

DISEÑO Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO APLICADA AL EDIFICIO MILLENIUM DE LA CIUDAD DE LOJA

Oscar B. André S¹, Ángel Vargas Z.²

¹Ingeniero Mecánico 2005.

²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral,

RESUMEN

Por ser el gas licuado de petróleo (GLP) una sustancia que se encuentra en recipientes bajo presión, que al contacto con el calor de la atmósfera se vuelve gaseoso y altamente inflamable, se hace indispensable que las instalaciones domiciliarias que transporten GLP para su uso, se lleven a cabo cumpliendo estrictas normas y parámetros de control. Así se evitarán riesgos menores como congelamiento de tuberías o accesorios que repercuten en la ineficiencia de los equipos, y riesgos mayores como explosiones y/o incendios.

En este trabajo se incluirán las normas legales que existen en el país, así como las normas más importantes en el ámbito internacional que se aplicarán en el desarrollo de una instalación domiciliaria de gas licuado de petróleo.

Se desarrollarán los pasos que se deben seguir para el cálculo en sí de la instalación centralizada que comprende: determinar el consumo requerido de GLP, las dimensiones y ubicación del tanque de almacenamiento, se seleccionará el tipo adecuado de tubería a emplearse, se realizará el cálculo de presiones, diámetros y velocidades del GLP en las tuberías, se determinarán los reguladores y contadores de la instalación. Aplicándolo como referencia al conjunto de apartamentos denominado Millenium, el que consta de dos bloques, cada bloque con ocho apartamentos. Se considera que los usuarios instalarán tres equipos gasodomésticos en cada apartamento, como son: cocina, calentador de agua y secador de ropa.

Se completará este estudio con un análisis del costo que presenta dicha instalación centralizada.

SUMMARY

Being the liquefied petroleum gas (LPG) a substance that is in reservoir under pressure, that in contact with the heat of the atmosphere becomes a gas highly inflammable, is compulsory that the domestic installations that use LPG, involve standards and control parameters. The use avoids small risks, such as freezing of pipes or accessories that affect the inefficiency in the systems, and may cause bigger risks as explosions and/or fires.

In this paper will be included the legal standards that exist in this country, as well as the most important international standards that will be applied in the development of a domestic LPG installation.

The steps that should be continued for the calculation of the centralized installation involves: to determine the required consumption of LPG, the dimensions and location of the storage tank, selection of the appropriate type of pipe to be used, as well as the of pressures calculation, diameters and velocity of the LPG in the pipe, the regulators and flow counter of the installation will be determined. Applied as reference to the group of denominated apartments Millenium, this consists of two blocks, each block with eight apartments. It is considered that the users will install three systems that work with LPG in each apartment, which include: stove, water heater and clothes dryer.

This study will be completed with an analysis of the cost of this centralized installation.

INTRODUCCIÓN

Los gases licuados del petróleo comercializados en nuestro medio, son hidrocarburos compuestos principalmente de propano en aproximadamente 70 % y butano con un 30% de volumen; además de isobutano y etano en pequeñas cantidades (1).

Las propiedades más importantes del GLP y de sus dos componentes principales se exponen en tabla 1.

Se entiende por instalación domiciliaria al conjunto de aparatos, dispositivos y accesorios encargados de recibir, almacenar, distribuir y controlar el GLP en edificaciones de uso residencial.

Las ventajas de usar una instalación domiciliaria para el consumo de GLP son:

- El diseño de la instalación domiciliaria se hace considerando el consumo probable de los aparatos, la capacidad de vaporización, y el tiempo de cambio o llenado del o de los tanques, con lo que se espera que el consumo del GLP en el tanque sea lo más eficiente, y el residuo en el mismo sea inferior a otros métodos de abastecimiento.
- Si se añade el uso de contadores, el consumo que debe cancelar el cliente es cien por ciento real y no cancelará residuos de GLP en los tanques.
- La comodidad al no tener que transportar cilindros a cada aparato de consumo.
- El ahorro del espacio, ya que generalmente la ubicación del o de los tanques se lo realiza en un lugar externo.
- La despreocupación por parte del usuario del abastecimiento de GLP, el que se encarga la empresa.

Tabla 1: Propiedades Físicas del GLP y sus componentes Propano y Butano

NOMBRE	PROPANO	BUTANO	MEZCLA 70-30
Fórmula Química	C3 H8	C4 H10	-
Gravedad Específica (Líquido)	0.508	0.584	0.531
Gravedad Específica (vapor)	1.522	2.006	1.667
Temperatura de Ebullición	- 42.1 °C	- 0.5 °C	- 162.2 °C
Temperatura Máxima de la Llama	1925 °C	1895 °C	1916°C
Limites de Inflamabilidad	Sup. 9.5 Inf. 2.4	8.4 1.9	9.2 2.2
Aire para la Combustión	24 x 1	31 x 1	26 x 1
Poder Calorífico			
BTU/Kg (líquido)	47,659	46,768	47,392
Kcal/litro (líquido)	6,105	6,910	6,347
BTU/m ³ (vapor)	91,000	119,000	99,000
Kcal/ m ³ (vapor)	23,000	30,000	25,000
Metros Cúbicos de Vapor por Galón del Líquido	1.032	0.900	0.99
Litros de Vapor por Litro de Líquido	272.72	237.93	262

- La entrega de GLP es directa, entre la empresa comercializadora y el cliente.

Normativa

En el Registro Oficial N° 313 del 8 de Mayo de 1998, se publicó el Acuerdo Ministerial 116 sobre el "Reglamento técnico para la comercialización del gas licuado del petróleo" (5). En el capítulo IV de este reglamento, se hace referencia a las "instalaciones no domésticas" (Art. 32). Donde se manifiesta: "Las instalaciones no domésticas, son las que podrán operar mediante tanques fijos o con cilindros de 45 Kg, utilizarán el conjunto técnico industrial autorizado por el INEN. Los tanques fijos cumplirán con los requisitos técnicos establecidos en el presente Reglamento.

El Acuerdo Ministerial N° 209 sobre las "Disposiciones para la comercialización de GLP a través de instalaciones centralizadas" (6). Hace referencia a los pasos y obligaciones que deben seguir las personas, para calificar como comercializadoras del gas licuado de petróleo dedicadas al abastecimiento de GLP a través de instalaciones centralizadas y poder realizar proyectos de este tipo.

