



Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología
ISSN: 1390-650X
ISSN: 1390-860X
revistaingenius@ups.edu.ec
Universidad Politécnica Salesiana
Ecuador

SISTEMAS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO: UNA REVISIÓN SOBRE LINEAMIENTOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

Venegas-Vásconez, Diego
Ayabaca-Sarria, César
Reina-Guzmán, Salvatore
Tipanluisa-Sarchi, Luis
Fariás-Fuentes, Oscar

SISTEMAS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO: UNA REVISIÓN SOBRE LINEAMIENTOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, núm. 31, pp. 81-94, 2024
Universidad Politécnica Salesiana

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505576217007>

DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n31.2024.07>

2024. Universidad Politécnica Salesiana



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

SISTEMAS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO: UNA REVISIÓN SOBRE LINEAMIENTOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

LIQUEFIED PETROLEUM GAS SYSTEMS: A REVIEW ON DESING AND SIZING GUIDELINES

Diego Venegas-Vásconez
Universidad del Bío-Bío: Concepción, CL, Chile
diego.venegas1801@alumnos.ubiobio.cl
César Ayabaca-Sarria
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
cesar.ayabaca@epn.edu.ec
Salvatore Reina-Guzmán
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
salvatore.reina@epn.edu.ec
Luis Tipanluisa-Sarchi
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
luis.tipanluisa@esPOCH.edu.ec
Óscar Farías-Fuentes
Universidad de Concepción, Chile
ofarias@udec.cl

DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n31.2024.07>.

Recepción: 15 Mayo 2023
Recibido del documento revisado: 26 Junio 2023
Aprobación: 17 Julio 2023
Publicación: 01 Enero 2024



Acceso abierto diamante

Resumen

El gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible de origen fósil ampliamente utilizado en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Los sistemas de GLP deben diseñarse y dimensionarse bajo estándares mínimos de seguridad, los cuales son establecidos en normativas nacionales e internacionales. Un sistema de GLP está conformado por recipientes de almacenamiento del combustible, tuberías, válvulas, medidores, equipos de consumo y elementos de protección y seguridad. Estos deben ser dimensionados y seleccionados para soportar la acción del gas combustible y las condiciones de trabajo a las que serán sometidos. En este documento se presenta una revisión de los puntos más importantes a tener en cuenta en el diseño y dimensionamientos de un sistema de GLP a partir de las normativas más representativas a nivel internacional.

Palabras clave: gas licuado de petróleo, dimensionamiento, instalaciones, seguridad, normativas, criterios.

Abstract

Liquefied Petroleum Gas (LPG) is a fossil fuel widely used in residential, commercial, and industrial applications. LPG systems must be designed and sized under minimum safety standards, which are established in national and international regulations. An LPG system is composed of fuel storage containers, pipelines, valves, meters, consumption equipment, and protection and safety elements. These must be sized and selected to withstand the action of the fuel gas and the working conditions to which they will be subjected. This document presents a review of the most important points to consider in the design and sizing of an LPG system based on the most representative international regulations.

Keywords: Liquefied Petroleum Gas, sizing, installations, safety, normative, criteria.

Forma sugerida de citación:

Venegas-Vásquez, D.; Ayabaca-Sarria, C.; Reina-Guzmán, S.; Tipanluisa-Sarchi, L. y Farías-Fuentes, O. “Sistemas de gas licuado de petróleo: una revisión sobre lineamientos de diseño y dimensionamiento,” *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 31, pp. 81-94, 2024. doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n31.2024.07>.

1. Introducción

La demanda de energía en el mundo aumenta, año tras año, como resultado del rápido crecimiento de la población, debido a los cambios en los estilos de vida y la industrialización [1]. En 2019, el consumo mundial de energía alcanzó los 418 EJ, y se prevé que para el año 2040 aumente en un 23 % alcanzando valores de 516 EJ. En la actualidad, más del 80 % de la energía proviene de combustibles fósiles, donde el petróleo, el carbón y el gas natural representan el 30,9%, 26,8 % y 23,2 %, respectivamente [2]. En lo que respecta a derivados del petróleo, el gas licuado de petróleo (GLP) es uno de los combustibles más utilizados a nivel mundial por su versatilidad como fuente de energía en servicios a nivel doméstico, comercial e industrial [3]. A pesar de ser de origen fósil, es considerado un combustible limpio en términos de emisiones contaminantes al medioambiente, ya que no contiene azufre, por tanto, en su combustión no emite SOX [4], lo que lo hace una fuente de energía atractiva.

Los sistemas de GLP para su utilización requieren de elementos de almacenamiento, distribución, regulación y control; que deben ser instalados bajo estándares de seguridad establecidos en normas técnicas internacionales como NFPA 58 [5] y en Ecuador la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2260:2010 [6], con el fin de minimizar riesgos por la manipulación del combustible. En estas normativas técnicas se describen los lineamientos mínimos de seguridad a ser tomados en cuenta por los responsables de instalaciones de GLP, los comercializadores del combustible y autoridades que se encargan de vigilar su cumplimiento. La normativa NFPA 58 está vigente desde 1930, y es la base de las normativas para sistemas de GLP en la mayoría de los países en el mundo [7–9]. En el Ecuador, la primera versión de la norma técnica INEN 2260 fue elaborada en 2001, y ha tenido dos revisiones hasta la vigente que rige desde el año 2010.

Las normas técnicas vigentes en los países contienen las condiciones mínimas con las que se deben llevar a cabo los proyectos de sistemas de GLP, tales como aceptación de tipos, materiales y normas de fabricación de tuberías, distancias de seguridad de recipientes a terceros, y aspectos de seguridad y protección tanto física como humana. Además, su cumplimiento suele ser obligatorio en el territorio de su jurisdicción. Sin embargo, son documentos en los cuales no se tienen parámetros de diseño y de criterios técnicos que hagan viables proyectos que contengan sistemas de gas licuado de petróleo. Tampoco pueden mencionar marcas y fabricantes de los diferentes componentes, ni elementos que puedan tener estándares de seguridad mayor. Esta información suele estar incluida en catálogos de fabricantes y en revistas especializadas.

En este artículo se hace una revisión de los lineamientos mínimos de seguridad establecidos en las normas técnicas internacionales sobre manejo de sistemas de gas licuado de petróleo y su entorno. Adicionalmente, se revisan detalles de diseño, selección, ubicación y mantenimiento de elementos, partes de sistemas de GLP, así como algunos aspectos a tomar en cuenta por los encargados técnicos de los sistemas en el momento de la aprobación de los sistemas por la autoridad competente. Se muestran también algunas ventajas y sugerencias emitidas por fabricantes de equipos y materiales utilizados en sistemas de GLP. Finalmente, se indican algunas malas prácticas observadas en sistemas de GLP, con el fin de alertar a usuarios que desconocen el manejo de un gas combustible como el GLP.

