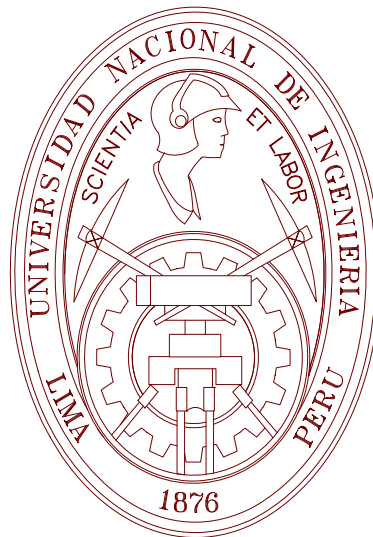


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**ESTUDIO DE AMPLIACION Y MODIFICACION DE UN GRIFO
PARA EL EXPENDIO DE GLP Y DE GNV CON TANQUES DE
10,53 m³ Y DE 14,6 m³ DE CAPACIDAD DE AGUA
RESPECTIVAMENTE**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO**

FERNANDEZ PORTILLA, HUGO HELVER

PROMOCION 85-2

LIMA-PERU

2011

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis queridos y recordados padres quienes, durante el tiempo que vivieron, se esforzaron y me apoyaron para que culmine con éxito mi carrera. Mi eterno agradecimiento a ellos.

III

CONTENIDO

| CAPÍTULOS | PÁGINA |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| PROLOGO | 1 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.1 Antecedentes | 5 |
| 1.2 Objetivos | 9 |
| 1.3 Alcances | 9 |
| | |
| CAPÍTULO II: ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DIARÍA DE GLP Y GNV | 11 |
| 2.1 Estimación de la demanda diaria de GLP automotriz | 11 |
| 2.2 Estimación de la demanda diaria de GNV | 26 |
| | |
| CAPÍTULO III: DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA DE GLP | 36 |
| 3.1 Generalidades | 36 |
| 3.2 Diseño del tanque | 36 |
| 3.3 Cálculo del tamaño del volumen útil óptimo | 37 |
| 3.3.1 Costo de mantener una unidad en inventario durante un Año | 37 |
| 3.3.2 Costo de hacer un pedido | 38 |
| 3.3.3 Costo por manejo de inventario | 41 |
| 3.3.4 Costo de preparación en un año | 45 |
| 3.3.5 Costo total | 48 |
| 3.4 Dimensiones óptimas del tanque | 51 |
| 3.5 Cargas actuantes sobre un tanque: Marco teórico | 58 |
| 3.5.1 Diseño por resistencia a la tracción | 58 |
| 3.5.2 Diseño por resistencia a la fatiga | 60 |
| 3.6 Tanque de GLP: Diseño por resistencia a la tracción | 61 |
| 3.6.1 Cálculo del espesor de placa por presión interior | 61 |
| a) Para el casco cilíndrico (Costura longitudinal) | 61 |
| b) Para el casco cilíndrico (Costura circunferencial) | 63 |
| c) Para las cabezas hemisféricas | 63 |
| 3.6.2 Pesos actuantes | 64 |
| a) Peso del armado | 64 |
| b) Peso en la operación | 66 |
| c) Peso en la prueba | 66 |
| 3.6.3 Verificación de esfuerzos | 67 |
| 3.7 Tanque de GLP: Diseño por resistencia a la fatiga | 69 |
| 3.7.1 Extremo de la cabeza inferior | 69 |
| 3.7.2 Borde inferior de casco | 79 |
| 3.8 Selección del dispensador | 89 |
| 3.9 Selección de la bomba | 90 |
| 3.10 Diseño de la tuberías | 91 |
| 3.10.1 Determinación de las tuberías económicas | 92 |
| 3.10.2 Diseño por resistencia a la tracción | 93 |
| a) Tubería de llenado o carga del tanque | 93 |
| b) Tubería de descarga del tanque | 97 |
| c) Tubería de succión | 99 |
| d) Tubería de venteo del tanque | 102 |

IV

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| e) Tubería de retorno de vapor del dispensador al Tanque | 102 |
| f) Tubería exterior de drenaje | 103 |
| g) Tubería de retorno de líquido de la válvula by-pas al tanque | 103 |
| 3.10.3 Diseño por resistencia a la fatiga | 103 |
| 3.11 Selección de los accesorios | 105 |
| 3.12 Selección de las válvulas | 105 |
| a) Válvula de seguridad | 105 |
| b) Válvula de drenaje | 106 |
| c) Válvula de máximo nivel | 106 |
| d) Válvula de alivio | 107 |
| e) Válvula de desconexión rápida (Pull away) | 107 |
| f) Válvula de llenado | 107 |
| g) Válvula de cierre de emergencia (shut off) | 107 |
| h) Válvula by-pass | 108 |
| i) Válvula de exceso de flujo para succión de la bomba | 108 |
| j) Válvula de exceso de flujo de la línea de carga del tanque | 108 |
| k) Válvula de exceso de flujo de la línea de descarga del Tanque | 108 |
| l) Válvula de exceso de flujo de la línea de retorno de vapor del dispensador al tanque | 109 |
| m) Válvula de exceso de flujo de la línea de retorno de la válvula by-pass al tanque | 109 |
| 3.13 Instrumentos | 109 |
| a) Manómetro | 109 |
| b) Termómetro | 110 |
| 3.14 Faldón | 110 |
| | |
| CAPÍTULO IV: SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA DE GNV | 111 |
| 4.1 Introducción sobre los componentes mecánicos | 111 |
| 4.2 Breve descripción de la planta de carga | 112 |
| 4.3 Descripción de los equipos e instalaciones | 112 |
| 4.3.1 Unidad de carga | 112 |
| 4.3.2 Unidad semirremolque-batería de tanques | 113 |
| 4.3.3 Tracto | 113 |
| 4.3.4 Unidad de presión | 115 |
| 4.3.5 Dispensador | 116 |
| 4.3.6 Sistema de tuberías de descarga de GNV | 117 |
| 4.4 Funcionamiento del sistema de abastecimiento de GNV por batería de tanques | 117 |
| 4.5 Selección de los equipos | 118 |
| 4.5.1 Unidad de Carga | 118 |
| 4.5.2 Unidad semirremolque-batería de tanques | 119 |
| 4.5.3 Tracto | 119 |
| 4.5.4 Unidad de presión | 120 |
| 4.5.5 Dispensador | 120 |
| 4.5.6 Sistema de tuberías de descarga de GNV | 121 |
| 4.6 Tubería de descarga de GNV: Diámetro económico | 121 |
| 4.7 Tubería de descarga de GNV: Diseño por resistencia a la | 121 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tracción | |
| 4.8 Tubería de descarga de GNV: Diseño por resistencia a la Fatiga | 132 |
| CAPÍTULO V: DISEÑO DE PLANTA DEL SECTOR DE GLP | 142 |
| 5.1 Breve descripción del establecimiento actual | 142 |
| 5.2 Descripción del sector de GLP | 143 |
| 5.3 Detalles del diseño de planta | 143 |
| CAPÍTULO VI: DISEÑO DE PLANTA DEL SECTOR DE GNV | 149 |
| 6.1 Introducción sobre el sistema de abastecimiento de GNV mediante batería de tanques | 149 |
| 6.2 Descripción del sector de GNV | 149 |
| 6.3 Detalles del diseño de planta | 151 |
| CAPÍTULO VII: EVALUACION ECONOMICA | 158 |
| 7.1 Introducción. | 158 |
| 7.2 Flujo de efectivo de operación: Sector de GLP y Sector de GNV. | 158 |
| 7.3 Cálculos. | 161 |
| CAPÍTULO VIII: ESTUDIO DE RIESGO | 163 |
| 8.1 Introducción al Estudio de Riesgo | 163 |
| 8.2 Descripción de la zona donde está el establecimiento | 164 |
| 8.3 Objetivos del Estudio de Riesgo | 165 |
| 8.4 Alcances del Estudio de Riesgo | 166 |
| 8.5 Dispositivos legales | 167 |
| 8.6 Análisis de riesgos | 167 |
| 8.6.1 Introducción al análisis de riesgos | 167 |
| 8.6.2 Información sobre el GLP | 168 |
| 8.6.3 Información sobre el GNV | 169 |
| 8.6.4 Orígenes de riesgos | 170 |
| 8.7 Otros sistemas y medidas para mitigar riesgos | 177 |
| 8.7.1 Sistema de agua contra incendio | 177 |
| 8.7.2 Medidas de seguridad | 178 |
| 8.8 Estrategias | 180 |
| 8.9 Análisis de evolución de fugas e incendio | 181 |
| 8.10 Plan de Contingencias | 191 |
| 8.10.1 Generalidades | 191 |
| 8.10.2 Objetivos del Plan de Contingencias | 191 |
| 8.10.3 Contenido de Plan de Contingencias | 192 |
| 8.10.4 Organización del personal de contingencias | 194 |
| 8.11 Acciones a seguir en caso de emergencias | 196 |
| 8.12 Entidades de apoyo | 196 |
| OBSERVACIONES | 198 |
| CONCLUSIONES | 202 |
| RECOMENDACIONES | 205 |
| BIBLIOGRAFÍA | 207 |
| ANEXOS | 210 |
| PLANOS | |

PROLOGO

En estos momentos, en los que el Perú se encuentra inmerso en un creciente interés por el consumo de gas licuado (GLP) y gas natural vehicular (GNV) en el área de transporte público, resulta de importancia el conocer, en general, sobre el diseño de gasocentros y en particular, sobre las instalaciones electromecánicas para estos combustibles. Más aún, ahora que el gobierno peruano está más interesado en el consumo de gas natural no sólo para el transporte público sino también en el campo domiciliario e industrial y aprovechar así el gas de Camisea.

El presente estudio está referido a la ampliación y modificación de un grifo con la creación de un sector para el expendio de GLP y de otro sector para el expendio de GNV, haciendo uso de una batería de tanques de gas natural montada en un remolque para ser intercambiable.

La zona donde se ubica el establecimiento está en un plan de rápido urbanismo; pero aún existen áreas privadas sin construir, una avenida no asfaltada y algunos terrenos baldíos. A pesar de esto, el resultado obtenido para la demanda de GLP y de GNV es alentador y justifica la instalación de un gasocentro.

Este trabajo está basado en los cálculos, diseño, tanto arquitectónico como de instalaciones mecánicas, selección de componentes mecánicos y equipos; costos

de los mismos y estudio de riesgo de siniestro de las instalaciones. Para el diseño, en general, se ha hecho uso de reglamentos de seguridad reconocidos oficialmente por los organismos competentes del estado peruano y también normas de diseños nacionales e internacionales. Para la selección de equipos se ha tomado en cuenta a compañías de amplia experiencia en el campo del gas y de reconocido prestigio internacional.

El presente trabajo ha sido dividido en ocho capítulos:

Capítulo I: Contiene los antecedentes históricos, los objetivos de la Tesis y los alcances para cada tema.

Capítulo II: Trata sobre la estimación de la demanda diaria de GLP y de GNV. Se muestra también las gráficas de demanda diaria de estos combustibles.

Capítulo III: Este capítulo se ocupa del diseño del tanque y las tuberías de GLP, desde el punto de vista económico, así como el diseño por resistencia a la tracción y el diseño por resistencia a la fatiga. Además se puede apreciar la selección de la bomba, dispensador, válvulas e instrumentos.

Capítulo IV: Contiene el diseño por resistencia a la tracción y el diseño por resistencia a la fatiga referido a la tubería de descarga de GNV, además de la selección del dispensador, el remolque de la batería de tanques, la unidad de presión y la unidad de carga de dichas baterías.

Capítulo V: En este capítulo se aprecia el diseño de Planta del Sector de GLP, con la posición definitiva del tanque, boca de carga, isla y la distribución de ambientes y pistas de circulación de todo el establecimiento.

Capítulo VI: Trata sobre el diseño de Planta del Sector de GNV, con la posición definitiva de los remolques de baterías de tanques, boca de descarga, unidad de presión y las dos islas.

Capítulo VII: Contiene la Evaluación Económica del proyecto, de instalar dos sectores nuevos en el establecimiento: uno para GLP y otro para GNV.

Capítulo VIII: Se ocupa del Estudio de Riesgo de siniestros, se detalla las causas de los mismos y como evitarlos, neutralizarlos o amenguarlos. También figura el análisis y cálculo de la masa explosiva y efectos de la explosión de la misma en el supuesto caso de una fuga de GNV. Finalmente se presenta el Plan de Contingencias conteniendo el organigrama de la Brigada de Seguridad, las funciones de cada uno de sus componentes, las acciones de lucha a tomar durante el siniestro y después de él y la lista de entidades de apoyo.

Para finalizar, quiero agradecer a todas aquellas personas que de alguna u otra manera me apoyaron para la elaboración de esta Tesis y en especial agradezco a aquellas que me brindaron sus conocimientos de ingeniería, su experiencia en el campo de la mecánica, la información técnica necesaria y sus habilidades en informática, a quienes nombro a continuación en orden alfabético de sus apellidos:

- Sr. Barreto Montes, Javier.
- Ing. Cueva Pacheco, Ronald (Especialidad: Mecánica-F.I.M.-U.N.I.).

- Ing. Godofredo Valdivia, Fausto (Especialidad: Mecánica-F.I.M.-U.N.I.).
- Sr. Molero Vilcahuamán, Rudolph.
- Sr. Moncada Cajavilca, Víctor.
- Ing. Rondón Ayala, Jorge (Especialidad: Mecánica).

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La necesidad de llevar un control ordenado, completo y profundo sobre el comercio de combustibles líquidos y gaseosos a efectos de dar seguridad contra siniestros a los comercializadores de los mismos y a los usuarios; y también, garantizar la buena atención y el expendio de combustibles de calidad a los usuarios; dio lugar a la aplicación del reglamento de comercialización y seguridad de combustibles líquidos y los reglamentos de gas licuado de petróleo y gas natural vehicular.

Veamos como ha sido la historia de estos dos últimos reglamentos.

Mediante el D.S. N° 322-81-EFC del 29 de Diciembre de 1981, se transfirió las funciones relacionadas con la aplicación del Reglamento de Seguridad para la Comercialización del GLP, de la Dirección General de Comercio Interior del Ministerio de Economía y Finanzas y Comercio a la Dirección General de Hidrocarburos del MEM. (DGH).

Este Reglamento fue el primero elaborado por la DGH y aprobado por D.S. N° 014-84-EM/DGH. Posteriormente se hicieron modificaciones hasta llegar al Reglamento

para la Comercialización de Gas Licuado de Petróleo, aprobado por D.S. N° 01-94-EM, del 11 de Enero de 1994, actualmente en vigencia.

Para establecimientos que expenden GLP automotriz el único reglamento emitido es el Reglamento de Establecimientos de Gas Licuado de Petróleo para uso Automotor-Gasocentros aprobado por D.S. N° 019-97-EM en fecha 5 de Setiembre de 1997.

Para establecimientos que expenden gas natural comprimido (GNC) o llamado también gas natural vehicular (GNV) se tiene el Reglamento para la Instalación y Operación de Establecimientos de Venta al Público de Gas Natural Vehicular (GNV) aprobado por D.S. N° 006-2005-EM en fecha 4 de Febrero del 2005. Actualmente es el OSINERG quien se encarga de las fiscalizaciones en el sub sector de Hidrocarburos. Haciendo un poco de historia sobre la aplicación del gas en vehículos y según datos obtenidos en la Ref. N° 01; el Sr. Walter Rafael Zanabria fue el pionero en el uso de GLP automotriz en nuestro país. Desde hace más de 27 años vienen haciendo conversiones de vehículos de gasolina a GLP y el Ingeniero Eduardo Graña Luza fue, desde esa época, quien diseñó y fabricó tanques para gas para usos doméstico, comercial, industrial y automotriz. La compañía que representa es TURBO GAS E.I.R.L.

Si bien el primer establecimiento de venta de GLP para uso vehicular al público surgió el año 1995 (Ver Ref. N° 02); en la Planta de Hidrocarburos en Talara ya se usaba el gas para las unidades móviles del personal con una unidad de carga propia de dicha Planta; incluso su uso por algunas personas se hizo gracias al

empleo de una instalación casera, usando bomba manual y trasegando el gas desde un balón de uso doméstico al tanque del vehículo.

El uso del GLP y el GNV como combustible tiene muchas ventajas y algunas desventajas. A continuación se les menciona:

Aspectos equivalentes entre el GLP y el GNV

1. Son combustibles muy limpios, contaminan menos el medio ambiente.
2. Son fiables en el funcionamiento del motor, porque combinados, cada uno, con el aire, producen siempre una mezcla explosiva de un poder tal que es capaz de hacer funcionar a éste, con rendimientos apropiados como para sustituir a la gasolina y el diesel en el transporte. Además el buen funcionamiento del motor está garantizado por los técnicos y profesionales capacitados que se encargarán de la evaluación, modificación y mantenimiento del sistema de alimentación de gas al motor.
3. Disminuyen los costos de mantenimiento, porque alargan la vida útil del aceite y por lo tanto la vida útil del motor.
4. Su uso implica mayores exigencias de seguridad en los vehículos, cocheras y talleres; además que no es posible el robo de este combustible.
5. Los vehículos diseñados sólo para gas y aquellos modificados para trabajar sólo con gas o con el sistema dual gas-gasolina, son más requeridos por los usuarios y están mejor cotizados. En el caso de los modificados, se puede decir que mejora el valor de reventa del vehículo .

Ventajas del GLP sobre el GNV

1. La autonomía de operación es mayor.

2. Peso del sistema de GLP es menor y por lo tanto la capacidad para viajeros es mayor.
3. Es más viable la instalación de establecimientos de ventas de GLP automotriz.
4. Es menor el tiempo de llenado de tanque del vehículo.
5. Es menor el costo y el tiempo de mantenimiento de la estación de venta de GLP respecto a la de GNV por que sus equipos son más simples.
6. Es un combustible más accesible para el usuario.
7. Es menor el costo del juego de accesorios y su instalación.
8. La inversión es menor para instalar un establecimiento de venta de GLP que otro para la venta de GNV.

Ventajas del GNV sobre el GLP

1. Con el GNV es posible una diversificación energética.
2. Existen en el país buenas reservas naturales del producto.
3. El rendimiento energético del motor es ligeramente superior siempre que el motor este debidamente adaptado a gas.
4. Es mayor el número de fabricantes de buses a gas natural existentes en el mundo ya que el GLP predomina en el campo de automóviles.
5. Los gases emitidos son mas limpios porque el GNV tiene menor número de carbonos en su cadena química y eso permite que su combustión sea más completa.
6. El precio de venta al público es el menor de todos los combustibles automotrices.