El INEN ha elaborado la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2260:99 sobre "Instalaciones para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial. Requisitos (9)".

El Acuerdo N° 209, en la tercera disposición transitoria, dispone que: "mientras el INEN elabora la respectiva normativa técnica, se aplicarán las normas técnicas nacionales INEN, que fueren precedentes e internacionales aplicables".

Considerando el prestigio y experiencia en el tema, dentro de las normas internacionales mas destacadas tenemos:

-Las normas de la NFPA, las más importantes referente a las instalaciones con GLP son las normas: NFPA 13 (Instalación de Sistemas de Rociadores), la NFPA 54 (Código Nacional del Gas Combustible) y la NFPA 58

(Norma para el Almacenamiento y Manejo de Gases Licuados de Petróleo).

-Los códigos ASME, dentro de los que tenemos: código ASME B31.8 (Transmisión y distribución de gas por sistemas de tuberías) y el código ASME Sección VIII, División 1 (Diseño, fabricación e inspección de recipientes sujetos a presión).

CONTENIDO

El sistema centralizado de GLP servirá en cada uno de los apartamentos a tres equipos domésticos que funcionan con GLP, estos son: una cocina de cuatro hornillas con horno, una secadora de ropa y un calentador de agua instantáneo de 8 lt/min de capacidad.

Consumo Total Nominal

El "Consumo Total Nominal" (C_{TN}) se determinará por la sumatoria del valor de consumo de todos los equipos de gas a ser servidos, dados por el fabricante (1).

Los consumos nominales de los equipos domésticos que funcionan con GLP y que se ubicarán en cada apartamento se exponen en tabla 2:

Tabla 2: Consumo aproximado de gas en los equipos

EQUIPO	CONSUMO Aprox Kg/h
Cocina cuatro hornillas con horno	1.4
Secador de ropa	0.74
Calentador de agua de 8 lt/min.	3.0

Consumo Probable

Para efectos de cálculos, el uso del "Consumo Total Nominal" sobredimensionaría la instalación centralizada, en la práctica se debe considerar que (7): no todos los quemadores y equipos están encendidos al mismo tiempo, no todos los equipos de los usuarios funcionan al mismo tiempo y no todos los apartamentos

prenden todos sus equipos a la misma hora. Este es el factor de diversidad f_d , y se lo tomará igual a 0.504.

El "Consumo Probable" (C_p) dado en kg/h, resulta del producto del consumo total nominal C_{TN} por el factor de diversidad f_d (14).

$$C_p = C_{TN} \times f_d$$

Considerando los dieciséis apartamentos y los valores de la tabla 2 para tres equipos ubicados en cada uno, se obtiene el "Consumo Probable":

$$C_p = 41.45 \text{ kg/h}$$

Vaporización natural de los depósitos

Es la capacidad que tiene el GLP en fase líquida dentro del tanque, de transformarse en estado gaseoso, absorbiendo calor que lo cede el entorno por convección y radiación a la cara externa del recipiente y, a través de aquella, por conducción al GLP.

Si designamos como V a la vaporización del tanque dado en Kg/h, D al diámetro exterior del tanque en metros, L al largo total del tanque en metros, K es una constante que depende del porcentaje de volumen de líquido en el recipiente, f es un factor dependiente de la temperatura prevaleciente del aire, tenemos la siguiente expresión para el cálculo de la Vaporización del tanque (4):

$$V = \frac{D \times L \times K \times f}{30.57}$$

Los valores correspondientes al factor K y a f se exponen en la tabla 3 y tabla 4, respectivamente:

Tabla 3: Constante K según porcentaje de volumen de líquido en el recipiente (4)

Porcentaje de líquido en el recipiente	Valor de K
60	100
50	90
40	80
30	70
20	60

Tabla 4: Constante f según temperatura del medio ambiente

Temperatura del Medio (°C)	f
-7	2
-4	2,25
-1	2,50
2	2,75

Considerando una temperatura promedio de 15 °C, de la tabla 4, el valor del factor f será igual a cuatro. El valor de K se obtendrá de la tabla 3 para diferentes porcentajes de líquido en el recipiente (20, 40 y 50 %).

Las dimensiones del diámetro D y de la longitud L , se tomarán de las tablas dadas por el fabricante hasta que el valor de la vaporización sea el inmediato mayor al valor del "Consumo Probable" obtenido anteriormente. Los resultados se exponen en las tablas 5, 6 y 7:

Tabla 5: Vaporización de tanques fijos al 20% y a 15°C

Capacidad en m³ de agua	Longitud (m)	Diámetro (D)	K al 20 %	V (Kg/h)
1	2.23	0.76	60	13.31
2	2.35	1.07	60	19.74
2.8	3.66	1.03	60	29.60
4	4.42	1.07	60	37.13
5	4.96	1.17	60	45.56

Tabla 6: Vaporización de tanques fijos al 40% y a 15°C

Capacidad en m³ de agua	Longitud (m)	Diámetro (D)	K al 40 %	V (Kg/h)
1	2.23	0.76	80	17.74
2	2.35	1.07	80	26.32
2.8	3.66	1.03	80	39.46
4	4.42	1.07	80	49.51

Tabla 7: Vaporización de tanques fijos al 50% y a 15°C

Capacidad en m³ de agua	Longitud (m)	Diámetro (D)	K al 50 %	V (Kg/h)
1	2.23	0.76	90	19.96
2	2.35	1.07	90	29.61
2.8	3.66	1.03	90	44.39
4	4.42	1.07	90	55.69

Por la tabla 5, el tanque de 5 m³ de capacidad nos da una vaporización de 45.56 Kg/h con un porcentaje mínimo del 20% de GLP en el tanque. Por la tabla 6, el tanque de 4 m³ nos entrega una vaporización de 49.51 Kg/h con un porcentaje mínimo del 40% de GLP en el tanque. Finalmente, por la tabla 7, el tanque de 2.8m³ entrega una vaporización de 44.39 Kg/h con un porcentaje mínimo del 50% de GLP en el tanque.

