$C_{cons} = \text{Horas x día ser utilizado el artefacto} \cdot \text{Consumo de GLP del artefacto} \quad (21)$$

Lo que da por resultado:

$$C_{cons} = 0.13 \text{ horas x día} \cdot 0.55 \text{ kg/h}$$

$$C_{cons} = 0.071 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Al ya saber los valores de capacidad útil de GLP como también de la capacidad consumida, como se muestra en la Tabla 9, lo que prosigue es calcular la autonomía del tanque como se indicó en la ecuación (20).

Tabla 9. Datos primarios para cálculo de la autonomía de llenado.

<i>Datos</i>	<i>Valor</i>
Capacidad útil de GLP que puede ser consumido del tanque	130.1 kg de GLP
Capacidad consumida por los equipos x día	0.071 kg/día

Por tanto, se tiene que el valor de autonomía de llenado va a ser de:

$$A_{llenado} = \frac{130.1 \text{ kg de GLP}}{0.071 \text{ kg/día}}$$

$$A_{llenado} = 1833 \text{ días}$$

Lo que equivale a decir que el sistema no será necesario reabastecerlo en los próximos 5 años, aunque es esencial decir que las propiedades de ciertos gases y líquidos como el GLP con el pasar del tiempo comienzan a sufrir variaciones en sus propiedades por lo que sería necesario dar un uso continuo para que el sistema tenga un funcionamiento óptimo.

2.5. Cálculo de diámetros de las tuberías del sistema de GLP

Previo a encontrar el diámetro a utilizarse para el sistema de tuberías, es necesario evaluar previamente el consumo del sistema, el caudal y la capacidad que va a tener, procediendo luego de esto a encontrar el diámetro por fórmula y el diámetro estándar mostrado en catálogos.

2.5.1. Cálculo de consumo de GLP en estado de vapor

El equipo instalado es de bajo consumo, y resulta necesario para cálculos posteriores el valor de consumo en m³/h de vapor y su factor de conversión es el siguiente:

$$1 \text{ kg liq} = 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

Por tanto:

$$0.6464 \text{ kg} * \frac{0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ de vapor}}{1 \text{ kg de GLP}}$$

$$Cons_{nominal} = 0.3232 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

2.5.2. Presiones de trabajo para sistemas de media presión

Para el sistema establecido en este proyecto la presión que será utilizada según el catálogo de REGO [19] para elementos de media presión va a ser de 2 psi (0.137 bar) para este equipo que es determinado como de bajo consumo.

Un criterio que es considerado para su diseño es la presión absoluta que va a tener el equipo, que no es más que la suma de las presiones manométrica y las atmosférica, por consiguiente, la ecuación (21) será la que representará este criterio.

$$P_{abs} = P_{man} + p_{atm} \quad (21)$$

El resultado para la presión absoluta será:

$$P_{abs} = 0.137 \text{ bar} + 1.01325 \text{ bar}$$

$$P_{abs} = 1.150 \text{ bar}$$

2.5.3. Longitud total de la instalación

Se hará el análisis de la longitud total del sistema en función de una longitud directa equivalente como menciona Venegas y Ayabaca [41] que se encuentra estrechamente relacionado con factores que afectan de manera directa a los accesorios instalados en el sistema, existiendo un método rápido si es que no se cuenta con un valor exacto de pérdidas de carga en el sistema, haciendo presunción de una longitud directa equivalente, que se trata de aumentar en un 20 % de longitud a la longitud real como se muestra en la expresión (22):

$$L_{eq} = 1.2 \cdot L_{real} \quad (22)$$

Donde:

L_{eq} : Longitud equivalente directa, [m]

L_{real} : Longitud real, [m]

Se estableció la utilización de tuberías de cobre y de polietileno que son los materiales que comúnmente se ocupan para instalaciones que sistemas de GLP, teniendo que la longitud de la tubería de cobre a instalarse en el sistema será de 7 metros y 15 metros la longitud de la tubería de polietileno, por tanto, la longitud real será:

$$L_{real} = 7 \text{ m} + 15 \text{ m}$$

$$L_{real} = 22 \text{ m}$$

Su longitud equivalente será:

$$L_{eq} = 1.2 \cdot 22 \text{ m}$$

$$L_{eq} = 26.4 \text{ m}$$

2.5.4. Dimensiones de tubería de la primera etapa en línea

Tomando como referencia el manual de servicio para la implementación de sistemas de GLP según la norma NPFA #58 [27] se considera que el sistema es de media presión con un valor de servicio de 2 psi y una caída de 1 psi (Ver ANEXO 1), con una longitud de 7 m (23 ft aproximadamente) en la tubería de cobre la caracterización se denota en la Tabla 10.

Tabla 10. Caracterización de tubería de cobre.

Características	Valor
Tamaño de tubería de cobre, [plg]	½
Longitud de tubería de cobre, [ft]	23
Caudal total, [BTU/h]	659600
Caudal requerido, [BTU/h]	30.52
Caudal requerido, [kg/h]	0.6464

El valor fue ajustado mediante interpolación lineal para contar con una mayor exactitud en su caudal de trabajo total.

Tomando como referencia el manual de servicio para la implementación de sistemas de GLP según la norma NPFA #58 [27] se considera que el sistema es de media presión con una presión de servicio de 2 psi y pérdida de coacción de 1 una libra/(pulgada)² (Ver ANEXO 1), teniendo una distancia de 15 m (49 ft aproximadamente) en la tubería de polietileno la caracterización se denota en la Tabla 11.

Tabla 11. Caracterización de tubería de polietileno.

Características	Valor
Tamaño de tubería de cobre, [plg]	½
Longitud de tubería de cobre, [ft]	49
Caudal total, [BTU/h]	51600
Caudal requerido, [BTU/h]	30.52
Caudal requerido, [kg/h]	0.6464

2.5.5. Velocidades del gas en instalaciones de bajo consumo

Para el análisis cuantitativo de la velocidad del gas en este sistema se hará uso de la ecuación (23):

$$v = 378.04 \cdot \frac{Q}{P * \emptyset^2} \quad (23)$$

Donde:

v : Velocidad del gas, [m/s]

Q : Caudal requerido de vapor, [m³/h]

\emptyset : Diámetro aproximado de 12.5 mm (recomendado por el manual de servicio para instalaciones de sistemas de GLP)

378.04: Factor para conversión de unidades

$$v = 378.04 \cdot \frac{0.3232 \frac{m^3}{h}}{1.150 \text{ bar} * (12.5 \text{ mm})^2}$$
$$v = 0.6799 \frac{m}{s}$$

2.5.6. Pérdidas de carga (fórmula de RENOARD)

Según el manual de instaladores de sistemas de GLP [41] para sistemas que operen con una presión menores a 100 mbar utilizan la ecuación (24) para hallar pérdidas por carga debido a la presión existente en las tuberías.

$$P_A^2 - P_B^2 = 48.6 \cdot d_c \cdot L_c \cdot Q^{1.82} \cdot \emptyset^{-4.82} \quad (24)$$

Donde:

$P_A^2 - P_B^2$: Coacciones absolutas al inicio y al final de la sección obtenidos por adición entre la presión relativa y la presión atmosférica, [bar]

48.6: Factor para conversión de unidades

d_c : Densidad corregida del GLP, [kg/m³]

L_c : Longitud, [m]

$Q^{1.82}$: Caudal en cada tramo, [m³/h]

