



ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO EN SISTEMAS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO: TANQUES ESTACIONARIOS *vs.* CILINDROS

ANALYSIS OF STORAGE IN LIQUEFIED PETROLEUM GAS SYSTEMS: STATIONARY TANKS *VS.* CYLINDERS

Diego Venegas Vásquez^{1,*}, César Ayabaca Sarria²

Resumen

En el Ecuador se utiliza el gas licuado de petróleo (GLP) como fuente de energía para equipos residenciales, comerciales e industriales. En estado natural este combustible se encuentra en fase gaseosa, pero por facilidad de transporte y almacenamiento es licuado y depositado en recipientes denominados cilindros (por recambio) o tanques (estacionarios), donde se vuelve a gasificar para su consumo. El presente trabajo mide el GLP remanente que es devuelto en cilindros a las comercializadoras por veinte usuarios comerciales e industriales en el Ecuador durante un mes, 8 con cilindros de 15 kg y 12 con cilindros de 45 kg. El promedio de devolución fue de 3,82 kg/cil. (25,49 %) y 9,69 kg/cil. (21,54 %) respectivamente. Luego se verificaron ocho parámetros de seguridad contemplados en la norma técnica vigente en el Ecuador para estas veinte instalaciones, y se presentan los resultados de aquellos usuarios que no cumplen con estos parámetros. Finalmente, se entregan algunos argumentos sobre por qué existen ventajas económicas y de seguridad en el almacenamiento de GLP en tanques estacionarios sobre cilindros.

Palabras clave: gas licuado de petróleo, tanques, cilindros, vaporización, remanente, seguridad

Abstract

In Ecuador, liquefied petroleum gas (LPG) is used as an energy source for residential, commercial and industrial equipment. In natural state this fuel is in gas phase, but for ease of transport and storage is liquefied and deposited in containers called cylinders (by spare) or tanks (stationary), where it is re-gasified for consumption. The present work measures the remaining LPG that is returned in cylinders to the marketers by 20 commercial and industrial users in Ecuador during a month, 8 with 15 kg cylinders and 12 with 45 kg cylinders. The average return was 3.82 kg/cil. (25.49%) and 9.69 kg/cil. (21.54%) respectively. Then, 8 safety parameters contemplated in the current Technical Standard in Ecuador were verified for these 20 facilities, and the results of those users who do not comply with these parameters are presented. Finally some arguments are given as to why there are economic and security advantages in the storage of LPG in stationary tanks on cylinders.

Keywords: Liquefied petroleum gas, tanks, cylinders, vaporization, remainder, safety.

^{1,*}Departamento de Ingeniería de Materiales y Procesos Sustentables, Universidad del Bío-Bío, Concepción-Chile. Autor para correspondencia ✉: diego.venegas1801@alumnos.ubiobio.cl <http://orcid.org/0000-0002-7376-6272>.

²Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. <http://orcid.org/0000-0002-3728-7514>

Recibido: 15-05-2019, aprobado tras revisión: 25-06-2019

Forma sugerida de citación: Venegas Vásquez, D. y Ayabaca Sarria, C. (2019). «Análisis del almacenamiento en sistemas de gas licuado de petróleo: tanques estacionarios *vs.* cilindros». INGENIUS. N.º 22, (julio-diciembre). pp. 113-122. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.11>.

1. Introducción

El GLP es un combustible que se utiliza como fuente de energía para aplicaciones residenciales [1], comerciales [2] e industriales [3]. Su uso tiene varias ventajas entre las que se pueden mencionar:

- Alto poder calorífico comparado con otras fuentes de energía [4].
- Satisface varias necesidades energéticas como una única fuente [5].
- Es fácil de transportarlo y almacenarlo reduciendo su temperatura y aumentando su presión [6].
- No es tóxico para el ser humano [7].