1.2 OBJETIVOS

1. El objetivo principal es desarrollar el diseño de planta de un grifo, que actualmente vende petróleo, gasolina y kerosene, y que será sometido a una ampliación y modificación, para instalar un sector de GLP automotriz, con tanque fijo, y un sector de GNV , con tanques transportables
2. Elaborar la metodología de cálculo de los componentes mecánicos (tanque y tuberías) de un sistema de expendio de GLP automotriz y el análisis económico para optimizar el tamaño de los mismos, así como la selección de los instrumentos y equipos necesarios en su instalación, funcionamiento, características y especificaciones técnicas.
3. Elaborar la metodología de selección de equipos de un sistema de GNV y las características de los mismos.
4. Elaborar la metodología de un estudio de riesgos de siniestros en un sector de expendió de gas automotriz y sus posibles implicancias en las áreas circundantes a dicho sector
5. Elaborar la metodología de un plan de contingencias el cual debe adoptarse en caso de ocurrir un siniestro.

1.3 ALCANCES

Son los siguientes:

- En la parte arquitectónica; se dará la localización y ubicación del establecimiento y se elaborará la distribución de ambientes (Plano de Distribución) en los sectores de venta de gas automotriz, así como las vías de circulación de vehículos (Plano de Circulación).

- En la parte mecánica; se hará el diseño del tanque de GLP, tuberías; determinando el diámetro, el espesor, la capacidad, el material; y la selección de accesorios.

En cuanto a los instrumentos y equipos, se les describirá y se hará su selección.

Para el sistema de GNV, se describirá los equipos que se usan, se hará la selección de los mismos (de los que intervienen en el establecimiento principalmente), y sólo el diseño de la tubería de descarga de gas natural que va de los tanques a los dispensadores.

- En la parte económica; se hará la evaluación de la inversión a realizar en los sectores de GLP y GNV, con una proyección para 10 años. Se obtendrá el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de capital (t) para cada sector.
- En la parte seguridad; se dará a conocer las normas de seguridad a respetar en lo concerniente a los sectores de venta de gas automotriz, así como el Estudio de Riesgo en el cual se incluirá el Plan de Contingencias.

CAPITULO II

ESTIMACION DE LA DEMANDA DIARIA DE GLP Y GNV

2.1 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DIARIA DE GLP AUTOMOTRIZ

De la Ref. N° 03 "Mercado Interno: Venta de combustibles en el país", (Perú), se extrae los datos, en el rubro de GLP, que permitan ponderar los datos faltantes en aquellos meses donde se indica la ausencia de los reportes de GLP correspondientes a la empresa REPSOL.

A continuación se mostrará un cálculo para obtener los datos ponderados mencionados:

Año 2005

- Suma de demanda (o venta) de GLP en el año:

256,79 *MBPD*

- Valor promedio $\frac{256,79}{12} = 21,40$ *MBPD*

- Demanda de GLP en Enero 2005 (sin el reporte de REPSOL)

15,49 *MBPD*

- Demanda de GLP en Enero 2005 (valor ponderado)

21,40 – 15,49 + 15,49 = 21,40 *MBPD*

- Demanda de GLP en Junio 2005 (sin el reporte de REPSOL)

23,54 *MBPD*

- Demanda de GLP en Junio 2005 (valor ponderado)

$$23,54 - 21,40 + 23,24 = 25,68 \text{ MBPD}$$

Los demás valores, para los otros meses, se obtienen de manera similar; y así se procederá para los otros años donde se tenga el mismo problema.

De esta forma se completa los datos de la Ref. N° 03 (aproximadamente) y se elabora las Tablas desde la N° 2.1 hasta la N° 2.6 correspondientes a “Perú: Demanda de combustibles” (con datos ponderados). Los datos de estas tablas serán la base para los cálculos que siguen, cuya finalidad es obtener la demanda diaria de GLP automotriz del establecimiento en estudio, para el período 2006 - 2010.

Se sabe que la demanda de GLP a granel a nivel nacional ha variado, aproximadamente, entre un 26% (año 2000) hasta un 31.5 % (año 2005) de la demanda de combustibles a nivel nacional, y a su vez, la demanda de GLP automotriz ha variado, aproximadamente, desde un 22 % (año 2000) hasta un 51,5 % (año 2005) de la demanda de GLP a granel a nivel nacional. Se puede notar en dichos valores, una tendencia creciente de dicha demanda.

En base a esto se hará los cálculos necesarios, los primeros de los cuales se pueden apreciar en la pagina 19.

Tabla N° 2.1
Perú : Demanda de Combustibles

| Producto | Cantidad de Ventas (MBPD) - Año 2000 | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| GLP | 11,88 | 12,66 | 12,89 | 12,40 | 11,31 | 13,86 | 12,03 | 14,58 | 15,45 | 13,32 | 12,61 | 13,42 |
| Gasolina 97 | 1,96 | 2,31 | 2,08 | 1,92 | 1,76 | 1,88 | 2,08 | 1,59 | 1,75 | 1,58 | 1,71 | 1,97 |
| Gasolina 95 | 1,75 | 1,76 | 1,80 | 1,76 | 1,68 | 1,71 | 1,69 | 1,78 | 1,65 | 1,44 | 1,31 | 1,40 |
| Gasolina 90 | 7,11 | 8,14 | 7,56 | 7,39 | 8,05 | 7,59 | 7,12 | 7,71 | 7,64 | 6,94 | 6,90 | 7,55 |
| Gasolina 84 | 14,04 | 14,65 | 13,39 | 14,10 | 14,41 | 13,91 | 13,35 | 14,47 | 16,40 | 14,75 | 14,07 | 15,31 |
| Turbo | 7,35 | 7,20 | 6,92 | 7,17 | 7,66 | 7,23 | 7,64 | 7,87 | 8,06 | 7,47 | 6,72 | 6,86 |
| Kerosene | 11,76 | 13,37 | 13,39 | 12,57 | 13,93 | 14,84 | 14,20 | 14,29 | 14,90 | 14,41 | 13,26 | 14,69 |
| Diesel 2 | 53,79 | 57,31 | 57,77 | 51,37 | 60,44 | 58,57 | 49,37 | 55,87 | 51,55 | 54,21 | 56,98 | 53,73 |
| Residual 6 | 13,84 | 10,01 | 12,67 | 10,80 | 11,12 | 11,50 | 9,67 | 10,25 | 7,66 | 8,29 | 9,35 | 8,62 |
| Residual 500 | 12,70 | 14,59 | 20,29 | 14,04 | 19,78 | 20,95 | 17,51 | 14,63 | 15,06 | 14,25 | 17,09 | 15,47 |
| Otros | 5,28 | 5,75 | 6,73 | 4,35 | 8,66 | 5,20 | 6,12 | 6,60 | 6,50 | 5,39 | 5,30 | 5,91 |
| Total | 141,46 | 147,75 | 155,49 | 137,85 | 158,80 | 157,24 | 140,77 | 149,64 | 146,62 | 142,05 | 145,30 | 144,93 |
| Promedio | 12,86 | 13,43 | 14,14 | 12,53 | 14,44 | 14,29 | 12,80 | 13,60 | 13,33 | 12,91 | 13,21 | 13,18 |

Promedio Total = 13,39 MBPD = $2126 \frac{m^3}{día}$

GLP a granel = $552,8 \frac{m^3}{día}$

GLP Automotriz = $122,0 \frac{m^3}{día}$

Tabla N° 2.2
Perú : Demanda de Combustibles

| Producto | Cantidad de Ventas (MBPD) - Año 2001 | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| GLP | 10,66 | 13,89 | 12,73 | 13,04 | 14,03 | 15,35 | 14,70 | 15,08 | 14,56 | 14,66 | 14,12 | 13,97 |
| Gasolina 97 | 1,75 | 1,88 | 1,78 | 1,87 | 1,59 | 1,60 | 1,74 | 1,88 | 1,45 | 1,88 | 1,73 | 2,15 |
| Gasolina 95 | 1,34 | 1,38 | 1,17 | 1,44 | 1,19 | 1,19 | 1,34 | 1,26 | 1,10 | 1,33 | 1,32 | 1,65 |
| Gasolina 90 | 8,08 | 7,32 | 7,64 | 7,78 | 7,30 | 7,48 | 7,86 | 8,00 | 6,90 | 8,22 | 7,24 | 8,60 |
| Gasolina 84 | 13,01 | 12,14 | 12,12 | 13,10 | 11,86 | 11,95 | 12,18 | 12,47 | 11,09 | 12,70 | 11,46 | 12,79 |
| Turbo | 6,70 | 7,44 | 7,33 | 6,79 | 6,44 | 6,69 | 5,46 | 8,25 | 7,82 | 7,68 | 8,40 | 8,18 |
| Kerosene | 13,51 | 13,09 | 13,37 | 13,96 | 14,82 | 14,88 | 15,16 | 15,63 | 15,14 | 17,98 | 16,65 | 16,26 |
| Diesel 2 | 50,51 | 46,02 | 48,41 | 51,15 | 51,61 | 49,19 | 51,27 | 49,07 | 45,98 | 56,09 | 46,55 | 54,03 |
| Residual 6 | 8,93 | 6,50 | 9,82 | 12,18 | 12,12 | 9,95 | 8,39 | 8,79 | 7,26 | 9,19 | 8,36 | 7,59 |
| Residual 500 | 12,83 | 12,53 | 13,20 | 18,35 | 16,90 | 15,08 | 14,74 | 11,55 | 10,34 | 16,31 | 9,47 | 13,00 |
| Otros | 5,46 | 5,87 | 6,93 | 5,61 | 7,58 | 7,11 | 7,67 | 7,15 | 8,48 | 7,16 | 8,94 | 6,92 |
| Total | 132,78 | 128,06 | 134,50 | 146,27 | 145,44 | 140,47 | 140,51 | 139,13 | 130,10 | 153,20 | 134,23 | 145,15 |
| Promedio | 12,07 | 11,64 | 12,23 | 13,21 | 13,22 | 12,77 | 12,77 | 12,65 | 11,83 | 13,93 | 12,20 | 13,20 |

Promedio Total = 12,64 MBPD = 2007 $\frac{m^3}{día}$

GLP a granel = 551,9 $\frac{m^3}{día}$

GLP Automotriz = 152,0 $\frac{m^3}{día}$

Tabla N° 2.3
Perú : Demanda de Combustibles

| Producto | Cantidad de Ventas (MBPD) - Año 2002 | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| GLP | 16,03 | 16,03 | 12,86 | 13,47 | 21,97 | 16,03 | 17,18 | 18,57 | 17,36 | 17,30 | 16,72 | 16,80 |
| Gasolina 97 | 1,85 | 2,12 | 2,01 | 1,99 | 1,82 | 1,74 | 1,92 | 1,97 | 1,68 | 1,73 | 1,82 | 2,03 |
| Gasolina 95 | 1,42 | 1,60 | 1,51 | 1,50 | 1,43 | 1,48 | 1,50 | 1,54 | 1,39 | 1,43 | 1,38 | 1,57 |
| Gasolina 90 | 7,75 | 8,35 | 7,93 | 8,01 | 7,57 | 7,18 | 7,72 | 7,97 | 7,29 | 7,54 | 7,71 | 8,43 |
| Gasolina 84 | 11,80 | 12,18 | 11,80 | 12,15 | 11,85 | 11,50 | 12,05 | 12,57 | 11,54 | 12,33 | 11,87 | 12,29 |
| Turbo | 4,14 | 4,39 | 4,51 | 4,46 | 4,75 | 4,54 | 4,11 | 4,16 | 4,28 | 4,09 | 4,21 | 3,85 |
| Kerosene | 16,37 | 16,80 | 16,96 | 18,88 | 18,70 | 19,29 | 21,10 | 20,85 | 15,68 | 15,86 | 14,86 | 15,92 |
| Diesel 2 | 46,85 | 48,59 | 47,20 | 50,21 | 49,34 | 46,91 | 47,10 | 47,88 | 44,83 | 51,51 | 56,53 | 54,00 |
| Residual 6 | 11,12 | 7,44 | 8,27 | 12,78 | 12,48 | 12,47 | 12,21 | 10,75 | 7,68 | 8,92 | 11,18 | 11,52 |
| Residual 500 | 16,45 | 6,38 | 17,88 | 11,27 | 23,62 | 10,65 | 18,25 | 13,02 | 5,85 | 9,40 | 14,73 | 13,21 |
| Otros | 7,59 | 6,98 | 7,01 | 3,84 | 4,13 | 4,53 | 4,98 | 5,58 | 7,30 | 6,72 | 5,55 | 5,15 |
| Total | 141,37 | 130,86 | 137,93 | 138,55 | 157,66 | 136,33 | 148,13 | 144,86 | 124,88 | 136,81 | 146,57 | 144,78 |
| Promedio | 12,85 | 11,90 | 12,54 | 12,60 | 14,33 | 12,39 | 13,47 | 13,17 | 11,35 | 12,44 | 13,32 | 13,16 |

Promedio Total = 12,79 MBPD = $2031 \frac{m^3}{día}$

GLP a granel = 578,8 $\frac{m^3}{día}$

GLP Automotriz = 191,0 $\frac{m^3}{día}$

Tabla N° 2.4
Perú : Demanda de Combustibles

| Producto | Cantidad de Ventas (MBPD) - Año 2003 | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| GLP | 15,85 | 17,13 | 15,78 | 17,60 | 16,96 | 17,40 | 17,62 | 19,53 | 20,60 | 17,52 | 17,41 | 18,34 |
| Gasolina 97 | 1,84 | 1,83 | 1,60 | 1,67 | 1,56 | 1,56 | 1,80 | 1,59 | 1,56 | 1,64 | 1,63 | 1,81 |
| Gasolina 95 | 1,55 | 1,42 | 1,37 | 1,38 | 1,28 | 1,27 | 1,31 | 1,18 | 1,13 | 1,19 | 1,17 | 1,33 |
| Gasolina 90 | 7,95 | 7,38 | 7,30 | 7,69 | 7,54 | 7,41 | 8,58 | 8,01 | 7,47 | 7,90 | 7,64 | 8,82 |
| Gasolina 84 | 11,01 | 10,59 | 10,26 | 10,81 | 10,84 | 10,82 | 11,64 | 11,08 | 10,91 | 11,32 | 10,91 | 12,06 |
| Turbo | 2,09 | 2,02 | 2,56 | 2,89 | 3,46 | 2,87 | 1,99 | 2,20 | 3,44 | 3,27 | 4,08 | 4,75 |
| Kerosene | 14,49 | 14,47 | 12,88 | 14,71 | 12,58 | 12,60 | 14,07 | 12,78 | 9,37 | 8,88 | 7,46 | 7,76 |
| Diesel 2 | 49,02 | 49,10 | 48,18 | 56,40 | 53,71 | 53,72 | 55,98 | 51,33 | 55,46 | 60,70 | 60,89 | 56,73 |
| Residual 6 | 8,07 | 8,41 | 7,17 | 12,07 | 10,60 | 10,33 | 9,77 | 9,33 | 7,58 | 11,56 | 12,37 | 9,15 |
| Residual 500 | 8,43 | 13,08 | 6,64 | 14,48 | 12,79 | 11,32 | 12,27 | 13,24 | 15,19 | 13,71 | 17,41 | 11,23 |
| Otros | 5,46 | 3,15 | 4,62 | 3,81 | 3,40 | 4,16 | 4,80 | 4,31 | 4,80 | 5,74 | 5,06 | 4,83 |
| Total | 125,77 | 128,58 | 118,36 | 143,51 | 134,72 | 133,45 | 139,82 | 134,59 | 137,51 | 143,43 | 146,02 | 136,82 |
| Promedio | 11,43 | 11,69 | 10,76 | 13,05 | 12,25 | 12,13 | 12,71 | 12,24 | 12,50 | 13,04 | 13,27 | 12,44 |

Promedio Total = 12,29 MBPD = $1951 \frac{m^3}{día}$

GLP a granel = 604,8 $\frac{m^3}{día}$

GLP Automotriz = 236,0 $\frac{m^3}{día}$

Tabla N° 2.5
Perú : Demanda de Combustibles

| Producto | Cantidad de Ventas (MBPD) - Año 2004 | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| GLP | 17,05 | 16,68 | 18,10 | 18,45 | 17,42 | 18,67 | 21,36 | 17,84 | 17,46 | 18,16 | 19,12 | 17,84 |
| Gasolina 97 | 1,78 | 1,86 | 1,64 | 1,74 | 1,54 | 1,54 | 1,61 | 1,53 | 1,51 | 1,49 | 1,46 | 1,68 |
| Gasolina 95 | 1,22 | 1,50 | 1,10 | 1,25 | 1,12 | 1,16 | 1,20 | 1,26 | 1,14 | 1,04 | 1,05 | 1,16 |
| Gasolina 90 | 7,86 | 8,27 | 7,92 | 8,18 | 7,60 | 7,86 | 8,07 | 8,12 | 7,91 | 7,62 | 7,94 | 8,51 |
| Gasolina 84 | 10,92 | 11,08 | 10,33 | 11,20 | 10,36 | 10,92 | 10,90 | 11,23 | 11,04 | 10,99 | 10,93 | 11,74 |
| Turbo | 4,06 | 4,01 | 4,00 | 3,45 | 2,96 | 2,81 | 2,49 | 3,12 | 2,30 | 2,13 | 2,00 | 1,87 |
| Kerosene | 7,37 | 6,48 | 4,81 | 6,06 | 6,96 | 7,64 | 7,73 | 7,76 | 7,79 | 7,42 | 6,80 | 6,41 |
| Diesel 2 | 57,69 | 53,24 | 57,03 | 66,88 | 69,25 | 70,77 | 69,08 | 67,26 | 64,48 | 63,97 | 62,64 | 62,53 |
| Residual 6 | 8,63 | 8,57 | 8,76 | 13,04 | 14,92 | 14,69 | 12,77 | 10,37 | 10,57 | 11,19 | 10,20 | 10,08 |
| Residual 500 | 9,66 | 12,42 | 11,49 | 17,84 | 21,79 | 19,95 | 18,19 | 19,80 | 14,70 | 14,45 | 16,38 | 13,53 |
| Otros | 3,30 | 3,70 | 3,33 | 4,12 | 3,81 | 4,86 | 6,84 | 4,70 | 5,26 | 5,17 | 4,87 | 5,97 |
| Total | 129,54 | 127,79 | 128,52 | 152,21 | 152,72 | 160,86 | 160,2 | 152,99 | 144,15 | 143,63 | 143,39 | 141,32 |
| Promedio | 11,78 | 11,62 | 11,68 | 13,84 | 14,34 | 14,62 | 14,57 | 13,91 | 13,10 | 13,06 | 13,04 | 12,85 |