$\emptyset^{-4.82}$: Diámetro exterior de la tubería, [mm]

Para la aplicación de la ecuación es necesario entender la relación existente con el caudal y el diámetro, y este debe ser menor a 150.

$$\frac{Q}{\emptyset} < 150$$

$$\frac{0.3232 \frac{m^3}{h}}{12.5 \text{ mm}} < 150$$

$$0.0258 < 150$$

El número de Reynolds resulta de la multiplicación de un factor constante para el propano T y el cociente entre el caudal requerido de vapor y el diámetro de la tubería seleccionado mediante manual, resultando en la ecuación (25).

$$Re = T \cdot \left(\frac{Q}{\emptyset}\right) \quad (25)$$

Q : Caudal requerido de vapor, [m³/h]

\emptyset : Diámetro aproximado de 12.5 mm (recomendado por el manual de servicio para instalaciones de sistemas de GLP)

72000: Factor para el propano

Re : Número de Reynolds, [adimensional]

Para que el flujo de un fluido se laminar se tiene que el número de Reynolds tiene que ser inferior o igual a 2 millones, por tanto:

$$Re \leq 2000000$$

$$72000 \cdot 0.0258 \leq 2000000$$

$$1857.6 \leq 2000000 \text{ (CUMPLE)}$$

Para hacer posible la obtención de la disminución de carga debido a la presión, por ende, en primer lugar, se calcula el caudal con la ecuación (26).

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} \quad (26)$$

Donde:

Q_v : Caudal en vapor, [m³/h]

Q_m : Caudal masa, [kg/h]

ρ : Equivalencia en volumen por unidad de masa del GLP, [m³/kg]

El resultado del caudal de vapor es:

$$Q_v = \frac{0.6464 \frac{kg}{h}}{2 \frac{m^3}{kg}}$$

$$Q_v = 0.3232 \frac{m^3}{h} \approx 8.97E - 05 \frac{m^3}{s}$$

Para el cálculo del diámetro se parte de la expresión (27) que hace referencia al caudal de vapor manejado por el sistema y dice que:

$$Q_v = A \cdot v \quad (27)$$

Donde:

Q_v : Caudal en vapor, [m³/h]

A : Área, [m²]

v : Rapidez del GLP, [m/s]

El diámetro exterior debe despejarse respecto a la ecuación (28) teniendo que:

$$A = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \quad (28)$$

Al reemplazar lo obtenido en la ecuación (27) respecto a la ecuación (26) se consigue la fórmula (28).

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{v \cdot \pi}} \quad (29)$$

Entre tanto su resolución da como resultado lo siguiente:

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot 8.97E - 05 \frac{m^3}{s}}{0.6799 \frac{m}{s} * \pi}}$$

$$\phi = 0.01296 m \approx 12.96 mm$$

Cabe recalcar que este diámetro es aplicado para todo el sistema de tuberías asociado.

Se plantea diámetro de tubería estandarizado, lo que se plasma en la Tabla 12.

Tabla 12. Diámetros exteriores de las tuberías de cobre y polietileno.

Tubería de cobre TIPO L	
Diámetro exterior, [mm]	15.8
Tubería de polietileno PE 50^a	
Diámetro exterior, [mm]	16

Haciendo uso de la ecuación (24) se tiene que la pérdida de carga por presión es:

$$P_A^2 - P_B^2 = 48.6 \cdot 1.66 \cdot 26.4 m \cdot (0.3232)^{1.82} \cdot (16 mm)^{-4.82}$$

$$P_A^2 - P_B^2 = 0.000428 bar$$

Las pérdidas de carga por presión total en el tramo haciendo la consideración del 20 % en pérdidas por longitud directa equivalente es:

$$P_T = P_{abs} - (P_A^2 - P_B^2)$$

$$P_T = 1.150 bar - 0.000428 bar$$

$$P_T = 1.1495 bar$$

2.6. Sistema de acoplamiento de tuberías

Para el presente proyecto se va a especificar qué tipo de soldadura va a ser utilizada y qué tipo de aleación será usada, haciendo referencia a que el proceso de soldadura no es más que acoplar

dos piezas metálicas, haciendo un aporte de material entre ellos mediante uso de calor generado por los altos amperajes de una máquina de soldar, cuya temperatura de fundición supera los 450 °C con aleación Cu-P-Ag.

Este caso viene dado para las soldaduras fuertes, que usualmente son utilizadas en instalaciones gasíferas de baja y media presión, la que ha sido seleccionada para esta aplicación es la Platex AG-150 que cuenta con 15 % de plata y temperatura de fundición de 650 °C.

2.7. Selección de accesorios para el sistema de GLP

En el proyecto es necesario contar con accesorios regulatorios, por lo que se ha optado colocar reguladores en la primera etapa que funcione a una presión máxima de trabajo de 30 mbar (0.25 psi), un contador volumétrico para GLP que cumpla la función de mantener regulado el paso de gas hacia el sistema y también una válvula controladora de flujo excesivo a partir de las características que son plasmadas en la Tabla 13.

Tabla 13. Criterios para selección de accesorios del sistema.

Características	Valor
Caudal de GLP, [kg/h]	0.6464
Caudal de vapor de GLP, [m ³ /h]	0.3232
Capacidad calorífica, [BTU/h]	30522
Presión de servicio, [psi]	2

Un factor que es colocado en caso de existir fallos en sistema es un sistema de seguridad y protección el cual debe contar con la siguiente característica, considerando que:

$$1 \text{ galón líquido de GLP} = 1 \text{ m}^3 \text{ de vapor}$$

Por tanto, convirtiéndolo en GPM (galones por minuto) queda:

$$0.3232 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ gal liq}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0.0053 \text{ GPM}$$

2.8. Conclusiones del capítulo

Entre los diferentes parámetros establecidos para la selección de los elementos del sistema del GLP fue necesario obtener el diámetro para la tubería que fue de 16 mm aproximadamente, ya que este es un elemento importante que debe ser bien dimensionado en función del servicio al que va a ser expuesto y, por consiguiente, al ser un sistema de bajo consumo se facilitará el trabajo de seleccionar elementos reguladores y de protección.

CAPÍTULO 3

CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP

En este capítulo de acuerdo con los parámetros obtenidos en el capítulo anterior como ~~era su~~ presión de servicio, caudal requerido y tipo de servicio, se hará una selección por medio de catálogos (en este caso será usado el catálogo de DISA) cada uno de los elementos como son las válvulas, el tanque y los sistemas de distribución y seguridad de GLP.

3.1. Selección del tanque

Como se mencionó se va a utilizar el catálogo de DISA [42], que cuenta con una variedad de elementos para sistemas centralizados de GLP y de manera especial tanques estacionarios. Hay que considerar que el tanque se encuentra diseñado y construido bajo la norma técnica ecuatoriana INEN 2260 y el Código ASME Sección VIII, Div 1 que hace referencia a normas de construcción de recipientes a presión en la industria.

Para este tipo de tanques se incluye un certificado de conformidad, el cual es indispensable para obtener un informe técnico favorable para el uso y funcionamiento del mismo acorde al Art,18, 109 y Art.126 del D.S. 027-094-EM. Art.34 del D.S. 019-97-EM [43].