A pesar de todos estos beneficios reportados sobre el manejo del GLP, existen varias desventajas en su utilización, tales como:

- Crea en el usuario exceso de confianza en su manipulación. Esto ha ocasionado accidentes con graves consecuencias tanto físicas como humanas [8].
- Falta de previsión en el diseño de nuevas edificaciones por parte de los constructores hace que los recipientes (cilindros) deban ser almacenados en lugares hacinados, sin ventilación y apilados uno encima de otro (Figura 1), lo cual ocasiona inseguridad para el usuario.



Figura 1. Almacenamiento de GLP en cilindros.

1.1. Transporte y almacenamiento del GLP

El GLP en condiciones ambientales se encuentra en fase vapor [9], obtenido de un proceso de refinación del petróleo, es llevado a fase líquida incrementando su presión y disminuyendo su temperatura para ser almacenado en grandes recipientes, desde los cuales es

transportado a plantas de envasado o entregado a los usuarios finales.

La entrega se realiza en recipientes [10] denominados cilindros que son fácilmente manipulables y se los recambia cuando se termina el combustible, o tanques si son instalados de manera permanente, para su recarga se requiere de un camión cisterna [11]. En la Figura 2 se muestran las características principales del almacenamiento tanto en cilindros como en tanques.

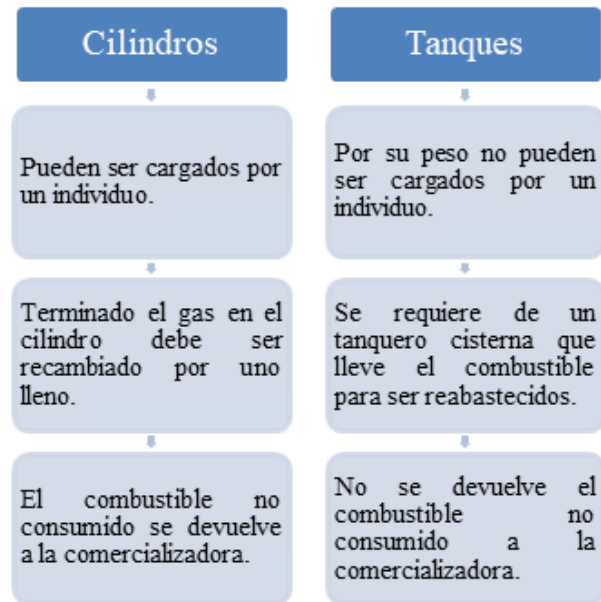


Figura 2. Diferencias en el almacenamiento de GLP entre cilindros y tanques [12].

1.2. Consumo del GLP

Salvo en casos puntuales, el GLP es requerido en los equipos de consumo en fase gaseosa, la que se consigue al interior de los recipientes a través de un proceso de transferencia de calor del combustible con el ambiente que lo rodea. Esta «capacidad de vaporización» de los recipientes depende de [13]:

- **Temperatura ambiente exterior:** A mayor temperatura ambiente en el exterior, mayor será la variación de temperatura con el combustible y, por tanto, mayor capacidad de vaporización del recipiente.
- **Tamaño del recipiente:** A mayor tamaño del recipiente, hay mayor área superficial de contacto con el combustible.
- **Material del recipiente:** Este debe favorecer la transferencia de calor entre el combustible y el medio que lo rodea.

Cuando la solicitud de combustible gaseoso por parte de los equipos de consumo es mayor que la capacidad de vaporización de un recipiente, la vaporización de GLP líquido es muy rápida, las paredes del recipiente se enfrían, y empieza la condensación de gotas de agua que están suspendidas en el aire alrededor del recipiente (aire húmedo). Se produce una película de agua en la parte exterior en la misma zona donde está el combustible en la zona interior. Si el pedido de combustible por parte de los equipos de consumo continúa, la película de agua formada en la superficie exterior del tanque comenzará a formar capas de

hielo, justo en la zona donde al interior se encuentra el líquido, como se muestra en la Figura 3a. A causa de este enfriamiento excesivo, la entrega de combustible hacia los equipos va a disminuir, y estos empezarán a operar de manera inadecuada.

