

Manejo del gas licuado de petróleo en Panamá

Handling of liquefied petroleum gas in Panama

Diego Venegas Vásquez^{1*}, Santiago Celi Ortega², Juan Rocha Hoyos³, Cesar Ayabaca Sarria⁴, Euro Mena Mena⁵

¹Facultad de Ingeniería Universidad de Concepción, ²Facultad de Arquitectura e Ingeniería Universidad Internacional SEK, ³Facultad de Arquitectura e Ingeniería Universidad Internacional SEK, ⁴Departamento de Ingeniería Mecánica Escuela Politécnica Nacional, ⁵Departamento de Energía y Mecánica Universidad de las Fuerzas Armadas
¹diegofvenegas@udec.cl, ²santiago.celi@uisek.edu.ec, ³carlos.rocha@uisek.edu.e, ⁴cesar.ayabaca@epn.edu.ec, ⁵ermena@espe.edu.ec

Resumen— Para satisfacer varias de las necesidades energéticas en Panamá se utiliza el gas licuado de petróleo (GLP) en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Para poder utilizar este combustible se requiere de sistemas que incluyen recipientes para el almacenamiento y tuberías para su transporte hacia los equipos de consumo. La instalación de estos sistemas debe satisfacer requerimientos mínimos de seguridad establecidos por normas nacionales e internacionales que la Autoridad Competente del país reconoce y adopta. Se han podido verificar algunas fallas recurrentes en instalaciones para este combustible en Panamá, por lo cual este documento no solamente indica estos no cumplimientos con los lineamientos mínimos establecidos en las normas nacionales e internacionales, sino que plantea algunas recomendaciones destinadas a mejorar la seguridad y reducir el riesgo que genera el manejo de este combustible en el territorio panameño.

Palabras claves— Gas licuado de petróleo, normas técnicas, recipientes, tuberías, seguridad, instalaciones en Panamá.

Abstract— To meet several of the energy needs in Panama, liquefied petroleum gas (LPG) is used in residential, commercial and industrial applications. In order to use this fuel, systems are required that include vessels and pipes for transportation to consumer equipment. The installation of these systems must meet minimum safety requirements established by national and international standards that the Competent Authority of the country recognizes and adopts. It has been possible to verify some recurring faults in facilities for this fuel in Panama, so that this document not only indicates these non-compliances with the minimum guidelines established in national and international standards, but also proposes some recommendations aimed at improving safety and reducing the risk generated by the handling of this fuel in the Panamanian territory.

Keywords— Liquefied petroleum gas, technical standards, vessels, pipelines, security, installations in Panama.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 5 de junio de 2017

Fecha de Aceptación: 25 de septiembre de 2017

1. Introducción

El gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible muy explosivo e inflamable [1] utilizado como fuente de energía en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales [2], el cual brinda varias ventajas entre las que se pueden mencionar:

- Satisface varias necesidades energéticas [3].
- Alto poder calorífico comparado con otras fuentes de energía [4].
- Limpio en términos de emisiones de gases contaminantes [5].

- Es fácil de transportarlo y almacenarlo reduciendo su temperatura y aumentando su presión [6].
- No es tóxico para el ser humano [7].

En Panamá se utiliza este combustible como fuente de energía para equipos residenciales (cocción de alimentos, calentamiento de agua, secado de ropa), comercial (cocción de alimentos) e industrial (hornos, calderas, entre otros), y para llegar a estos equipos de consumo se utilizan cilindros o tanques para su almacenamiento y tuberías para su transporte.

La Autoridad Competente de Panamá [8] regula con Normas y Reglamentos la utilización del GLP, y como

un proceso de adopción [9][10][11], está recurriendo a los Códigos y Normas establecidos por la National Fire Protection Association (NFPA), la cual mantiene reuniones a nivel mundial [12] y regional [13] con el fin de precautelar la seguridad e integridad humana y física.

Para el GLP, las normas bases de NFPA son la NFPA 58 [14] y NFPA 54 [15], las cuales establecen

los criterios mínimos que deben establecerse al momento de dimensionar, planificar y ejecutar instalaciones del combustible en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.