Autonomía de Almacenamiento

Se conoce por "Autonomía de Almacenamiento" al tiempo mínimo en el que el tanque, se encuentra funcionando normalmente, sin que en los mismos se efectuó recarga de GLP (14).

Para determinar el tiempo de autonomía adecuado se debe considerar:

- El tiempo de consumo de cada uno de los equipos que funcionarán con el tanque.
- La capacidad máxima de llenado y la capacidad mínima de GLP que debe quedar en los tanques.
- El número de días transcurridos entre cada recarga.

Por norma de seguridad, el tanque solo debe llenarse hasta el 85% de su capacidad total, y se sugiere que la mínima cantidad de GLP en el tanque sea de 20% (11). Elegir un nivel mínimo de GLP en el tanque mayor al 20%, puede que disminuya la capacidad del tanque, en consecuencia un menor costo, pero al mismo tiempo disminuyen los días de autonomía.

Para estimar la autonomía se usará la siguiente fórmula:

$$A = \left(\frac{\text{Capacidad del tanque al 85\%} \times (85 - \% \text{mín. GLP})}{\text{Consumo de los equipos} \times 85} \right)$$

Donde, la autonomía A se expresa en días, la "Capacidad del tanque al 85%" dado en Kg, el "%mín. GLP" es el porcentaje mínimo de GLP que se desea que exista en el tanque y el "Consumo de los equipos" en Kg/día.

Se debe estimar el consumo de los aparatos por día que funcionarán con la instalación. Para ello consideraremos que las familias que ocuparán los apartamentos pertenecen a la clase media y que la integran un promedio de cinco personas; por medio de datos estadísticos se obtuvo un valor aproximado de 32 kg/h para los dieciséis apartamentos.

A continuación, por medio de la ecuación anterior y utilizando las capacidades de los tanques que obtuvieron un valor inmediato superior del "Consumo Probable" (tablas 5,6 y 7), se procede a calcular la "Autonomía de Almacenamiento".

Considerando el tanque de 5 m³ el que tiene 1986.3 Kg al 85% y con un porcentaje mínimo de GLP de 20%, obtenemos una "Autonomía": A de 47.5 días.

Considerando el tanque de 4 m³ el que tiene 1589 Kg al 85% y con un porcentaje mínimo de GLP de 40%, obtenemos la siguiente "Autonomía": A de 26 días.

Considerando el tanque de 2.8 m³ el que tiene 1112 Kg al 85% y con un porcentaje mínimo de GLP de 50%, obtenemos la siguiente "Autonomía": A de 14.3 días.

De los resultados anteriores, se elegirá el tanque que cumpla con una "Autonomía razonable" y el de menor costo, en este caso el de 2.8 m³ de capacidad.

Ubicación del tanque

El o los tanques que suministran GLP, podrán ubicarse de las siguientes formas (9):

- Tanques sobre superficie a nivel del suelo.
- Tanques sobre superficie en azoteas.
- Tanques bajo superficie enterrados.
- Tanques parcialmente bajo superficie.
- Tanques en talud.

Las distancias mínimas de seguridad que deben existir entre los tanques que almacenan GLP, estén estos sobre superficie o bajo superficie, hacia diversos lugares se exponen en la tabla 8 (13).

Si el punto donde se realiza el llenado de los tanques se encuentra en el tanque, se debe cumplir las distancias de la tabla 8, caso contrario el punto de transferencia deberá cumplir las distancias expuestas en la tabla 9 (13).

A las medidas del tanque seleccionado (2.8 m³) según la tabla 8, le debe adicionar 3 m por lado, cumpliendo con las medidas requeridas, lo que da un rectángulo de 7.03 m por 9.66 m (68 m²). Se debe buscar una superficie de tal forma que la ubicación del tanque cumpla con las distancias mínimas de seguridad.

Para el caso de este conjunto de apartamentos, la mejor elección de la ubicación del tanque es en la azotea del bloque de ingreso.

Tabla 8: Distancias mínimas de seguridad de recipientes que almacenan GLP

EXPOSICIÓN	DISTANCIA HORIZONTAL* m
a) Locales habitados y edificios	3
b) Edificios con paredes sin resistencia al fuego	8
c) Aberturas en las paredes de los edificios o fosa en o por encima del punto de transferencia	8
d) Línea de propiedad lindera sobre la cual puede edificarse	1
e) Espacios exteriores que congregan público, incluidos patios de escuelas, campos de deportes y patios para juegos	8
f) Borde de carreteras o vías públicas	3
g) Caminos de entrada al interior de la propiedad.	1.5

*La distancias entre los tanques de 2.5 m³ a 5 m³ de capacidad y los locales habitados, edificios o líneas de propiedad adyacente, podrán reducirse hasta 3 m si se ubica un tanque único de 4.5 m³ de capacidad o menor, siempre que dicho tanque se encuentre a una distancia no menor de 7.6 m de cualquier otro tanque de GLP de más de 0.5 m³ de capacidad (13).

Tabla 9: Distancias desde el punto de transferencia

Lugares o Instalaciones	Distancias mínimas en metros desde la zona respectiva a tanques según capacidad de almacenamiento (m ³)	
	0.5 a 2.5	
	Sobre superficie	Bajo superficie
a) Locales habitados, edificios, línea de propiedad adyacente	3	1.5
b) Sótanos	3	1.5
c) Motor eléctrico o de explosión	5	1.5
d) Interruptor o toma corriente	3	1.5
e) Depósito de materiales inflamables	3	1.5
f) Vías públicas urbanas	3	1.5
g) Canalización de edificios	0.5	Ninguna
h) Alcantarilla del edificio	3	Ninguna
i) Otras instalaciones con peligro de incendio	5	1.5

En el caso de tanques ubicados en azoteas se debe adicionalmente cumplir con lo siguiente (9):
-El volumen total máximo almacenado debe ser de máximo 10 m³.

-Si el piso donde se ubica el tanque se comunica directamente con orificios que van a niveles inferiores, la distancia mínima de seguridad debe ser de 6 m.

-Si el sitio de ubicación del tanque en la azotea se utiliza para otros fines, el tanque debe protegerse con cerramiento.

-Las instalaciones en azoteas no deben disponer de equipos de vaporización y trasvase ni se deben utilizar muros para reducir las distancias de seguridad.