Para contrarrestar este fenómeno, se han observado mecanismos empíricos para poder gastar el combustible remanente de un recipiente cuyas paredes se han congelado. Una de estas prácticas es colocar los recipientes con agua caliente (Figura 3b), así la diferencia de temperatura entre el exterior y el combustible al interior es mayor y se puede vaporizar más GLP.



a)



b)

Figura 3. a) Capas de hielo en un cilindro por pérdida de capacidad de vaporización natural. b) Cilindro de GLP sobre un recipiente con agua caliente para mejorar la capacidad de vaporización natural.

1.3. Consumo del GLP en el Ecuador

En el Ecuador, el GLP se comercializa con dos tarifas:

- Una tarifa con subsidio para consumos domésticos y para actividades sin fines de lucro [14, 15].
- Una tarifa industrial para venta de alimentos, actividad industrial con fines de lucro y usos domésticos suntuosos como calentamiento de agua para piscinas, *jacuzzis* y baños sauna. Esta tarifa es fijada por el Gobierno Nacional del Ecuador a través del Decreto Ejecutivo N.º 799 [16], tiene una revisión mensual, la cual está acorde con los precios internacionales del petróleo, y se encuentra publicada en la página web del organismo gubernamental [17].

La autoridad competente en materia de supervisión e inspección de las instalaciones de GLP en el Ecuador está a cargo del Cuerpo de Bomberos de cada localidad y de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúfera (ARCH).

1.4. Problemática detectada en el manejo del GLP en el Ecuador y justificación del problema

Se han logrado identificar algunos problemas relacionados con el manejo del GLP en el Ecuador entre los que podemos destacar:

- Dada la diferencia entre las tarifas doméstica e industrial, se utilizan cilindros de 15 kg con GLP subsidiado (0,10666 USD/kg) en instalaciones comerciales e industriales, en vez de utilizar el combustible sin subsidio (0,767229 USD/kg) y por los altos consumos del combustible en este tipo de sistemas, el ahorro que se tiene por la diferencia de tarifa es considerable.
- Falta de planificación en el diseño de nuevas edificaciones para uso comercial e industrial, las cuales no consideran espacios seguros para la ubicación del abastecimiento de gas.
- Dada la alta inflamabilidad del GLP [18], existen altas probabilidades de ocurrencia de desastres con presencia de fuego y explosión conocida

como BLEVE [19] en los alrededores del almacenamiento de gas en edificaciones comerciales e industriales por falta de previsión y medidas de seguridad. La BLEVE «Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion», es una explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido [20], sus consecuencias son devastadoras [21,22], sobre todo, por la liberación de energía con separación de fragmentos de los recipientes envueltos en ella [23] (Figura 4).

- Manejo de los sistemas de GLP por personal no calificado, que desconoce el marco legal vigente [24], y que no aplica criterios ingenieriles en el cálculo y dimensionamiento de dichos sistemas, volviéndolos inseguros [25].



Figura 4. Cilindro de GLP que ha sufrido BLEVE [26].

El presente trabajo muestra las pérdidas de usuarios de sistemas de GLP con cilindros, ocasionadas por la devolución del combustible no consumido a la comercializadora remanente. Además, se analizan los siguientes aspectos de seguridad que tienen estas instalaciones a partir del uso de cilindros, los cuales están contemplados en la norma vigente en el Ecuador para sistemas de gas [27]:

- Distancias de seguridad hacia terceros.
- Ventilación en área de almacenamiento.

- Cantidad de cilindros ubicados en el almacenamiento.
- Disponibilidad de extintores en zona de almacenamiento.
- Vigencia de extintores.
- Disponibilidad de detectores de fugas.
- Estado general de accesorios (válvulas, reguladores, mangueras).
- Disponibilidad de planes de emergencia en la instalación.

Finalmente, se presentan algunos de los aspectos ventajosos que se tienen en las instalaciones que cuentan con tanques estacionarios *vs.* aquellas que tienen cilindros para recambio.