Promedio Total = 13,20 MBPD = 2096 $\frac{m^3}{día}$

GLP a granel = 649,8 $\frac{m^3}{día}$

GLP Automotriz = 286,0 $\frac{m^3}{día}$

Tabla N° 2.6
Perú : Demanda de Combustibles

| Producto | Cantidad de Ventas (MBPD) - Año 2005 | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| GLP | 21,40 | 21,40 | 21,40 | 21,40 | 21,38 | 25,68 | 20,55 | 27,78 | 22,20 | 23,36 | 24,36 | 26,94 |
| Gasolina 97 | 1,32 | 1,19 | 1,27 | 1,20 | 1,05 | 1,00 | 1,04 | 0,97 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 1,08 |
| Gasolina 95 | 1,08 | 1,09 | 1,27 | 1,04 | 0,99 | 1,06 | 1,09 | 1,02 | 1,05 | 0,98 | 0,94 | 1,11 |
| Gasolina 90 | 7,58 | 6,86 | 7,59 | 7,20 | 6,71 | 6,93 | 6,98 | 7,05 | 6,66 | 6,68 | 6,69 | 7,21 |
| Gasolina 84 | 10,73 | 10,60 | 11,15 | 11,01 | 10,28 | 11,03 | 10,33 | 11,04 | 10,68 | 10,66 | 10,55 | 11,41 |
| Turbo A – 1 | 1,71 | 1,8 | 2,24 | 1,79 | 1,64 | 1,74 | 2,26 | 2,12 | 2,30 | 2,05 | 2,06 | 1,97 |
| Kerosene | 5,60 | 5,88 | 5,87 | 5,69 | 5,61 | 6,00 | 5,67 | 3,60 | 3,03 | 2,70 | 2,34 | 2,42 |
| Diesel 2 | 56,01 | 55,54 | 57,07 | 64,36 | 58,91 | 55,04 | 56,76 | 57,05 | 57,87 | 58,39 | 66,29 | 60,21 |
| Residual 6 | 6,28 | 6,38 | 6,84 | 9,69 | 11,34 | 10,01 | 7,05 | 7,68 | 6,88 | 7,16 | 11,41 | 6,74 |
| Residual 500 | 10,21 | 12,04 | 11,18 | 18,71 | 24,05 | 17,44 | 12,74 | 10,71 | 13,78 | 13,88 | 27,94 | 13,25 |
| Otros | 4,15 | 4,05 | 3,98 | 4,09 | 3,90 | 3,79 | 3,02 | 4,74 | 3,35 | 3,67 | 4,93 | 5,81 |
| Total | 126,07 | 126,83 | 129,86 | 146,18 | 145,85 | 139,72 | 127,50 | 133,76 | 128,78 | 130,49 | 158,44 | 138,15 |
| Promedio | 11,46+ | 11,53 | 11,81 | 13,29 | 13,26 | 12,70 | 11,59 | 12,16 | 11,71 | 11,86 | 14,40 | 12,56 |

Promedio Total = 12,36 MBPD = $1962 \frac{m^3}{día}$

GLP a granel = 618,0 $\frac{m^3}{día}$

GLP Automotriz = 318,0 $\frac{m^3}{día}$

- Demanda de combustibles – año 2005:

$$12,36 \text{ MBPD} \times 1962 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

- Demanda de GLP a granel - año 2005

$$\frac{31,5}{100} \times 1962 = 618 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

- Demanda de GLP automotriz – año 2005

$$\frac{51,5}{100} \times 618 = 318 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Los demás valores, para los otros años, se obtienen de manera similar.

De esta forma se elabora la Tabla N° 2.7 “Perú-Demanda de GLP a granel y demanda de GLP automotriz”. Nótese que esta tabla se elabora convirtiendo, previamente, los *MBPD* a m^3 . En adelante, los metros cúbicos (m^3), usados en los cálculos y resultados para el GLP, estarán referidos a este gas en fase líquida.

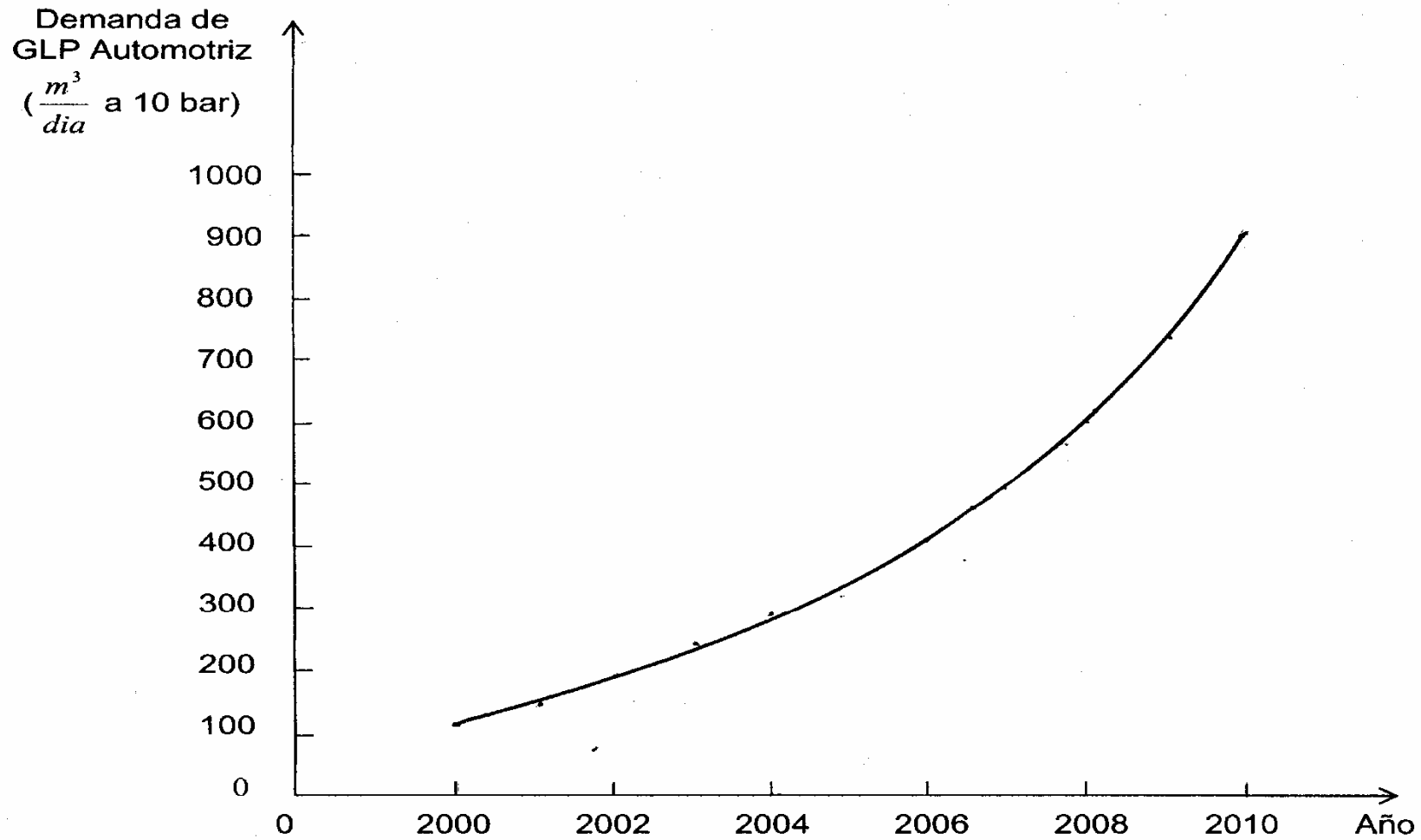
Con los datos de demanda de GLP automotriz (Tabla N° 2.7) se construye la Gráfica N° 2.1 “Perú: Proyección de la demanda de GLP automotriz desde el año 2000 hasta el año 2010”.

De esta gráfica se extrae los valores de la demanda de GLP automotriz que se muestran en la Tabla N° 2.8 “Perú: Proyección de la demanda de GLP automotriz desde el año 2005 hasta el año 2010”, los cuales han sido redondeados a valores enteros.

Tabla N° 2.7

Perú : Demanda de GLP a granel y
Demanda de GLP automotriz

| Año | Demanda de Combustible Nivel Nacional promedio ($m^3 / día$) | Porcentaje Correspondiente de GLP a granel (%) | GLP a granel ($m^3 / día$) | Porcentaje Correspondiente de GLP automotriz (%) | Demanda de GLP automotriz Nivel Nacional ($m^3 / día$) |
|------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2000 | 2126 | 26,0 | 552,8 | 22,0 | 122,0 |
| 2001 | 2007 | 27,5 | 551,9 | 27,5 | 152,0 |
| 2002 | 2031 | 28,5 | 578,8 | 33,0 | 191,0 |
| 2003 | 1951 | 31,0 | 604,8 | 39,0 | 236,0 |
| 2004 | 2094 | 31,0 | 649,8 | 44,0 | 286,0 |
| 2005 | 1962 | 31,5 | 618,0 | 51,5 | 318,0 |



Gráfica N^a 2.1: "Perú: Proyección de la Demanda de GLP automotriz desde el año 2000 hasta el año 2010"

Tabla N° 2.8

Perú: Proyección de la demanda de GLP automotriz desde el año 2005 hasta el año 2010

| Año | Demanda de GLP Automotriz (m ³ /día) |
|------|-------------------------------------------------|
| 2005 | 318 |
| 2006 | 407 |
| 2007 | 496 |
| 2008 | 605 |
| 2009 | 737 |
| 2010 | 899 |

NOTA:

Se ha considerado el valor de la demanda de GLP automotriz correspondiente al año 2005, porque esto permitirá calcular el porcentaje de incremento de demanda del período 2005-2010.

Con los datos de la Tabla N° 2.8 se hace el cálculo del porcentaje de incremento de la demanda, para cada año, en el período 2006-2010, de la siguiente manera:

- Demanda de GLP automotriz - año 2005

$$318,00 \quad m^3 / día$$

- Demanda de GLP automotriz – año 2006

$$407,00 \quad m^3 / día$$

- Porcentaje de incremento de demanda de GLP a granel

$$\frac{(407,00 - 318,00) \times 100}{318,00} = 27,98 \quad \%$$

Los demás valores para los otros años, se calculan de manera similar. De esta forma se obtiene la Tabla N° 2.9, “Perú: Proyección del incremento de la demanda de GLP automotriz desde el año 2005 hasta el año 2010”.

Tabla N° 2.9
Perú: Proyección del incremento
de la demanda de GLP automotriz
desde el año 2005 hasta el año 2010

| Período | Incremento de demanda de GLP Automotriz ($m^3/día$) | Porcentaje de incremento (%) |
|-------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 2005 – 2006 | 101 | 27,98 |
| 2006 – 2007 | 92 | 21,86 |
| 2007 – 2008 | 112 | 21,97 |
| 2008 – 2009 | 138 | 21,81 |
| 2009 – 2010 | 167 | 21,98 |

Por otro lado se sabe, de la Ref. N° 04, que el año 2005 habían 84 establecimientos que expendían GLP automotriz, esto significa que cada establecimiento expendía:

$$\frac{318,00}{84} = 3,78 \text{ m}^3 / \text{dia} = 3,80 \text{ m}^3 / \text{dia} \text{ (promedio redondeado)}$$

Se sabe que el intervalo de venta de GLP automotriz ese año era de $2,5 \frac{m^3 \text{ GLP}}{\text{dia}}$ a

$$4 \frac{m^3 \text{ GLP}}{\text{dia}}, \text{ aproximadamente.}$$

Teniendo presente que la mayoría de estos establecimientos se encuentran en la capital, Lima y están estratégicamente ubicados, en vías con gran afluencia de autos, el valor promedio de la demanda diaria se acerca más al valor máximo del

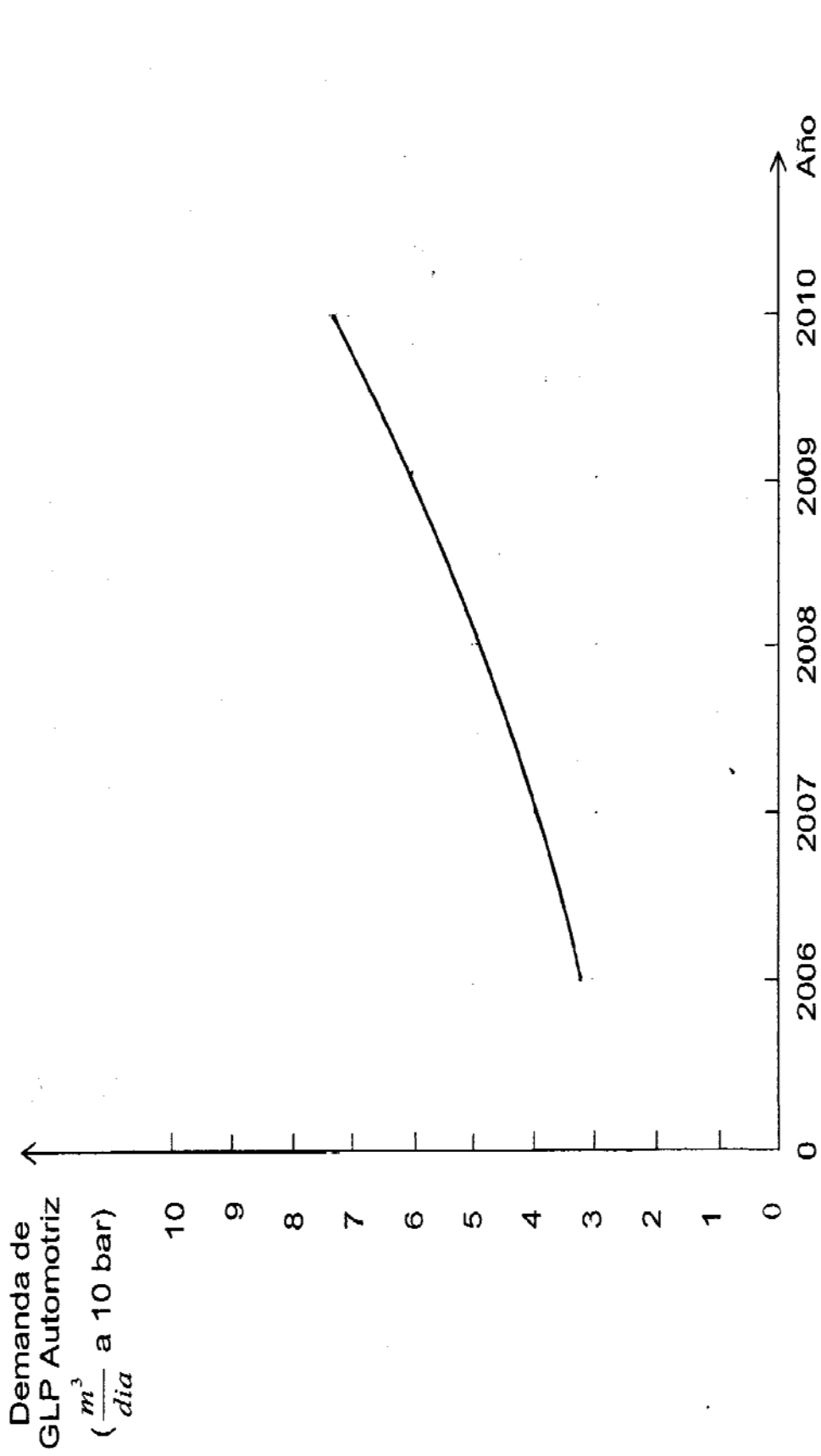
intervalo. A los establecimientos ubicados en provincias les corresponde, generalmente, el valor mínimo de dicho intervalo.

Habiéndose tomado datos del flujo de autos (taxis y autos particulares) que circulan por las vías más transitadas y cercanas a la estación de servicios TIKI TOO ubicada en San Isidro, Lima, de la cual se sabe que es la que más GLP automotriz vende, y habiéndose hecho lo mismo con el grifo en estudio, se notó que hay un menor flujo de autos en las vías correspondientes a este último con relación al primero, motivo por el cual se asumirá, conservadoramente, para el grifo la Joya de Santa Isabel, una demanda diaria igual al límite mínimo del intervalo mencionado, o sea $2,5 m^3$ GLP/día.

Este valor, correspondiente al año 2005, será el punto inicial de la proyección que se hará hasta el año 2010 usando los valores de incremento de demanda de GLP automotriz de la Tabla N° 2.9. De esta forma se obtiene la Tabla N° 2.10 “Grifo La Joya de Sta. Isabel: Proyección de la demanda GLP automotriz desde el año 2006 hasta el año 2010” y la Gráfica N° 2.2 “Grifo La Joya de Sta. Isabel: Proyección de la demanda de GLP automotriz desde el año 2006 hasta el año 2010”.

Tabla N° 2.10
Grifo la Joya de Sta. Isabel:
Proyección de la demanda de GLP
automotriz desde el año 2006
hasta el año 2010

| Año | Demanda de GLP automotriz ($m^3/día$) |
|------|-----------------------------------------------|
| 2006 | 3,2 |
| 2007 | 4,0 |
| 2008 | 4,9 |
| 2009 | 6,0 |
| 2010 | 7,3 |



Gráfica N° 2.2: "Grifo La Joya de Santa Isabel: Proyección de la Demanda de GLP automotriz desde el año 2006 hasta el año 2010"

Con los valores de demanda de la Tabla N° 2.10 se obtiene la demanda promedio por día entre el año 2006 y el año 2010

$$Demanda\ diaria\ promedio = \frac{\sum demandas}{5}$$

$$Demanda\ diaria\ promedio = \frac{25,4}{5}$$

$$Demanda\ diaria\ promedio = 5,08$$

Redondeando:

$$Demanda\ diaria\ promedio = 5,1 \frac{m^3}{día}$$

2.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DIARIA DE GNV.

De la Ref. N° 05, cuadro 2.8, “Mercado de gas natural en la zona de Lima y Callao”, se extrae los valores de demanda de gas natural para uso vehicular y luego de convertir los millones de pies cúbicos por día (MMPCD) a $m^3/día$ se ubican en la Tabla N° 2.11: “Lima-Callao: Proyección de la Demanda de GNV desde el año 2005 hasta el año 2010”.

Tabla N° 2.11
Lima - Callao: Proyección de
la demanda de GNV desde el
año 2005 hasta el año 2010

| Año | Demanda de GNV a C.N. ($m^3/día$) |
|------|-------------------------------------------|
| 2005 | 57 000 |
| 2006 | 113 000 |
| 2007 | 198 000 |
| 2008 | 311 000 |
| 2009 | 429 000 |
| 2010 | 464 000 |

Para el caso del GNV, los metros cúbicos (m^3) señalados se refieren al volumen del gas en fase gaseosa.