En cuanto al almacenamiento, NFPA 58 establece las distancias mínimas de seguridad desde los recipientes hacia terceros, que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Materiales recomendados para instalaciones de GLP [14]

Capacidad de agua por recipiente		Distancias mínimas					
		Recipientes subterráneos o en montículo ^a		Recipientes sobre superficie ^b		Entre Recipientes ^c	
gal	m ³	pies	m	pies	m	pies	m
<125 ^d	<0,5 ^d	10	3	0 ^e	0 ^e	0	0
125-250	0,5-1,0	10	3	10	3	0	0
251-500	1,0+ -1,9	10	3	10	3	3	1
501-2000	1,9+ -7,6	10	3	25 ^f	7,6	3	1
2001-30.000	7,6+ -114	50	15	50	15	5	1,5
30.001-70.000	114+ -265	50	15	75	23		
70.001-90.000	265+ -341	50	15	100	30		
90.001-120.000	341+ -454	50	15	125	38	¼ de la suma de los diámetros de recipientes adyacentes	
120.001-200.000	454+ -757	50	15	200	61		
200.001-1.000.000	757+ -3785	50	15	300	91		
>1.000.000	>3785	50	15	400	122		

Para el transporte del combustible desde los recipientes hasta los puntos de consumo, se utilizan tuberías de varios materiales mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Materiales aceptados para conducción de GLP según NFPA con sus normas de fabricación

Tubería	Norma de referencia
Acero	ASTM A 53 [16] ASTM A106 [17]
Acero inoxidable	ANSI/CSA 6.26 [18]
Cobre	ASTM B 88 [19] ASTM B 280 [20]
Polietileno	ASTM D 2513-09 [21]

Este trabajo presenta las deficiencias más recurrentes observadas desde el punto de vista de la seguridad en instalaciones de GLP en Panamá, los incumplimientos de las Normas aplicables para este

tipo de sistemas y las formas como se puede mejorar y corregir estos aspectos.

Las recomendaciones y conclusiones de este trabajo son emitidas desde un punto de vista de seguridad, ya que el interés es crear conciencia de prevención en los usuarios. Por el gran incremento de edificios de departamentos en Panamá, deficiencias de seguridad en estos afectarán a la integridad de gran cantidad de usuarios, lo mismo aplica como principio de seguridad en sistemas de GLP comerciales, ubicados cerca a grandes concentraciones de público.

2. Metodología

Como parte del servicio brindado por PLOPINS S.A. para diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de GLP, han sido visitados 50 usuarios entre residencias, comercios e industrias (tabla 3), principalmente ubicados en ciudad de Panamá y también en Chiriquí, que han solicitado servicios para

sus sistemas de GLP y se han podido detectar falencias de seguridad tanto en el almacenamiento como en las tuberías de transporte del combustible.

Tabla 3: Cantidad de usuarios sobre los cuales se hace el estudio

Usuarios	Cantidad
Residencial	26
Comercial	18
Industrial	6
Total	50

En base a la experiencia adquirida y las capacitaciones recibidas sobre manejos normativos de NFPA se plantean las deficiencias más recurrentes desde el punto de vista de seguridad en instalaciones de GLP. Esto desemboca en acciones a realizar para mejorar y precautelar la integridad física y humana en territorio panameño.

3. Presentación de resultados

Al ser el GLP un combustible, su manipulación genera riesgos, las fugas pueden ocasionar incidentes con consecuencias graves para los usuarios, y en caso de una fuga de líquido, al contacto con la atmósfera la expansión se produce con una relación en volumen de 273/1 [22]. Las observaciones de inseguridad se han centrado sobre dos partes sensibles dentro de las instalaciones de GLP:

3.1 Almacenamiento

El almacenamiento del GLP se tiene en cilindros para recambio y en tanques estacionarios cuya recarga se la hace en sitio a través de camiones cisterna. Hay varios incumplimientos con los requerimientos mínimos de seguridad exigidos en las normativas, y en algunos casos estos incumplimientos son en más de uno de los ítems marcados los principales problemas encontrados en instalaciones son los siguientes:

3.1.1 Tanques al alcance de la manipulación de público

Se pueden observar recipientes de almacenamiento instalados en espacios públicos, o espacios privados, pero que no tienen protección, ni restricción al paso de extraños que pueden manipular los accesorios del

recipiente, y pueden ocasionar un accidente, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Tanque en espacio al alcance de la manipulación de terceras personas.