-La superficie de la instalación del tanque debe tener, al menos, una cuarta parte de su perímetro abierto a calles o zonas ventiladas,

-Debe tener un gabinete abierto propio del sistema contra incendios

-La toma de tierra del recipiente debe ser independiente de la del edificio y debe estar protegido por un pararrayos u otro sistema análogo.

-La línea de carga debe situarse en la fachada exterior del edificio.

Selección del sistema contra incendios

El área de seguridad requerida para la ubicación del tanque de 2.8 m³ es de 68 m², según la NFPA el área máxima que cubre un extintor de 5 Kg de polvo químico seco es de 150 m² (15), por consiguiente se instalará un extintor portátil con una capacidad de mínimo 5 Kg de polvo químico seco con calificación C (NFPA 58).

Adicionalmente se habilitará un sistema semifijo de extinción, compuesto por un reservorio de agua, bombas, tuberías, hidrantes, mangueras y pitones. El hidrante no se ubicará nunca en dirección de los casquetes del tanque, ya que en caso de una explosión por aumento de la presión, estos son los primeros en desprenderse a una gran velocidad, el hidrante deberá ubicarse en un lugar de rápido acceso, que no tenga que pasarse por el tanque para llegar al mismo y que su ubicación no este a más de 15 m del tanque.

En cumplimiento de las medidas de seguridad adicionales indicadas anteriormente, se ubicará el tanque en una loza especialmente construida para este fin, que usará las columnas existentes en la azotea, evitando tapar los ductos con la loza. El tanque queda ubicado en la parte frontal del edificio con la finalidad de instalar una línea de carga hacia la calle, no existiendo líneas áreas de alta tensión ni transformadores ubicados a menos de 5 m.

La loza para ubicar el tanque, deberá diseñarse para soportar una carga estática igual al peso de la capacidad en agua del tanque, más la tara del mismo.

Redes de distribución

La conducción del GLP desde el tanque que lo almacena hasta los puntos de consumo, se lo realiza canalizándolo por medio de tuberías adecuadas para este tipo de fluido a conducir y que resistan la acción del medio exterior.

Debido a que uno de los factores importantes que se debe tener muy en cuenta a la hora de seleccionar la tubería es la presión a la cual fluirá el GLP dentro de la misma, es necesario indicar que la norma INEN 2260, clasifica a las instalaciones en (9):

-De baja presión (BP): hasta 0.05 bar

-De media a presión A (MPA): hasta 0.4 bar (6 psig)

-De media presión B (MPB): hasta 4 bar (60 psig)

Existen varios tipos de tuberías para la conducción de GLP. Dentro de las tuberías metálicas, estas pueden ser de acero al carbono, acero inoxidable, cobre y aluminio; no deben utilizarse tuberías de fundición de hierro (12). También existen tuberías plásticas especiales para transporte de GLP.

Un análisis de comparación entre las diferentes tuberías, considerando factores como: seguridad, costos y propiedades físicas de las tuberías, nos permite demostrar que en las actuales condiciones tanto del país como del uso que se le den a las tuberías, la mejor opción es trabajar con tubería de cobre, la tubería de cobre tipo L es la adecuada, mientras la presión de trabajo no supere los 1.4 bar (20 psi) (2).

Las especificaciones exigidas por la norma INEN 2260 para las tuberías metálicas de cobre de uso con GLP tenemos (9): para tubería de cobre rígida o flexible sin costura, según las normas: ISO 1635 o ASTM B 88 de tipo K o L.

Red primaria

Llamaremos Red Primaria, al sistema de tuberías exteriores o interiores a la edificación que forman parte de la instalación para el suministro de gas, donde resulte imprescindible ingresar a las edificaciones multiusuario con el objeto de acceder a los centros de medición (9). Esta red está comprendida entre la salida de la válvula de corte en el tanque a los reguladores de segunda etapa ubicados en los contadores individuales de consumo. La presión manométrica de la tubería estará en rangos aproximados entre 0.35 a 1.4 bar (5 a 20 psig).

Red secundaria o interior

La Red Secundaria o Red de Individual, es el sistema de tuberías internas o externas a la vivienda que permiten la conducción de gas, hacia los distintos artefactos de consumo de un mismo usuario (9). Está comprendida desde la salida de los contadores individuales de consumo, hasta los puntos de consumo de cada equipo. La presión manométrica en la tubería estará en rangos aproximados entre 0.022 a 0.032 bar (0.325 a 0.469 psig)

Cálculos de pérdida de carga, diámetros y velocidad de circulación en red primaria y secundaria

La presión del GLP en el inicio de la tubería no es igual al final de la misma, se origina una pérdida de presión (carga) debido principalmente a la fricción entre el gas conducido y las paredes de la tubería y de los accesorios, así como por el efecto de pérdida de energía por los cambios de sección en caso de existir.

En la salida del tanque estacionario se ubicará un regulador llamado de alta o primera etapa, su función es recibir la presión de salida del GLP desde el tanque estacionario y entregarlo a la tubería primaria o de media presión, a una presión entre 0.35 bar y 1.4 bar (5 a 20 psig).

La tubería o línea de media presión llega hasta un regulador de segunda etapa, este recibe la presión final de la línea de media presión y reduce la misma a la presión de consumo de los equipos en el inicio de la red secundaria o línea de baja presión, luego de las pérdidas de carga la presión final al ingreso de los

equipos debe ser de máximo un 5% menor a la presión del inicio en la línea de baja presión.

Las fórmulas que nos permiten determinar las pérdidas de carga, o el diámetro de la tubería, son debidas a Renouard, y son validas si se cumplen las siguientes condiciones (11):

$$Q/D < 150$$

Siendo Q el caudal transportado en m³/h (en condiciones normales, a 15°C y presión atmosférica nivel del mar) y D el diámetro interno real de la tubería en mm

Y, si el número de Reynolds (R) sea igual o inferior a 2,000000, dado por:

$$R = 72000 \times \left(\frac{Q}{D} \right)$$

Donde el caudal Q es en m³/h y el diámetro D en mm

Las formulas de Renouard para la determinación de la carga son:

Para presiones bajas (P hasta 0.1bar):

$$P_1 - P_2 = 23200 \times d_r \times L_E \times Q^{1.82} \times D^{-4.82}$$

Siendo:

- P₁, P₂: presiones inicial y final del tramo en mbar
- d_r: densidad relativa del gas, 1.54 para el GLP
- L_E: longitud equivalente del tramo en metros, igual a la longitud real del tramo mas las longitudes equivalentes de los accesorios.
- Q: caudal en m³/h, medidos en condiciones normales
- D: diámetro interior del tubo en mm.