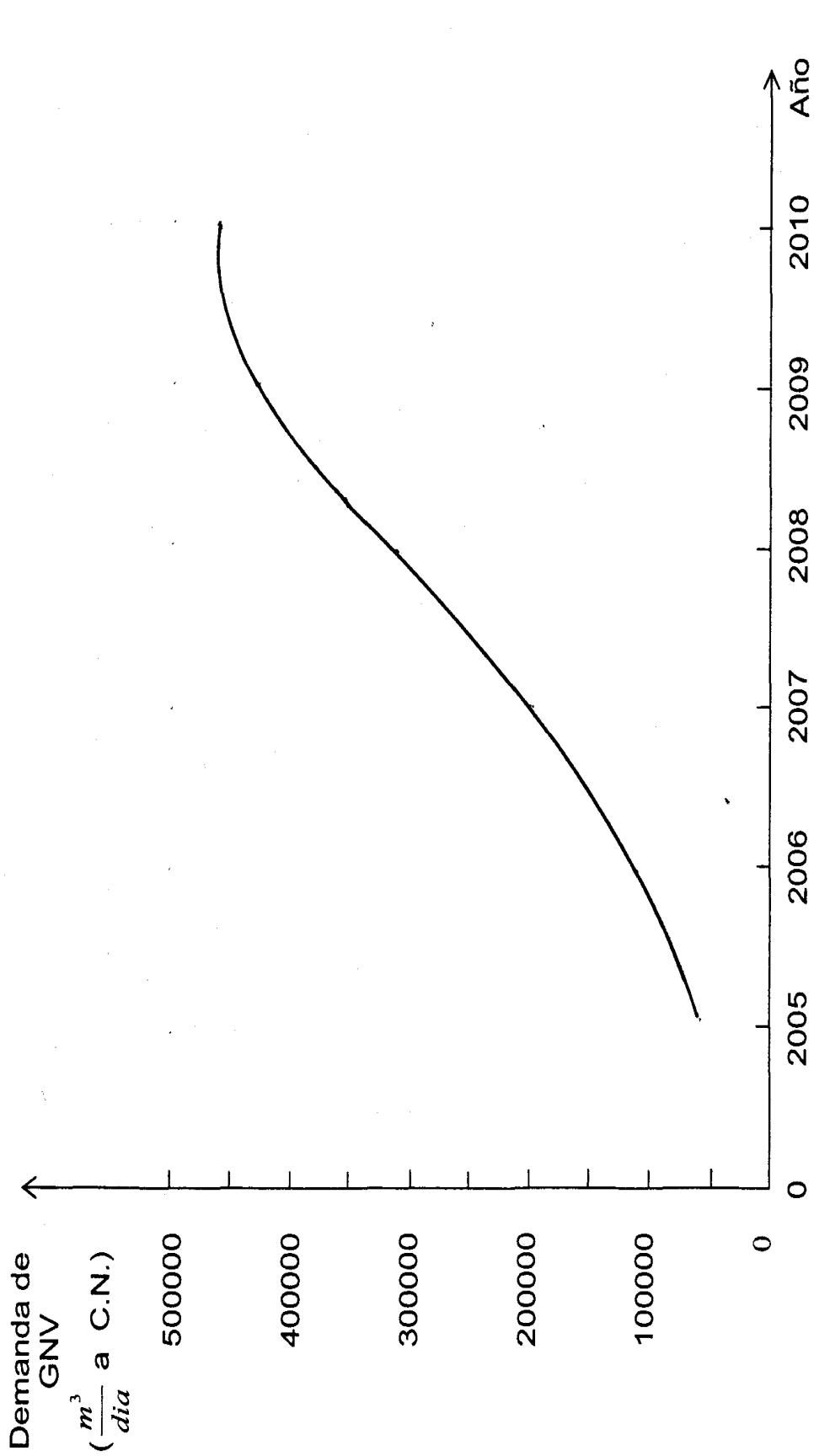
Tomando los datos de esta tabla se construye la Gráfica N° 2.3, “Lima-Callao: Proyección de la Demanda de GNV desde el año 2005 hasta el año 2010”. De la Tabla N° 2.11 se extrae los valores de demanda para calcular los porcentajes de incremento de demanda de GNV y de ese modo hacer la Tabla N° 2.12 “Lima-Callao: Proyección del porcentaje de incremento de la demanda de GNV desde el año 2005 hasta el año 2010”. Estos porcentajes se obtienen de la siguiente forma:

- Demanda de GNV – Año 2005: $57\,000 \frac{m^3}{\text{día}}$ a C.N.
- Demanda de GNV – Año 2006: $113\,000 \frac{m^3}{\text{día}}$ a C.N.
- Porcentaje de incremento:

$$\frac{(113000 - 57000)}{57000} \times 100 = 98,25 \%$$

Tabla N° 2.12
Lima – Callao : Proyección del porcentaje de
Incremento de la demanda de GNV desde
el año 2005 hasta el año 2009

| Período | Incremento de demanda diaria de GNV a C.N. $\left(\frac{m^3}{\text{día}}\right)$ | Porcentaje de incremento de demanda (%) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 2005 – 2006 | 56 000 | 98,2 |
| 2006 – 2007 | 85 000 | 75,2 |
| 2007 – 2008 | 113 000 | 57,1 |
| 2008 – 2009 | 118 000 | 37,9 |



Gráfica N° 2.3: "Lima Callao: Proyección de la Demanda de GNV desde el año 2005 hasta el año 2010"

Los demás valores, para los otros años, se calculan de manera similar.

El primer establecimiento que inició la venta de GNV al público en el Perú fue el MIDAS GAS, ubicado en la capital, Lima, el 25 de Octubre del año 2005.

Se sabe, por dato de la Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE), que el número de autos convertidos a gas natural hasta el 23 de Octubre del 2006 fue de 3545 y existen tres establecimientos de venta GNV y cuarenta y ocho talleres de conversión. Estos establecimientos no eran suficientes para satisfacer la demanda cada vez mayor y por eso el gobierno solicitó a la Dirección General de Hidrocarburos del MINEM, flexibilizar la exigencia respecto de la distancia de los puntos de emanación de gases a las estaciones y subestaciones eléctricas y transformadores elevados, para todos los interesados en invertir en establecimientos de venta de GNV, sin que ello afecte la seguridad de las mismas.

Si consideramos un crecimiento lineal del número de autos convertidos a GNV entre el 25 de Octubre del 2005 hasta el 23 de Octubre del 2006 (doce meses), se tendría:

$$\frac{3545}{12} = 295 \frac{\text{autos}}{\text{mes}}$$

Hasta fines del año 2006 se habría tenido:

$$3545 + 2 \times 295 = 4135 \text{ autos convertidos}$$

Siempre en un crecimiento lineal, para fines del año 2007, se tendría:

$$4135 + 12 \times 295 = 7675 \text{ autos convertidos}$$

Pero en realidad el crecimiento es mayor debido al gran interés del usuario por las ventajas de este combustible. Conservadoramente se tendrá desde Octubre del 2005 hasta fines del año 2007 un 5 % adicional respecto del total.

$$7675 + \frac{5}{100} \times 7675 = 8059 \text{ autos convertidos}$$

Se sabe que en Lima y Callao un taxi consume de 3 a 3,5 galones de gasolina por día y un auto particular consume de 1 a 1,5 galones por día, aproximadamente.

Veamos la Tabla N° 2.13

Tabla N° 2.13

Vehículos menores: Consumo de gasolina-GNV en Lima-Callao

| Vehículo | Consumo de Gasolina ($\frac{gal}{dia}$) | Consumo de GNV ($\frac{m^3}{dia}$) a C.N. |
|--------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Taxi | 3 | 10,4 |
| Autos particulares | 1 | 3,5 |

Se conoce que la mayoría de autos convertidos son taxis. Por dato obtenido del MINEM y de talleres de conversión de autos a sistema de gas natural, aproximadamente, los dos tercios de autos convertidos son taxis y un tercio son autos particulares. Luego, para estimar el consumo diario hasta fines del año 2006, se asumirá que dos tercios del total son taxis y un tercio son autos particulares.

$$\frac{2}{3} \times 4135 \times 10,4 + \frac{1}{3} \times 4135 \times 3,5 = 33493 \frac{m^3}{dia} \text{ a C.N.}$$

Considerando un 8 % adicional en el consumo, ya que, como se indicó anteriormente., los autos particulares y sobre todo los taxis, consumen algo más de combustible de lo señalado en el cuadro anterior; se tendrá:

$$33493 + \frac{8}{100} \times 33493 = 36172,44 \frac{m^3}{dia} \text{ a C.N.}$$

Redondeando:

$$36200 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Para fines del año 2007 se tendría, procediendo de manera análoga a la anterior y considerando 8059 autos convertidos:

$$62278 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Considerando un 8 % adicional en el consumo:

$$62278 + \frac{8}{100} \times 62278 = 70500,24 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Redondeando:

$$70500 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

El incremento de demanda para el año 2007, en porcentaje, será:

$$\frac{(70500 - 36200)}{36200} \times 100 = 94,75 \%$$

Redondeando:

95 %

Este valor está más cercano al incremento de 98,2 % obtenido de la Tabla N° 2.12 para el período 2005-2006. Se asumirá que el porcentaje de incremento de demanda diaria para el período 2006-2007, del establecimiento en estudio, coincide con el valor de 98,2 % dado en la Tabla y además se tomará los otros porcentajes de incremento de demanda diaria mostrados en ella para construir la Tabla N° 2.14, "Grifo La Joya de Sta. Isabel: Proyección del porcentaje de incremento de demanda diaria desde el año 2006 hasta el año 2010". Se hace esto porque los valores de la

Tabla N° 2.12 han sido estimados y sobre todo proyectados con datos oficiales dados por el Ministerio de Energía y Minas.

Ahora se estimará la demanda diaria del establecimiento en estudio para el año 2006.

A diferencia del GLP, como en este caso sólo existen tres establecimientos de venta de GNV, entonces, considerando al establecimiento en estudio, se tendría un total de cuatro establecimientos. Luego, la demanda diaria promedio (máxima) sería:

$$\frac{36200}{4} = 9050 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Tabla N° 2.14
Grifo la Joya de Sta. Isabel:
Proyección del porcentaje de
incremento de la demanda
diaria desde el año 2006
hasta el año 2010

| Período | Porcentaje de incremento de demanda de GNV (%) |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| 2006 – 2007 | 98,2 |
| 2007 – 2008 | 75,2 |
| 2008 – 2009 | 57,1 |
| 2009 – 2010 | 37,9 |

Ahora, teniendo presente que existe la posibilidad de la instalación de siete gasocentros más, según la Ref. N° 06, entonces, considerando el establecimiento en estudio, se tendría once establecimientos; y la demanda diaria promedio

(mínima) sería:
$$\frac{36200}{11} = 3291 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Tomando un valor promedio de ambas cantidades como el punto de partida correspondiente al año 2006:

$$\frac{9050 + 3291}{2} = 6170 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Redondeando:

$$6200 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Este valor será el punto de partida para obtener la Tabla N° 2.15, "Grifo La Joya de Sta. Isabel: Proyección de la demanda diaria de GNV desde el año 2006 hasta el año 2010", para lo cual se usará los valores de la Tabla N° 2.14.

Tabla N° 2.15
Grifo La Joya de Sta. Isabel:
Proyección de la demanda de GNV
desde el año 2006 hasta el año 2010

| Año | Demanda de GNV a C.N. ($m^3/día$) |
|------|-------------------------------------------|
| 2006 | 6 200 |
| 2007 | 12 290 |
| 2008 | 21 530 |
| 2009 | 33 820 |
| 2010 | 36 590 |

Veamos un cálculo de obtención de los valores de la Tabla N° 2.15:

- Demanda diaria – año 2006:

$$6200 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

- Porcentaje de incremento – Período 2006 – 2007:

$$98,2 \%$$

- Demanda diaria – año 2007:

$$6200 + \frac{98,2}{100} \times 6200 = 12288 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Redondeando:

$$12290 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

Los demás valores para los siguientes años se obtienen de manera similar.

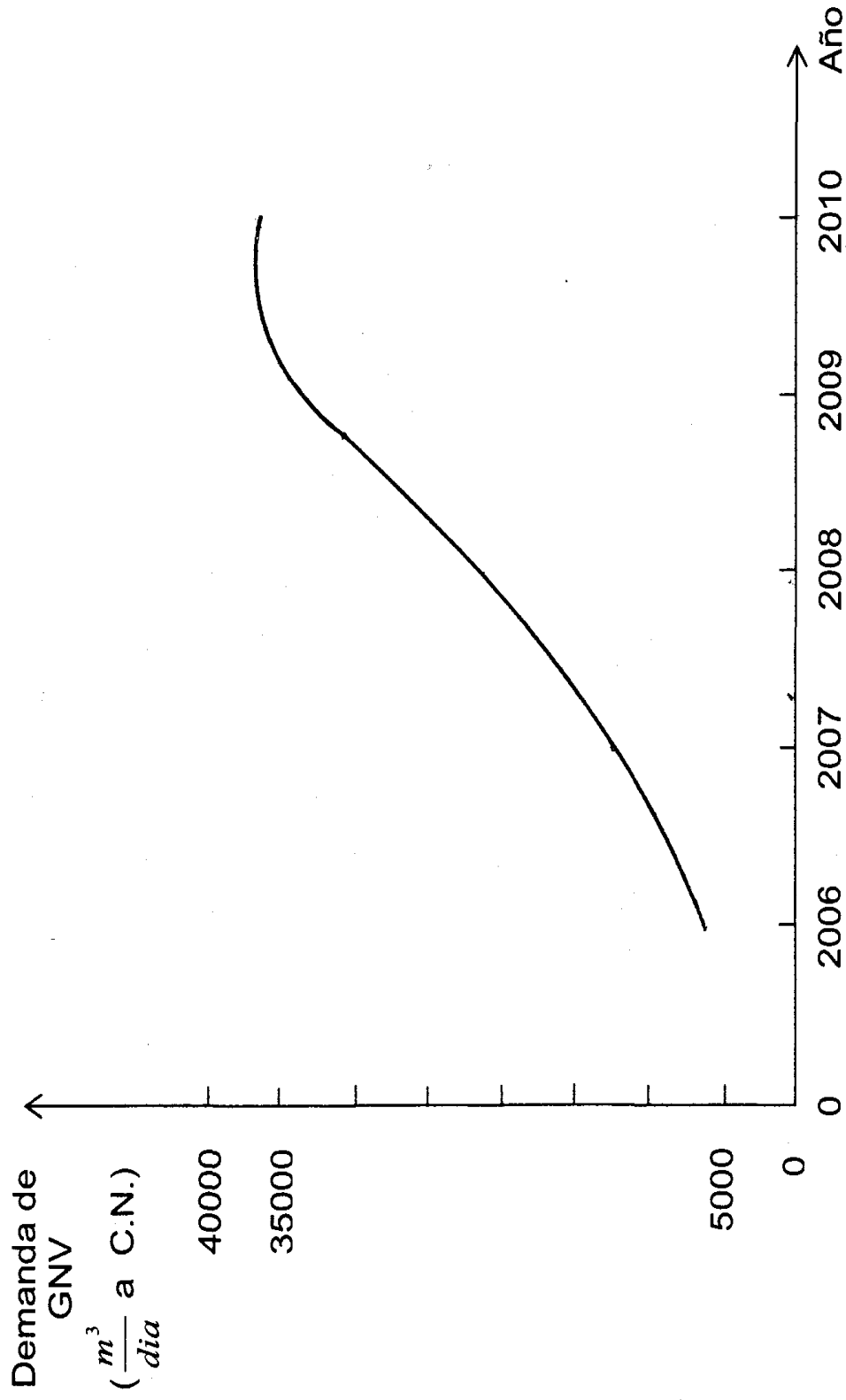
Con los valores de demanda de la Tabla N° 2.15 se obtiene la demanda diaria promedio entre los años 2006 a 2010

$$Demanda\ diaria\ promedio = \frac{\sum demanda}{5}$$

$$Demanda\ diaria\ promedio = \frac{110430}{5}$$

$$Demanda\ diaria\ promedio = 22086 \frac{m^3}{dia} a C.N.$$

A continuación se muestra la Gráfica N° 2.4 “Grifo La Joya de Santa Isabel: Proyección de la Demanda de GNV desde el año 2006 hasta el año 2010”



Gráfica N° 2.4: "Grifo La Joya de Santa Isabel: Proyección de la Demanda de GNV el año 2006 hasta el año 2010"

CAPITULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA DE G.L.P.

3.1 GENERALIDADES

Este sistema estará constituido por un tanque cilíndrico vertical soterrado, un sistema de tuberías y bomba, el dispensador, el cual será de dos mangueras, para atención de vehículos menores por ambos lados; y otros componentes mecánicos.

Respecto a la bomba, ésta será instalada en la parte externa del tanque, cerca de la cabeza inferior de este y deberá acondicionarse el espacio apropiado para ello y también el acceso hacia ella..

3.2 DISEÑO DEL TANQUE.

En lo que concierne al tanque de GLP, se efectuarán los cálculos que a continuación se mencionan:

- a) Cálculo de las dimensiones óptimas; que implica el cálculo previo del tamaño del volumen útil óptimo.
- b) Diseño por resistencia a la tracción
- c) Diseño por resistencia a la fatiga

Lo indicado en (b) y (c) se hará tanto para el casco del tanque como para la cabeza.

3.3 CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL VOLUMEN ÚTIL ÓPTIMO ($V_{u\text{ opt}}$)

3.3.1 Costo de mantener una unidad en inventario durante un año (H)

Según Ref. N° 07, el costo anual de manejo de inventario oscila entre el 20% y 40% del precio del producto en la fábrica. Para el presente trabajo sería el precio en PETROPERU.

Entonces se tendría:

$$H = \% \times P_{up} \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde:

% = Porcentaje.

P_{up} = Precio unitario del producto (\$)

Los valores serían:

% = 35 % (asumido del rango indicado antes)

$P_{up} = \$295,8 / m^3$ (dato de OSINERG, año 2006)

Tasa de cambio: S/. 3,30 /\$ (año 2006)

Se asumirá que este valor del precio unitario de GLP se mantiene constante hasta el año 2010.

Luego:

$$H = \frac{35}{100} \times 295,8$$

$$H = \$103,53 / m^3$$

3.3.2 Costo de hacer un pedido (S_p)

a) **Costo del personal que interviene en el pedido** (C_{pp})

La persona del grifo que interviene en el pedido es el Administrador.

El tiempo t_T que le toma se obtiene de la siguiente forma:

- Tiempo de chequeo del medidor de nivel de líquido de GLP (t_{ch}).
Se considerará que se hacen tres chequeos previos de 3 min. cada uno antes de determinar el momento de hacer pedido

$$t_{ch} = 3 \text{ chequeos} \times \frac{5 \text{ min}}{\text{chequeo}}$$

$$t_{ch} = 15 \text{ min} \Leftrightarrow 0,25 \text{ h}$$

- Tiempo empleado en avisar al propietario (t_{aviso})

Se considerará que el administrador comunica al propietario de la cantidad de volumen del GLP en el tanque sea por teléfono o personalmente o ambas situaciones en : $t_{aviso} = 15 \text{ min} = 0,25 \text{ h}$

- Tiempo empleado en hacer el pedido de GLP (t_{pedido}) .