1.1. Propiedades del GLP

- El GLP normalmente se encuentra presurizado, y se lo almacena y transporta por encima de su punto de ebullición. Después de su liberación, se evapora rápidamente y, como es más pesado que el aire (peso

específico relativo con respecto al aire es 1,53 [5]), se acumula en lugares bajos y cerca del suelo, y en presencia de una fuente de ignición, puede causar una explosión y un incendio de manera repentina.

- El vapor de GLP en concentraciones entre 2 % y 10 % forma un compuesto explosivo [10].
- Lo conforman principalmente el butano (C₄H₁₀) y el propano (C₃H₈), con una pequeña cantidad de compuestos más ligeros y más pesados, como etano y pentano, y se produce como un subproducto de los procesos de refinación y producción de gas natural y petróleo crudo [11].
- Alto poder calorífico comparado con otras fuentes de energía, (poder calorífico superior del GLP es aproximadamente 50.3MJ/m³ o 12 000 kcal/m³ [8].
- En condiciones ambientales (1 atm y 25 °C) se encuentra en estado gaseoso.
- El peso específico del GLP en estado líquido es 0.55 kg/m³ [5].

1.2. Ventajas del uso del GLP

Comparándolo con otras fuentes de energía, como diésel, gasolina, carbón, leña, el GLP tiene varias ventajas, entre las que se pueden mencionar:

- Limpio en términos de emisiones de gases contaminantes hacia el medioambiente, ya que en su combustión no se generan SOX, debido a que no contiene azufre [4].
- No es tóxico ni venenoso para el ser humano, pero sí puede causar su muerte al desplazar el oxígeno ocasionando anoxia [12].
- El GLP es un combustible muy versátil, entre sus principales usos está la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, el secado de productos agrícolas, en la crianza de aves, como combustible vehicular, en montacargas, hornos industriales, calderos, entre otros [13].
- El GLP es un combustible utilizado para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales [14].
- Cuando actúa como combustible, su combustión es completa, por lo que no deja residuos carbonosos y no produce hollín [15].
- Su bajo costo, accesibilidad y ventajas ambientales en su uso, ha hecho que varios Gobiernos como la India [16], Indonesia [17, 18], Burkina Faso [19], Ghana [20], Sudáfrica [21], México [22], Brasil [23], Ecuador [24], Perú [25], entre otros, hayan adoptado medidas compensatorias como subsidios para estimular el uso masivo del GLP para sus ciudadanos.

1.3. Errores identificados en el uso del GLP

A pesar de las ventajas antes citadas, se han detectado varios problemas en cuanto al manejo de instalaciones, entre los más relevantes se pueden indicar:

- El desconocimiento de las normas técnicas vigentes al momento de diseñar, instalar y mantener sistemas de GLP, lo cual deriva en malas aplicaciones [26].
- Falta de previsión en el diseño original de nuevas instalaciones para el espacio destinado al almacenamiento, por lo que los tanques están siendo instalados en sitios poco seguros [27].
- Falta de protección a los recipientes que contienen el combustible, y a los sistemas en general ha ocasionado graves accidentes a nivel mundial [28].
- Descuido por parte de los usuarios provoca falta de mantenimiento preventivo en los equipos y componentes, lo que ocasiona que los mismos sean utilizados por sobre la vida útil recomendada por los fabricantes [29].
- Falta de cumplimiento con las exigencias y normativas nacionales, sobre todo, en países donde existe subsidio focalizado para instalaciones residenciales, hace que se utilice el combustible en aplicaciones comerciales e industriales [30].
- Al ser catalogado como un combustible seguro, crea en los usuarios de los sistemas exceso de confianza en su manipulación. Esto ha ocasionado accidentes con graves consecuencias tanto físicas como humanas [30].

1.4. Elementos de un sistema de GLP

Los elementos de un sistema de GLP se pueden ver en la Figura 1, entre los cuales se pueden citar:

- **El almacenamiento.** Corresponde a los recipientes en los que se envasa el combustible GLP, pudiendo ser cilindros (por su peso pueden transportarse fácilmente por un ser humano y se utilizan por recambio) y tanques (aquellos que se ubican fijos en una instalación y para su funcionamiento deben ser abastecidos desde tanques cisterna por medio de mangueras).
- **El transporte.** Hace referencia a las tuberías o cañerías de distribución, elementos de control como válvulas, elementos de regulación o reguladores de presión, elementos de medición o contadores.
- **Equipos de consumo.** Pertenecen los artefactos que utilizan el GLP para satisfacer una necesidad por parte del ser humano. Por su capacidad de generar energía o por su aplicación, estos pueden ser residenciales, comerciales e industriales.
- **Sistemas de protección o prevención.** Tanto para los recipientes, tuberías, equipos de consumo, ubicados con el fin de prevenir accidentes y minimizar riesgos por el manejo del combustible.



[31]

Figura 1.

Esquema general de un sistema de GLP

2. Almacenamiento de GLP

Como se indicó en el apartado anterior, el almacenamiento se realiza en recipientes o contenedores del combustible en fase líquida. El GLP normalmente es utilizado en fase gaseosa, por lo que previo al consumo se produce un fenómeno de vaporización natural, fenómeno que se produce al interior de los recipientes.

2.1. Tipos de recipientes

Los recipientes se pueden clasificar por su tamaño en recipientes portátiles (cilindros) o recipientes estacionarios (tanques). Cada uno de ellos tiene varias características que difieren uno del otro en cuanto a su uso y aplicación, como se pueden ver en la Figura 2.

2.2. Dimensionamiento de recipientes

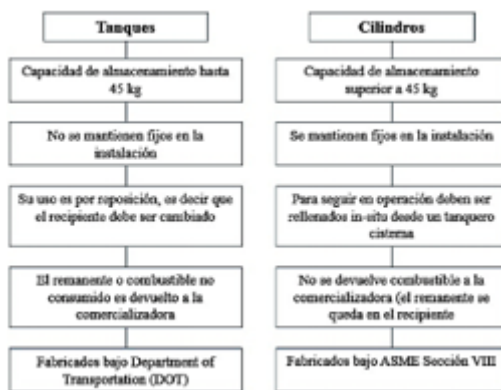
Para determinar la capacidad de almacenamiento requerida en un sistema de GLP un factor a tener en cuenta es la demanda requerida del combustible en los equipos de consumo, así como las horas de máxima demanda [32].

2.2.1. Dimensionamiento de cilindros

Los cilindros vienen en capacidades estándares de almacenamiento de 15 kg y 45 kg, tanto para uso residencial como comercial, respectivamente. También hay cilindros de 5 y 11 kg. Una forma de

determinar la cantidad de cilindros es a partir de la razón de vaporización, como se muestra en la ecuación (1) [33]:

$$N = \frac{P_{it}}{R_v} \quad (1)$$



[34, 35]

Figura 2.