2. Materiales y métodos

Para determinar el remanente devuelto en los cilindros por parte de los usuarios de sistemas de GLP, se ha procedido a medir el peso de estos antes de conectarlos para su uso y después que se han vaciado, para ello se utilizó una balanza GTC de 150 kg de capacidad con sensibilidad de medida de 50 g. Para obtener el valor de los kilogramos remanentes se aplicó la Ecuación 1.

$$kg = W_{comb} - (W_{lleno} - W_{servf}) \quad (1)$$

Donde:

kg = kilogramos devueltos (remanente)

W_{comb} = peso del combustible

W_{lleno} = peso del cilindro lleno

W_{servf} = peso del cilindro vacío

Para medir si la presencia de gas en el ambiente de almacenamiento es mayor al límite inferior de inflamabilidad del combustible se utiliza un detector GTC 100 con un rango entre 0-30000 ppm de propano.

3. Presentación y análisis de resultados

3.1. Remanente

Las Tablas 1 y 2 muestran los remanentes devueltos en cilindros de 15 kg y 45 kg respectivamente que han sido utilizados durante cuatro semanas por los usuarios comerciales e industriales.

Tabla 1. Remanente devuelto en cilindros de 15 kg utilizados

Usua N.	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Total				
	Cil	Kg. dev	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	\$ US dev real*	kg dev cil	% llenado
1	4	8,5	3	7,1	4	8,7	4	8,4	15	32,7	\$25,09	2,18	15
2	4	13,4	5	17,8	5	18,2	4	13	18	62,4	\$47,88	3,47	23
3	5	15,1	5	15,7	6	21	6	20,8	22	72,6	\$55,70	3,30	22
4	6	27,8	7	31,1	8	35,6	7	30,9	28	125,4	\$96,21	4,48	30
5	10	41	9	35,9	8	33,2	8	32,7	35	142,8	\$109,56	4,08	27
6	11	35,4	11	36,1	12	39,8	12	40,2	46	151,5	\$116,24	3,29	22
7	12	55,6	11	50,1	10	47,1	11	52,1	44	204,9	\$157,21	4,66	31
8	12	61,1	12	60,9	11	57	13	67	48	246	\$188,74	5,13	34
Promedio:									32,00	129,79	99,58	3,82	25,48

Tabla 2. Remanente devuelto en cilindros de 45 kg utilizados

Usua N.	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Total				
	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	Cil	kg. dev	\$ US dev real*	kg dev cil	% llenado
9	4	35	4	34,2	4	32,9	4	33,5	16	135,6	\$104,04	8,48	19
10	5	36,7	5	35,8	4	28,4	4	27,9	18	128,8	\$98,82	7,16	16
11	5	53,1	4	47,6	6	62,9	6	61,4	21	225	\$172,63	10,71	24
12	5	61,4	5	63	5	62,1	4	55,2	19	241,7	\$185,44	12,72	28
13	6	58,8	5	49,2	6	61,5	6	62,4	23	231,9	\$177,92	10,08	22
14	6	70	6	74,2	8	91,1	6	72,1	26	307,4	\$235,85	11,82	26
15	7	43,7	6	37	8	51,7	8	54,6	29	187	\$143,47	6,45	14
16	9	77,9	9	82,1	8	78,4	8	73,7	34	312,1	\$239,45	9,18	20
17	9	88,4	8	78,9	10	101,1	8	82,4	35	350,8	\$269,14	10,02	22
18	10	75,7	10	78	11	87,6	10	79,8	41	321,1	\$246,36	7,83	17
19	10	114,6	10	117,5	9	105,4	9	106,3	38	443,8	\$340,50	11,68	26
20	11	110,2	10	100,2	11	114,3	12	123,7	44	448,4	\$344,03	10,19	23
Promedio:									28,67	277,80	213,14	9,69	21,54

Simbología:

Usua: Número de usuario

Cap: Capacidad de los cilindros en la instalación

Cil: Cantidad de cilindros devueltos

kg dev: kg devueltos por semana

\$ US dev:

- Para cilindros 15 kg = kg dev x 0,10666 (tarifa doméstica)