Los datos generales para el tanque estacionario son (dimensiones Véase en la Figura 4):

- Tanque estacionario horizontal para consumos mayores y uso comercial e industrial.
- Código del producto: 70020
- Capacidad en litros: 500 (equivalente a 0.5 m^3)
- Diámetro (A): 610 mm
- Distancia (B): 1800 mm
- Longitud desde el eje de las bases: (C=367 mm) / (D=1029 mm)
- Distancia entre bases (E): 76 mm
- Tara (Peso vacío): 135 kg

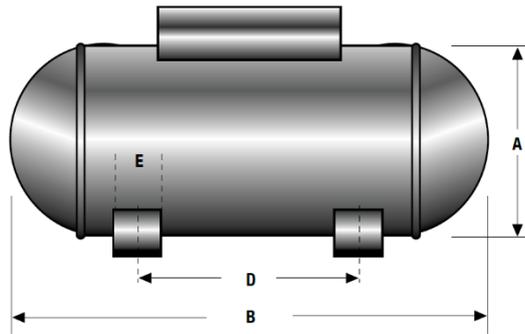


Figura 4. Esquema de dimensiones del tanque estacionario [42].

EMISA [44] indica la instrumentación adecuada para este tipo de tanques que vendrían establecidos con los siguientes elementos:

- Válvula múltiple de $\varnothing=3/4$ “
- Válvula de llenado de $\varnothing=1\ 1/4$ “
- Válvula de seguridad de $\varnothing=3/4$ “
- Indicador de nivel de $\varnothing=24$ “
- Válvula de drenaje de $\varnothing=3/4$ “

Según la norma INEN 260:2010 [15] en Ecuador se tiene determinada una distancia mínima de seguridad como se muestra en el ANEXO 3 que son para instalaciones sobre nivel del terreno que dice lo siguiente:

Un volumen que se encuentre entre 0.11 y $1\ m^3$ será considerado una instalación A-A.

La distancia desde la válvula de alivio del tanque será de 3 metros hacia el área de la propiedad, espacios en las edificaciones, puntos estáticos de inflamación, máquinas de combustión, vías públicas, férreas o fluviales, acometidas eléctricas de alta tensión, aparatos eléctricos sin protección, sótanos, alcantarillas y desagües. En el siguiente apartado, se muestra un esquema del sistema centralizado y su ubicación relacionado al lugar de funcionamiento según se observa en la Figura 5 [45].

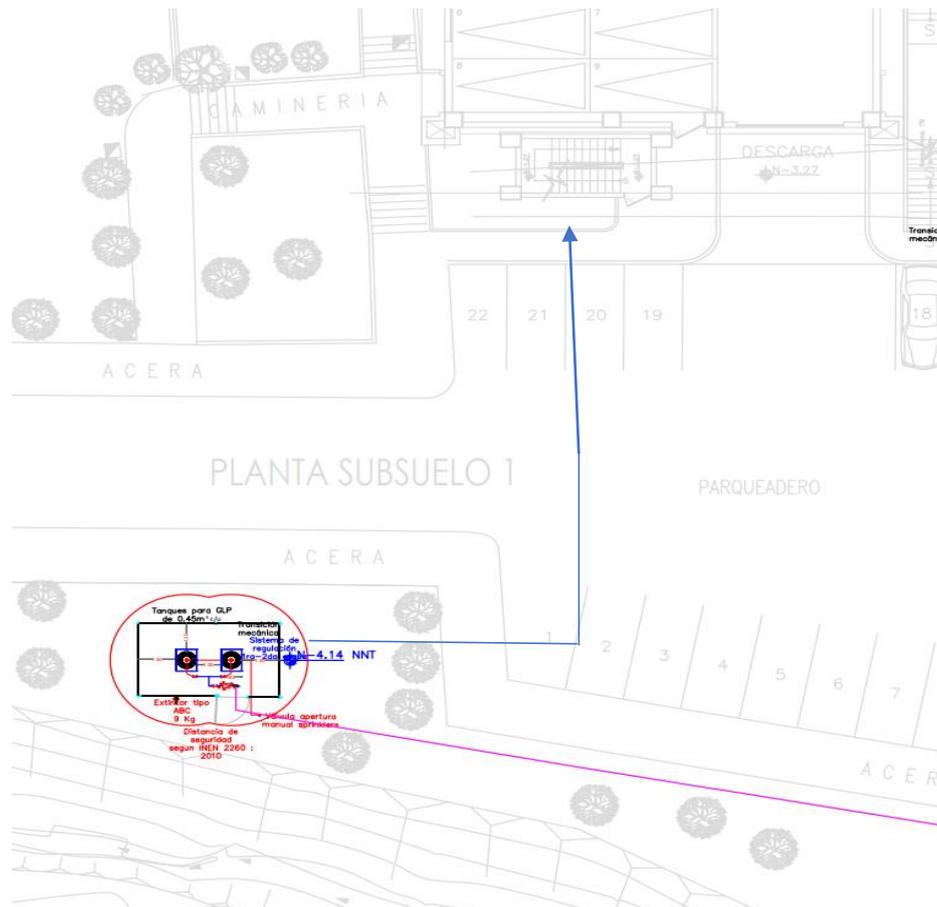


Figura 5. Esquema del tanque estacionario respecto al edificio o área de operación

Para la ubicación del tanque estacionario la distancia considerada desde la válvula de alivio del tanque será de 3 m respecto con la toma del autotanque.

3.1.1. Recomendaciones del fabricante

Existen ciertos lineamientos que son necesarios tomarlos en cuenta para tener una idea más precisa del cambio o mantenimiento en el tanque y los diferentes accesorios asociados a la línea de GLP, entre ellos se encuentran las siguientes recomendaciones:

- El tanque de GLP se encuentra abastecido con válvulas, medidores y reguladores de baja presión.
- La garantía ofrecida para el tanque es de una década en el cuerpo y 1 año los accesorios tales como: válvulas, medidores y reguladores.
- Es necesario cambiar el regulador de GLP cada 3 años.
- Verificar que las válvulas no presentes huecos o aberturas, por lo que se deben realizar inspecciones anuales.

- La válvula de abastecimiento al tanque debe ser reemplazada cada trienal.
- Resulta necesario cambiar el tanque estacionario cada 10 años.

3.2. Selección de elementos del sistema

Una vez determinada de manera cuantitativa el diámetro para las tuberías del sistema será necesario hacer una selección de manera cualitativa de la tubería a adjuntarse al sistema, de qué tipo de material y también hacer la selección de los elementos de control y protección para el sistema de GLP.

3.2.1. Selección de tuberías

En este proyecto se considerará el uso de tuberías de polietileno, el cual es el material idóneo para la conducción de combustibles gaseosos cumpliendo la norma AS-4176 O ISO 17484-1 en serie pulgada y métricas, que son adquiridos en base al polietileno de densidad media (PEMP) y de alta densidad (PEAD), grado PE4710 o para presiones aproximadas a 145 psi.

Adicional también serán usadas tuberías de cobre rígido sin costura que se encuentra basado en las normas ISO 1640 ó ASTM B88 tipo L de 0.89 mm de espesor que se encuentra en concordancia con la norma NTE INEN 260:2010 fácil de soldar con accesorios de cobre con certificación ANS/NSF 61 – EPC [46].