Diferencias entre cilindros y tanques

Donde: N es la cantidad de cilindros (en caso de ser un número fraccionario, se aproxima al entero próximo superior), P_{it} es la potencia instalada total [kW/h] y R_v es la razón de vaporización, según la Tabla 1.

T [°C]	Cilindro 45 [kW/h]		Cilindro 15 [kW/h]	
	Consumo intermitente	Consumo continuo	Consumo intermitente	Consumo continuo
10	41	35	19	16
5	37	31	17	14
0	34	28	16	13
-5	30	24	15	12
-10	28	21	14	10

[33]

Tabla 1.

Razón de vaporización para cilindros de 15 y 45 kg

Los valores de T[°C] presentados en la Tabla 1 se refieren a la temperatura mínima de la zona donde se van a ubicar los cilindros; el consumo intermitente alude a menos de 4 horas seguidas de funcionamiento de los equipos de consumo al día, y el consumo continuo a más de 4 horas seguidas por día.

2.2.2. Dimensionamiento de tanques estacionarios

La ecuación 2 [36] indica la capacidad de vaporización natural de GLP de un recipiente de almacenamiento estacionario.

$$Q = p.S.K. \frac{(T - T_g)}{CLV} \quad (2)$$

Donde: Q es la capacidad de vaporización natural en kW, p es el porcentaje de combustible líquido al interior del recipiente en %, S es la superficie del recipiente en m^2 , K es el coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes del recipiente en $kW/m^2\ ^\circ C$, T es la temperatura ambiente exterior mínima de la zona donde se instalará el recipiente en $^\circ C$, T_g es la temperatura de equilibrio líquido gas en $^\circ C$, y CLV es el calor latente de vaporización del GLP en kWh/kg .

En aplicaciones residenciales de múltiples usuarios, es decir, edificios, se aplica el llamado factor de simultaneidad que se presenta en la Tabla 2, el cual permite reducir la demanda máxima en la hora de mayor consumo, asumiendo que no todos los usuarios utilizan el servicio del combustible en este instante.

Número de viviendas	S_1	Número de viviendas	S_2
1	1	1	1
2	0.50	2	0.70
3 a 5	0.40	3 a 5	0.60
6 a 8	0.30	6 a 8	0.55
9 a 14	0.25	9 a 14	0.45
15 a 39	0.20	15 a 39	0.40
40 a 50	0.15	40 a 50	0.35

[36]

Tabla 2.

Factor de simultaneidad en edificaciones

Donde: S_1 es el factor de simultaneidad sin calderas de calefacción en la instalación, y S_2 es el factor de simultaneidad con calderas de calefacción en la instalación.

2.2.3. Vaporizadores

Cuando el caudal de fase gaseosa que pueden suministrar los recipientes por vaporización natural es insuficiente para alimentar la demanda de la instalación, se ha de recurrir a la vaporización forzada por medio de un vaporizador. Este es un equipo con una entrada de GLP líquido procedente del recipiente y una salida en fase gaseosa hacia el servicio [37].

Para determinar el vaporizador adecuado se utiliza la ecuación (3):

$$Q = \frac{E_T \cdot F_d}{PC} \quad (3)$$

Donde: Q es la capacidad de vaporización requerida en gal/h, E_t es la energía total requerida por el sistema en BTU/h, F_d es el factor de variación de carga (normalmente se considera 1.10 para cargas graduales), y PC es el poder calorífico del GLP, que se considera 94 450 BTU/gal.

2.3. Ubicación de recipientes

Los recipientes para almacenamiento de GLP deben ubicarse en el exterior de las edificaciones, ya sean instalados sobre superficie o enterrados. Al hacerlo sobre superficie debe ser en zonas abiertas y ventiladas, y contar con elementos de protección y señalización [38].

2.3.1. Ubicación de recipientes en terrazas

Un caso especial de ubicación de recipientes sobre superficie es instalarlos en terrazas. Para ello deben cumplir con los siguientes requisitos [39]:

- Una verificación previa de que la infraestructura de la azotea resiste a la carga del recipiente lleno con agua. Además, de tener en cuenta que sobre el recipiente se deben realizar pruebas posteriores de mantenimiento preventivo, que incluyen la realización de una prueba hidrostática.

- Considerar la instalación de un pararrayos, que cubra al área de almacenamiento de GLP.
- La toma para descarga a tierra del recipiente debe ser independiente de la descarga a tierra de la edificación.
- Considerar la instalación de una boca de incendio equipada (BIE) en algún punto accesible de la terraza.
- Dejar operativa una toma de agua para poder realizar la prueba hidrostática del recipiente.

2.3.2. Ubicación de recipientes enterrados

La ubicación de recipientes enterrados conlleva varios aspectos a tomar en cuenta, entre los que se pueden mencionar:

- Considerar las características del terreno donde se va a ubicar el recipiente para colocar protecciones eléctricas a través de ánodos o cátodos de sacrificio.
- Los recipientes deben ser anclados en bases firmes y niveladas, con el fin de evitar que salgan o floten a la superficie en caso de inundaciones.
- Los recipientes deben venir preparados para enterrarlos desde fábrica (pintura protectora, espacio para elementos de control y llenado, acceso desde el exterior).

2.3.3. Ubicaciones incorrectas de recipientes

Los recipientes para almacenamiento de GLP no deberán ser ubicados en las siguientes condiciones [27]:

- Espacios confinados sin ventilación.
- Sótanos o subsuelos de las edificaciones.
- Bajo las edificaciones.
- En zonas de estacionamientos y donde existan elementos que puedan incrementar la ocurrencia de desastres como la BLEVE, que toma su nombre de Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, es decir, una explosión súbita del combustible a su paso de estado líquido a gaseoso [40].
- No ubicarlos en zonas donde pueda haber acumulación de basura, bodega de grasas y aceites y no ubicarlos en zonas donde existan materiales que pueden incrementar la probabilidad de ocurrencia de fuego alrededor de los recipientes.

2.4. Distancias de seguridad hacia recipientes

Los reglamentos técnicos sobre instalaciones de GLP establecen distancias mínimas a respetarse desde recipientes a terceros. Estas se contemplan en función del volumen almacenado, y la ubicación del recipiente (sobre o bajo superficie). A pesar de que pueden existir diferencias en las distancias de seguridad, los criterios aplicados para determinar dichas distancias siguen los lineamientos mostrados en la Figura 3. En esta figura se hace referencia a las distancias contempladas en recipientes de tipo estacionario, los cuales pueden ser ubicados sobre o bajo superficie, pueden ser llenados in situ o a través de tomas desplazadas, y tienen dispositivos de seguridad por sobrepresión para desfogue y venteo.