3.1.2 Ubicación junto a motores de combustión

Siendo un combustible muy inflamable [1], es obvio pensar que debe establecerse distancias de seguridad desde un recipiente de almacenamiento de GLP hacia equipos y maquinarias que funcionen con motores de combustión, los cuales durante el proceso de encendido generan chispas. La figura 2 muestra un tanque estacionario de 0,5 m³ ubicado junto a un estacionamiento vehicular.



Figura 2. Tanque junto a vehículo a motor.

Ubicar recipientes en zonas de estacionamientos no es recomendable, ya que en ellas se producen chispas durante el encendido de los vehículos, y esto puede ser el detonante en caso de una fuga del combustible.

Tampoco es aconsejable que el recipiente se encuentre bajo la edificación, ya que obstruye la línea de desfogue de la válvula de alivio instalada en él.

3.1.3 Ubicación junto a grasas y combustibles

Por regla general no se debe tener el almacenamiento del combustible junto a otras fuentes combustibles que pueden magnificar un incidente en presencia de fuego. La figura 3 muestra un tanque estacionario de 2 m³ de capacidad junto a recipientes de almacenamiento de grasas y combustibles.



Figura 3. Tanque junto a recipientes de almacenamiento de grasas y combustibles.

3.1.4 Recipientes que no satisfacen la demanda de vaporización

Al interior de los recipientes se produce la vaporización o cambio de fase de líquido a vapor por la transferencia de calor desde la atmósfera hacia el combustible, a través de las paredes de éstos. El vapor transformado es el que va hacia los equipos de consumo a través de las tuberías.

La superficie del recipiente delimitada por el GLP que está en estado líquido se conoce como “zona mojada”, mientras mayor sea esta zona mojada, mayor será la capacidad de vaporización [23].

Mientras mayor es el tamaño del recipiente, mayor es la zona mojada y por lo tanto mayor es la capacidad de vaporización. También habrá más vaporización si la temperatura exterior al recipiente es mayor.

Si ya no se puede producir la vaporización en un recipiente, este no entregará el suficiente caudal de gas, ni a la presión adecuada para el buen funcionamiento de los equipos. El GLP no entregado al consumo se llama remanente [24], el cual en los cilindros es

devuelto a la comercializadora provocando un perjuicio al usuario.

Para vaporizar más combustible en los cilindros, estos son ubicados dentro de recipientes llenos de agua caliente, con el fin de incrementar la temperatura exterior y alcanzar una mayor vaporización (figura 4).



Figura 4. Cilindro al que se le “ayuda” a vaporizar.

3.1.5 Resultados de falencias en el abastecimiento

La figura 5 corresponde a los problemas más recurrentes observados específicamente en la parte del abastecimiento. Cabe indicar que algunos usuarios tienen más de una observación deficiente.

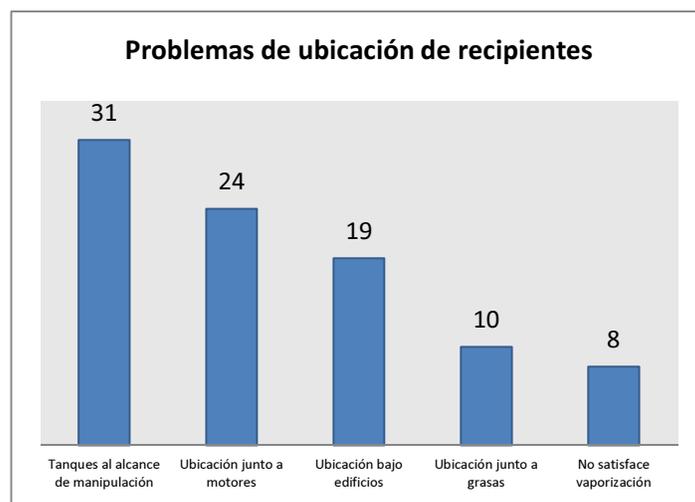


Figura 5. Problemas de ubicación de recipientes.