3.2.2. Accesorios de acople para la tubería

El canalizaciones de Gas Licuado de Petróleo se realizara mediante una sección tubular de polietileno en su primera etapa que contará con uniones, y para realizar las juntas entre los tubos y accesorios se lo debe hacer por soldadura por electro fusión o termo fusión [46]. Cuando se va hacer cambios de material entre polietileno a metal o viceversa se usará accesorios mecánicos de tipos por compresión, así pudiendo unir la tubería de cobre tipo L y sus respectivos accesorios según INEN 2260:2010 [15], siendo el cobre un material con buenas características como el fácil manejo, buena conductividad de calor y electricidad, y poco afectable al entrar en contacto con gases o con aire seco [46].

Para la instalación de los accesorios de cobre va a ser necesario soldadura y estaño para que sea más preciso, los cuales según la INEN 260:2010 deben cumplir con el Código ASME Sección IX o ANSI/AWS A 5.8 o NTE INEN 128 [46].

3.2.3. Elementos de seguridad

Torres y Yunga [35] mencionan que es fundamental el uso de dispositivos de regulación para sistemas de GLP ya que entre sus funciones se encuentra compensar las variaciones de presión del tanque y brindar una presión constante a pesar de las cargas a las que se encuentra sometido el sistema mediante el uso intermitente del equipo.

3.2.4. Regulador de primera etapa

Este debe encontrarse en la capacidad de manejar presiones de entre 8 a 220 psi, proporcionando una regulación concisa en los sistemas de dos etapas como es en este caso. Debe encontrarse en condiciones para controlar la vaporización de los recipientes con una capacidad inferiores o iguales a 1200 galones (4.5 m³). Buscan reducir la coacción del recipiente a una presión intermedia de 5 a 10 psi utilizados usualmente en aplicaciones industriales.



Figura 6. Reguladores de primera etapa [19].

Según lo estipulado se seleccionará una válvula reguladora de REGO para primera etapa en un sistema de 2 etapas el regulador sugerido es el Serie LV4403TR.

Vale recalcar que la presión del gas va a ser directamente proporcional a la temperatura ambiente donde se vaya a instalar, para el proyecto se va a trabajar con presión de servicio de 11.5 psi con un temple de 15 °C. Haciendo un análisis de la curva del regulador de primera etapa se tiene que estará a una presión constante de 10.5 psi, como se muestra en la Figura 6.

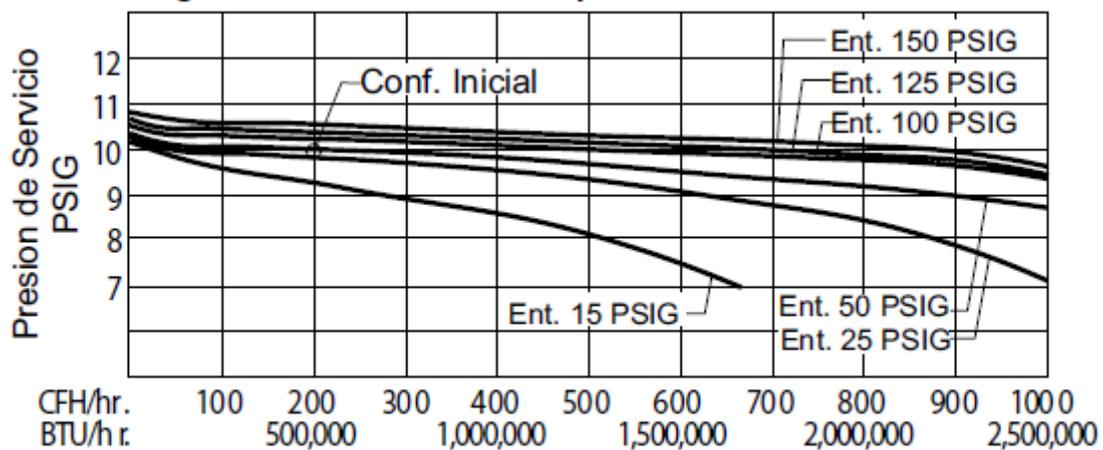


Figura 7. Curva característica de regulador de primera etapa SERIE LV4403TR [19].

3.2.5. Regulador de segunda etapa.

Con una coacción de servicio que va a tener la caldera que determinada para 2 psi un sistema de baja presión se usará el regulador semi-ajustable Tipo 753 del manual de RECA [18] y su instalación debe darse después del de primera etapa y su función principal es servir de reductor de presión del fluido que viene desde el primer regulador y que se encuentra conectado de manera directa al artefacto.

Aunque la presión de salida tiene un valor de 30 mbar, el rango de presión es ajustable y oscila entre 22 y 50 mbar y sus características son:

- Cuerpo y tapa: Método de inyección en zamac y pintados
- Resorte: Fabricado en acero inox
- Diafragma: NBR aprobado [47].

La Tabla 14 muestra las características que va a tener el regulador de presión de segunda etapa para este sistema.

Tabla 14. Características de regulador de segunda etapa [18].

Tipo	Gas	Presión de entrada a regulador (mbar)	Presión de entrega (mbar)	Energía (Btu/h)	Empalme de ingreso	Conexión de punta
753	C ₃ H ₈ Butano GLP	0.7-16	30	480000	W20x1/142 L.H. M20 X 1.5 Macho	HN 10 • 3kg G 3/8” Hembra 4kg

3.2.6. Selección de suministrador volumétrico de gas

Para un mejor control del flujo en el sistema, será fundamental contar con un elemento que suministre de manera controlada y sistemática el gas hacia el artefacto o aparato de consumo, esto será realizado a través de un contador volumétrico mediante una conexión de tubería rígida, teniendo en cuenta que se debe cumplir la norma técnica ecuatoriana INEN 2260:2010 [15] indicando la longitud límite para la tubería rígida será de 0.80 m.

Los criterios de selección para un contador serán por su caudal nominal y máximo teniendo en cuenta que el caudal nominal cuenta con una buena proporcionalidad entre caudal y pérdida de carga, mientras que el caudal máximo es el mayor valor de caudal que se encuentra relacionado a su presión de servicio.

Se considera una tolerancia del 5 % del caudal máximo, el cual va a ser medido por los contadores.

El contador cuenta con la capacidad de medir, regular y controlar de manera progresiva el suministro de gas. Su instalación se hará de manera vertical, a nivel y conectados al sistema de tuberías garantizando la estabilidad del equipo y hermeticidad del conjunto.

3.2.7. Aspectos adicionales de contadores volumétricos.

Se ha determinado que la localización va a ser en el exterior del laboratorio de Ingeniería Mecánica, procurando que haya un buen acceso para la lectura de flujo que pasa por el sistema. El dimensionamiento adecuado permitirá un correcto mantenimiento, control, inspección, reparación y reposición.

El sistema va a contar exclusivamente el flujo existente para el calderín, este a su vez tiene que estar lejos de interruptores, motores y otros aparatos que puedan hacer cortocircuito provocando llamas, teniendo totalmente prohibido el almacenamiento de combustibles cercano al contador.

Para evitar accidentes o daños en el sistema va a ser necesario contar con instrucciones de uso, los cuales pueden deben estar a la vista tanto de personal calificado (en este caso profesores de las diferentes materias y laboratoristas) como también estudiantes a los que se les asignen ir a hacer prácticas al laboratorio para que adicional no existan accidentes ni daños materiales.

Contará con una señalética donde se ponga los signos de:

“PELIGRO GAS INFLAMABLE”



Figura 8. Señalética de peligro gas inflamable [15].

“PROHIBIDO FUMAR”



Figura 9. Señalética de prohibido fumar [15].