[27]

Figura 3.

Criterios para ubicación de recipientes estacionarios a partir de la distancia de seguridad

3. Transporte del GLP

Esta sección se refiere a las tuberías de distribución del combustible desde los recipientes de almacenamiento hasta los puntos de consumo.

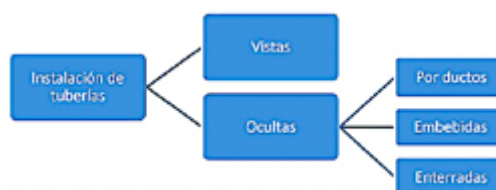
3.1. Condiciones mínimas para seleccionar tuberías

La NTE INEN 2260:2010 [6] establece criterios mínimos para instalación de tuberías, entre los que están:

- Las tuberías pueden ser metálicas o plásticas y deben resistir la acción del gas combustible y del medio exterior, deben estar protegidas, mediante un sistema eficaz según el tipo de tubería.
- Los espesores de las paredes de las tuberías deben cumplir como mínimo con las condiciones de ensayo de presión impuestas a estas instalaciones, y tener una resistencia mecánica que cumpla con los requisitos de las normas de fabricación de cada tipo de tubería.
- Las tuberías vistas deben ser señalizadas e identificadas con los colores de acuerdo con la ASME A13.1 [41] (color amarillo ocre para tuberías de conducción en fase gaseosa y blanco para tuberías de conducción en fase líquida) y las ocultas (embebidas, enterradas o por ductos) señalizadas [42].
- Conducir el caudal que se requiere en la operación de los equipos de consumo.

3.2. Ubicación de tuberías

Por facilidad de inspección, mantenimiento y reparación en caso de fugas, se recomienda que las tuberías que conducen GLP sean instaladas vistas, sin embargo, por cuestión de estética, los usuarios prefieren que las tuberías sean ocultas. En la Figura 4 se muestran las formas aceptadas para instalar tuberías para GLP:



[26]

Figura 4.

Ubicación de tubería de GLP

Importante tener en cuenta que las tuberías empotradas, es decir, que son parte estructural de la edificación, no son aceptadas para conducción de GLP [6].

3.3. Dimensionamiento de tuberías

Dependiendo de la ubicación de las tuberías con respecto a los reguladores de presión, estas se clasifican en de media presión de baja presión.

3.3.1. Tuberías de media presión

Son aquellas ubicadas a la salida de los recipientes de almacenamiento, entre el regulador de primera y el de segunda etapa.

En la literatura se encuentran varias publicaciones donde se indican criterios de dimensionamiento de tuberías de GLP [43], en la ecuación (4) [44] se muestra uno de los más utilizados según Renouard:

$$p_1^2 - p_2^2 = 4810.L.d.Q_s^{1.82}.D^{-4.82} \quad (4)$$

Donde: Q_s es el flujo volumétrico a condiciones estándar en m³/s, D es el diámetro interno de tubería en m, p_1 es la presión absoluta de entrada a la tubería en Pa, p_2 es la presión absoluta de salida en la tubería en Pa, d es la densidad relativa del gas $d = 1.5$ [5] y L es la longitud equivalente de tubería en m.

La longitud de la ecuación (3) corresponde a la longitud equivalente de tubería, la cual expresa las pérdidas sufridas por el paso del combustible a través de las tuberías. Esta longitud equivalente se muestra en la ecuación (5) [37]:

$$L_{eq} = 1, 2.L \quad (5)$$

Donde: L es la longitud de tubería en m y L_{eq} es la longitud equivalente en m.

En la ecuación (3), p_1 es la presión absoluta a la salida del regulador de primera etapa, la cual depende de la presión atmosférica. Es conocido que la presión atmosférica depende de la altitud sobre el nivel del mar del sitio donde se vaya a ubicar el sistema. En la ecuación (6) se muestra la corrección de la presión atmosférica conforme la altitud de una ciudad sobre el nivel del mar [37].

$$p = 1, 013.(1 - 0, 0000225577.H) \quad (6)$$

Donde: p presión en función de la altura en bar y H altura de la ciudad sobre el nivel del mar en m.

3.3.2. Tuberías de baja presión

Son aquellas tuberías ubicadas después del regulador de segunda etapa [45]. Entre los criterios publicados para dimensionar tuberías de baja presión, uno de los más utilizados es la ecuación propuesta por Pole, que se presenta en la ecuación (7) [44]:

$$Q_s = C. \left(\frac{D^5(p_1 - p_2)}{L.d} \right)^{0.5} \quad (7)$$

Donde: Q_s es el flujo volumétrico a condiciones estándar en m³/s, $C = 4.635$ [44], D es el diámetro interno de tubería en m, p_1 es la presión absoluta de entrada a la tubería en Pa, p_2 es la presión absoluta de salida en la tubería en Pa, d es la densidad relativa del gas $d = 1.5$ [5] y L es la longitud equivalente de tubería en m.

De lo expresado en la ecuación (7), se utiliza la diferencia de presión entre los puntos inicial y final del tramo de tubería (tramo comprendido entre el regulador de segunda etapa y la entrada de los equipos de consumo), por tanto, la presión expresada en los criterios es la manométrica, y no la absoluta como en los criterios de media presión, por ende, no importa la altura sobre el nivel del mar donde está ubicada la ciudad [43]. Además, un valor aceptado como diferencia de presión en tramos de baja presión es 150 Pa [33].

3.3.3. Velocidad del gas en tuberías

La velocidad del gas es el valor del caudal dividido por la sección del conducto [36], y puede ser un factor determinante en la optimización de diámetros de tuberías, por el ruido excesivo que puede generar el paso del fluido por la misma. Para calcular la velocidad se emplea la ecuación (8) [46]:

$$v = 360 \cdot \frac{Q}{D^2} \quad (8)$$

En donde: v es la velocidad del gas, en m/s, Q es el caudal en m³/h, y D es el diámetro en mm.

En la Tabla 3 se muestran los valores máximos establecidos de velocidades permitidas para el gas, según la zona por la que discurren las conducciones, a fin de que el ruido que pudiera producirse no llegue a ser molesto.

Velocidad	Ubicación de tubería
30	Red general de distribución y acometidas, conducciones enterradas
20	Red general de distribución y acometidas, conducciones aéreas
10	Instalación común en edificios e instalación individual

[36]

Tabla 3.

Velocidad del gas en tuberías

3.4. Materiales de tuberías

Son varios los materiales de tuberías aceptados para conducción de GLP. La Tabla 4 muestra los materiales aceptados por NFPA 58 [47] para tuberías de GLP con los métodos de unión comúnmente empleados. Adicionalmente, existen normativas que avalan la utilización de la tubería de polietileno aluminio polietileno (P-Al-P) para instalaciones de sistema de gas [6].