La velocidad máxima del GLP en las tuberías no debe sobrepasar los 15 m/s (11), por medio de la siguiente ecuación se comprueba el valor de la velocidad del GLP.

$$V = 354 \times Z \times Q \times P^{-1} \times D^{-2}$$

Siendo:

- V: velocidad del gas en m/s
- Z: coeficiente de compresibilidad, 1 hasta medias presiones
- Q: caudal en m³/h, medidos en condiciones normales
- P: presión absoluta al final del tramo medida en bar
- D: diámetro interior del tubo en mm

Para presiones medianas y altas (P>0.1 bar):

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.6 \times d_r \times L_E \times Q^{1.82} \times D^{-4.82}$$

Siendo:

- P₁, P₂: presiones absolutas inicial y final del tramo en bar
- d_r: densidad relativa del gas, 1.54 para el GLP
- L_E: longitud equivalente del tramo en metros, igual a la longitud real del tramo mas las longitudes equivalentes de los accesorios.
- Q: caudal en m³/h, medidos en condiciones normales
- D: diámetro interior del tubo en mm.

Para calcular los parámetros necesarios en la tubería de baja presión se debe considerar:

a. El "Caudal Q" de los equipos, indicados en la tabla 10 .

Tabla 10: Caudal de los equipos

EQUIPO	Caudal Q m ³ /h
Cocina cuatro hornillas con horno	0.666
Secador de ropa	0.359
Calentador de agua automático de 8 lt/min	1.463

b. Se obtiene el "Caudal Nominal Total (Q_{NT})" por apartamento, igual a la suma de los caudales nominales de cada uno de los equipos multiplicado por un factor de simultaneidad de los aparatos f_a que es igual a 80%, de esta forma se obtiene el caudal real de uso Q_a por apartamento.

$$Q_{NT} = \sum Q_{individuales}$$

$$Q_a = Q_{NT} \times f_a$$

$$Q_a = Q_{NT} \times 0.8 = 1.99 \text{ m}^3 / \text{h}$$

c. Se calcula la longitud equivalente L_E, para ello se realiza el trazado de las líneas de baja presión que será igual para cada apartamento, se determina primeramente la longitud real (L_{real}) de la línea de baja presión. La tubería de baja presión es la que sale desde el regulador ubicado antes del contador, pasando por el mismo y derivándose a los puntos de consumo, figura 1. En este caso desde la salida del regulador hasta el punto de consumo del calentador de agua, el mismo que es de 4.05 m.

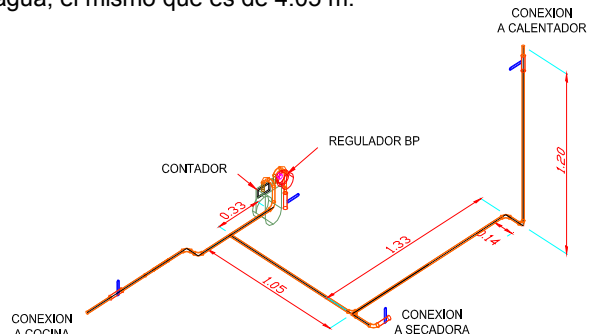


Fig. 1 Trazado de Baja Presión (BP)

Para calcular la longitud equivalente de los accesorios, determinamos el tipo y cantidad de accesorios que hay en la tubería analizada, se estima un diámetro de tubería (en este caso se tomará una tubería de 3/4"). Las longitudes equivalentes para el diámetro 3/4" se indican en la tabla 11:

Tabla 11: Longitud equivalente para línea de baja presión, con accesorios de 3/4" de diámetro

Accesorios 3/4"	Cant.	L _E accesorios (m.)
Codo de 90° soldado	7	0.32x7=2.24
Tee soldada	2	0.89x2=1.78
Válvula de globo.	1	6.60x1=6.60

La "Longitud Equivalente L_E" será igual a:

$$L_E = L_{real} + \sum L_{E \text{ accesorios}}$$

$$L_E = 14.67 \text{ m}$$

d. Despejando la ecuación para bajas presiones y reemplazando los valores obtenidos se calcula el diámetro interno de la tubería.

$$D = 4.82 \sqrt{\frac{(23200 \times 1.54 \times L_E \times Q^{1.82})}{(P_1 - P_2)}}$$

$$D = 18.58 \text{ mm.}$$

El diámetro interno de una tubería de cobre tipo L de 3/4" es de 19.94 mm, por lo que seleccionamos para la línea de baja presión una tubería de cobre tipo L de diámetro nominal 3/4".

e. Seguidamente se comprueba si con este diámetro, cumple las dos condiciones anteriores:

$$- Q/D < 150: 1.99/19.94 < 150: 0.099 < 150 \text{ (Cumple)}$$

y

$$- R = 72000 \times (Q/D) < 2,000,000: 7185.6 < 2,000,000 \text{ (Cumple)}$$

f. Finalmente se determina la velocidad en la tubería por medio de la ecuación:

$$V = 354 \times Z \times Q \times P_1 \times D^{-2}$$

$$V = 1.73 \text{ m/s} < 15 \text{ m/s}$$

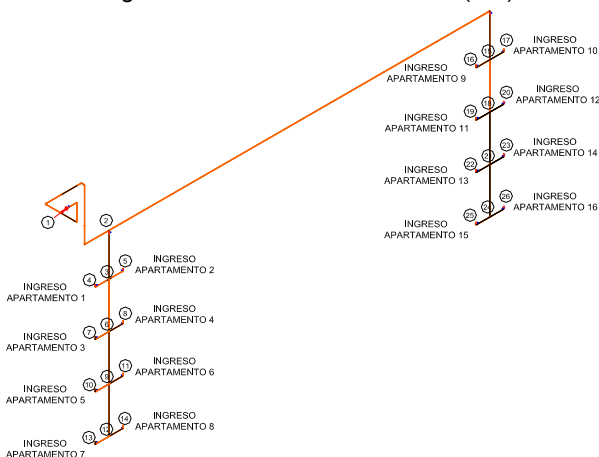
Para la tubería de *media presión*, consideramos que la presión en la salida del regulador de primera etapa es de 0.69 bar (10 psig) (4).