3.2 Transporte por tuberías

El transporte del combustible desde los recipientes a los puntos de consumo se realiza a través de tuberías, las cuales deben cumplir con las normas de fabricación

que se indicaron en la tabla 1, y además deben cumplir con lo siguiente [25][26][27]:

- Deben ser compatibles químicamente con el combustible.
- Deben soportar las condiciones de uso de presión y caudal requeridos en los equipos, con una caída de presión del 10% como máximo permitido.
- Deben soportar las pruebas y ensayos de verificación, calificación y recalificación.

Los problemas más recurrentes con respecto a las tuberías de conducción son los siguientes:

3.2.1 Instalación con materiales no aprobados por NFPA

Uno de los materiales que se están utilizando en instalaciones al interior de edificios de departamentos por la facilidad que involucra en su instalación desenvolver rollos, es la tubería de polietileno-aluminio-polietileno, sin embargo esta tubería no está aprobada por NFPA. El mayor problema visto con esta tubería es que los instaladores no toman en cuenta las curvaturas al instalarla, y durante el montaje se las miden y cortan en tramos como si fueran rectas, y al pretender empalmarlas no alcanzan, por lo que hay que completar con tramos pequeños y uniones en espacios reducidos, lo que incrementa la probabilidad de aparición de fugas, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Tubería de P-Al-P instalada al interior de edificios.

A esto se debe sumar que en este tipo de instalaciones con P-Al-P se están quitando las manijas de las válvulas que controlan el flujo del combustible para varios usuarios, lo cual no es deseable, ya que, en

caso de fugas, bastaría con cerrar estas válvulas para cortar el flujo del combustible mientras se realizan las reparaciones del caso (figura 7).



Figura 7. Tubería de P-Al-P instalada al interior de edificios.

3.2.2 Falta de mantenimiento en tuberías

Aquellas tuberías que atraviesan espacios grasosos, se contaminan con esa grasa, y el problema se agudiza cuando no reciben mantenimiento ni limpieza por parte de los usuarios [28] (figura 8).

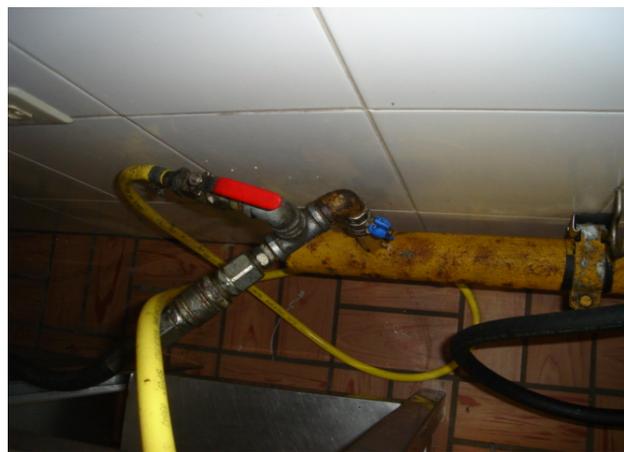


Figura 8. Tuberías en espacios de rasa que no han recibido limpieza ni mantenimiento.

Como falta de mantenimiento también se observan tuberías metálicas oxidadas, estas tuberías deben ser repintadas de acuerdo a los colores identificativos para GLP (amarillo ocre).

3.2.3 Tuberías empotradas

No es agradable para la vista una tubería de color amarillo cuando esta tiene que atravesar un ambiente por lo cual es muy común ocultarlas. Esto hace que se las instale empotradas, es decir que pasen a ser parte estructural de la edificación [22], y en caso de una fuga, para poder acceder a ella a inspeccionarla hay que destrozar todo aquello que la cubre (figura 9).



Figura 9. Tubería empotrada de GLP.