Material	Norma de fabricación	Procedimiento de unión
Acero	ASTM A 53 ASTM A106	SMAW
Acero inoxidable	ANSI/CSA 6.26	Pressing fit
Cobre	ASTM B 88 ASTM B 280	Oxi acetileno
Polietileno	ASTM D 2513-09	Termofusión Electrofusión

[26]

Tabla 4.

Materiales aceptados por NFPA 58 para el transporte de GLP

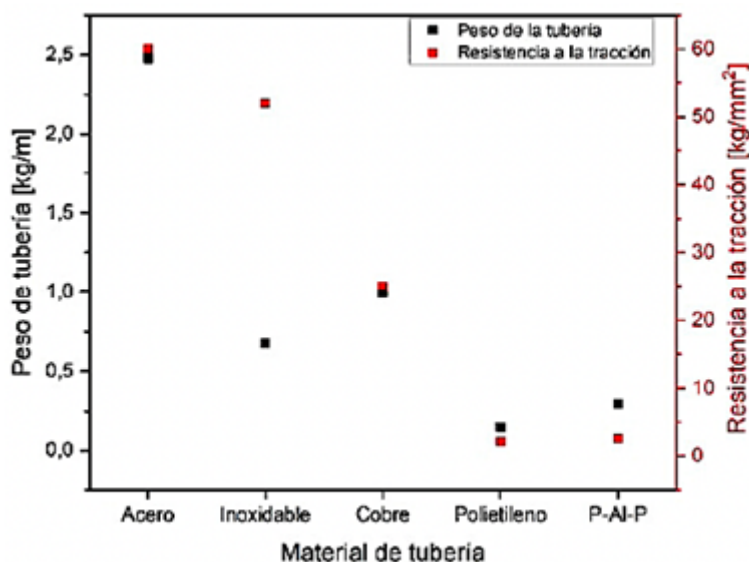
Las tuberías que no son aceptadas para conducción de GLP son:

- Tubería de hierro fundido [35].
- Tubería de plomo [33].

3.5. Criterios de selección de tuberías

Es importante tener en cuenta varios aspectos al seleccionar una tubería para servicio de GLP que pueden marcar la diferencia en el costo total de un sistema, o hacer inviable el montaje del mismo. En la Figura 5 se muestran dos de los criterios utilizados al seleccionar tuberías de GLP.

El peso por unidad de longitud de tubería es importante, sobre todo, en instalaciones en altura (edificios), o cuando se deban considerar trayectos largos. La resistencia a la tracción debe considerarse como un factor importante cuando la tubería se va a instalar en zonas con alta probabilidad de golpes.



[48]

Figura 5.

Factores para seleccionar tuberías de GLP. Adaptado de

Existen factores adicionales que marcan la diferencia al momento de seleccionar tuberías, tales como:

- Contar con el stock suficiente de material para cubrir las necesidades de un proyecto.
- Tener disponibilidad de personal apto para realizar la unión de tuberías con accesorios.
- Disponer de la energía requerida en los equipos de unión de tubería con accesorios

4. Regulación de presión

Es un dispositivo que permite reducir (de forma automática) la presión de entrada del gas a una menor (de salida o “regulada”) pero constante, aguas abajo del punto donde está instalado, manteniéndola dentro de unos límites establecidos para un rango de caudal determinado [36]. Los reguladores de presión pueden ser fijos o ajustables (refiriéndose a la presión de salida). Entre los sistemas de regulación se pueden encontrar sistemas de etapa única (un solo regulador de presión), y sistemas de doble etapa de regulación (regulador de media presión y regulador de baja presión) [49]. El regulador de presión es considerado el corazón de una instalación de GLP, ya que permite compensar las variaciones de presión “aguas arriba”, y entrega la presión y caudal requeridos “aguas abajo”.

4.1. Ubicación de reguladores de presión

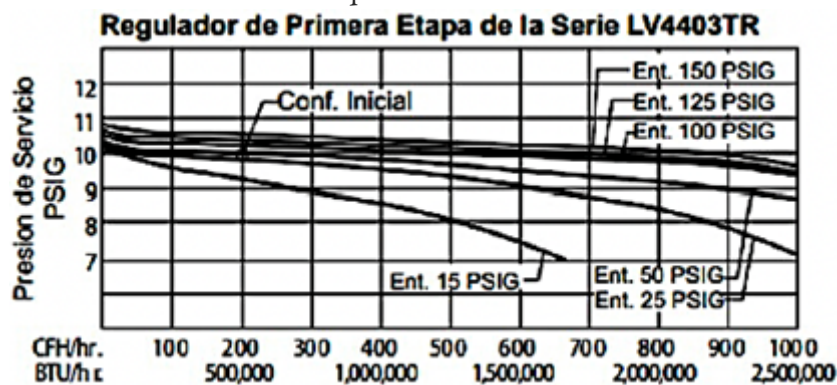
Los reguladores de media presión deberán situarse preferentemente en zonas de las edificaciones que se hallen al aire libre y su accesibilidad deberá ser desde zonas comunitarias de la edificación o bien desde el exterior, en el caso de viviendas unifamiliares [50].

Se podrán instalar en el interior de los recintos destinados a la ubicación de contadores, siempre que estén situados en zonas ventiladas. Cuando los contadores o medidores se ubican en armarios al interior de la edificación, estos armarios deberán ser estancos con respecto al recinto o local donde estén ubicados y el interior de dichos armarios deberá estar ventilado directamente al exterior [51].

Un regulador de presión de única etapa deberá instalarse al exterior de las edificaciones, y, excepcionalmente, podrá instalarse en el interior de las edificaciones, siempre y cuando cuente con una válvula de alivio integrada, cuyo desfogue se lo canalice hacia un ambiente exterior [50].

4.2. Selección de reguladores de presión

En la Figura 6 se muestran las curvas para selección de regulador de presión de primera etapa en función de la demanda energética. Para utilizar la gráfica, se debe partir de un consumo y de una presión de servicio especificados. Con estos datos, se debe considerar una presión mínima en el recipiente, y de acuerdo con el catálogo del fabricante se selecciona el modelo que satisface estas condiciones.

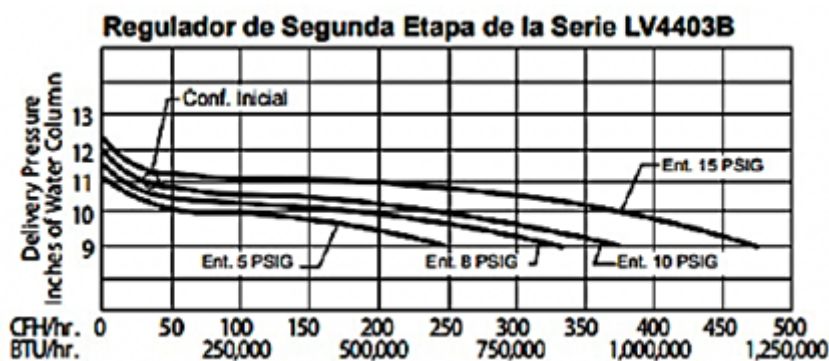


[52]

Figura 6.