- Para cilindros 45 kg = kg dev x 0,767229 [17]

kg dev cil: kg promedio devuelto por cilindro

% llenado: porcentaje de llenado promedio devuelto por cilindro

Con respecto a los resultados presentados en la Tabla 1, se puede decir lo siguiente:

- La diferencia entre los valores para los usuarios con cilindros de 15 kg en las columnas de \$ US dev vs. \$ US dev real* se da porque el \$ US dev representa el valor por remanente que está retornando el usuario, sin embargo, este no es un valor real que debería devolver, ya que este usuario debería pagar la tarifa industrial, resultado que se muestra en la columna \$ US dev real*.
- En todos los cilindros existe devolución de combustible remanente, que es dinero que ha pagado el usuario por adelantado.

- De los usuarios con cilindros de 15 kg, el N.º 1 es el que menos combustible devuelve (2,18 kg/cilindro), y el N.º 8 es el que más combustible devuelve (5,13 kg/cilindro).

- El promedio de devolución en cilindros de 15 kg fue de 3,82 kg por cilindro, que representa el 25,49 % de su capacidad.

- De los usuarios con cilindros de 45 kg, el N.º 15 es el que menos combustible devuelve (6,45 kg/cilindro), y el N.º 12 es el que más combustible devuelve (12,72 kg/cilindro).

- El promedio de devolución en cilindros de 45 kg fue de 9,69 kg por cilindro, que representa el 21,54 % de su capacidad total.

3.2. Seguridad

En la Figura 5 se muestran los resultados cuantitativos de la inspección de seguridad realizada a los 20 usuarios, de acuerdo con los criterios establecidos en el marco normativo vigente en el Ecuador [27]. La letra en la abscisa representa el criterio de incumplimiento y el número sobre la barra representa el número de usuarios que incumplen el criterio.

Cabe resaltar que en los criterios numéricos respecto a la capacidad instalada, se suma la capacidad individual en kilogramos de todos los cilindros ubicados en el área de almacenamiento.

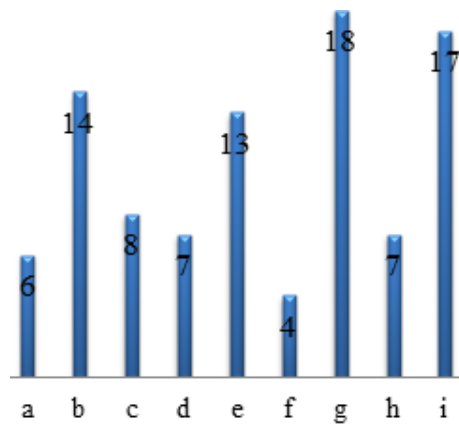


Figura 5. Criterios de seguridad incumplidos por los usuarios de sistemas de GLP.

- a. Distancias de seguridad hacia terceros: **6** usuarios tenían sus recipientes muy cerca de fuentes de llama abierta o generadores de chispa. La Norma Técnica establece una distancia mínima de seguridad con respecto a terceros que pueden ser potenciales riesgos de generación o incentivo de incendio [28].
- b. Ventilación en la zona de almacenamiento: **14** usuarios tenían sus recipientes en áreas sin ventilación (Figura 6a).
- c. Cantidad de cilindros ubicados en el almacenamiento: La norma establece un número máximo de cilindros de 15 y 45 kg que pueden ubicarse tanto para el abastecimiento como de reserva. **8** usuarios excedían el número máximo de cilindros permitidos.
- d. Presencia de fugas de gas: **7** usuarios excedían el máximo permitido por el aparato de medida (1,93 % de GLP en el aire). Una causa probable para esto es el desgaste ocasionado en los acoples de conexión que constantemente se están conectando y desconectando durante el recambio de los cilindros.
- e. Disponibilidad de extintores en zona de almacenamiento: **13** usuarios no disponían de extintores.
- f. Vigencia de extintores: De los **7** usuarios que sí disponían de extintores, **4** de ellos los tenían caducados.
- g. Disponibilidad de detectores de fugas de gas: Como una medida alternativa para detectar posibles fugas de gas en las inmediaciones del almacenamiento se recomiendan la instalación de detectores, los cuales emiten un sonido agudo cuando la cantidad de combustible en el ambiente está por llegar al límite inferior de explosividad. **18** usuarios no disponían de este aparato.