3.2.4 Modificaciones a la instalación original

Una de las prácticas más rutinarias en el comercio y la industria es realizar modificaciones a la instalación original. Estas modificaciones están asociadas al incremento de equipos de consumo, y se observa que estos incrementos no son realizados por personal calificado para el efecto (figura 10).



Figura 10. Modificaciones a instalación original.

3.2.5 Ubicación incorrecta de tuberías

La instalación de tuberías plásticas de polietileno está autorizada únicamente para aplicaciones enterradas [27].

Cuando se las instala vistas (figura 11), al entrar en contacto con los rayos solares, éstas se cristalizan, fragilizan, y se incrementa la probabilidad de ruptura y fuga del combustible.

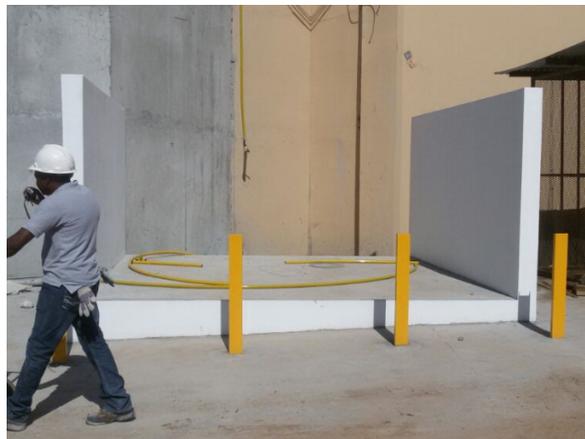


Figura 11. Tubería de polietileno instalada vista y a la intemperie.

3.2.6 Utilización de mangueras para servicio no especificado

Las mangueras de conexión a los equipos deben ser especificadas para conducir el combustible y deben soportar la presión de operación.

En la figura 12 se muestra un cilindro que ha sido conectado con una manguera para servicio de agua.



Figura 12. Manguera plástica para agua utilizada en la conexión de aparatos a gas.

3.2.7 Resultados de falencias en el transporte del combustible

En la figura 13 se pueden observar los problemas

más reiterativos en cuanto al montaje de las tuberías y conexiones de los sistemas de combustible.

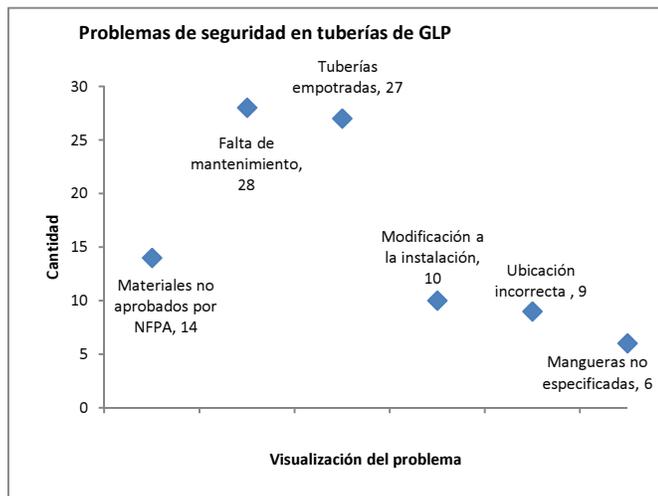


Figura 13. Problemas en tuberías de GLP.

4. Análisis de resultados

Se dividió en dos zonas los problemas encontrados: en el almacenamiento (recipientes), y en el transporte (tuberías), por las diferentes fases que se encuentran en estas dos áreas (líquido y vapor respectivamente).

La parte más crítica para el análisis de seguridad en un sistema de gas licuado de petróleo está en el almacenamiento (ubicación de recipientes), ya que aquí se maneja el combustible en fase líquida, y una fuga en esta fase equivale volumétricamente a 273 veces más que tener una fuga en fase vapor (en las tuberías y accesorios) [22].

Los accidentes ocasionados con fugas de combustible en fase líquida desencadenan en la Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion “BLEVE” [29], que es una súbita explosión ocasionada por una fuga de líquido que súbitamente se expande, genera una liberación brusca de gran cantidad de energía [30] y destruye todo lo que encuentra en su paso [31][32].