Selección de regulador de primera etapa

En la Figura 7 se muestran curvas de selección de regulador de segunda etapa. La lectura y selección de estos reguladores es similar a lo indicado para selección de reguladores de primera etapa.



[52]

Figura 7.

Selección de regulador de segunda etapa

5. Equipos de consumo

Son aquellos elementos que requieren del combustible para poder satisfacer la necesidad de un usuario. Estos equipos deben cumplir algunas características, entre ellas [31]:

- Soportar la acción del gas combustible (GLP).
- Estar diseñados para operar con el gas combustible.
- Soportar la acción del medio exterior en el que se los debe ubicar.

5.1. Accesibilidad de equipos de consumo

Una parte importante de los aparatos de consumo de GLP es que tengan “accesibilidad”, es decir, que puedan estar al alcance de los usuarios para su manipulación y control. Existen tres grados de accesibilidad que se indican en la Tabla 5.

Grado de accesibilidad	Característica
1	Cuando su manipulación se puede realizar sin abrir cerraduras y su acceso no necesita escaleras o medios mecánicos
2	Cuando está protegido por un armario, registro practicable o puerta con cerradura normalizada, y su acceso no necesita escaleras o medios mecánicos
3	Cuando para su manipulación se necesitan escaleras, medios mecánicos especiales o se debe acceder por zona privada, que, aun siendo común, sea de uso privado

[53]

Tabla 5.

Accesibilidad de artefactos de gas

5.2. Potencias de equipos de consumo

La base del dimensionamiento de un sistema de GLP está relacionada con la potencia requerida por los equipos de consumo, la cual debe satisfacerse desde la vaporización natural de los recipientes. Los equipos pueden dividirse en domésticos e industriales, y en la Tabla 6 se muestran potencias típicas de equipos de consumo a GLP.

Artefacto	Potencia [kcal/h]	Artefacto	Potencia [kcal/h]
Termotanque		Calefón	
80 l	6000	5 l/min	10000
150 l	8000	10 l/min	20000
200 l	8200	13 l/min	26400
260 l	8200	16 l/min	31400
Cocina doméstica	8000	Anafe	8000
Cocina semiindustrial	24000	Freidora	9300
Secador de ropa	12700	Calefactor	3000

[53]

Tabla 6.

Potencias típicas de equipos de GLP

Las potencias de consumo de cada uno de los equipos de un sistema deben sumarse, para de esta forma determinar la potencia total. Esta deberá ser afectada por el factor de simultaneidad en el caso de redes domésticas multifamiliares (edificios).

La ecuación (9) muestra la relación de la potencia de consumo afectada por el factor de simultaneidad en caso de sistemas residenciales multifamiliares (edificios) [50].

$$Q_{sc} = \sum Q_{si} \cdot S_{1-2} \quad (9)$$

Donde: QSC es el caudal máximo probable, Qsi es el caudal máximo de cada uno de los equipos de consumo y S1-2 es el factor de simultaneidad según el número de usuarios, establecido en la Tabla 2.

6. Puesta en marcha de los sistemas

Con el fin de garantizar el funcionamiento óptimo del sistema de GLP, previo al suministro del combustible y encendido de los equipos de consumo, es necesario llevar a cabo una serie de pruebas y verificaciones.

6.1. Prueba de hermeticidad

La prueba de hermeticidad o de estanqueidad es indispensable realizarla en todos los sistemas de tuberías previos a su puesta en operación [54]. Esta prueba debe realizarse a una presión superior a la máxima presión de operación (MPO) del sistema conforme lo establecido en la Tabla 7.

Presión de operación [kPa]	Presión de prueba [kPa]	Tiempo de prueba [min]
200 < MOP < 500	> 1.50. MOP	60
10 < MOP < 200	> 1.75. MOP	30
MOP < 10	> 2.50. MOP	15

[6]

Tabla 7.

Presión y tiempos de prueba según la MOP

Esta prueba de hermeticidad deberá realizarse a todos los tramos de tubería, y podrá hacerse por secciones. El resultado de esta prueba debe ser satisfactorio, es decir, que durante la misma no debe haber caída de presión en la red de tuberías, durante el tiempo mínimo establecido. Adicionalmente, se debe llenar un acta con todos los datos recabados durante la prueba y debe llevar la firma de responsabilidad del

profesional técnico encargado de la obra, y de un representante del usuario de la edificación [54]. Si el resultado de la prueba no es satisfactorio, se deberá verificar la ubicación de la posible fuga y realizar la reparación correspondiente.

6.2.Purga

Con el fin de limpiar escombros y basura que pudieran ingresar a la tubería durante la fase de montaje, incluso escoria de la soldadura utilizada, es necesario realizar un barrido o purga de la red antes de la puesta en marcha. Así se elimina esta basura, y no permitir el taponamiento o bloqueo de los reguladores o los quemadores de los equipos de consumo [49].

6.3.Señalización

Con el fin de advertir a personas ajenas al sistema de GLP (almacenamiento, tuberías, equipos), se debe considerar la instalación de letreros de seguridad que alerten sobre el peligro asociado al manejo del gas combustible. Estos letreros deberán estar en lugares visibles y tendrán las dimensiones adecuadas para poder ser distinguidos por los usuarios.

6.4.Protecciones

Los sistemas de GLP deben protegerse de la acción de terceros. El peor fenómeno que puede suceder con un sistema de GLP en el almacenamiento es la formación de la BLEVE por sus siglas en inglés (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) [40]. Este fenómeno es un caso especial de estallido catastrófico de un recipiente a presión en el que ocurre un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentados.

Se hace necesario en el almacenamiento colocar sistemas de enfriamiento a base de agua, los cuales tienen la función de retardar, en caso de fuego alrededor de los recipientes, la formación de este fenómeno, hasta que el fuego pueda ser controlado por parte de la autoridad competente.

6.5.Documentación técnica necesaria

La documentación necesaria que debe tener un proyecto donde se ha instalado un sistema de GLP. Esta documentación deberá ser entregada a la autoridad competente [7] para verificar el cumplimiento de las normativas técnicas y legales vigentes en cada territorio. La documentación técnica como mínimo deberá contener [30]:

- Memoria técnica del proyecto donde se encuentren todos los aspectos tomados en cuenta durante la fase de diseño, construcción, montaje y verificación de idoneidad del sistema de GLP.
- Planos de la instalación con todos los detalles constructivos utilizados durante la fase de montaje.
- Actas firmadas de pruebas de hermeticidad y demás verificaciones efectuadas en el sistema para garantizar el cumplimiento normativo y de seguridad.
- Certificaciones de los elementos utilizados en el sistema, con el fin de comprobar el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos para los mismos.