h. Estado general de accesorios (válvulas, reguladores, mangueras) en zona de almacenamiento: Los accesorios tienen una vida útil recomendada por el fabricante, y que estará acorde al trato recibido [29]. **7** usuarios tenían accesorios que mostraban signos de desgaste excesivo (Figura 6b).

i. Disponibilidad de planes de emergencia en la instalación: En caso de emergencias con fuga de combustible y fuego, es recomendable contar con un plan de manejo de emergencia que contemple las acciones a seguir durante dicha emergencia. En este plan debe especificar a los responsables de dirigir dichas acciones, y debe estar a la mano y disponible siempre. **17** de los usuarios no tenían planes de emergencia ni personas responsables del manejo de dichas emergencias.

3.3. Usuarios que han cambiado cilindros por tanques estacionarios

Aquellos que han optado por el cambio de sistemas con cilindros por tanques estacionarios han visto sus beneficios inmediatamente, entre los que se pueden mencionar:

- Cero remanente, ya que no hay devolución o cambio de recipiente, por tanto, no hay devolución de combustible a la comercializadora.
- Al no haber remanente de GLP existe un ahorro de dinero que puede ser invertido en otras actividades del giro de negocio del comercio o industria.
- Concentración del almacenamiento en un solo espacio, lo que permite enfocar los esfuerzos de seguridad y prevención a un solo punto [30] (Figura 7a).
- Sistemas más seguros, ya que para su aprobación y funcionamiento estos sistemas son inspeccionados por parte de la autoridad competente, y deben cumplir la norma técnica vigente [27].
- Fácil control y monitoreo de la cantidad de combustible que se tiene de reserva ya que los tanques estacionarios cuentan con elementos de control y medición. Si el sistema está conectado a varios usuarios. En caso de múltiples usuarios, la facturación se realiza individualmente colocando medidores o contadores en cada usuario (Figura 7b).
- Cumplimiento de la legislación vigente para el uso del GLP comercial e industrial (sin subsidio), y eliminación del uso del GLP doméstico para usuarios que usufructúan de él.

- Mantenimiento mínimo de las instalaciones ya que no existe manipulación en la descarga por no tener que desconectar acoples en el recambio [31].
- Comodidad y confort, ya que no se requiere de personal para retirar y transportar cilindros vacíos.
- El transporte de cilindros genera golpes y abolladuras sobre partes estructurales de la edificación, lo cual se elimina en los sistemas estacionarios.
- Flexibilidad para instalación de recipientes en lugares de difícil acceso como terrazas [32].



a)



b)

Figura 6. a) Tanques en área sin ventilación natural. b) Cilindro de GLP con su válvula de conexión en mal estado.



a)



b)

Figura 7. a) Tanques estacionarios de GLP. b) Medidores de consumo de GLP.

En la Ecuación 2 se puede encontrar una expresión para determinar el tiempo en el cual se puede pagar una instalación con tanques estacionarios a partir del dinero que no es pagado a la comercializadora por los remanentes de combustible, y en la Tabla 3, los tiempos de recuperación de inversión para los promedios mensuales de remanentes, estimando un valor inicial de instalación para un sistema con cilindros de 15 kg de 1500 USD y para un sistema con cilindros de 45 kg de 2500 USD.

$$Recup = \frac{Costo\ install}{\$US\ dev\ real} \quad (2)$$

Donde:

Recup: Tiempo de recuperación de la inversión hecha en una instalación nueva con tanques estacionarios.

Costo instal: Costo aproximado de la instalación.
\$ US dev real: Dólares devueltos promedio por mes.