Las instrucciones adicionales que deben estar en dicho lugar serán:

- Asegurarse en todo momento que la válvula a maniobrase es la correspondiente.
- No abrir la válvula en caso de no estar seguro de lo que se planea hacer.

Se muestra las características y especificaciones de contador volumétrico a ser utilizado en el proyecto, que en este caso fue sacado del catálogo de AGAS en la Tabla 15.

Tabla 15. Descripción del contador volumétrico [47], [48].

Medidor contador para GLP	
Caudal máx, [m ³ /h]	6
Caudal mín, [m ³ /h]	0.043
Coacción máx, [kPa]	50
Vol. cíclico, [dm ³ /rev]	1.7
Conector, [plg]	¾"
Fabricado en	Colombia

3.2.8. Válvula de exceso de flujo

Para la aplicación en este proyecto será utilizado una válvula 12472 de latón con una conexión de entrada de ¾" al igual que su conexión de salida, que manejará un flujo de cierre aproximado de 4 GPM, se encuentra diseñado para fluidos en fase líquida o fase gaseosa para el llenado, extracción y distribución uniforme del vapor en aplicaciones de contenedores o líneas y su función principal es el cierre automático en la línea de gas en caso de darse un daño en la tubería, evitando en gran medida accidentes ambientales y de mal funcionamiento del sistema como lo menciona REGO[19] y un ejemplo de esta válvula es expuesta en la Figura 8.



Figura 10. Válvula de exceso de flujo [18].

3.2.9. Instrumento de medición de presión

El manómetro es una herramienta útil al momento de querer obtener los valores de presión en una línea de suministro de gas, determinando lecturas precisas y llevando un control en el funcionamiento del sistema.

Según el manual de REGO será utilizado el 2434-2 que es exclusivamente para sistemas de GLP, hecho de acero con presión máxima de 35 pca (pulgadas de columnas de agua) (1.25 psi) con un tamaño de caja de 2 ½”.



Figura 11. Manómetro modelo 2343-2 [18].

3.3. Pruebas de hermeticidad

La norma técnica ecuatoriana INEN 2260:2010 [15] indica que todo sistema de GLP debe ser sometido a pruebas de estanqueidad y a su vez este debe arrojar un resultado satisfactorio previo a su puesta en marcha, poniendo a criterio de los diseñadores para la evaluación de hermeticidad de los reguladores y contadores.

Las pruebas por realizarse se harán en las tuberías sometiéndolas a presiones controladas, superando en nivel máximo y disminuyendo a un valor mínimo determinado según la norma ya sea con aire o con un gas inerte, siendo necesario una constancia de dicha prueba (en este caso escrita).

La norma establece que la presión para la prueba será a un 50 % por encima del valor de presión nominal que maneja el sistema (1.5 veces), una vez alcanzada la presión necesaria dejando pasar solamente 15 minutos para que haya una estabilización en la temperatura y presión, se tomarán los datos que arroja la primera lectura de presión, una vez alcanzada la presión se hará

a manipulación de las válvulas intermedias verificando si existe estanqueidad con relación al exterior, ya sea con la válvula totalmente abierta o totalmente cerrada.

Si existiese una no conformidad o en caso de que no se logre pasar la prueba de estanqueidad, se hará búsqueda exhaustiva de las posibles fugas utilizando agua con jabón o un detector electrónico de gas y la prueba será realizada nuevamente una vez hayan sido eliminadas las fugas.

3.3.1. Prueba a accesorios de regulación

De manera similar como se hizo para el sistema de tuberías se aplicará también en las uniones o en el conjunto de regulación que está conformado por codos, tées o también contadores volumétricos debe ser comprobada a presión de operación del sistema pudiéndose hacer también en conjunto con las pruebas de hermeticidad a realizarse al sistema de tuberías asociados.

3.3.2. Prueba a accesorios de seguridad

Es fundamental someter a una prueba a presiones mayores para determinar su óptimo funcionamiento, por lo que es recomendable hacer trabajar al máximo de su capacidad y así determinar si uno de estos accesorios presenta algún desperfecto para establecer criterios óptimos de operatividad del sistema y evitar accidentes de cualquier índole.

3.4. Resumen de características del sistema de GLP

El resumen de los elementos y las características de los que constan cada uno, obteniendo como resultado para el proyecto según se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Cuadro resumen con los resultados de cada elemento seleccionado para el sistema de GLP.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Tanque	Para este tipo de tanques se incluye un certificado de conformidad, el cual es indispensable para obtener un informe técnico favorable para el uso y funcionamiento del mismo acorde al Art.18, 109 y Art.126 del D.S. 027-094-EM. Art.34 del D.S. 019-97-EM [43]. Los datos generales para el tanque estacionario son (dimensiones Véase en la Figura 4):

	<ul style="list-style-type: none"> - Tanque estacionario horizontal para consumos mayores y uso comercial e industrial. - Capacidad en litros: 500 (equivalente a 0.5 m³) - Diámetro (A): 610 mm - Distancia (B): 1800 mm - Longitud desde el eje de las bases: (C=367 mm) / (D=1029 mm) - Tara (Peso vacío): 135 kg
	<ul style="list-style-type: none"> - Tubería de polietileno <p>Cumple la norma AS-4176 O ISO 17484-1 en serie pulgada y métricas, que son adquiridos en base al polietileno de densidad media (PEMP) y de alta densidad (PEAD), grado PE4710 o para presiones aproximadas a 145 psi.</p>
Tuberías	<ul style="list-style-type: none"> - Tubería de Cu rígido tipo L <p>Cumple las normas de la Organización Internacional de Normalización 1640 ó ASTM B88 tipo L de 0.89 mm de espesor que se encuentra en concordancia con la norma NTE INEN 260:2010 fácil de soldar con accesorios de cobre con certificación ANS/NSF 61 – EPC.</p>
Accesorios de acoplamiento	<ul style="list-style-type: none"> - La tubería de polietileno en su primera etapa que contará con uniones y a este debe aplicarse el proceso de electro fusión, que sean compaginables con las tuberías y complementos a combinar. - Para los accesorios de cobre van a ser necesario soldadura y estaño para que sea más preciso, los cuales según la INEN 2260:2010 deben cumplir con el Código ASME Sección IX o ANSI/AWS A 5.8 o la norma técnica ecuatoriana INEN 128.
Regulador de inicio de etapa	<ul style="list-style-type: none"> - Debe estar en capacidad de manejar presiones de entre 8 a 220 psi - Debe encontrarse en condiciones para controlar la vaporización de tanques con una capacidad de hasta 1200 galones (4.5 m³). - Buscan reducir la presión de salida del recipiente a una presión intermedia de 5 a 10 psi

- Según lo estipulado se seleccionará una válvula reguladora de REGO para primera etapa en un sistema de 2 etapas el regulador sugerido es el Serie LV4403TR.

Regulador semi-ajustable Tipo 753

Su instalación debe darse después del de primera etapa y su función principal es servir de reductor de presión desde la primera válvula para su acople en la instalación final.

Regulador de segunda etapa Aunque la presión de salida tiene un valor de 30 mbar, el rango de presión es ajustable y oscila entre 22 y 50 mbar y sus características son:

- Cuerpo y tapa: Inyectados en zamac y pintados
- Resorte: Fabricado en acero inox
- Diafragma: NBR aprobado [25].

El contador cuenta con la capacidad de medir, regular y controlar de manera progresiva el suministro de gas.

Medidor contador G4S para gas natural o GLP [47].