7. Conclusiones

El GLP es uno de los combustibles de origen fósil más utilizados a nivel residencial, comercial e industrial, y su utilización conlleva riesgos hacia las personas y las edificaciones. Esta revisión recoge los criterios mínimos de seguridad a emplearse en una instalación de GLP.

Es necesario recalcar que este tipo de sistemas deben ser diseñados por profesionales ingenieros que tengan experiencia en el manejo normativo con el fin de brindar al usuario sistemas seguros y eficientes.

Cada sistema tiene su particularidad que lo hace diferente de otros, razón por la cual es indispensable que el responsable técnico del diseño conozca todas las alternativas de materiales, y accesorios aprobados por las normativas con el fin de dar la mejor opción al usuario.

Agradecimientos

A la Escuela Politécnica Nacional EPN-Ecuador, con sus líneas de investigación: Fabricación Sostenible en Procesos de Manufactura y Mitigación de Vibraciones y Eficiencia Energética de Sistemas de Transporte Automotor y Aeronáutico, por el apoyo brindado para la elaboración de este trabajo.

Referencias

- [1] S. Singh, J. Prasad Chakraborty, and M. Kumar Mondal, “Intrinsic kinetics, thermodynamic parameters and reaction mechanism of nonisothermal degradation of torrefied acacia nilotica using isoconversional methods,” *Fuel*, vol. 259, p. 116263, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116263>
- [2] IEA, *Key World Energy Statistics 2021*. International Energy Agency, 2021. [Online]. Available: <https://bit.ly/3rdeLX5>
- [3] K. J. Morganti, T. M. Foong, M. J. Brear, G. da Silva, Y. Yang, and F. L. Dryer, “The research and motor octane numbers of liquefied petroleum gas (lpg),” *Fuel*, vol. 108, pp. 797–811, 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.01.072>
- [4] L. Raslavičius, A. Keršys, S. Mockus, N. Keršiene, and M. Starevičius, “Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, pp. 513–525, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.052>
- [5] NFPA, *Liquefied Petroleum Gas Code*. National Fire Protection Association, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/45WTobz>
- [6] INEN, *NTE INEN 2 260:2010 Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010. [Online]. Available: <https://bit.ly/45YRSFG>
- [7] A. Macías, “Primer foro latinoamericano de adopción e inspección de la normativa NFPA,” *NFPA Journal Latinoamericano*, vol. 3, no. 2, pp. 8–9, 2016.
- [8] —, “La adopción de códigos y normas de seguridad ayuda al desarrollo de nuestros países,” *NFPA Journal Latinoamericano*, vol. 3, no. 2, pp. 4–5, 2014.
- [9] —, “Adoptando NFPA en América Latina,” *NFPA Journal Latinoamericano*, vol. 4, no. 1, p. 6, 2013.
- [10] Naciones Unidas, *Manual de seguridad: Aspectos de inflamabilidad de los gases hidrocarburos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2005. [Online]. Available: <https://bit.ly/45XBVQg>
- [11] K. Sarvestani, O. Ahmadi, S. B. Mortazavi, and H. A. Mahabadi, “Development of a predictive accident model for dynamic risk assessment of propane storage tanks,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 148, pp. 1217–1232, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.02.018>
- [12] F. Chica Segovia, F. Espinoza Molina, and N. Rivera Campoverde, “Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diésel con la finalidad de reducir la contaminación del aire,” *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, no. 4, pp. 73–81, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17163/ings.n4.2010.08>
- [13] R. K. Andadari, P. Mulder, and P. Rietveld, “Energy poverty reduction by fuel switching. impact evaluation of the LPG conversion program in Indonesia,” *Energy Policy*, vol. 66, pp. 436–449, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.021>
- [14] P. Boggavarapu, B. Ray, and R. Ravikrishna, “Thermal efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical studies,” *Fuel*, vol. 116, pp. 709–715, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.054>
- [15] J. Kim, K. Kim, and S. Oh, “An assessment of the ultra-lean combustion direct-injection LPG (liquefied petroleum gas) engine for passenger-car applications under the FTP-75 mode,” *Fuel*

- Processing Technology, vol. 154, pp. 219–226, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.08.036>
- [16] P. Kumar, R. Kaushalendra Rao, and N. H. Reddy, “Sustained uptake of LPG as cleaner cooking fuel in rural India: Role of affordability, accessibility, and awareness,” *World Development Perspectives*, vol. 4, pp. 33–37, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2016.12.001>
- [17] K. Thoday, P. Benjamin, M. Gan, and E. Puzzolo, “The mega conversion program from kerosene to LPG in Indonesia: Lessons learned and recommendations for future clean cooking energy expansion,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 46, pp. 71–81, 2018, Scaling Up Clean Fuel Cooking Programs. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.011>
- [18] M. I. al Irsyad, T. Anggono, C. Anditya, I. Ruslan, D. G. Cendrawati, and R. Nepal, “Assessing the feasibility of a migration policy from LPG cookers to induction cookers to reduce LPG subsidies,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 70, pp. 239–246, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.08.003>
- [19] B. Ouedraogo, “Household energy preferences for cooking in urban Ouagadougou, Burkina Faso,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 3787–3795, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.09.006>
- [20] K. Adjei-Mantey and K. Takeuchi, “Supply-side factors of LPG adoption and usage frequency in Ghana: Assessing the validity of subjective distance to refill,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 70, pp. 475–481, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.08.021>
- [21] D. Kimemia and H. Annegarn, “Domestic LPG interventions in South Africa: Challenges and Lessons,” *Energy Policy*, vol. 93, pp. 150–156, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.005>
- [22] K. Troncoso, P. Segurado, M. Aguilar, and A. Soares da Silva, “Adoption of LPG for cooking in two rural communities of Chiapas, Mexico,” *Energy Policy*, vol. 133, p. 110925, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110925>
- [23] G. M. Jannuzzi and G. A. Sanga, “LPG subsidies in Brazil: an estimate,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 8, no. 3, pp. 127–129, 2004. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60474-3](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60474-3)
- [24] C. F. Gould, S. B. Schlesinger, E. Molina, M. L. Bejarano, A. Valarezo, and D. W. Jack, “Household fuel mixes in peri-urban and rural Ecuador: Explaining the context of LPG, patterns of continued firewood use, and the challenges of induction cooking,” *Energy Policy*, vol. 136, p. 111053, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111053>
- [25] S. L. Pollard, K. N. Williams, C. J. O’Brien, A. Winiker, E. Puzzolo, J. L. Kephart, M. Fandiño-Del-Rio, C. Tarazona-Meza, M. R. Grigsby, M. Chiang, and W. Checkley, “An evaluation of the Fondo de inclusión social energético program to promote access to liquefied petroleum gas in Peru,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 46, pp. 82–93, 2018, Scaling Up Clean Fuel Cooking Programs. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.06.001>
- [26] D. Venegas, J. Yáñez, S. Celi, C. Ayabaca, L. Tipanluisa, D. Bastidas, and M. Arrocha, “Materiales recomendados por las normas internacionales para utilizar en una instalación de GLP,” *Asociación Española de Ingeniería Mecánica*, pp. 599–606, 2016. [Online]. Available: <https://bit.ly/3PLhCji>
- [27] D. Venegas Vásquez and O. Farías, “La BLEVE, un motivo para la seguridad en las instalaciones de GLP,” in *13 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, 10 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/45WAPUF>
- [28] J. I. Chang and C.-C. Lin, “A study of storage tank accidents,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 19, no. 1, pp. 51–59, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015>