Dada la devastación ocasionada por este fenómeno con reporte de accidentes graves a nivel mundial [33], muchos esfuerzos se concentran en minimizar su ocurrencia [34].

Los reportes sobre accidentes en fase vapor ocasionados por fugas en tuberías y accesorios deben tenerse en cuenta, ya que estos ocurren al interior de viviendas, locales comerciales e industrias, y afectan gravemente a cientos de personas [35][36][37][38].

Más alarmante es el hecho que los resultados mostrados en las figuras 5 y 13 reflejan que existen varios usuarios que tienen más de uno de los problemas en sus sistemas instalados, lo cual incrementa la probabilidad de ocurrencia de un accidente. Por ejemplo en la figura 14 se muestra un tanque horizontal de 2 m³ de una instalación comercial que esta accesible a que terceras personas lo puedan manipular, en un sitio de estacionamiento cercano al accionamiento de motores, ubicado en bases que no son firmes y sin anclaje a estas bases de concreto.

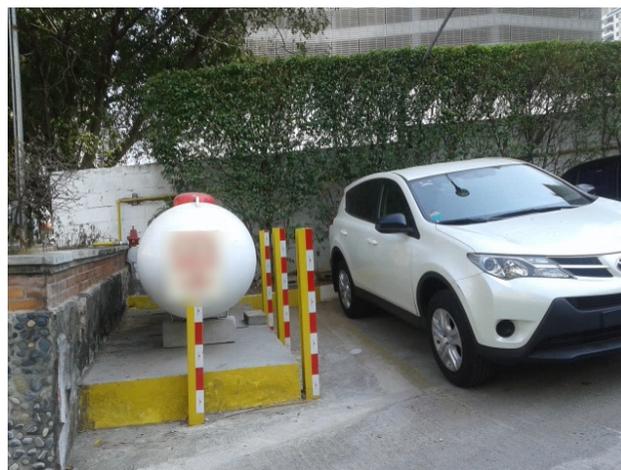


Figura 14. Tanque de GLP junto a motores de combustión, accesible a manipuleo, y sin anclaje fijo.

La figura 15 muestra una combinación de malas prácticas en las tuberías de conducción de GLP.



Figura 15. Falencias en instalación de tuberías de conducción de GLP.

Se ha mostrado una tubería de acero empotrada sobre la cual se hace una derivación en cobre (también empotrada), con una válvula sin la manija de control,

que en caso de una emergencia no está disponible para cierre, y finalmente se observan en las uniones acumulación de grasa, signo que la tubería no ha recibido mantenimiento.

5. Acciones a tener en cuenta para mejorar la seguridad de las instalaciones de GLP en Panamá

La cantidad de usuarios sobre los cuales se ha realizado este análisis es menor comparado con la totalidad de usuarios que utilizan el combustible en Panamá, sin embargo, la ocurrencia de un incidente como una BLEVE o una fuga de gas en fase gaseosa puede involucrar a una gran cantidad de inocentes, los cuales son ajenos a una instalación con problemas.

En instalaciones residenciales estos incidentes suelen acontecer por desconocimiento del sistema instalado y del manejo de los elementos de prevención y seguridad. En los usuarios comerciales e industriales se observa exceso de confianza sobre la seguridad en el manejo del combustible por lo que se descuidan aspectos básicos como el mantenimiento que se debe dar a estos sistemas.

Entre las acciones a tomar en cuenta para el almacenamiento y el transporte del GLP, cumpliendo con los lineamientos mínimos de la Norma Técnica NFPA 58 [14] se pueden mencionar las siguientes:

- Respetar las distancias de seguridad desde los tanques de almacenamiento hasta terceros (tabla 1) con el fin de separar a estos de posibles puntos fuentes de ignición o que pueden magnificar eventos en presencia de fuego.
- No realizar modificaciones de las instalaciones sin las recomendaciones de personal técnico calificado.
- No utilizar materiales no previstos en la norma para conducción del combustible.
- Utilizar los métodos de unión recomendados para los materiales con sus accesorios con el fin de garantizar la hermeticidad.
- Es responsabilidad de los usuarios asesorarse con personal calificado con el fin de disponer de planes de mantenimiento para sus instalaciones.
- Es responsabilidad de la autoridad competente disponer las acciones para supervisión e inspección de los sistemas de GLP cada cierto tiempo, con el fin de garantizar los requerimientos mínimos exigidos en la Norma por parte de los usuarios.