Tabla 3. Recuperación de la inversión para una instalación con tanques estacionarios

Cil	\$ US dev real*	Recup
15	99,58	15,06
45	213,14	11,73

Obviamente que va a depender del tamaño de la instalación y la cantidad de accesorios, tuberías y tanques estacionarios que se tengan que colocar para el costo inicial de la misma, pero tomando como referencia valores de instalación acordes a la realidad del mercado nacional, se puede estimar un tiempo de recuperación de esta inversión en 15 meses en las instalaciones de cilindros de 15 kg y de 12 meses en aquellas que tenían cilindros de 45 kg.

4. Conclusiones

El cambio de un sistema convencional con cilindros por tanques estacionarios genera en el usuario ahorros debido al NO pago de combustible remanente, que se refleja inmediatamente desde la puesta en marcha del nuevo sistema, ya que no se devuelve combustible a la comercializadora.

Mientras mayor sea el consumo, mayor la necesidad de contar con un sistema estacionario de gas con tanques, ya que se podrá evitar el pago de un combustible no utilizado por remanente.

En un cilindro siempre va a existir devolución por remanente. Para los casos presentados los promedios fueron de 3,82 kg/cil. (25,49 %) para usuarios con cilindros de 15 kg y 9,60 kg/cil. (21,59 %) para usuarios con cilindros de 45 kg.

La inversión inicial que puede suponer el cambio de un sistema con cilindros a uno con tanques estacionarios se recupera en poco tiempo por el no pago de remanente (15 meses en cilindros de 15 kg y 12 meses en cilindros de 45 kg), lo cual va a variar en función del tamaño de la instalación y del consumo de combustible.

En un sistema donde se almacena un combustible como el GLP siempre habrá riesgo tanto físico como humano, con un sistema donde se instalan tanques estacionarios no se elimina dicho riesgo, pero si se lo minimiza comparado con un sistema con cilindros por recambio.

Un sistema de almacenamiento de gas minimiza el riesgo en una instalación comercial o industrial, sin embargo, el usuario es el responsable de mantener el nivel de seguridad en su sistema, y puede empezar con pequeñas rutinas como:

- Revisar el estado general de accesorios.
- Verificación de fugas con agua jabonosa en las uniones de accesorios.
- Solicitar charlas de prevención e inspecciones periódicas a sus sistemas por parte de personal calificado.
- Contar con sistemas de protección como: extintores, detectores de fugas, alarmas contra incendio.
- Indispensable contar con un plan de evacuación y emergencia.
- Solicitar inspección y permiso de funcionamiento del sistema a la autoridad competente.

Referencias

- [1] 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>
- [2] L. Raslavičius, A. Keršys, S. Mockus, N. Keršienė, 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>
- [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] 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>
- [5] 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>
- [6] D. Venegas V and C. Ayabaca S, *Instalaciones de gas licuado de petróleo*. Editorial Académica Española, 2017. [Online]. Available: <http://bit.ly/2JaTgfv>