Se considera que la pérdida de carga al final de la tubería es de un máximo del 10% de la presión manométrica en el inicio de la tubería (11). La línea de media presión sale desde el regulador de alta ubicado próximo a la válvula de consumo del tanque de almacenamiento, y finaliza antes del regulador de segunda etapa en cada uno de los apartamentos.

Para la obtención de las variables requeridas se seguirá el siguiente procedimiento:

a. La línea de media presión inicia como una sola tubería, la misma que se va derivando a cada uno de los bloques, y luego a cada uno de los apartamentos, se hace necesario proceder a dividir en tramos como se indica en la figura 2.

Fig. 2 Trazado de Media Presión (MP)



b. Se determina la longitud de cada tramo. En el caso de la línea de media presión la longitud de la misma es considerable en comparación con la línea de baja presión, por lo que las pérdidas ocasionadas por los accesorios se pueden tomar como un 20% más de la longitud real de la línea.

c. Se obtiene el Caudal Nominal Total (Q_{NT}) en cada tramo. Este caudal en el caso de los tramos que llevan GLP a más de dos apartamentos, lo multiplicamos por 0,63, en el caso de los tramos que ingresan a cada apartamento, el caudal no se lo modifica.

d. Se despeja P_2 de la ecuación de Renouard para presiones medianas, obteniéndose:

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 - 48.6 \times d_r \times L_E \times Q^{1.82} \times D^{-4.82}}$$

e. Se estiman diámetros internos de tubería de cobre, de tal forma que los valores de las presiones se encuentren entre el valor inicial de la presión manométrica y mínimo un 10% menos de la misma.

Los valores obtenidos se indican en la tabla 11.

Tabla 11: Diámetros en tubería de media presión

Tramo	P1 (bar)	Le=L+20%	Q (m³)	Di (mm)	D "	P2 (bar)
1-2	1.69	12.77	20.06	19.94	3/4	1.65
2-3	1.65	3.24	10.03	13.84	1/2	1.63
3-4	1.63	1.08	1.99	10.92	3/8	1.63
3-5	1.63	1.08	1.99	10.92	3/8	1.63
3-6	1.63	3.48	7.52	13.84	1/2	1.62
6-7	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
6-8	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
6-9	1.62	3.48	5.01	13.84	1/2	1.62
9-10	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
9-11	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
9-12	1.62	3.48	2.51	13.84	1/2	1.62
12-13	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
12-14	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
2-15	1.65	32.04	10.03	19.94	3/4	1.62
15-16	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
15-17	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
15-18	1.62	3.48	7.52	16.92	5/8	1.62
18-19	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
18-20	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
18-21	1.62	3.48	5.01	16.92	5/8	1.62
21-22	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
21-23	1.62	1.08	1.99	10.92	3/8	1.62
21-24	1.62	3.48	2.51	16.92	5/8	1.62
24-25	1.62	1.08	1.99	13.84	1/2	1.62
24-26	1.62	1.08	1.99	13.84	1/2	1.62

f. Finalmente se comprueba si los valores obtenidos anteriormente cumplen la relación Q/D , el número de Reynolds (R) y que el valor de la velocidad (V) en las líneas no sobrepase los 15 m/s. esto se indica en la tabla 12.

Tabla 12: Cálculo de la relación Q/D, Número de Reynolds y Velocidad en la Red Primaria

Q (m³)	Di (mm)	Q/D	R	V (m/s)
20.06	19.94	1.01	72430	10.80
10.03	13.84	0.72	52177	11.32
1.99	10.92	0.18	13121	3.61
1.99	10.92	0.18	13121	3.61
7.52	13.84	0.54	39133	8.54
1.99	10.92	0.18	13121	3.63
1.99	10.92	0.18	13121	3.63
5.01	13.84	0.36	26089	5.71
1.99	10.92	0.18	13121	3.64
1.99	10.92	0.18	13121	3.64
2.51	13.84	0.18	13044	2.86
1.99	10.92	0.18	13121	3.64
1.99	10.92	0.18	13121	3.64
10.03	19.94	0.50	36215	5.49
1.99	10.92	0.18	13121	3.63
1.99	10.92	0.18	13121	3.63
7.52	16.92	0.44	32009	5.73
1.99	10.92	0.18	13121	3.64
1.99	10.92	0.18	13121	3.64
5.01	16.92	0.30	21340	3.82
1.99	10.92	0.18	13121	3.65
1.99	10.92	0.18	13121	3.65
2.51	16.92	0.15	10670	1.91
1.99	13.84	0.14	10353	2.27
1.99	13.84	0.14	10353	2.27

De las tablas 11 y 12 se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- $P_1 = 0.69$ bar (manométrica)
- P_2 menor = 0.621 bar (manométrica)
- Diámetros nominales obtenidos (pulg)= 3/4", 5/8", 1/2", 3/8"
- V mayor (m/s) = 11.32
- V menor (m/s) = 1.91

Al cumplirse los límites de presión y velocidad, los diámetros obtenidos son los adecuados para el proyecto.

Reguladores de presión

Su función es entregar un flujo constante de GLP a la presión de funcionamiento de los aparatos de consumo, sin importar las variaciones de presión en el tanque (3). Además, el regulador debe suministrar la misma presión de consumo de los equipos, sin importar la carga variable producida por el uso intermitente de los aparatos.

Para determinar el regulador de primera, se requiere conocer tres parámetros: el "Consumo Total Nominal" (C_{TN}), la presión a la salida del tanque a la temperatura mas baja de funcionamiento y la presión de trabajo en el inicio de la tubería de media presión.

El consumo total nominal (C_{TN}) de la instalación se calculó anteriormente y es igual a 82.24 Kg/h o igual a 979,299.2 kcal/h.