Contador volumétrico

Especificaciones:

- Caudal máx: 6 m³/ h.
- Caudal mín: 0.04 m³/ hora.
- Coacción máx: 50 kPa.
- Conector, [plg]: 3/4"
- [47].

Válvula de exceso de flujo

Válvula 12472 de latón con una conexión de entrada de 3/4" al igual que su conexión de salida, que manejará un flujo de cierre aproximado de 4 GPM.

Útil al momento de querer obtener los valores de presión en una línea de suministro de gas, determinando lecturas precisas y llevando un control en el funcionamiento del sistema.

Manómetro Según el manual de REGO será utilizado el 2434-2 que es exclusivamente para sistemas de GLP, hecho de acero con presión máxima de 35 pca (pulgadas de columnas de agua) (1.25 psi) con un tamaño de caja de 2 ½"

Elaborado por: Ludwin Cox y María Pillajo

3.5. Conclusiones del capítulo

A través del análisis en primer lugar de los elementos base para un sistema de GLP, entre ellos el caudal que fue de 0.65 kg/h, la presión de servicio de 2 psi por ser sistema de baja presión y por consiguiente obtener el valor del diámetro que fue de ½" para accesorios y la funcionalidad del sistema en dependencia del artefacto o elemento que vaya a requerir este sistema asociado a líneas de GLP.

Cada uno de los criterios analizados según Torres y Yunga [35] llevan a obtener cada uno de los elementos asociados, entre ellos el diámetro de tuberías que fue de 16 mm, material de las tuberías que van a ser tanto de cobre tipo L y de polipropileno, selección del tanque adecuado, accesorios de acople y accesorios regulatorios como contadores y válvulas de alivio, pudiendo encontrar estos elementos y sus características en los catálogos de REGO y también de RECA.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO

En la presente sección se efectuará un estudio económico en relación con los costos de cada uno de los elementos con los que va a contar este sistema de GLP para la operación de la caldera de vapor.

4.1. Costo del proyecto

Es necesario tener claro qué elementos van a ser necesarios para la instalación y establecer valores aproximados, marcando un precedente para una futura implementación siendo más minucioso con respecto a los precios y calidad de los elementos del sistema.

4.1.1. Costo de materiales

se desglosaron los valores correspondientes a los materiales utilizados para la implementación del canalizado de Gas Licuado de Petróleo según se muestra en la Tabla 17, manejando precios estándar del mercado actual, plasmándose de la siguiente manera.

Tabla 17. Costo de elementos para sistema centralizado de GLP.

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Tanque estacionario de GLP de 0.45 m ³	1	UND	650.00	650.00
Codo ½"	2	UND	0.32	0.64
Tubería de polietileno	15	m	2.50	37.50
Tubería de cobre tipo L	7	m	3.64	25.48
Manómetro 0-4 bar	1	UND	5.84	5.84
Manómetro 0-10 bar	1	UND	2.34	2.34
Medidor de consumo	1	UND	58.00	58.00
Regulador de presión	1	UND	35.00	35.00
Reducción ½" – ¾"	1	UND	1.73	1.73
Reducción ¾" – ½"	1	UND	0.83	0.83
Tee de cobre ½"	1	UND	2.00	2.00

Codo de cobre ½"	1	UND	2.00	2.00
Universal de ½"	1	UND	3.74	3.74
Contador volumétrico de gas	1	UND	75.00	110.00
Válvula antirretorno ½"	1	UND	4.09	4.09
Válvula esférica ½"	1	UND	4.52	4.52

Se tiene que el valor aproximado con respecto a materiales del sistema centralizado de GLP es de \$943.71 (dólares americanos)

4.1.2. Mano de obra

Se tiene en consideración el trabajo de soldadura para elementos y accesorios de cobre para un correcto funcionamiento, el sistema de tuberías debe ser enterrado o a su vez instalar canaletas cilíndricas para el paso de las tuberías tanto las de polietileno como las de cobre, pudiendo hacerse la instalación de todo el sistema en 5 días en una jornada de 8 horas diarias, todo esto se encuentra determinado en términos de mano de obra según lo muestra la Tabla 18.

Tabla 18. Valor de mano de obra.

Descripción	Subtotal (USD)
Mano de obra	700.00
Subtotal	700.00
Contratios (5 %)	35.00

Se ha tenido en consideración contratios por si se suscita alguna situación que requiera hacer alguna compra adicional o adicionar algo al sistema, dando como resultado que la mano de obra da un total de \$735.00 (dólares americanos)

4.1.3. Inversión total

Para la inversión total se ha establecido el costo de los componentes, transporte, mano de obra e implementación del canalizado de Gas Licuado de Petróleo para el laboratorio de Ingeniería Mecánica, quedando establecido en la Tabla 19.

Tabla 19. Valor de inversión total para el sistema centralizado de GLP.

Descripción	Subtotal (USD)
Sistema centralizado de GLP	943.71
Transporte	50.00
Mano de obra	735.00
Imprevistos (10 % del total)	172.37

Por tanto, se ha establecido un valor tentativo de inversión para el sistema de GLP el cual es de \$1901.08 (dólares americanos).

4.2. Conclusiones del capítulo

Mediante el análisis económico para la implementación del sistema centralizado de GLP se obtuvo que los rubros de mano de obra de la instalación y de los elementos va a tener un costo aproximado de \$700.00 más un valor por contratiempos de \$35.00 que representa el 5 % del valor total de la instalación, adicional a eso el costo por transporte de materiales y de los elementos del sistema, sumando a este un 10 % en imprevistos del total de los valores entre materiales, transporte y mano de obra.

CONCLUSIONES GENERALES

El consumo que tendrá la caldera de vapor del laboratorio de Ingeniería Mecánica será de 0.6464 kg/h y mediante el cálculo de un factor de simultaneidad tomando en cuenta las diferentes interfaces en el tanque entre el sólido y líquido se tiene que el consumo aproximado será de 0.5494 kg/h con el uso del 85 % de capacidad máxima.

Mediante la presunción de que se utilizará un GLP 70 % propano-30 % butano con una presión de 100 psi y 150 psi, respectivamente, se obtuvo que la presión del GLP en el sistema será de 115 psi y la masa de GLP a ser utilizada por el sistema será de 129.033 kg.

De acuerdo a diversos parámetros a establecerse como viabilidad y trazabilidad del proyecto, se decidió hacer un análisis de costos de materiales para el sistema centralizado de GLP, obteniendo que el costo total del proyecto será de \$1901.08 tomando en cuenta que es un valor referencial.

RECOMENDACIONES GENERALES

Será necesario reajustar si se desea implementar un sistema centralizado para varios artefactos que vayan conectados al mismo sistema, produciéndose una variación en el costo del proyecto.

Una vez instalado el equipo se deberán tener las consideraciones respecto a señaléticas, avisos y pasos de uso de cada uno de los elementos del sistema y poniendo signos de advertencia y así evitar accidentes fatales o daños que puedan afectar al sistema.