- [7] F. Chica Segovia, F. Espinoza Molina, and N. Rivera Campoverde, "Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diesel con la finalidad de reducir la contaminación del aire," *Revista Ingenius*, no. 4, pp. 73–81, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17163/ings.n4.2010.08>
- [8] G. Paliwal, K. Agrawal, R. Srivastava, and S. Sharma, "Domestic liquefied petroleum gas: Are we using a kitchen bomb?" *Burns*, vol. 40, no. 6, pp. 1219–1224, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2013.12.023>
- [9] G. Astbury, "A review of the properties and hazards of some alternative fuels," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 86, no. 6, pp. 397–414, 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2008.05.001>
- [10] J. Stawczyk, "Experimental evaluation of LPG tank explosion hazards," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 96, no. 2, pp. 189–200, 2003. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00198-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00198-X)
- [11] NFPA, *NFPA 58 Código del Gas Licuado de Petróleo Edición 2014*. National Fire Protection Association, 2014. [Online]. Available: <http://bit.ly/2KCNA0K>
- [12] D. Venegas V and C. Ayabaca S, *Gas licuado de etróleo (GLP): Un combustible eficiente, económico y seguro*. First Edition, 2018. [Online]. Available: <http://bit.ly/2XxZXkL>
- [13] S. P. Kumar, B. Prasad, G. Venkatarathnam, K. Ramamurthi, and S. S. Murthy, "Influence of surface evaporation on stratification in liquid hydrogen tanks of different aspect ratios," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 12, pp. 1954–1960, 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.08.052>
- [14] K. Troncoso and A. S. da Silva, "LPG fuel subsidies in latin america and the use of solid fuels to cook," *Energy Policy*, vol. 107, pp. 188–196, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.046>
- [15] B. Creamer Guillén and R. Becerra Robalino, "Cuantificación de los subsidios de derivados del petróleo a los hidrocarburos en el Ecuador," *Petróleo al día. Boletín Estadístico del Sector de Hidrocarburos*, vol. 2, pp. 9–26, 2016. [Online]. Available: <http://bit.ly/2YgTMPo>
- [16] Presidencia de la República del Ecuador. (2015) Suplemento N.º 613, decreto ejecutivo N.º 799. Registro Oficial. [Online]. Available: <http://bit.ly/2FzBrpr>
- [17] PETROECUADOR, *Precios de venta a nivel de terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional*. EP PETROECUADOR Gerencia de Comercialización Nacional, 2019. [Online]. Available: <http://bit.ly/2XeM8Zq>
- [18] M. A. Johnsen and G. Nardini, *Manual de seguridad: Aspectos de inflamabilidad de los gases hidrocarburos*. PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2005. [Online]. Available: <http://bit.ly/2X26fET>
- [19] T. Abbasi and S. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE) is fifty ... and lives on!" *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 21, no. 4, pp. 485–487, 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.02.002>
- [20] B. Hemmatian, E. Planas, and J. Casal, "On BLEVE definition, the significance of superheat limit temperature (Tsl) and LNG BLEVE's," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 40, p. 81, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.12.001>
- [21] T. Abbasi and S. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 141, no. 3, pp. 489–519, 2007. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406011290>
- [22] G. Pinhasi, A. Ullmann, and A. Dayan, "1D plane numerical model for boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE)," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, no. 23, pp. 4780–4795, 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.03.016>
- [23] R. K. Eckhoff, "Boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVEs): A brief review," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 32, pp. 30–43, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.06.008>
- [24] D. F. Venegas Vásconez, C. Ayabaca Sarria, S. F. Celi Ortega, and J. C. 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: <http://bit.ly/2X6uP7E>
- [25] H. Albán, *Comercialización de gas licuado de petróleo (GLP) en el Ecuador*. Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), 2018. [Online]. Available: <http://bit.ly/2J7uqNv>

- [26] B. Latacunga, *Archivo fotográfico del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Latacunga*. Latacunga, Ecuador, 2017.
- [27] INEN, *NTE INEN 2 260:2010 Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos*, Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) Std. [Online]. Available: <http://bit.ly/2ZPvnRk>
- [28] D. Venegas V and O. Farias, “La BLEVE, un motivo para la seguridad en las instalaciones de GLP,” in *13º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, 2017. [Online]. Available: <http://bit.ly/2RHbwRu>
- [29] D. Venegas V, C. Ayabaca S, S. F. Celi Ortega, and J. Yáñez, “Mantenimiento necesario en instalaciones de GLP,” in *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, 2016. [Online]. Available: <http://bit.ly/2LeqSf0>
- [30] J. E. López Sopena, *Manual de Instalaciones de GLP*. CEPESA ELF GAS, S. A., 2001. [Online]. Available: <http://bit.ly/31Sac2I>
- [31] D. F. Venegas Vásquez, *Gases combustibles*. Editorial Académica Española, 2019. [Online]. Available: <http://bit.ly/2X9Yvpw>
- [32] —, “Ubicación de recipientes para GLP en terrazas,” *Construcción & Servicios*, pp. 16–19, 2018. [Online]. Available: <http://bit.ly/2Yc9pY1>