La presión relativa en el tanque depende de la temperatura inicial del líquido y de la vaporización (1), como puede apreciarse en la tabla 13:

Tabla 13: Presión de vapor en el recipiente con relación a la temperatura (1)

PRESIÓN DE VAPOR RELATIVA bar / psig			
TEMPERATURA °C			
5°C	10°C	15°C	20°C
3,2	4	4,5	5,4
46,4	58	65,4	77,8

De la tabla 13, se selecciona la presión en el tanque correspondiente a la temperatura mas baja que se puede presentar en la zona, en este caso se considera 5°C lo que nos da una presión relativa de 3.2 bar, la misma que es la presión de ingreso al regulador de primera etapa en la condición mas desfavorable.

Regulador de primera etapa, la presión al ingreso de la línea de media presión se consideró anteriormente e igual a 0.69 bar. La selección del regulador de primera etapa debe permitir el ingreso del caudal requerido, a la menor presión en el tanque y entregar el flujo a una presión igual o sobre la presión requerida al inicio de la línea de media presión.

Analizando, el regulador 1584MN marca REGO con las siguientes características (3):

- Rango recomendado de Presión relativa de descarga entre 0.2 a 2.07 bar.
 - Presión relativa de descarga recomendada de 1.38 bar.
 - Capacidad de Vapor de 1,763,668.42 Kcal/h*
- *El flujo máximo se basa en una entrada de presión relativa de 1.38 bar mayor que la calibración del regulador y una presión de descarga 20% menor que la calibración.

La máxima carga requerida en el proyecto es de 979,299.2 Kcal/h, este tipo de regulador, satisface la condición de la carga requerida.

La condición de trabajo para la presión a la entrada mínima debe ser de 3.2 bar, observemos que el regulador viene calibrado a una presión de fábrica entre 0.2 bar y 2.07 bar, según la explicación de este tipo de regulador para cumplir con la carga indicada, la presión de entrada debe ser de 1.38 bar mayor que la presión de calibración del regulador, es decir, estimando una presión de calibración de 1.82 bar (está dentro del rango de fábrica) le sumamos 1.38 bar con lo que obtenemos 3.2 bar, igual a la presión mínima en la entrada del regulador. Ahora, la presión de salida será 20% menos que la presión de calibración seleccionada e igual a 1.456 bar, nuestra presión requerida a la salida del regulador debe ser de 0.69 bar, que es menor a la obtenida por lo que el regulador seleccionado es el adecuado para la regulación en la primera etapa.

Regulador de segunda etapa, para determinar el regulador de segunda etapa, se requiere conocer tres parámetros: el consumo por departamento, la presión al ingreso del regulador de segunda y la presión de trabajo en los aparatos domésticos.

La presión relativa necesaria en los aparatos de consumo es de 27.4 mbar con un rango de tolerancia del 5%.

La presión relativa de llegada al regulador de segunda etapa, será igual a la presión final en la línea de media presión, determinada por la que se obtuvo a la salida del regulador de primera etapa menos un 10% considerando la caída de presión en la línea de media presión. En la selección de regulador de primera etapa para las condiciones más desfavorables, se obtuvo una presión a la salida del regulador de 1.456 bar, a este valor menos el 10% da 1.31 bar que es la presión a la entrada del regulador de segunda etapa.

Analizando, el regulador LV4403B marca REGO con las siguientes características (3):

- Rango de ajuste entre 22.4 a 32.4 mbar.
- Presión relativa de descarga de fábrica de 27.4 mbar.
- Capacidad de Vapor de 235,575.7 Kcal/h*

*Flujo máximo basado en una entrada de presión relativa de 0.69 bar y 22.4 mbar de presión relativa de descarga.

La máxima carga requerida por departamento es de 61,206.2 kcal/h, este tipo de regulador satisface la condición de la carga requerida (usando un regulador).

La presión relativa al ingreso del regulador de segunda etapa es de 1.31 bar mayor a la indicada por el fabricante, por lo que el regulador seleccionado cumple con las condiciones necesarias de flujo y presión.

Contadores

La función de un contador de GLP, es medir volumétricamente el GLP entregado que pasa a través

Los parámetros requeridos para la selección de un contador son, el caudal máximo y mínimo de operación, la presión máxima de operación, y la caída máxima de presión de diseño permitida en el contador.

El menor caudal de operación por apartamento es de 0.359 m³/h correspondiente a la secadora de ropa, y que el máximo caudal de operación será la suma de cada uno de los caudales, e igual a 2.49 m³/h.

La presión de salida del regulador de segunda etapa será la de entrada al contador, y en este caso igual a la presión de consumo de los equipos, que es de 27.4 mbar.

La máxima caída de presión permitida en el contador, que se consideró anteriormente, es de 1.2 mbar.

El contador de diafragma marca Elster-Amco, modelo BK-G1.6 tiene las siguientes características técnicas (8):

- Caudal mínimo de operación 0.016 m³/h
- Caudal máximo de operación 3 m³/h
- Presión máxima de operación 0.1 bar (100 mbar)
- Caída de presión a 2.5 m³/h, igual a 0.171 mbar.

Como se puede apreciar, las características técnicas del contador satisfacen los parámetros de operación requeridos, por lo que se elegirá este tipo de contador.

Dispositivos

Los dispositivos nos permiten mantener el flujo de GLP dentro de parámetros adecuados de presión y limpieza, permiten bloquear la continuidad del GLP en las líneas y evitan el retroceso del fluido. Los dispositivos que por norma mínimo se deben ubicar en la instalación de gas

licuado son (11): Válvula de alivio, válvula de retención, limitador de caudal, válvulas de corte, manómetros.

Pruebas de hermeticidad

Una vez que se ha finalizado la instalación de las líneas de media y baja presión, y antes de proceder a conectar el regulador de primera etapa por medio de un acople flexible (manguera) a un extremo de la línea de media presión y al regulador de segunda etapa en el otro, y en el caso de la línea de baja presión, antes de conectarla al contador volumétrico en un extremo y a los gasodomésticos por medio de un acople flexible; se procede inicialmente a limpiar las tuberías del sistema por medio de aire a presión, de esta forma evitar que dentro de ellas queden materiales extraños que interfirieran en el funcionamiento de la instalación.