Se debe establecer un plan de mantenimiento y cambio de elementos críticos como son válvulas y revisión del sistema de tuberías para detectar posibles fugas, con un correcto uso el sistema el sistema está establecido para un tiempo de vida útil de 10 años como se indica en el Anexo 4.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. de Ingeniería Comité Organizador, *Congreso Internacional De Ingeniería*. 2015.
- [2] D. Venegas, C. Ayabaca, S. Celi, and J. Rocha, “Optimización dimensional de un sistema comercial de GLP,” *XXII Congr. Nac. Ing. Mecánica*, no. September, pp. 1205–1211, 2018.
- [3] C. Ortiz, ““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.”” 2018.
- [4] J. A. Rea Taris, “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [5] C. Lomas, “Diseño E Implementación De Sistemas Centralizados De Gas Licuado De Petróleo (Glp) En Edificaciones De Uso Residencial, Comercial O Industrial,” p. 223, 2012, [Online]. Available: file:///C:/Users/Admin/Downloads/CD-4537.pdf.
- [6] L. E. Ruiz Flores, “EVALUACION DEL ACTUAL SISTEMA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y SU INCIDENCIA EN EL LABORATORIO DE PETROQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE – EXTENSIÓN LATACUNGA DURANTE EL AÑO 2016. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE GAS LIC,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2018.
- [7] J. Fiallos and V. Garibaldi, “Diseño de acuerdo con la Norma NTE INEN 2260 una Central de Alimentación de GLP a una Vivienda de Cuatro Unidades Familiares,” ESPOL, 2020.
- [8] R. Arturo Segovia Loaiza, M. Andrea Carrasco Moran, E. Martínez Lozano, and G. Galindo, “Diseño y Construcción de una instalación de Gas Licuado de Petróleo para una Urbanización Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción,” *CICYT*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [9] G. Campano and M. Tejada, “PROPUESTA DE MEJORA SOBRE EL REDISEÑO DE PLANTA DE UNA EMPRESA ENVASADORA Y Y DISTRIBUIDORA DE GASLICUADO DE PETRÓLEO (GLP) EN LA CIUDAD DE AREQUIPA,”

- Universidad Católica San Pablo, 2021.
- [10] F. X. Espinoza Guevara, “OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES DE GLP,” Universidad de Guayaquil, 2020.
- [11] D. M. Guamán Bajaña and I. M. Toaquiza Vega, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LA DETECCIÓN Y PREVENCIÓN DE FUGA DE GAS (G.L.P) EN EL CANTÓN LA MANÁ,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ, 2020.
- [12] L. A. Llerena Guamán, “SISTEMA AUTOMÁTICO PARA PREVENIR LA EXPLOSIÓN POR FUGA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO EN UN DOMICILIO,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL, 2020.
- [13] D. Leonardo and M. Córdova, “Seguridad Industrial en Instalaciones Centralizadas Gasodomésticas,” Escuela Politécnica Nacional, 2008.
- [14] E. J. Brito Cevallos, “DISEÑO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA IMPLANTACIÓN HE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) COMO ESTÁNDAR DE UNA CADENA DE RESTAURANTES,” UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, 2018.
- [15] NTE INE 2 305, “Instituto Ecuatoriano de Normalizacion,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, vol. 2009, p. 21, 2006.
- [16] The American Society of Mechanicals Engineers, “Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión,” *Código ASME para Calderas y Recip. a Presión*, 2013.
- [17] IPC, “Componentes de un sistema GLP,” vol. 3, p. 34, 2015.
- [18] RECA, “Reguladores Domésticos-Residenciales-Comerciales-Industriales Soluciones Avanzadas para el Control de Gas,” 2013, [Online]. Available: www.cavagnagroup.com.
- [19] REGO, *Manual de Servicio para el Instalador de Gas-LP*. 2014.
- [20] J. M. Arroyo Rosa, “TEMARIO INSTALADOR GAS CATEGORIA B,” pp. 1–137, 2017.
- [21] L. A. Trujillo Torres, “ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

DOMÉSTICO POR TUBERÍA PARA LA PARROQUIA PASCUALES ‘GUAYAQUIL’ DESDE EL NUEVO TERMINAL DE GLP ‘CHORRILLO’ DE EP PETROECUADOR, QUE SUSTITUYA A LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL EN BOMBONAS DISMINUYENDO ASÍ LAS CONDICIONES,” Universidad Tecnológica Equinoccial, 2013.

- [22] A. Hernández Martín, “Terminología de instalaciones receptoras y aparatos a gas,” *CONAIF-SEDIGAS*, vol. 0, p. 283, 2008.
- [23] REGO, “Catálogo L-102SV,” vol. 1, 2021, [Online]. Available: <https://www.regoproducts.com/PDFs/L-102SV.pdf>.
- [24] INACAP, *Instalaciones de gas natural*, 4ta ed. Santiago de Chile, 2004.
- [25] C. Group, “Reguladores Domésticos – Residenciales – Comerciales - Industriales,” 2013.
- [26] LOJAGAS, “Manual del Usuario Gas Centralizado,” vol. 1, 2019, [Online]. Available: <http://lojagas.com/wp-content/uploads/2018/04/MANUAL-DE-USUARIO-GAS-CENTRALIZADO.pdf>.
- [27] NFPA 58, *Código del Gas Licuado del Petróleo*. 2014.
- [28] C. Group, “Propane Regulator Valves and Equipment,” vol. 1, 2022, [Online]. Available: https://cavagnana.com/wp-content/uploads/2021/10/Propane_Catalog_CNA_2022_5CA1419N_rev13.2_WEB.pdf.
- [29] Y. Cengel, *Transferencia de calor y masa*, 4th ed. México: Graw-Hill, Mc, 2011.
- [30] J. M. Cimbala and Y. a. Cengel, “Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones,” *McGrawHill*, vol. Primera Ed, pp. 10–11, 2001.
- [31] J. Amaro, O. Hernández, and J. Olivencia, “Cálculo del campo de velocidad de un flujo laminar de agua al interior de una tubería, enfriándose con el medio ambiente después del completo desarrollo hidrodinámico,” *Agroindustrial Sci.*, vol. 5, pp. 127–132, 2015.
- [32] R. L. Mott, “Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos,” *Mecánica De Fluidos*, pp. 1–623, 2019, [Online]. Available: <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/>.

- [33] R. C. Mendoza Peña, : “Propuesta para la automatización de sistema contra incendio de rociadores para bobinas de papel en una empresa de impresión y medios de comunicación,” 2019.
- [34] J. Emilio and L. Sopeña, “Manual de instalaciones de GLP,” p. 299, 2001, [Online]. Available:
https://campusvirtual.uazuay.edu.ec/v220/pluginfile.php/48858/mod_resource/content/1/manual_GLP.pdf.
- [35] L. A. Y. H. Servio and S. T. T. González, “Diseño E Implementación De Un Sistema Centralizado De Glp Para El Taller Mecánico Del Aeirnr De La Unl,” 2010.
- [36] P. Grado, “Propano C₃H₈ FICHA TÉCNICA - GASES PUROS,” 2020.
- [37] U. DE SONORA, “Propano – C₃H₈ Msds Hoja De Seguridad Del Material (Msds),” AGA Fano S.A., pp. 1–5, 2005, [Online]. Available:
<http://app.tecsup.edu.pe/file/intranet/sso/msds/Propane.pdf>.
- [38] CRYOGAS, “Hoja De Datos De Seguridad De Materiales Nombre Del Producto: N-Butano,” pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <http://www.indura.com.ec/Descargar/N-Butano?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fco%2Fbiblioteca%2Fa883ab43b46246fc96c0022539cb1948.pdf>.
- [39] R. P. Carmona, *Instalaciones hidrosanitarias y de gas*. 2011.
- [40] lapesa, “Vaporización del GLP,” *lapesa*, pp. 1–5, 2012, [Online]. Available:
http://www.who.int/hiv/FS_Prevention_Nov05_sp.pdf?ua=1.
- [41] D. Venegas and C. Ayabaca, *Instalaciones de gas licuado de petróleo*. Editorial Académica Española, 2017.
- [42] DISA, “INGUSA,” vol. 1, 2007, [Online]. Available: www.ingusa.com.
- [43] I. D. E. Nivel, “Tanques horizontales para uso soterrado,” no. 2, pp. 1–3, 2012.
- [44] EMISA, “Tanques Estacionarios,” p. 3, 2012.
- [45] V. M. SALAZAR VILLALVA and G. E. MARTÍNEZ URDIALES, “Modelo Para La Determinacion Del Tamaño Optimo De Un Tanque Estacionario De Almacenamiento De Glp Aplicado Al Negocio De Comercializacion Al Granel,” 2004.