- [29] D. Venegas Vásconez, J. Yáñez, S. Celi, C. Ayabaca Sarria, L. Tipanluisa, D. Bastidas, and M. Carrera, “Mantenimiento necesario en instalaciones de GLP,” in XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, 11 2016, pp. 353–360. [Online]. Available: <https://bit.ly/2LeqSf0>
- [30] D. Venegas Vásconez, C. Ayabaca Sarria, S. Celi Ortega, and J. Rocha Hoyos, “El riesgo en el almacenamiento de GLP en el Ecuador,” INNOVA Research Journal, vol. 3, no. 1, pp. 19–29, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n1.2018.331>
- [31] D. Venegas Vásconez, “Sistemas de gas licuado de petróleo: Ingeniería y normas técnicas en pro de la seguridad,” Construcción y Servicios, 2022. [Online]. Available: <https://bit.ly/46dvNms>
- [32] D. Venegas Vásconez, C. Ayabaca Sarria, S. Ortega, J. Rocha Hoyos, and E. Mena Mena, “Optimización en el dimensionamiento de un sistema industrial de gas licuado de petróleo,” I+D Tecnológico, vol. 14, no. 1, pp. 41–48, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33412/idt.v14.1.1801>
- [33] Ministerio de Economía, Decreto 66 Reglamento de Instalaciones Interiores y Medidores de Gas. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2007. [Online]. Available: <https://bit.ly/3Lvs5Ns>
- [34] D. Venegas Vásconez and C. Ayabaca Sarria, “Análisis del almacenamiento en sistemas de gas licuado de petróleo: tanques estacionarios vs. cilindros,” Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología, no. 22, pp. 113–122, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.11>
- [35] NFPA, National Fuel Gas Code: NFPA 54 ANSI Z223. National Fire Protection Association, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ZmRuOV>
- [36] J. E. López Sopeña, Manual de instalaciones de GLP. CEPSA, 2001. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ZsajAr>
- [37] E. A. Hernández Martín and A. M. García Gascó, Especificaciones técnicas CONAIFSEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes tipos A, B y C. Cálculo de instalaciones receptoras. CONAIPSEDIGAS Certificación, 2008. [Online]. Available: <https://bit.ly/45XmiIF>
- [38] D. Venegas Vásconez, “Falencias en el almacenamiento de GLP en Chile,” in Congreso Panamericano COPIMERA XXVI 2017, 10 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ZtJ7B5>
- [39] —, “Ubicación de recipientes para GLP en terrazas,” Construcción y Servicios, vol. 1, 01 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/3PLQr85>
- [40] M. Bestratén Bellovi and E. Turmo Sierra, NTP 293: Explosiones BLEVE (I): Evaluación de la radiación térmica. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, s/n. [Online]. Available: <https://bit.ly/3LxrPgS>
- [41] ASME, ASME A13.1 - 2020: Scheme for the Identification of Piping Systems. The American Society of Mechanical Engineers, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/3sYMXGd>
- [42] INEN, NTE INEN 439:1984 Colores, señales y símbolos de seguridad. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984. [Online]. Available: <https://bit.ly/3rJYY1>
- [43] D. Venegas-Vásconez, C. Ayabaca-Sarria, R. Reina-Guzmán, and O. Farías-Fuentes, “Optimización dimensional de tuberías de gas licuado de petróleo en sistemas industriales,” in XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 2022. [Online]. Available: <https://bit.ly/3EMMn11>
- [44] P. M. Coelho and C. Pinho, “Considerations about equations for steady state flow in natural gas pipelines,” Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 29, no. 3, pp. 262–273, Jul 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/S1678-58782007000300005>
- [45] D. Venegas Vásconez, “Materiales para instalaciones de gas licuado de petróleo según NFPA,” in Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales 16 SAM CONAMET, 11 2016. [Online]. Available: <https://bit.ly/460zwUO>
- [46] UNE, UNE 60670-6:2014 Instalaciones receptoras de gas suministradas a una presión máxima de operación (MOP) inferior o igual a 5 bar. Asociación Española de Normalización, 2014. [Online]. Available: <https://bit.ly/3rreU99>

- [47] NFPA, NFPA 58 Código del Gas Licuado de Petróleo, edición 2014. National Fire Protection Association, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/48yVwrM>
- [48] D. Venegas, C. Ayabaca, S. Celi, J. Rocha, and E. Mena, “Factores para seleccionar tuberías de conducción de gas licuado de petróleo en el Ecuador,” *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, no. 19, pp. 51–58, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.05>
- [49] REGO, Catálogo L-102-SV. Equipo de GLP y amoníaco anhidro. REGO Products, 2023. [Online]. Available: <https://bit.ly/44ZY11S>
- [50] INDECOPI, Instalaciones internas de GLP para consumidores directos y redes de distribución interna. Norma Técnica Peruana, 2008. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ENSyqe>
- [51] J. Landete Morato and M. Enguidanos Javega, Guía Instalaciones de gas. Generalitat Valenciana, 2007. [Online]. Available: <https://bit.ly/46dTCvb>
- [52] REGO, L-500 Catalog Regulators and Accessories. REGO Products, 2023. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ELXpnb>
- [53] UNE, UNE 60621-1:1996 Instalaciones receptoras de gas para usos industriales suministradas en media y baja presión. Parte 1: Generalidades. Asociación Española de Normalización, 1996. [Online]. Available: <https://bit.ly/48z9LwK>
- [54] D. Venegas Vásquez, “La importancia de la prueba de hermeticidad en las tuberías de gas,” *Construcción y Servicios*, vol. 1, 01 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/2Yc9pY1>

Enlace alternativo

<https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/7315> (html)