6. Conclusiones

- Las normas y reglamentos establecidos para sistemas de GLP establecen los lineamientos mínimos de seguridad que se deben tener en cuenta en las mismas, por tanto todas las acciones tomadas en pro de la seguridad y que estén sobre dichas normas son válidas y acogidas.
- El riesgo del manejo de un combustible se puede ver magnificado cuando los sistemas que lo almacenan y transportan no brindan condiciones mínimas que están establecidas en normas de referencias tanto nacionales como internacionales.
- El área de mayor riesgo de un sistema de GLP es aquella que contiene los recipientes de almacenamiento del combustible, por lo que las acciones de prevención deben garantizar que estos espacios sean lo más seguro posibles, y que estos recipientes estén alejados de posibles puntos de ignición.
- Cada tubería tiene su aplicación y sus formas correctas de instalarlas, y deben ser instaladas por personal calificado para el efecto.
- Siendo el GLP un combustible de uso generalizado en la población panameña, la seguridad que deben brindar sus sistemas deben interesar a todos, desde el Gobierno Nacional representado por la autoridad competente, pasando por las comercializadoras del combustible, hasta el usuario final.

7. Referencias

- [1] M. A. Johnsen and G. Nardini, "Manual de seguridad: Aspectos de inflamabilidad de los gases hidrocarburos," Naciones Unidas, 2009. [Online]. Available: <http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/4487-s-safetyfirst.pdf>.
- [2] K. J. Morganti, T. Mun, M. J. Brear, Y. Yang, and F. L. Dryer, "The Research and Motor octane numbers of Liquefied Petroleum Gas (LPG)," *Fuel*, vol. 108, pp. 797–811, 2013.
- [3] R. Kities, 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.
- [4] P. Boggavarapu, B. Ray, and R. V Ravikrishna, "Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners : Experimental and numerical studies," *Fuel*, vol. 116, pp. 709–715, 2014.
- [5] L. Raslavi, S. Mockus, N. Ker, and M. Starevi, "Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 513–525, 2014.