Se considerará que se hará el pedido en:

$$t_{pedido} = 6 \text{ min} \Leftrightarrow 0,1 \text{ h} .$$

- Tiempo de pago en el Banco (t_{pago})

Es el tiempo empleado en ir al Banco a pagar el pedido de GLP, el tiempo que demora la gestión en dicha entidad y el tiempo en regresar al establecimiento.

- Tiempo de ir y venir: 1,25 h.
 - Tiempo del trámite: 0,25 h
- 1,50 h

$$t_{pago} = 1,50 \text{ h}$$

- Tiempo de dirección y control ($t_{d.c}$).

Es el tiempo en dirigir y controlar la operación de trasiego de GLP.

Depende del volumen útil del tanque y del caudal de la bomba.

Del tanque a instalar debe considerarse el volumen útil correspondiente al tanque obtenido con la demanda diaria promedio entre los años 2006 a 2010.

Dicha demanda puede variar, generalmente, entre un 40% a 100% más de la demanda diaria, aproximadamente.

Por otro lado, en el mercado peruano hay bombas de GLP hasta de 50 gal/min $\approx 0,19 \text{ m}^3/\text{min}$

Asumiendo volumen útil = 70% más de la demanda diaria, siendo la demanda diaria promedio de $5,1 \text{ m}^3 / \text{dia}$:

$$\text{Volumen útil} = 5,1 + \frac{70}{100} \times 5,1$$

$$\text{Volumen útil} = 8,7 \text{ m}^3$$

Tomando bomba de un caudal de $0,19 \text{ m}^3 / \text{min}$ para estimar el tiempo de "llenado" del tanque del establecimiento:

$$\frac{8,7}{0,19} = 43,8 \text{ min} \simeq 0,75 \text{ h}$$

Luego el tiempo total (t_T) será:

$$t_T = t_{ch} + t_{aviso} + t_{pedir} + t_{d.c.}$$

$$t_T = 0,25 + 0,25 + 0,1 + 1,5 + 0,75$$

$$t_T = 2,85 \text{ h}$$

Considerando como sueldo promedio del administrador del establecimiento para ese año y para la zona donde trabajará:

S/. 1200 /mes

Luego:

$$\frac{S/.1200}{\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1}{8} \frac{\text{día}}{\text{h}} = \frac{S/.5.00}{\text{h}}$$

Entonces:

$$C_{pp} = \frac{S/.5.00}{\text{h}} \times 2.85 \frac{\text{h}}{\text{pedido}}$$

$$C_{pp} = S/.14,25 / \text{pedido}$$

O también:

$$C_{pp} = \$4,30 / \text{pedido}$$

b) Costo de llamadas por teléfono (C_{tel})

- Llamada al propietario

$$2 \text{ llamada} \times \frac{S/1}{\text{llamada}} = S/2$$

- Llamada al proveedor

$$1 \text{ llamada} \times \frac{S/1,50}{\text{llamada}} = S/1,50$$

Luego :

$$C_{tel} = S/. 2,00 + S/. 1,50$$

$$C_{tel} = S/. 3,50 / \text{pedido}$$

$$C_{tel} = \$ 1,06 / \text{pedido}$$

c) Costo de movilidad (C_{mov})

Referido a la movilidad para ir y venir del Banco

$$C_{mov} = S/. 3,00$$

$$C_{mov} = \$ 0,91$$

d) Costo de materiales (C_m):

Referido a los materiales usados en oficina y que intervienen en el pedido.

Las verificaciones del nivel de GLP en el tanque se anotan en cuaderno, la necesidad del pedido se anota en pizarra acrílica, se hace uso de hojas para el cálculo del desembolso a efectuar, etc.

$$C_m = S/. 0,50 / \text{pedido}$$

$$C_m = \$ 0,15 / \text{pedido}$$

Finalmente, el costo de hacer un pedido (S_p) será:

$$S_p = C_{pp} + C_{tel} + C_{mov} + C_m \dots\dots\dots(3.2)$$

$$S_p = \frac{\$4,30}{\text{pedido}} + \frac{\$1,60}{\text{pedido}} + \frac{\$0,91}{\text{pedido}} + \frac{0,15}{\text{pedido}}$$

$$S_p = \$6,42$$

3.3.3 Costo por manejo de inventario (C_{manejo})

Se tiene, de la Ref. N° 07, la siguiente relación que nos da el costo por manejo de inventario:

$$C_{manejo} = \frac{V_u}{2} \times H \dots\dots\dots(3.3)$$

Siendo:

C_{manejo} = Costo de manejo de inventario (\$)

V_u = Tamaño de lote (m^3)

H = Costo de mantener una unidad en inventario durante 1 año (\$/m³)

Luego:

$$C_{\text{manejo}} = \frac{V_u}{2} \times 103,53$$

$$C_{\text{manejo}} = 51,77 V_u$$

Con esta ecuación se calcula el C_{manejo} para diferentes valores de V_u .

Veamos un cálculo

Sea $V_u = 0,38 m^3$

Luego:

$$C_{\text{manejo}} = 51,77 \times 0,38$$

$$C_{\text{manejo}} = \$ 19,67$$

De esta manera se obtiene los demás valores para otras cantidades del volumen útil que se muestran en la Tabla N° 3.1, "Costo por Manejo de Inventario (C_{manejo})". Se puede observar, en dicha tabla, que los costos por manejo de inventario van creciendo conforme se incrementa el valor del volumen útil.

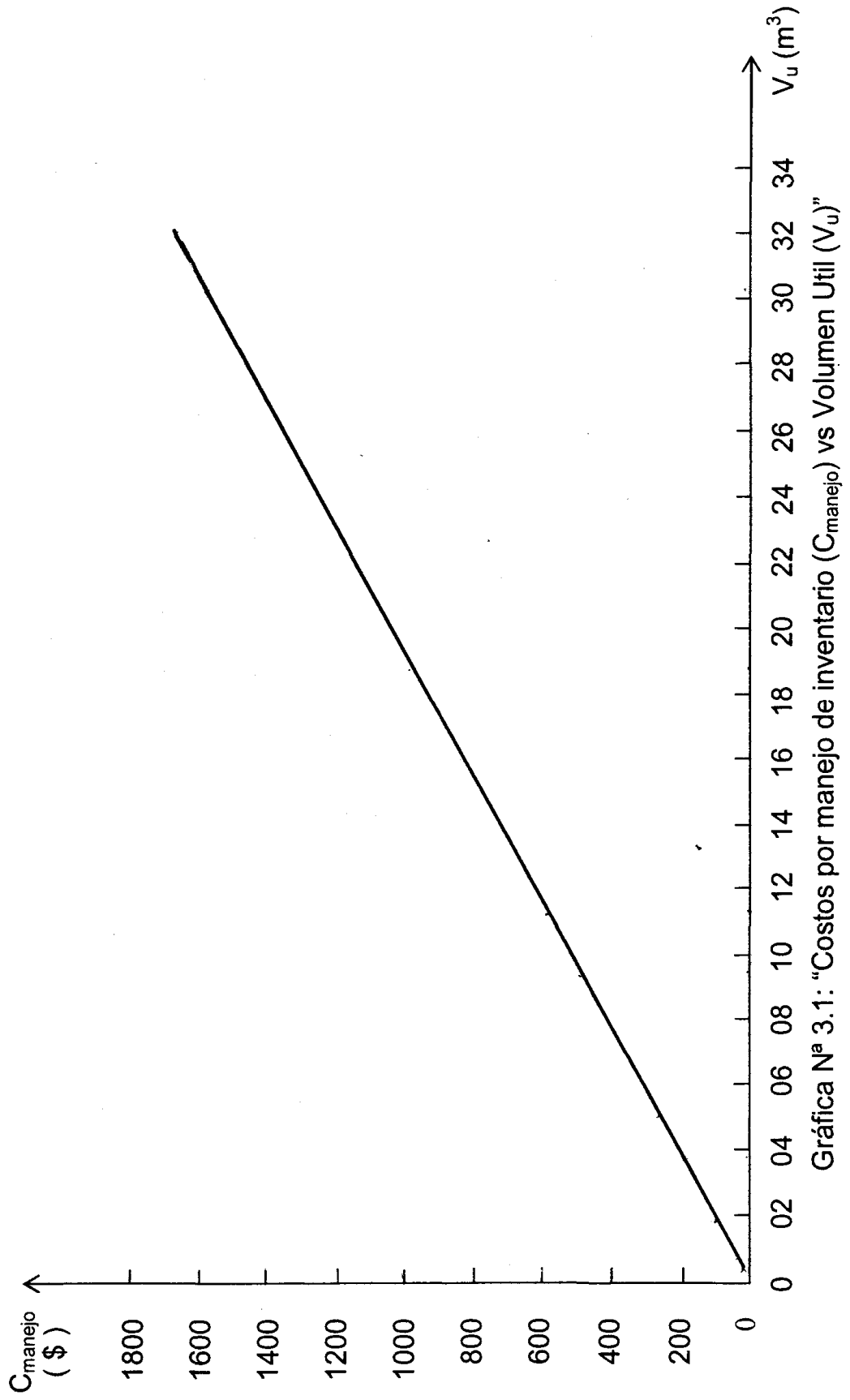
Tabla N° 3.1

Costo por manejo de Inventario (C_{manejo})

| V_u (m ³) | C_{manejo} (\$) |
|----------------------------|----------------------|
| 0,38 | 20 |
| 0,76 | 39 |
| 1,89 | 98 |
| 3,78 | 196 |
| 5,00 | 259 |
| 9,45 | 489 |
| 11,34 | 587 |
| 18,90 | 978 |
| 30,24 | 1566 |
| 32,13 | 1663 |

Con esta Tabla se construye la Gráfica N° 3.1: “Costo por Manejo de Inventario (C_{manejo}) vs Volumen útil (V_u)”, que se muestra a continuación.

Como se deduce de la ecuación (3.3), esta gráfica será una línea recta de pendiente positiva.



Gráfica Nº 3.1: "Costos por manejo de inventario (C_{manejo}) vs Volumen Útil (V_u)"

3.3.4 Costo de preparación en un año (C_{pedir})

Se tiene de la Ref. N° 07:

$$C_{pedir} = \frac{D_a}{V_u} \times S_p \dots\dots\dots(3.4)$$

Siendo:

C_{pedir} = Costo de hacer pedido o de preparación en un año (\$)

D_a = Demanda promedio al año ($\frac{m^3}{año \times pedido}$) ; para cada establecimiento

de venta de GLP automotriz

S_p = Costo de hacer un pedido (\$ / pedido)

La demanda anual " D_a " será:

$$D_a = 5,1 \frac{m^3}{dia} \times 365 \frac{dias}{año}$$

$$D_a = 1862 \frac{m^3}{año} \quad \text{aproximadamente}$$

El valor de S_p es \$ 6,42 / pedido, luego:

$$C_{pedir} = \frac{1862 \frac{m^3}{año}}{V_u} \$ 6,42 / pedido$$

$$C_{pedir} = \frac{11954}{V_u}$$

Con esta ecuación se calcula el costo de pedir para diferentes valores de V_u .

Veamos un cálculo:

Sea $V_u = 0,38 \ m^3$

Luego:

$$C_{pedir} = \frac{11954}{0,38}$$

$$C_{pedir} = \$31458$$

De esta manera se calcula los demás valores que se muestran en la Tabla N°

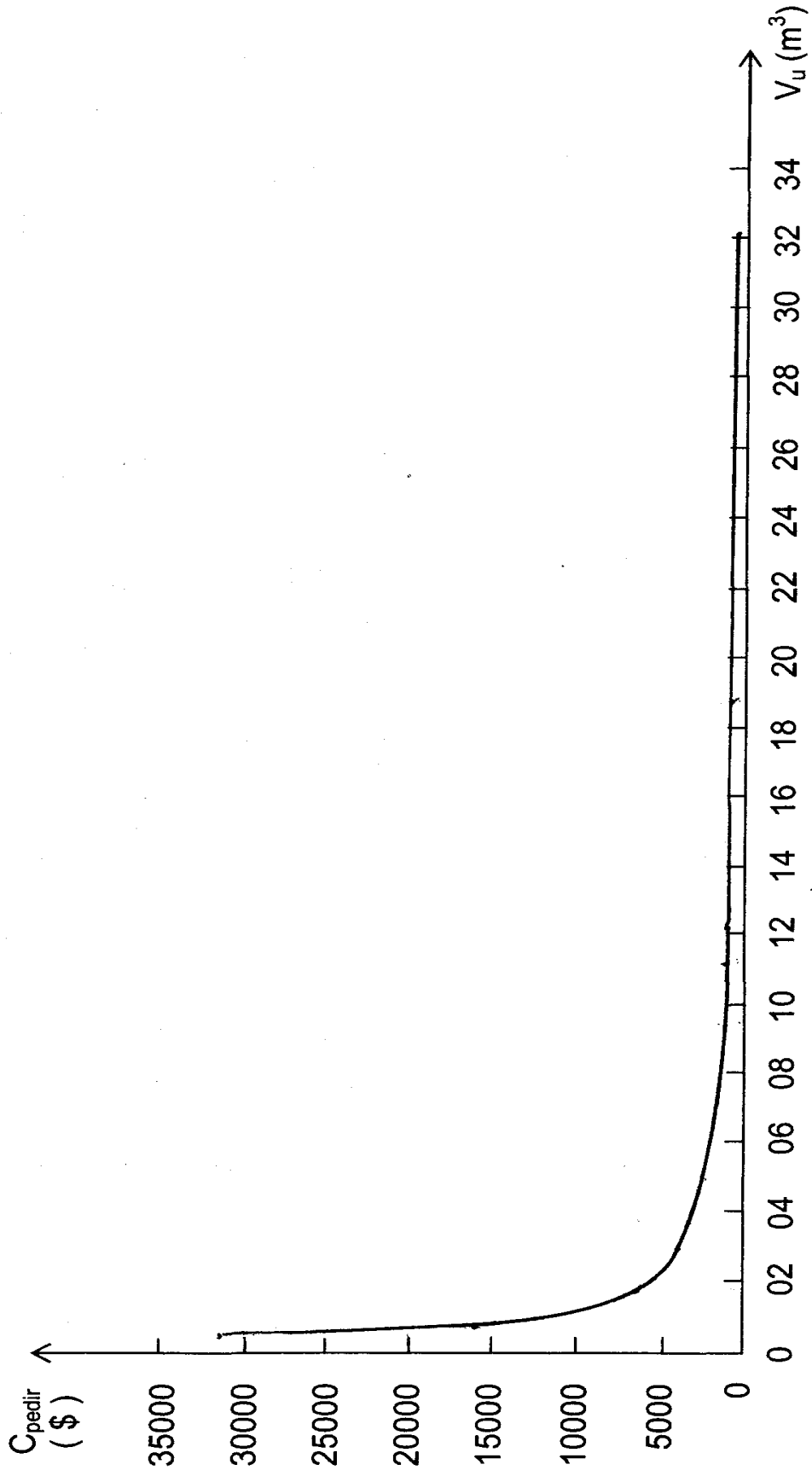
3.2, "Costos de hacer pedidos o de preparación en 1 año (C_{pedir})".

Tabla N° 3.2

Costo de hacer pedidos o de preparación en 1 año (C_{pedir})

| V_u (m ³) | C_{pedir} (\$) |
|----------------------------|---------------------|
| 0,38 | 31458 |
| 0,76 | 15729 |
| 1,89 | 6325 |
| 3,78 | 3162 |
| 5,00 | 2391 |
| 9,45 | 1265 |
| 11,34 | 1054 |
| 18,90 | 632 |
| 30,24 | 395 |
| 32,13 | 372 |

Con esta tabla se construye la Gráfica N° 3.2: "Costos de hacer pedidos o de preparación en 1 año (C_{pedir}) vs. Volumen útil (V_u)"



Gráfica N° 3.2: "Costos de hacer pedidos o de preparación en un año (C_{pedido}) vs Volumen Util (V_u)"

3.3.5 Costo total (C_T)

Con la suma de las ordenadas de las dos curvas trazadas para cada valor de V_u se obtienen los puntos de la curva de costo total, del siguiente modo:

Para $V_{u1} = 0,38 m^3$

$$C_{T1} = C_{\text{manejo}1} + C_{\text{pedir}1} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$C_{T1} = 19,67 + 31458$$

$$C_{T1} = 31477,67$$

Redondeando:

$$C_{T1} = \$ 31478$$

De igual forma se calculan los demás valores que se muestran en la Tabla N° 3.3, "Costo Total (C_T)"

El costo total más bajo corresponde al volumen útil óptimo ($V_{u \text{ opt}}$) que coincide con el cruce de las dos curvas del C_{manejo} y C_{pedir} . Con los valores de la Tabla N° 3.3 se construye la Gráfica N° 3.3 "Costo Total" (C_T) vs Volumen útil (V_u).

Matemáticamente podemos calcular el $V_{u \text{ opt}}$, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$V_{u \text{ opt}} = \sqrt{\frac{2D_d S_p}{H}} \dots\dots\dots(3,6)$$

Siendo:

D_a = Demanda anual.