Se debe probar la "estanqueidad" del sistema de tuberías, para ello inyectamos dentro de las mismas, aire o gas inerte a una presión igual a 1.5 veces la presión máxima de servicio, esta presión de ensayo no puede ser inferior a 0.21 bar (9). El tiempo de prueba deberá ser de 10 minutos como mínimo. Se instalará en un extremo de la línea el manómetro con la válvula de cierre rápido y se inyectará por medio de un compresor o un tanque a presión el gas inerte, el otro extremo permanecerá con un tapón.

Si la presión no decae dentro de este tiempo se puede considerar a las líneas de servicio como estancas, caso contrario se rastreará la fuga de aire o gas inerte si es el caso, y una vez corregida la falla se procederá a realizar nuevamente el ensayo de estanqueidad.

Inscripciones de seguridad y su ubicación.

La tubería de conducción de GLP, según norma NTE INEN 440 deberá pintarse de color blanco para GLP en estado líquido (línea de carga) y de color amarillo ocre para GLP en estado gaseoso (10).

En el sitio de ubicación del tanque, y cumpliendo lo establecido en la norma NTE INEN 2260, se instalarán señales de seguridad de "NO HACER FUEGO/GAS" y "PELIGRO DE FUEGO/GAS" y en los gabinetes de los contadores se ubicará la leyenda en color rojo "GLP",

Costos.

Los costos del proyecto consideran la instalación y suministro de: el tanque en la terraza, la línea de carga desde el tanque fijo hasta el sitio de carga ubicado en la parte frontal e inferior de los apartamentos, tuberías, accesorios, contadores y reguladores. El costo de los materiales fungibles entre los que tenemos: soldadura, pintura, diluyente, entre otros.

La suma de cada uno de los costos (materiales y mano de obra) nos da un valor de \$8,830.36, obteniéndose un costo de \$551.9 por apartamento.

La suma de las horas de trabajo es de 219.9 horas, o igual a 27.5 días de trabajo.

CONCLUSIONES

La mayoría de obras civiles del tipo residencial que hay y se construyen actualmente en el país, no han sido diseñadas para la instalación de tuberías que conduzcan GLP, peor aún considerar la ubicación de un tanque estacionario. Ha sido necesario adecuarse a la estructura física existente, sin que esto represente

faltar al suministro normal de GLP, a la estética de los edificios, y de manera especial a la seguridad del sistema.

Se han revisado las normativas técnicas tanto nacionales como las internacionales de trascendencia, de manera que nos ajustemos a estas y podamos determinar la ubicación del tanque y trazados adecuados.

Es exigencia de las normas competentes, que al finalizar la instalación, se compruebe si existen o no caídas de presión. Se sugiere finalizar las pruebas de estanqueidad utilizando instrumentos detectores de escapes de GLP, de esta forma obtener una instalación 100 % segura.

Para concluir, aunque existen reglamentaciones estatales sobre la construcción de instalaciones centralizadas para la conducción de GLP, estas no realizan un control eficiente de las mismas, esto se demuestra por el número de instalaciones no calificadas y en consecuencia no registradas por el organismo competente. Con la realidad manifestada,

existen actualmente personas no preparadas que han incursionado en los proyectos de instalaciones, quienes aprovechándose de la falta de control gubernamental, compiten con las empresas calificadas, reduciendo sus costos operativos por medio de: el uso de materiales no aprobados para canalizaciones de GLP, tanques estacionarios no certificados por el INEN, accesorios de cobre unidos a las tuberías mediante soldadura blanda con composición de estaño, accesorios no aptos para GLP, incumplimiento de las distancias de seguridad, empotramientos de tuberías con cruces por salas, baños y cuartos, falta de compromiso en la garantía e inspecciones de mantenimiento, entre otros.

Otro ente llamado a precautelar la seguridad que deben prestar las instalaciones de GLP, son los Gobiernos Seccionales, que en su gran mayoría no cuentan con las respectivas ordenanzas municipales.

Lo mencionado anteriormente, ha creado en el país instalaciones de GLP (relativamente nuevas), que de seguro presentarán fallas con el paso de los años, constituyéndose en bombas de tiempo.

REFERENCIAS

1. CASTILLA. F, DIAZ. R, GIL V, PUIGBO. A, y VILLARROEL. E. Manual para instalaciones de gas L.P., Industrias Ventane, 1982.
2. CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DEL COBRE, Tube y Accesorios de Cobre, Jacomil S.L, Primera edición, 2000
3. ENGINEERED CONTROLS INTERNACIONAL INC, Catálogo L-102-SV Equipos de Gas LP y Amoníaco Anhidro, REGO, 2003
4. ENGINEERED CONTROLS INTERNACIONAL INC, Manual para Técnicos de Gas-LP, 1962
5. GOBIERNO NACIONAL ACUERDO 116, Reglamento Técnico para la Comercialización del Gas Licuado de Petróleo, REGISTRO OFICIAL N° 313 ÓRGANO DEL GOBIERNO DEL ECUADOR, 1998
6. GOBIERNO NACIONAL ACUERDO 209, Disposiciones para la Comercialización de Gas Licuado de Petróleo a través de Instalaciones Centralizadas, REGISTRO OFICIAL N° 194 ÓRGANO DEL GOBIERNO DEL ECUADOR, 1999
7. GUERRA CHAVARINO E, Manual Practico de Instalaciones de Depósitos Fijos para GLP, Bellisco, 1998
8. <http://www.elster-amco.com>
9. INEN, NTE INEN 2260:99 "Instalaciones para Gas Combustible en Edificaciones de Uso Residencial, Comercial o Industrial. Requisitos", Primera Edición, 1999
10. INEN, NTE INEN 439 "Colores, Señales y Símbolos de Seguridad", Primera Edición, 1984
11. LORENZO BECCO J, Los GLP, Repsol Butano, 1989
12. NFPA, NFPA 54 Código Nacional del Gas Combustible, Sexta edición, 1996
13. NFPA, NFPA 58 Código del Gas-LP, 1998
14. SOCIEDAD PARA EL ESTUDIO Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DEL GAS, S.A, Curso para Instaladores Autorizados de Gas, Categoría IG-IV, Sedigas, Quinta Edición, 1999
15. VARGAS ZÚÑIGA ÁNGEL, Seguridad Industrial y Prevención de Incendios, Editorial Series VZ