- [6] D. Venegas and C. Ayabaca, *Instalaciones de gas licuado de petróleo*, First Edit. 2017.
- [7] F. Chica, F. Espinoza, and N. Rivera, "Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diésel con la finalidad de reducir la contaminación del aire," *Ingenius Rev. Cienc. y Tecnol.*, vol. 4, pp. 73–81, 2010.
- [8] Gobierno de Panamá, "Decreto Ejecutivo N.- 25,340 Establecimientos que se dedican a la venta de gas licuado de petróleo para uso automotor," 2005.
- [9] A. Macías, "El proceso de adopción en América Latina," *NFPA J. Latinoam.*, vol. 2, no. 1, p. 6, 2015.
- [10] A. Macías, "Adoptando NFPA en América Latina," *NFPA J. Latinoam.*, vol. 4, no. 1, p. 6, 2013.
- [11] A. Macías, "La adopción de códigos y normas de seguridad ayuda al desarrollo de nuestros países," *NFPA J. Latinoam.*, vol. 3, no. 2, pp. 4–5, 2014.
- [12] D. Bliss, "Normas sin fronteras," *NFPA J. Latinoam.*, vol. 2, no. 1, p. 6, 2016.
- [13] A. Macías, "Primer Foro Latinoamericano de Adopción e Inspección de la Normativa NFPA," *NFPA J. Latinoam.*, vol. 3, no. 2, pp. 8–9, 2016.
- [14] NFPA, *NFPA 58 Código del Gas Licuado de Petróleo Edición 2014*. National Fire Protection Association, 2014.
- [15] NFPA, *NFPA 54 Código Nacional de Gas Combustible*. National Fire Protection Association, 2012.
- [16] ASTM, *ASTM A 53, Especificación estandarizada para tubos, de acero, negro y galvanizado en caliente, con y sin costura*. American Society of Testing and Materials, 1999.
- [17] ASTM, *ASTM A 106, Especificación estandarizada para tubos de acero al carbono sin costura para servicio a altas temperaturas*. American Society of Testing and Materials, 1999.
- [18] ANSI/AGA, *ANSI/AGA LC-1, Sistemas interiores de tuberías de gas combustible que utilizan tuberías de acero inoxidable corrugado*. ANSI/AGA, 1991.
- [19] ASTM, *ASTM B 88, Especificación estandarizada para tubos de cobre sin costura para agua*. American Society of Testing and Materials, 1999.
- [20] ASTM, *ASTM B 280, Especificación estandarizada para tubos de cobre sin costura para servicios de aire acondicionado y refrigeración in situ*. American Society of Testing and Materials, 1999.
- [21] ASTM, *ASTM D 2513, Especificación estandarizada para tuberías y accesorios termoplásticos para gas a presión*. American Society of Testing and Materials, 2000.
- [22] R. Pérez Carmona, *Diseño de instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*, 3a Edición. Bogotá, 2001.
- [23] S. P. Kumar, B. V. S. S. S. Prasad, G. Venkatarathnam, K. Ramamurthi, and S. S. Murthy, "Influence of surface evaporation on stratification in liquid hydrogen tanks of different aspect ratios," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 32, pp. 1954–1960, 2007.
- [24] H. Albán, "Agencia de Regulación y Control Hidrocarburofero (ARCH) Comercialización del gas licuado de petróleo en el Ecuador," 2016.
- [25] RegO Products, "RegO Catálogo L-102-SV Equipo de Gas LP y Amoníaco Anhidro," 2011. [Online]. Available: <http://www.regoproducts.com/pdfs/L-102SV.pdf>.
- [26] J. Fuentes Rojas and J. Celis, "Instalaciones de gas natural," 2004. [Online]. Available: http://insanita.weebly.com/uploads/5/4/0/0/5400602/instalaciones_de_gas_natural.pdf.
- [27] D. Venegas, J. Yanez, S. Celi, C. Ayabaca, L. Tipanluisa, D. Bastidas, and M. Arrocha, "Materiales recomendados por las Normas Internacionales para utilizar en una instalación de GLP," in *Asociación Española de Ingeniería Mecánica*, 2016.
- [28] D. Venegas, J. Yanez, S. Celi, C. Ayabaca, L. Tipanluisa, D. Bastidas, and M. Arrocha, "Mantenimiento necesario en instalaciones de GLP," in *Asociación Española de Ingeniería Mecánica*, 2016.
- [29] R. K. Eckhoff, "Boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVEs): A brief review," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 32, no. 1, pp. 30–43, 2014.
- [30] G. R. Astbury, "A review of the properties and hazards of some alternative fuels," vol. 6, no. January, pp. 397–414, 2008.
- [31] T. Abbasi and S. A. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management," *J. Hazard. Mater.*, vol. 141, pp. 489–519, 2007.
- [32] G. A. Pinhasi, A. Ullmann, and A. Dayan, "1D plane numerical model for boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE)," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 50, pp. 4780–4795, 2007.
- [33] T. Abbasi and S. A. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE) is fifty ... and lives on!," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 21, no. 4, pp. 485–487, 2008.
- [34] D. Venegas and Ó. Farías, "La BLEVE, un motivo para la seguridad en las instalaciones de GLP," in *13o Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica CIBEM*, 2017.
- [35] Panamá América, "Los bomberos atienden dos casos de fugas de gas al día," 2013.
- [36] La Prensa, "Un herido por explosión de gas en apartamento de Río Abajo," 2015.
- [37] La Estrella de Panamá, "Explosión por fuga de gas de cocina en el edificio City Towers," 2015.
- [38] Panamá América, "Accidente de camión de transporte de tanques de gas deja dos heridos," 2015.