Tabla N° 3.3

Costo Total (C_T)

| V_u (m^3) | C_T (\$) |
|--------------------|---------------|
| 0,38 | 31478 |
| 0,76 | 15768 |
| 1,89 | 6423 |
| 3,78 | 3358 |
| 5,00 | 2650 |
| 9,45 | 1754 |
| 11,34 | 1641 |
| 18,90 | 1610 |
| 30,24 | 1961 |
| 32,13 | 2035 |

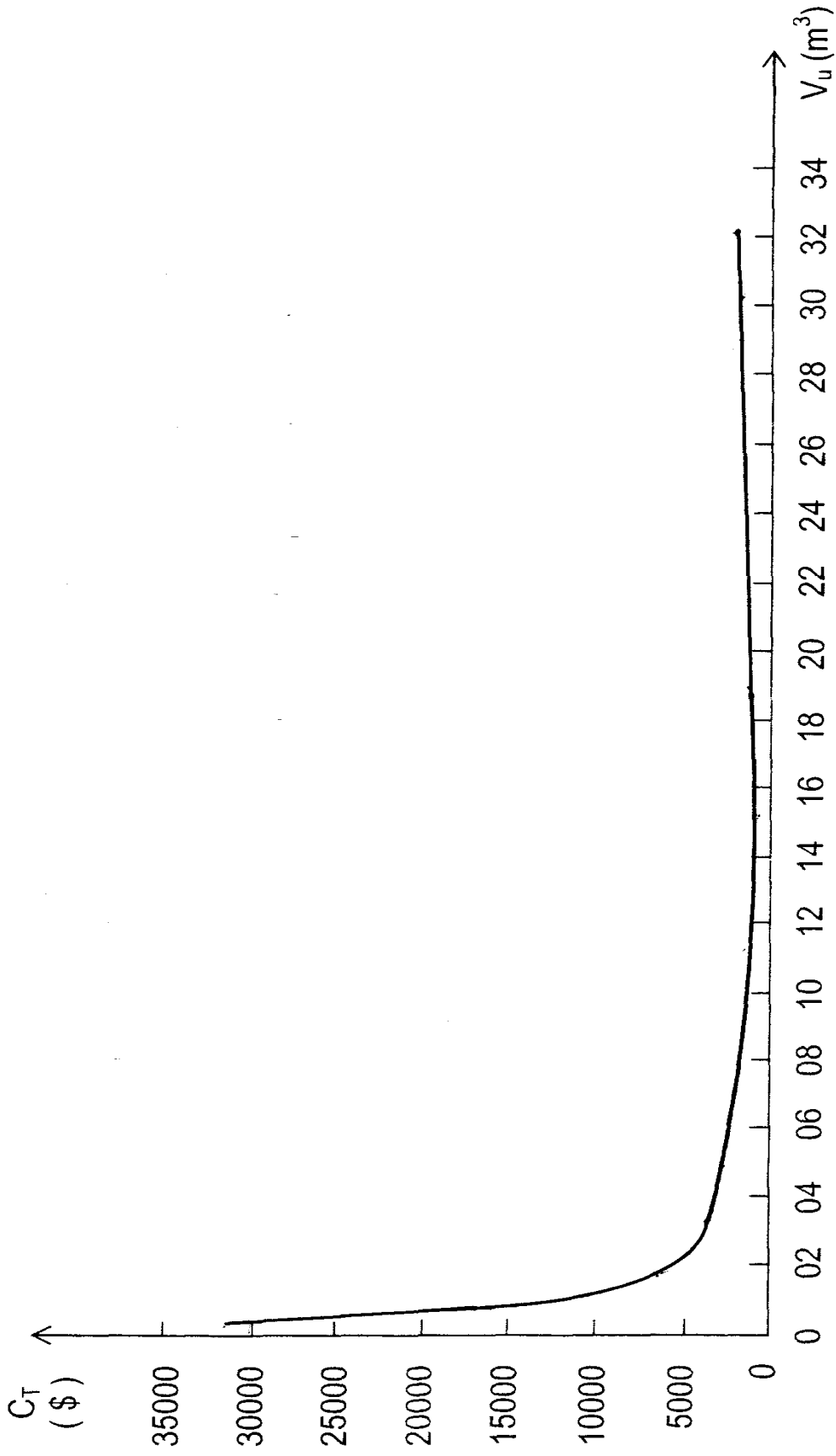
Esta ecuación se puede obtener haciendo $C_{manejo} = C_{pedir}$ y desarrollando para V_u . También se puede obtener dicha fórmula derivando

$C_T = C_{manejo} + C_{pedir}$ respecto a V_u e igualando a cero.

En nuestro caso:

$$V_{u\ opt} = \sqrt{\frac{2(1862)(6,42)}{103,53}}$$

$$V_{u\ opt} = 15,20\ m^3$$



Gráfica N° 3.3: "Costo Total (C_T) vs Volumen Util (V_u)"

3.4 DIMENSIONES ÓPTIMAS DEL TANQUE

Como el volumen del tanque obtenido es el óptimo pero no definitivo, puesto que dicho volumen estará afectado por restricciones de tipo económico y de espacio; entonces las dimensiones tampoco serían definitivas:

- ***Razones económicas***

No es atractivo para el propietario, en este momento, el invertir en un tanque de 24,6 m³ el cual no trabajará con el máximo de volumen útil hasta dentro de unos años, prefiriendo invertir su capital en uno de menor capacidad ya que puede operar dicho tanque aumentando el número de recargas, por su puesto, sin llegar a extremos inapropiados.

Además existe la posibilidad de instalar en el futuro otro tanque de GLP paralelo al anterior siempre que se acondicione el espacio necesario para ello. “V_t” aceptado < 14 m³.

- ***Razones de espacio***

Como en el establecimiento también se instalará un sector de GNV, éste, al igual que el sector de GLP, exigirán distancias mínimas a respetar; desde las unidades de almacenamiento de gas hasta otros puntos del establecimiento, por tal motivo las dimensiones del tanque de GLP deberán ser las menores posibles. Analizando la posición posible del tanque en el terreno se concluye:

“d” aceptado < 2,15 m

Se construye la Tabla N° 3.4, “Dimensiones aproximadas de tanques”, en base a lo indicado en la Ref. N° 08, “Manual de Recipientes a presión”, página 264 – 265 y tomando valores de volúmenes de tanques menores a 14 m³.

En nuestro caso:

$$V_t = 3000 \text{ gal} \leftrightarrow 400,8 \text{ pie}^3 \leftrightarrow 11,34 \text{ m}^3$$

presión de diseño = 250 psi = p

C = Margen por corrosión. No considerar. Protección con pintura epóxica y con ánodos de sacrificio.

$E = 1$ (eficiencia de la junta)

De la Ref. N° 10 se selecciona acero A36 para placas que trabajarán a temperatura ambiente.

$S = 16600$ lb/pulg².

Estos valores serán usados para todos los tanques de la Tabla.

Luego, de la Ref. N°08:

$$F' = \frac{P}{CSE} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$F' = \frac{250}{16600 \times 1}$$

$$F' = 0,01506$$

Redondeando:

$$F' = 0,0151$$

Con $V_t = 400,8$ pies y $F' = 0,0151$ pulg⁻¹ se entra a la gráfica de la página 265, Ref. N° 08 y se obtiene:

$$d = 6,4 \text{ pies} \diamond 76,8 \text{ pulg} \diamond 1,95 \text{ m}$$

Se ha cambiado la nomenclatura del diámetro "D" del libro de la Ref. N° 08 por "d" usado en esta Tesis .

La longitud interior total del recipiente (L) será:

$$L = \frac{4V_t}{\pi d^2} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$L = \frac{4 \times 400,8}{\pi 6,4^2}$$

$$L = 12,46 \text{ pies}$$

En metros:

$$L = 3,797 \text{ m} \approx 3,8 \text{ m}$$

Considerando cabeza hemisférica, el largo "X" del casco del tanque será:

$$X = L - d$$

$$X = 12,46 - 6,4$$

$$X = 6,05 \text{ pies}$$

En metros:

$$X = 1,847 \text{ m} \approx 1,85 \text{ m}$$

(Ver Fig. N° 3.1)

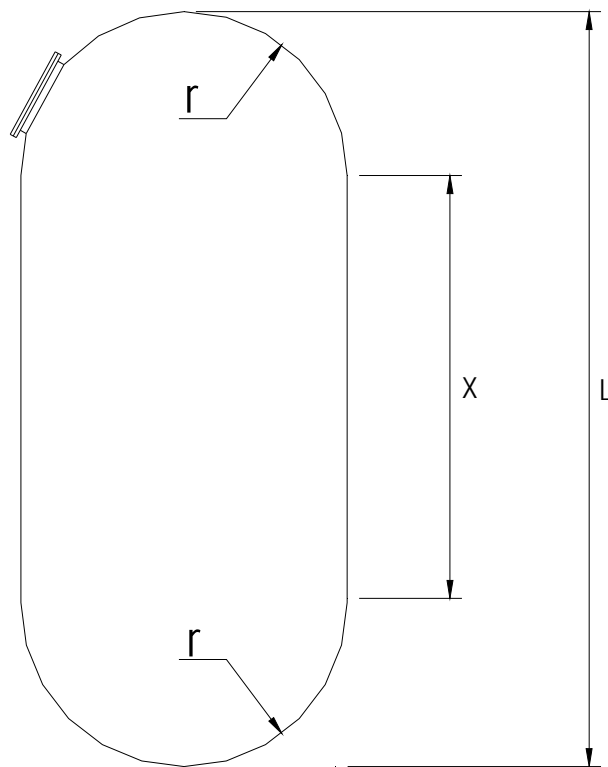


Fig. N° 3.1: Esquema simplificado del tanque de GLP

$$d = 2 r$$

Esc: S/E

Tabla N° 3.4

Dimensiones aproximadas del tanque

| Volumen de tanque (asumido) V_t Pie ³ | Dimensiones del tanque (no estándar) | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|
| | D Pie | L Pie | X Pie |
| 400.8 | 6,4 | 12,5 | 6,1 |
| 467,6 | 6,7 | 13,3 | 6,6 |

Con los valores de esta tabla se construye la Tabla N° 3.5 en unidades del sistema internacional.

Tabla N° 3.5

Datos de los tanques asumidos

(En Sistema Internacional de Unidades)

| Volumen de tanque (asumido) V_t (m^3) | Dimensiones de tanques (no estándar) | | | Perímetro (m) |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|----------------------|
| | D (m) | L (m) | X (m) | |
| 11,34 | 1,95 | 3,81 | 1,86 | 6,12 |
| 13,23 | 2,04 | 4,05 | 2,01 | 6,40 |

Teniendo presente las propiedades mecánicas y dimensiones de las planchas de acero de la ASTM (Ref. N° 09) y considerando que a mayor diámetro, mayor es el esfuerzo en las planchas del casco del tanque, aparte

de que el acero A 36 es el más usado en nuestro país por fabricantes de tanques de GLP como Industria de Tubos S.A. (ITSA); el cual no requiere del tratamiento térmico posterior; se selecciona:

Plancha de acero A 36 de:

| | |
|----------|--------|
| Ancho | 2451mm |
| Longitud | 6 m |

En la Tabla N° 3.5 se observa que el perímetro que más se aproxima a la longitud de la plancha escogida es de 6,12 m, entonces se evita hacer un cordón de soldadura si se toma como perímetro del casco los 6 m de longitud de la plancha, aparte que se disminuye el diámetro con lo cual se disminuye el esfuerzo en la plancha del casco pero a su vez se compensa el volumen perdido al tomar una longitud del casco mayor ($x = 2,45\text{m}$).

Luego las dimensiones definitivas serán:

$$d = 1,90 \text{ m} \quad (\text{diámetro interior})$$

$$L = 4,35 \text{ m} \quad (\text{longitud interior})$$

$$X = 2,45 \text{ m} \quad (\text{longitud del casco})$$

$$V_{\text{cab}} = 3,59 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{casco}} = 6,94 \text{ m}^3$$

$$V_t = 10,53 \text{ m}^3$$

Ahora se hará la Tabla N° 3.6: "Variación anual del tiempo entre pedidos y cantidad de pedidos al mes"; para el tanque seleccionado.

El cálculo para el año 2006 es el siguiente:

Volumen útil (V_u)

$$V_u = 0,6 V_t \dots\dots\dots(3.9)$$

$$V_u = 0,6 \times 10,53$$

$$V_u = 6,32 \text{ m}^3$$

El tiempo entre pedidos (t_p), para el año 2006, considerando la demanda diaria (D_d) para ese año ($3,2 \text{ m}^3 / \text{día}$) será:

$$t_p = \frac{V_u}{D_d} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$t_p = \frac{6,32}{3,2}$$

$$t_p = 1,97 \text{ dias}$$

El número de pedidos al mes (n_p) será:

$$n_p = \frac{30}{1,97}$$

$$n_p = 15,2$$

$$n_p \approx 15 \text{ pedidos / mes}$$

Los demás valores se obtienen de forma similar.

Las dimensiones definitivas del tanque se determinan haciendo que se combinen de la mejor forma el mínimo número de planchas con el mínimo número de costuras (cordón de soldadura) para disminuir el riesgo de falla en la soldadura, el costo por radiografiado del cordón de soldadura, el costo por corte de plancha, el costo por electrodo, costo de mano de obra para soldar, el esfuerzo en las planchas, costo de rolado de plancha y tiempo de fabricación del tanque.

Tabla N° 3.6

Variación anual del tiempo entre pedidos y cantidad de pedidos al mes.

$$V_t = 10,53 \text{ m}^3 \quad V_u = 6,32 \text{ m}^3$$

| Año | D_d ($\text{m}^3 / \text{día}$) | t_p días | n_p $\left(\frac{\text{cargas}}{\text{mes}} \right)$ |
|------|----------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------|
| 2006 | 3,2 | 1,97 | 15 |
| 2007 | 4,0 | 1,58 | 19 |
| 2008 | 4,9 | 1,29 | 23 |
| 2009 | 6,0 | 1,05 | 29 |
| 2010 | 7,3 | 0,87 | 34 |

Si consideramos que el intervalo de la cantidad de pedidos (o cargas del tanque de GLP) de un gasocentro por mes es de:

$$10 \leq n_p \leq 30$$

Y, que incluso, se puede tomar como aceptable el hacer hasta $n_p \leq 60$ *cargas/mes*, vemos entonces, de la Tabla N° 3.6, que; inclusive para el año 2010; nuestro tanque tendría un número de cargas bastante bueno ($n_p = 34$ *cargas/mes*)

Los valores de n_p indicados anteriormente son válidos para establecimientos ubicados en ciudades que cuenten con vías de tránsito asfaltadas para el fácil y rápido transporte del GLP y que no tengan problema de posible desabastecimiento de este combustible. En caso contrario, el desabastecimiento de GLP o también el retraso en la entrega del mismo al establecimiento, podría darse por obstrucción de las pistas por causas

naturales o fallas mecánicas del vehículo por lo accidentado de las vías de tránsito. Esto afectaría el valor del número de cargas al mes.

3.5 CARGAS ACTUANTES SOBRE UN TANQUE: MARCO TEORICO

Un tanque debe ser diseñado por resistencia a la tracción o compresión y por resistencia a la fatiga y en cada caso se presentan diversos tipos de cargas, no todas las cuales actuarán necesariamente sobre el recipiente, ya que esto dependerá de factores como tamaño, ubicación, posición, sustancia almacenada, etc.

Teniendo presente esto se determinará las cargas actuantes en el tanque en estudio valiéndonos de información de la Ref. N° 08.

3.5.1 Diseño por resistencia a la tracción.

Comprende las siguientes cargas:

- a) Carga de presión.-** Esta puede ser
- Presión interior: producida por la sustancia contenida en el recipiente. Esta carga se da en nuestro caso debido al GLP.
 - Presión exterior: Es el caso de una presión exterior al tanque, mayor que la presión atmosférica.

Esta carga no se toma en cuenta en nuestro caso ya que la arena de río usada en el soterrado ejerce una despreciable presión sobre el recipiente.

b) Carga del peso del recipiente.- Es debido al peso del material del recipiente, accesorios, instrumentos, equipo y al peso de la sustancia que contiene. Esta carga se da en nuestro caso.

Caso de flexión y corte: Se da en tanques horizontales en superficie, en especial si son largos y están apoyados en silletas. No es nuestro caso.

c) Carga por sismo.- Un movimiento sísmico origina una carga significativa en tanques grandes, no soterrados, en especial si son verticales y altos. Esta carga no se da en nuestro caso por que el tanque, a pesar de ser vertical, es pequeño, y esta soterrado. La probabilidad de que se produzca un gran sismo capaz de crear una falla geológica que pase justo por la zona del tanque, es despreciable.

d) Carga excéntrica.- Cuando los equipos, accesorios e instrumentos (en conjunto) o estructura adicional en el exterior crean una carga asimétrica que da origen a esfuerzos flexionantes. Esto se manifiesta en tanques verticales altos no soterrados. Esta carga no se da en nuestro caso

e) Carga de compresión.- Cuando el tanque está sometido a compresión axial puede fallar por inestabilidad en dos formas:

- Por deformación de todo el recipiente (deformación de Euler).
- Por deformación local.

Esta carga no se da en nuestro caso porque el peso de los instrumentos y la cubierta protectora de las válvulas es tan insignificante que no se considerará aisladamente si no que dicho peso será adicionado al peso del tanque y de su contenido.

f) **Carga del viento.**- El viento origina:

- Momento flector y esfuerzos cortantes críticos en la parte inferior del tanque.
- Deflexión, que no debe pasar de la deflexión máxima permitida. Implica un buen diseño del faldón en tanques verticales en superficie.
- Vibración, la cual puede convertirse en vibración armónica de efectos peligrosos para el tanque.

Todo esto se manifiesta en tanques verticales altos, ubicados en superficie, sometidos a la acción directa del viento. Esta carga no se da en nuestro caso.

3.5.2 **Diseño por resistencia a la fatiga.**

Comprende las siguientes cargas.

- a) **Cargas térmicas fluctuantes.**- Estas cargas originan dilatación y contracción en un elemento metálico provocando una falla cuando actúan con elevada frecuencia y una variación severa de temperatura. Pero en el caso de un tanque en superficie, dichas cargas son insignificantes y por otro lado, el tanque en estudio estará soterrado, aislado así del calor solar. No es nuestro caso.
- b) **Carga del viento.**- La cual origina vibraciones en la estructura y con el tiempo pueden provocar falla por fatiga.
Esta carga no se da en nuestro caso porque el tanque estará soterrado.
- c) **Cargas fluctuantes en operación del tanque.**- El llenado y vaciado del GLP del tanque origina expansión y contracción del mismo provocando con el tiempo una falla.

Este caso será analizado.

3.6 TANQUE DE GLP: DISEÑO POR RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Las cargas que actúan sobre el tanque son:

- Presión interior.
- Pesos actuantes – De los cuales se dan tres situaciones:
 - a) Peso del armado.
 - b) Peso en la operación
 - c) Peso en la prueba

Se tomará el mayor de estos tres valores.

3.6.1 Cálculo del espesor de placa por presión interior.

Las fórmulas mencionadas anteriormente las podemos encontrar también en la Ref. N° 08, página 18, válida para dimensiones interiores del recipiente y presión interior.

a) Para el casco cilíndrico (costura longitudinal)

Se tiene:

$$t = \frac{pr}{SE - 0,6p} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$p = \frac{SEt}{R + 0,6t}$$

Donde:

p = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitidas
(lb / pulg²)

S = Valor del esfuerzo del material (lb / pulg²) – (Ref. N° 09)

E = Eficiencia de la junta, Ref. N° 08, pagina 142

r = Radio interior (pulg.)

d = Diámetro interior (pulg.)

t = Espesor de pared (pulg.)

$C.A.$ = Margen por corrosión (pulg.).Añadir al espesor “ t ”

Se tiene:

$p = 250 \text{ lb / plg}^2$ (Norma NFPA 58, edición 2008)

$S = 16600 \text{ lb / pulg}^2$ A 36 a T_{amb} (Ref. N° 09)

$E = 1$

$r = 0,95 \text{ m} \leftrightarrow 37,40 \text{ pulg.}$

$d = 74,8 \text{ pulg.}$

$C.A. = 0 \text{ pulg.}$ (Tanque tendrá protección con pintura epóxica y con ánodos de sacrificio)

Luego:

$$t = \frac{250(37,40)}{16600 \times 1 - 0,6 \times 250}$$

$t = 0,621 \text{ pulg.}$

$t = \frac{5}{8} \text{ pulg}$ (estándar)

$t = 16 \text{ mm}$ estándar

Recalculando la presión máxima de trabajo permitida en el casco:

$$p = \frac{16600 \times 1 \times \frac{5}{8}}{(37,4 + 0) + 0,6 \times \frac{5}{8}}$$

$$p = 274,65 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Del cálculo efectuado se deduce que el valor del espesor de plancha obtenido cumple con la exigencia de presión.

b) Para el casco cilíndrico (costura circunferencial)

Como el esfuerzo circunferencial del casco del tanque es la mitad del esfuerzo longitudinal, no es necesario el cálculo del espesor de plancha para esta condición, por lo tanto, para efecto de la determinación del espesor de la plancha es suficiente el valor de “t” igual a 16 mm calculado anteriormente.