- [46] F. Mecánica, “TIPOS DE UNIONES para tubería, elementos y ACCESORIOS.,” *Instalaciones de gas*, 2014. <http://www.fullmecanica.com/definiciones/i/1422-instalaciones-de-gas-732-tipos-de-uniones-para-tuberia-elementos-y-accesorios>.
- [47] Agas, “Medidor de gas GLP G4S,” 2022. <https://agas.ec/gas/173-medidor-de-gas-glp-g4s.html>.
- [48] AGAS, “Medidor de gas GLP G4S,” 2022. <https://agas.ec/gas/173-medidor-de-gas-glp-g4s.html>.

ANEXOS

Tabla 15.1(i) Dimensionamiento de Tubería de Cobre entre el Regulador de Servicio de 2 psi y el Regulador de Presión de Línea: Diámetro Exterior de Tubería Flexible de Cobre, Tipo L

		Gas: Propano No Diluido			
		Presión de Entrada: 2 psi			
		Caída de Presión: 1.0 psi			
		Gravedad Específica: 1.52			
Longitud de Tubería (pies)	$\frac{3}{8}$ pulg.	$\frac{1}{2}$ pulg.	$\frac{5}{8}$ pulg.	$\frac{3}{4}$ pulg.	$\frac{7}{8}$ pulg.
	0.315	0.430	0.545	0.666	0.785
10	451	1020	1900	3215	4948
20	310	701	1306	2210	3401
30	249	563	1049	1774	2731
40	213	482	898	1519	2337
50	189	427	795	1346	2071
60	171	387	721	1219	1877
70	157	356	663	1122	1727
80	146	331	617	1044	1606
90	137	311	579	979	1507
100	130	294	547	925	1424
150	104	236	439	743	1143
200	89	202	376	636	979
250	79	179	333	563	867
300	72	162	302	511	786
350	66	149	278	470	723
400	61	139	258	437	673
450	58	130	242	410	631
500	54	123	229	387	596
600	49	111	207	351	540
700	45	102	191	323	497
800	42	95	177	300	462
900	40	89	167	282	434
1000	37	84	157	266	410
1500	30	68	126	214	329
2000	26	58	108	183	282

Nota: Las capacidades están en miles de Btu/hr.

Anexo 1. Tuberías de cobre para GLP

Tabla 15.1(q) Dimensionamiento de Tubería Plástica de Polietileno entre el Regulador de Segunda Etapa y la Edificación: Diámetro Nominal Externo (CTS)

	Gas: Propano No Diluido	
	Presión de entrada:	11 pulg. w.c.
	Caída de Presión:	0.5 pulg.
	Gravedad Específica:	1.52
Longitud de Tubería (pies)	$\frac{1}{2}$ pulg. SDR 7.00 (0.445)	1 pulg. SDR 11.00 (0.927)
10	121	829
20	83	569
30	67	457
40	57	391
50	51	347
60	46	314
70	42	289
80	39	269
90	37	252
100	35	238
125	31	211
150	28	191
175	26	176
200	24	164
225	22	154
250	21	145
275	20	138
300	19	132
350	18	121
400	16	113

CTS: Tamaño de tubo de cobre. SDR: Clasificación de dimensión estándar.

Notas:

(1) Las capacidades están en miles de Btu/hr.

(2) Dimensiones en paréntesis, son diámetros internos.

Anexo 2. Tuberías de polietileno para GLP.

(Distancias en m)

Clasificación	INSTALACIONES SOBRE NIVEL DEL TERRENO														INSTALACIONES ENTERRADAS				
	A-A		A-0		A-1		A-2		A-3		A-4		A-5		E-E	E-0	E-1	E-2	E-3
Volúmen V m ³	0,11<V≤1		1<V≤5		5<V≤10		10<V≤20		20<V≤100		100<V≤500		500<V≤2000		0,11<V≤1	1<V≤5	5<V≤10	10<V≤100	100<V≤700
Distancias (S o S1)	S	S1	S	S1	S	S1	S	S1	S	S1	S	S1	S	S1					
Referencia 1	-	-	-	06	-	0,6	-	1,0	-	1,0	-	1,0	-	20	-	08	08	08	08
Referencia 2	-	-	-	13	-	1,3	-	13	-	20	-	50	-	150	-	15	25	50	75
Referencia 3	-	-	-	06	-	0,6	-	1,0	-	50	-	50	-	100	-	08	1,0	25	50
Referencia 4	3,0	-	30	20	50	3,0	75	50	100	75	150	100	300	200	30	30	40	50	100
Referencia 5	6,0	-	60	-	100	-	150	-	200	-	300	-	600	-	60	60	80	100	200
Referencia 6	3,0	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	30	30	30	30

S: Distancia desde válvula de alivio de presión del tanque.

S1: Distancia desde las paredes del tanque (s).

Referencia 1.- Espacio libre alrededor de la proyección sobre el terreno del depósito.

Referencia 2.- Distancia al cerramiento de la estación.

Referencia 3.- Distancia a muros o paredes ciegas (RF-120).

Referencia 4.- Distancias al lindero de la propiedad, aberturas de inmuebles, focos fijos de inflamación, motores de explosión, vías públicas, férreas o fluviales, proyección de líneas aéreas de alta tensión, equipos eléctricos no protegidos, sótanos, alcantarillas y desagües.

Referencia 5.- Distancias a aberturas de edificios para uso docente, sanitario, hospedaje, culto, esparcimiento o espectáculo, acuartelamientos, centros comerciales, museos, bibliotecas o lugares de exposición públicos. Estaciones de Servicios (Bocas de almacenamiento y puntos de distribución).

Referencia 6.- Distancia de la boca de carga al tanque cisterna.

Anexo 3. Distancias para tanques estacionarios

Plan de mantenimiento del sistema centralizado de GLP

Elemento	Periodicidad	Tarea a realizar
Regulador de GLP	Bianual	Revisión de fugas con agua jabonosa en juntas roscadas
Hermeticidad en la línea de media presión	Anual	Realizar prueba de presión en la tubería de GLP mediante aire comprimido por 60 minutos a una presión de 60 psi con la válvula de GLP cerrada
Electroválvula	Bianual	Revisión del funcionamiento correcto del bloqueo de la electroválvula mediante la liberación controlada de GLP en el sensor conectado a la electroválvula
Tubería de GLP vista	Anual	Corrección de pintura para garantizar la protección de la tubería si se encuentra a la intemperie.

Anexo 4. Plan de mantenimiento del sistema centralizado de GLP