En cuanto a la costura circunferencial, el esfuerzo en ésta rige solamente cuando la eficiencia de la junta circunferencial es menor que la mitad de la eficiencia de la junta longitudinal o cuando, además de la presión interna, hay cargas adicionales (cargas de viento, reacción en las silletas (apoyos)), que producen flexión o tensión longitudinales por la causa expuesta en el párrafo anterior. Este no es nuestro caso porque la eficiencia de junta tomada es del 100% y no existen las cargas adicionales mencionadas.

c) Para las cabezas hemisféricas.

De Ref. N° 08, página 18, se tiene la fórmula que nos da el espesor de plancha y la presión máxima de trabajo permitida para presión interior y cabeza hemisférica.

$$t = \frac{pr}{2SE - 0,2p} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$p = \frac{2SEt}{r + 0,2t}$$

Se tiene:

$$t = \frac{250 \times 37,40}{2 \times 16600 \times 1 - 0,2 \times 250}$$

$$t = 0,282 \text{ pulg.}$$

$$t = \frac{5}{16} \text{ pulg (estándar)}$$

$$t = 8 \text{ mm (estándar)}$$

No se considera margen por corrosión porque el tanque tendrá protección con pintura epóxica y ánodos de sacrificio.

Recalculando la presión máxima de trabajo permitida en la cabeza.

$$p = \frac{2 \times 16600 \times 1 \times \frac{5}{16}}{37,40 + 0,2 \times \frac{5}{16}}$$

$$p = 276,94 \frac{lb}{pulg^2}$$

Redondeando:

$$p = 277 \frac{lb}{pulg^2}$$

3.6.2 Pesos actuantes

a) **Peso del armado**

Los pesos de los elementos que intervienen se muestran a continuación:

| Elemento | Peso (kg) |
|----------------------|-------------------|
| Casco | 1840 |
| Cabezas Hemisféricas | 714 |
| Protector de Válvula | 205 |
| Registro | 30 |
| Man hole | 42 |
| Subtotal | 2831 |
| 6% Adicional | 0.06 x 2831 = 170 |
| Total | 3001 |

Redondeando el valor final:

3000 kg <> 6600 lb

NOTA:

El 6% de 2831 kg es por la soldadura y otros

No se ha descontado agujeros de registro.

Los pesos de los elementos se han estimado considerando peso específico

del acero igual a $7850 \frac{kg}{m^3}$. El peso neto del tanque (casco y cabeza) es

2254 kg, para los espesores de plancha considerados

No han sido considerados en el cálculo:

- El faldón, debido a que no es necesario en tanques soterrados.
- La bomba y su apoyo, por que estos estarán instalados al costado del tanque, en la parte inferior.
- Anillo de la base. No necesario.
- El peso de la plataforma para el ingreso por el man hole y la porción de cubierta que le rodea no se considera porque esta descansará sobre la tierra compactada siendo el efecto de su peso, nulo, sobre el tanque.
- La placa de apoyo
- Pernos de anclaje (no necesarios por que no hay peligro de filtraciones de agua del subsuelo o de lluvia torrencial).

Luego el peso del armado será:

3000 Kg <>6600 lb

b) Peso en la operación

Se tiene el siguiente cuadro:

| Elemento | Peso (kg) |
|----------------------|-----------|
| Líquido de operación | 5720 * |
| Peso del armado | 3000 |
| Total | 8720 |

8720 kg <> 19200 lb (redondeado)

NOTA:

(*) Se calculó con la densidad promedio del propano (0,504 kg/l) y butano (0,582 kg/l), (50% de cada uno, en estado líquido.)

$$\text{Densidad promedio} = 0,543 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

El volumen usado es $0,8V_t$

c) Peso en la prueba

Se tiene el siguiente cuadro:

| Elemento | Peso (kg) |
|-----------------|-----------|
| Agua de prueba | 10530 * |
| Peso del armado | 3000 |
| Total | 13530 |

13530 kg<> 29770 lb (redondeado en libras)

NOTA:

(*) Se considera el tanque lleno.

3.6.3 Verificación de esfuerzos

Se hará la verificación de los esfuerzos con los espesores de placa del cálculo preliminar. Analizando el esfuerzo para el casco en la junta de unión

de esta con la cabeza inferior y que tiene un espesor de placa de $\frac{5}{8}$ pulg :

a) **Esfuerzo debido a presión interior**

$$S_1 = \frac{pd_m}{4t} \dots\dots\dots(3.13)$$

Donde:

$S_1 =$ Esfuerzo debido a presión interior

$d_m =$ Diámetro medio (pulg)

Los valores son:

$$p = 250 \text{ psi}$$

$$t = \frac{5}{8} \text{ pulg}$$

$$d_m = d + t$$

$$d_m = 74,80 + 0,625$$

$$d_m = 75,425 \text{ pulg}$$

Sustituyendo en la ecuación (3.13):

$$S_1 = \frac{250 \times 75,425}{4 \times \frac{5}{8}}$$

$$S_1 = 7542,5 \frac{lb}{pulg^2}$$

Redondeando:

$$S = 7543 \frac{lb}{pulg^2}$$

b) Esfuerzo debido al peso.

Se tomará el peso de prueba por ser el mayor:

$$S_2 = \frac{W}{C_{med} \cdot t} \dots\dots\dots(3.14)$$

$$C_{med} = \pi \cdot d_m \dots\dots\dots(3.15)$$

Donde:

W = Peso en la prueba (lb)

C_{med} = Circunferencia media del casco (pulg.)

$$C_{med} = \pi \times 75,425$$

$$C_{med} = 236,8 \text{ pulg.}$$

Reemplazando valores:

$$S_2 = \frac{29770}{236,8 \times \frac{5}{8}}$$

$$S_2 = 201,1 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_2 = 200 \text{ psi}$$

Combinando esfuerzos:

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| - Esfuerzo debido a presión interior | + 7543 |
| - Esfuerzo debido al peso | <u>- 200</u> |
| | 7 343 <i>psi</i> |

El esfuerzo a la tensión de 7343 $lb/pulg^2$ es menor que el esfuerzo permitido para el material de la placa con 1 de eficiencia de junta y que es de 16600 $lb/pulg^2$. Por lo tanto el espesor de $\frac{5}{8}$ pulg. de acero A36 seleccionado para el casco y el de $\frac{5}{16}$ pulg. seleccionado para las cabezas, son satisfactorios, desde el punto de vista de resistencia a la tracción.

3.7 TANQUE DE GLP: DISEÑO POR RESISTENCIA A LA FATIGA.

3.7.1 Extremo de la cabeza inferior

Para desarrollar este tema se usará la información de la Ref. N° 10, la Ref. N° 11 y la Ref. N° 12.

- **Datos del material de tanque**

Acero A 36

$$S_u = 58000 \text{ psi}$$

$$S_y = 36000 \text{ psi}$$

No hay concentración de esfuerzos a fatiga

- **Factores para el límite de fatiga correcto**

- Acabado superficial

$$k_a = 0,8$$

- Efecto de tamaño

$$k_b = 1 \text{ (para cargas de tracción - compresión)}$$

- Factor de confiabilidad

Para una probabilidad de falla de 0,5%, $D = 2,58$ (unidades tipificadas)

$$k_c = 1 - 0,08 D$$

$$k_c = 1 - 0,08(2,58)$$

$$k_c = 0,794$$

- Factor de temperatura

Se considera temperatura ambiente

$$k_d = 1$$

- Factores varios

$$k_e = 1$$

- **Límite fatiga de la probeta (S'_e)**

$$S'_e = 0,5 \times S_u \text{ para } S_u \leq 200\,000 \text{ psi} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$S'_e = 0,5 \times 58000$$

$$S'_e = 29000 \text{ psi}$$

- **Límite de fatiga correcto (S_e)**

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \dots\dots\dots(3.17)$$

$$S_e = 0,8 \times 1 \times 0,794 \times 1 \times 1 \times 29000$$

$$S_e = 18421 \text{ psi}$$

- **Esfuerzos**

En la prueba hidrostática se tiene los mayores esfuerzos, pero esto

ocurre solo una vez (en el taller o en la instalación) o si no, ocurre eventualmente en otras ocasiones (cuando se sospecha de una fuga y el tanque debe ser sometido a una prueba). Para el diseño por fatiga se debe considerar los esfuerzos durante la operación del tanque.

o **Esfuerzo por presión interior máxima (S_1)**

Se tomará la presión de operación como presión máxima

$$S_1 = \frac{Pd_m}{4.t}$$

Donde:

d_m = Diámetro medio

Los valores son:

$p = 150$ psi (presión de operación)

$t = 5/16$ pulg

$d_m = \frac{1,90 + 1,916}{2}$ (diámetro medio de la cabeza)

$d_m = 1,908$ m \langle 75,118 pulg .

$$S_1 = \frac{150 \times 75,118}{4 \times \frac{5}{16}}$$

$S_1 = 9014,16$ psi

Redondeando:

$S_1 = 9014$ psi

(Ver Fig. N° 3.2(a))

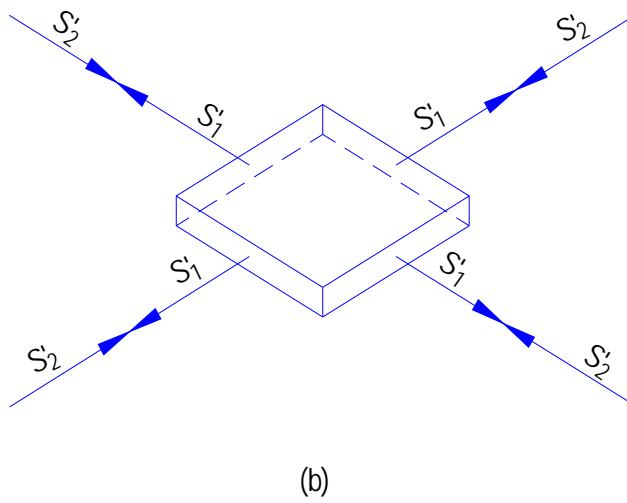
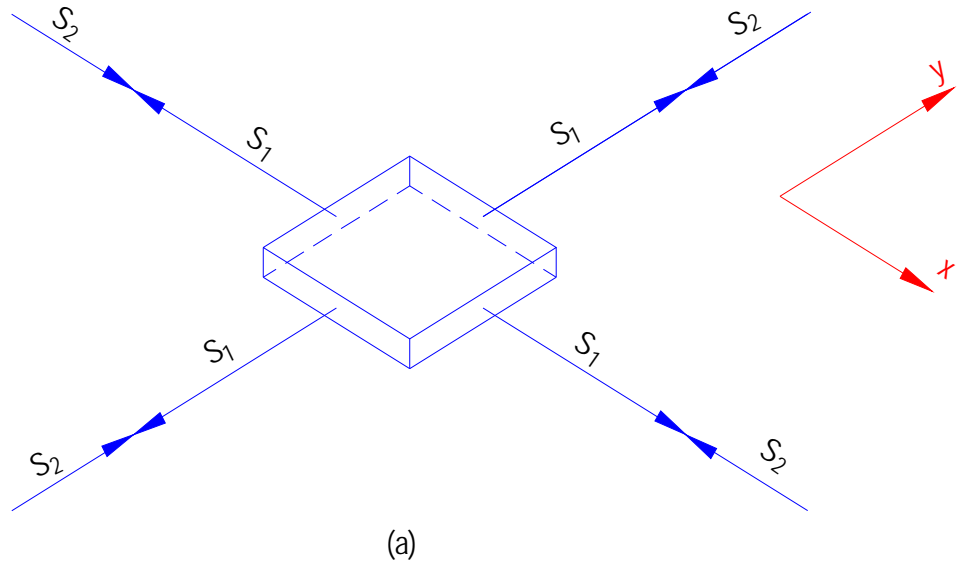


Fig. N° 3.2: Esquema simplificado de los esfuerzos actuantes sobre un elemento de placa de la cabeza inferior del tanque de GLP:
 a) Para el tanque "lleno"
 b) Para el tanque "Vacio"

o **Esfuerzo debido al peso máximo** (S_2)

Se considerará el peso de GLP, ocupando el 80% del volumen del tanque más el peso del armado (tanque, válvulas, equipos, tuberías internas). El valor resultante es el peso de operación ya calculado anteriormente.

19200 lb

Se tomará el espesor de placa de la cabeza inferior $t = \frac{5}{16}$ pulg

Se tiene:

$$S_2 = \frac{W}{C_{med} \times t}$$

El valor de C_{med} se toma con d_m para la cabeza.

C_{med} = Circunferencia media

$$C_{med} = \pi d_m$$

$$C_{med} = \pi \times 75,118$$

$$C_{med} = 235,87 \text{ pulg.}$$

Redondeando:

$$C_{med} = 235,9 \text{ pulg.}$$

Luego:

$$S_2 = \frac{19200}{235,9 \times \frac{5}{16}}$$

$$S_2 = 260,44 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_2 = 260 \text{ psi}$$

Combinando esfuerzos :

$$+ 9\,014$$

$$- \frac{260}{8\,754} \quad psi = \sigma'_{\max x} = \sigma'_{\max y}$$

(Ver Fig. N° 3.2 (a))

o **Esfuerzo por presión interior mínima (S'_1).**

Cuando se dice que el tanque está “vacío”; en realidad aún tiene 20% del volumen del tanque con GLP

El valor de la presión en el interior del tanque “vacío” es de 20 psi.

Procediendo de manera análoga a la anterior se tiene:

$$S'_1 = \frac{p d_m}{4t}$$

$$S'_1 = \frac{20 \times 75,118}{4 \times \frac{5}{16}}$$

$$S'_1 = 1201,8$$

Redondeando:

$$S'_1 = 1202 \text{ psi}$$

(Ver Fig. N° 3.2(b))

o **Esfuerzo debido al peso mínimo (S'_2)**

Se considerará el peso de GLP cuando se tiene el tanque “vacío”, pero, como ya se mencionó, éste contiene aún un 20% del volumen total con GLP, o sea 2106 litros.

Para abreviar los cálculos se obtendrá el peso del GLP líquido que ocupará el volumen mencionado anteriormente y cuyo peso

específico es $0,543 \frac{kg}{l}$.

$$0,543 \times 2106 = 1144 \text{ kg}$$

(El GLP en tanque “vacío” está a una presión de 20 psi y se le considera en fase vapor).

El peso del armado no cambia: 3000 kg

El peso total del tanque “vacío” será:

$$1144 + 3000 = 4144 \text{ kg} \leftrightarrow 9117 \text{ lb}$$

Luego:

$$S'_2 = \frac{W}{C_{med} \times t}$$

$$S'_2 = \frac{9117}{235,9 \times \frac{5}{16}}$$

$$S'_2 = 123,6 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S'_2 = 124 \text{ psi}$$

(Ver Fig. N° 3.2(b))

○ **Esfuerzos combinados**

$$\begin{array}{r} + 1202 \\ - 124 \\ \hline \end{array}$$

$$1078 \text{ psi} = \sigma'_{\min x} = \sigma'_{\min y}$$

○ **Esfuerzo amplitud (σ_{xa}, σ_{ya}) y esfuerzo medio (σ_{xm}, σ_{ym})**

Tanto para el eje “x” como para el eje “y” se aplicará las ecuaciones siguientes:

$$\sigma_a = \frac{\sigma'_{\max} - \sigma'_{\min}}{2} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma'_{\max} + \sigma'_{\min}}{2} \dots\dots\dots(3.19)$$

El esfuerzo amplitud en la dirección “x” será:

$$\sigma_{xa} = \frac{8754 - 1078}{2}$$

$$\sigma_{xa} = 3838 \text{ psi}$$

Como $\sigma'_{\max x}$ es igual a $\sigma'_{\max y}$ e igual a 8754 psi, y además, $\sigma'_{\min x}$

es igual a $\sigma'_{\min y}$ e igual a 1078 psi, entonces, el esfuerzo amplitud

en la dirección “y” será:

$$\sigma_{ya} = 3838 \text{ psi}$$

El esfuerzo medio en la dirección “x” será:

$$\sigma_{xm} = \frac{8754 + 1078}{2}$$

$$\sigma_{xm} = 4916 \text{ psi}$$

Por la misma razón expuesta anteriormente, respecto a los esfuerzos máximos y mínimos, el esfuerzo medio en la dirección

“y” será:

$$\sigma_{ym} = 4916 \text{ psi}$$

- **Factor de fatiga (N_F) y factor de fluencia (N_y)**

Según Goodman, el factor de seguridad para fatiga, (N_F), esta dado

por:

$$N_F = \left[\left(\frac{\sigma_{xa} + \sigma_{xm}}{S_e + S_u} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{ya} + \sigma_{ym}}{S_e + S_u} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{xa} + \sigma_{xm}}{S_e + S_u} \right) \left(\frac{\sigma_{ya} + \sigma_{ym}}{S_e + S_u} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{xya} + \tau_{xym}}{S_e + S_u} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3.20)$$

El factor de seguridad para fluencia, (N_y), será:

$$N_y = S_y \left[(\sigma_{xa} + \sigma_{xm})^2 + (\sigma_{ya} + \sigma_{ym})^2 - (\sigma_{xa} + \sigma_{xm})(\sigma_{ya} + \sigma_{ym}) + 3(\tau_{xya} + \tau_{xym})^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.21)$$

Donde:

σ_{xa} = Esfuerzo amplitud en la dirección x

σ_{ya} = Esfuerzo amplitud en la dirección y

σ_{xm} = Esfuerzo medio en la dirección x

σ_{ym} = Esfuerzo medio en la dirección y

S_e = Límite de fatiga correcto

S_u = Esfuerzo de rotura

τ_{xya} = Esfuerzo de corte a torsión, amplitud

τ_{xym} = Esfuerzo de corte a torsión, medio

Además :

Si $N_y < N_F \Rightarrow$ falla por fluencia

$N_y > N_F \Rightarrow$ falla por fatiga

(Ver Ref. N° 10)

Para el tanque en estudio:

$$\sigma_{xa} = \sigma_{ya} = 3838 \text{ psi}$$

$$\sigma_{xm} = \sigma_{ym} = 4916 \text{ psi}$$

$$\tau_{xya} = \tau_{xym} = 0$$

$$S_e = 18421 \text{ psi}$$

$$S_u = 58000 \text{ psi}$$

$$S_y = 36000 \text{ psi}$$

Al simplificar en la ecuación (3.20) con las consideraciones indicadas se obtiene:

$$N_F = \left(\frac{\sigma_{xa}}{S_e} + \frac{\sigma_{xm}}{S_u} \right)^{-1}$$

Sustituyendo valores

$$N_F = \left(\frac{3838}{18421} + \frac{4916}{58000} \right)^{-1}$$

$$N_F = 3,412$$

Redondeando:

$$N_F = 3,41$$

Para el factor N_y , también se simplifica la ecuación (3.21):

$$N_y = S_y (\sigma_{xa} + \sigma_{xm})^{-1}$$

Sustituyendo valores:

$$N_y = 36000 (3838 + 4916)^{-1}$$

$$N_y = 4,112$$

Redondeando:

$$N_y = 4,11$$

Como el factor de seguridad recomendado por el Código de la ASME, Sección VIII, División 1, para tanques de GLP a presión, es de 3,5; y el valor obtenido para N_y es de 4,11, el cual es mayor que

éste, entonces no es necesario aumentar el espesor de placa de la cabeza. En cuanto al factor de seguridad por fatiga, el valor de 3,41 para N_F , mayor que 1, nos indica que estamos en la zona B del diagrama de Wohler y que el tanque tiene vida infinita.

Luego el espesor de placa $\frac{5}{16}$ pulg. es correcto.

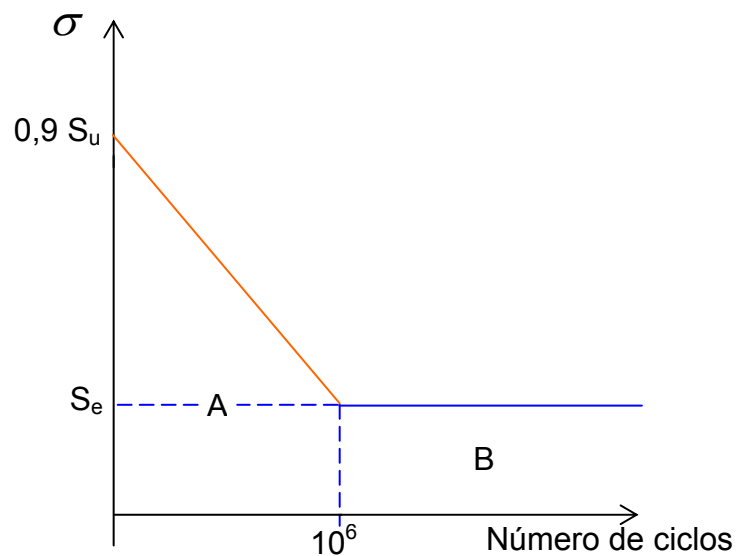


Fig. N° 3.3 Esquema simplificado del Diagrama de Wohler

3.7.2 Borde inferior del casco

Se analizará los esfuerzos en un elemento de placa tomado en el borde inferior del casco, cerca de la unión con la cabeza inferior y con el origen de ejes coordenados " x' ", " y' "; ubicado en su centro geométrico.

- **Datos del material**

Acero A36

$$S_u = 58000 \text{ psi}$$

$$S_y = 36000 \text{ psi}$$

No hay concentración de esfuerzos

- **Factores para el límite de fatiga correcto**

Son los mismos factores tomados para el cálculo anterior hecho en

3.8.1

$$k_a = 0,8$$

$$k_b = 1,0$$

$$k_c = 0,794$$

$$k_d = 1,0$$

$$k_e = 1,0$$

- **Límite de fatiga de la probeta**

Igual al obtenido anteriormente:

$$S'_e = 29000 \text{ psi}$$

- **Límite de fatiga correcto**

Se obtiene:

$$S_e = 18421 \text{ psi}$$

- **Esfuerzos**

Por las mismas razones expuestas en 3.8.1 se considerará los esfuerzos durante la operación del tanque, pero aplicados a un elemento de placa tomado en el borde inferior del casco.

- **Esfuerzo por presión interior máxima (eje x')**

De acuerdo a la Fig. N° 3.4 (a), se tiene:

$$S_3 = \frac{p \times d_m}{2t} \dots\dots\dots(3.22)$$

Donde:

S_3 = Esfuerzo en la junta longitudinal (psi)

t = Espesor del casco (pulg.)

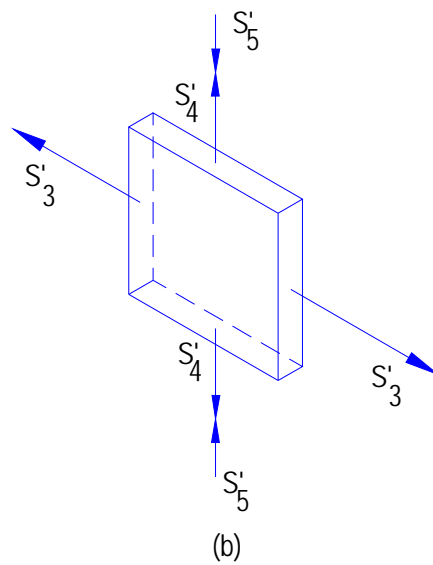
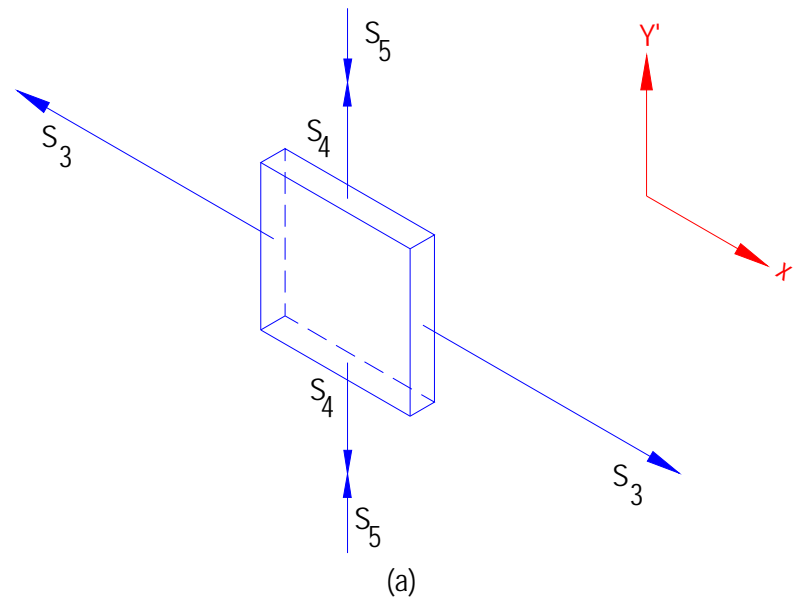


Fig. N° 3.4 Esquema simplificado de los esfuerzos actuantes sobre un elemento de placa de la parte inferior del casco del tanque (cerca a la unión con la cabeza inferior)
 a) Para el tanque "lleno"
 b) Para el tanque "vacío"

d_m = Diámetro medio del casco (pulg.)

Los valores son:

$p = 150 \text{ psi}$ (presión de operación)

$$t = \frac{5}{8} \text{ pulg.}$$

$$d_m = \frac{1,90 + 1,932}{2}$$

$$d_m = 1,916 \text{ m} \ll 75,433 \text{ pulg.}$$

Luego:

$$S_3 = 9051,96 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_3 = 9052 \text{ psi}$$

○ **Esfuerzo debido al peso máximo (eje x')**

El peso no actúa en esta dirección, luego el esfuerzo único será:

$$S_3 = 9052 \text{ psi} = \sigma'_{\max x'}$$

○ **Esfuerzo por presión interior máxima (eje y')**

Se usará la ecuación (3.13).

$$S_4 = \frac{p \times d_m}{4t}$$

Donde:

S_4 = Esfuerzo en la junta circunferencial (psi)

Los valores son los mismos utilizados en el cálculo de S_3 , luego

se tiene:

$$S_4 = \frac{150 \times 75,433}{4 \times \frac{5}{8}}$$

$$S_4 = 4525,98 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_4 = 4526 \text{ psi}$$

o **Esfuerzo debido al peso máximo (eje y')**

El peso del tanque, estructura y componentes que actúan en el borde inferior del casco, es igual al peso del armado disminuido en el peso de la cabeza inferior.

Peso de una cabeza ($t = \frac{5}{16}$ pulg.):

$$357 \text{ kg} \leftrightarrow 785 \text{ lb}$$

Peso del casco ($t = \frac{5}{8}$ pulg.):

$$1851 \text{ kg} \leftrightarrow 4072 \text{ lb}$$

Peso del protector de válvulas, registro y man hole:

$$277 \text{ kg} \leftrightarrow 609 \text{ lb}$$

Peso del armado (incluyendo 6% por soldadura y otros), en el borde inferior del casco:

$$785 + 4072 + 609 + 328 = 5794 \text{ lb}$$

Peso del GLP en el borde inferior del casco:

$$5720 \text{ kg} - 975 \text{ kg} = 4745 \text{ kg} \leftrightarrow 10439 \text{ lb}$$

Peso total máximo en el borde inferior del casco:

$$W = 5794 \text{ lb} + 10439 \text{ lb}$$

$$W = 16233 \text{ lb}$$

Luego, de la ecuación (3.14):

$$S_5 = \frac{W}{C_{med} \times t}$$

Y de la ecuación (3.15):

$$C_{med} = \pi \times 75,433$$

$$C_{med} = 236,859 \text{ pulg.}$$

Redondeando:

$$C_{med} = 236,86 \text{ pulg.}$$

Entonces:

$$S_5 = \frac{16233}{236,86 \times \frac{5}{8}}$$

$$S_5 = 109,65 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_5 = 110 \text{ psi}$$

o **Esfuerzos combinados**

$$+ 7543$$

$$- \underline{110}$$

$$7433 \text{ psi} = \sigma'_{\max y'}$$

o **Esfuerzos por presión interior mínima (eje x')**

Se usará la Fig. N° 3.4 (b);

$$S'_3 = \frac{p \times d_m}{2t}$$

Donde :

$$p = 20 \text{ psi} \quad (\text{tanque "vacío"})$$

Luego:

$$S'_3 = \frac{20 \times 75,433}{2 \times \frac{5}{8}}$$

$$S'_3 = 1206,9 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S'_3 = 1207 \text{ psi}$$

o **Esfuerzo debido al peso mínimo (eje x')**

El peso no actúa en esta dirección.

Luego el esfuerzo único será:

$$S'_3 = 1207 \text{ psi} = \sigma'_{\min x'}$$

o **Esfuerzo por presión interior mínima (eje y')**

Se usará la ecuación (3.13)

$$S'_4 = \frac{p \times d_m}{4t}$$

Donde:

$$p = 20 \text{ psi} \text{ (tanque "vacío")}$$

$$S'_4 = \frac{20 \times 75,433}{4 \times \frac{5}{8}}$$

$$S'_4 = 603,46 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S'_4 = 603 \text{ psi}$$

o **Esfuerzo debido al peso mínimo (eje y')**

El peso del tanque, estructura y componentes que actúan en el borde inferior del casco es el mismo que el usado para calcular S_5 o sea 5794 lb

El peso del GLP que actúa en dicho borde será igual al peso de GLP correspondiente al 20% del volumen del tanque menos el peso del GLP que ocupa la cabeza inferior:

Peso del GLP que ocupa el 20% de V_i :

$$\frac{20}{100} \times 10,53 \times 10^3 \text{ l} \times 0,543 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 1144 \text{ kg} < 2516 \text{ lb}$$

Peso del GLP que ocupa la cabeza inferior:

2145 lb

Peso del GLP en el borde inferior del casco:

$$2516 - 2145 = 371 \text{ lb}$$

Peso total mínimo en el borde inferior del casco:

$$W = 5794 \text{ lb} + 371 \text{ lb}$$

$$W = 6165 \text{ lb}$$

Luego:

$$S'_5 = \frac{W}{C_{med} \times t}$$

$$S'_5 = \frac{6165}{236,86 \times \frac{5}{8}}$$

$$S'_5 = 41,64 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S'_5 = 42 \text{ psi}$$

o **Esfuerzos combinados**

$$+ 603$$

$$- \underline{42}$$

$$561 \text{ psi} = \sigma'_{\min y'}$$

o **Esfuerzos amplitud ($\sigma_{x'a}$, $\sigma_{y'a}$) y esfuerzos medios**

$$(\sigma_{x'm}, \sigma_{y'm})$$

Viendo la Fig. N° 3.4, se deduce que los esfuerzos amplitud a lo largo de los ejes x' e y' son diferentes y lo mismo pasa con los esfuerzos medios; por lo tanto, se usará la ecuación (3.18) y la ecuación (3.19) para cada eje coordenado.

$$\sigma_{x'a} = \frac{\sigma'_{\max x'} - \sigma'_{\min x'}}{2}$$

$$\sigma_{x'a} = \frac{9052 - 1207}{2}$$

$$\sigma_{x'a} = 3923 \text{ psi (redondeado)}$$

$$\sigma_{y'a} = \frac{\sigma'_{\max y'} - \sigma'_{\min y'}}{2}$$

$$\sigma_{y'a} = \frac{7433 - 561}{2}$$

$$\sigma_{y'a} = 3436 \text{ psi (redondeado)}$$

$$\sigma_{x'm} = \frac{\sigma'_{\max x'} + \sigma'_{\min x'}}{2}$$

$$\sigma_{x'm} = \frac{9052 + 1207}{2}$$

$$\sigma_{x'm} = 5130 \text{ psi (redondeado)}$$

$$\sigma_{y'm} = \frac{\sigma'_{\max y'} + \sigma'_{\min y'}}{2}$$

$$\sigma_{y'm} = \frac{7433 + 561}{2}$$

$$\sigma_{y'm} = 3997 \text{ psi}$$

o **Factor de fatiga (N_F) y factor de fluencia(N_y)**

Para obtener el factor de seguridad por fatiga se usará la ecuación

(3.20) considerando que:

$$\tau_{x'y'a} = \tau_{x'y'm} = 0$$

$$N_F = \left[\left(\frac{3923}{18421} + \frac{5130}{58000} \right)^2 + \left(\frac{3436}{18421} + \frac{3997}{58000} \right)^2 - \left(\frac{3923}{18421} + \frac{5130}{58000} \right) \left(\frac{3436}{18421} + \frac{3997}{58000} \right) + 3(0+0)^2 \right]^{-1/2}$$

$$N_F = [0,0791]^{-1/2}$$

$$N_F = 3.555$$

Redondeando:

$$N_F = 3,56$$

El factor de seguridad para fluencia (N_y), se obtiene con la

ecuación (3.21), también considerando que:

$$\tau_{x'y'a} = \tau_{x'y'm} = 0$$

Reemplazando valores:

$$N_y = 36000 \left[(3923 + 5130)^2 + (3436 + 3997)^2 - (3923 + 5130)(3436 + 3997) + 3(0 + 0)^2 \right]^{-1/2}$$

$$N_y = 36000 [69915349]^{-1/2}$$

$$N_y = 4,305$$

Redondeando:

$$N_y = 4,31$$

Al igual que en el caso anterior, como el factor de seguridad por fluencia, N_y , es igual a 4,31 y es mayor que 3,5, (factor recomendado por la ASME), entonces no será necesario aumentar el espesor de placa del casco.

Además, como el factor de seguridad por fatiga, N_F , es igual a 3,56 y es mayor que 1, esto indica que nos encontramos en la zona B del diagrama de Wohler y que el tanque tiene vida infinita, (Ver Fig. N° 3.3)

Luego el espesor de placa del casco, t , que es igual a 5/8 pulg, es correcto

3.8 SELECCIÓN DEL DISPENSADOR

Se tomará en cuenta el promedio de volumen de tanques de autos. Este promedio es de 20 galones ó 76 litros.

Entre dispensadores de marcas reconocidas internacionalmente se considerará la marca TOKHEIM de las siguientes especificaciones técnicas.

- Flujo mínimo : 55 l/min
- Valor estándar de flujo: 40 l/min
- Valor superior de flujo: 80 l/min
- Número de mangueras: 2
- Conexión eléctrica.....: 230/400 YAC

Trifásico 50 Hz

Este dispensador puede llenar el tanque de un auto en:

$$\frac{76}{40} = 1,9 \text{ min} \approx 2 \text{ min}$$

Este tiempo es correcto

(Ver Ref. N° 13)

3.9 SELECCIÓN DE LA BOMBA

La bomba debe ser seleccionada en base a dos consideraciones técnicas que deben cumplirse a la vez:

- d) Considerando el flujo normal del dispensador
- e) Considerando el volumen del tanque.

- **Considerando el flujo normal del dispensador**

Dicho flujo es de 40 l/min. o sea 10,5 gal./min., por cada manguera; entonces la bomba debe tener un flujo mínimo de 20 gal./min. por que el dispensador es de dos mangueras

- **Considerando el volumen del tanque.**

Debe cumplirse que:

$$Q_b < 1,5\% V_t$$

Siendo:

$$Q_b = \text{Caudal de la bomba}$$

$$V_t = \text{Volumen del tanque}$$

$$Q_b < \frac{1,5}{100} \times 10500 \text{ l}$$

$$Q_b < 158 \text{ l}$$

$$Q_b < 41 \text{ gal}$$

Esto se toma en cuenta para evitar que se forme hielo en el ducto de succión de la bomba.

Se considerará que el caudal de la bomba será 50% más del volumen del tanque promedio de un auto.

$$20 + \frac{50}{100} 20 = \frac{30 \text{ gal}}{\text{min}}$$

$$Q_b = 30 \frac{\text{gal}}{\text{min}} < 41 \text{ gal}$$

$$Q_b = 30 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \quad \text{idefinitivo!}$$

Como la bomba estará en una fosa, cerca de la parte interior del tanque, esto disminuirá la probabilidad de cavitación y aumentará su eficiencia y, considerando corriente trifásica, que hará que la potencia de la bomba sea menor, se selecciona:

Bomba de turbina regenerativa marca CORKEN, Core Flo F150, la cual puede succionar hasta una profundidad de 14 pies \leftrightarrow 4,36 m. (Ref. N° 14).

3.10 DISEÑO DE LAS TUBERÍAS

El sistema de tuberías comprende:

- Tubería de carga del tanque, llamada también de llenado o de alimentación, la cual tiene en un extremo un punto de carga.
- Tubería de descarga del tanque, llamada también de despacho, la cual va conectada al dispensador y de este salen las mangueras de despacho.
- Tubería de succión, por donde la bomba extrae el GLP del tanque.

- Tubería de venteo del tanque, llamada también de ventilación o de alivio. Un extremo va conectado al tanque por la parte superior de este y el otro extremo va conectado a la atmósfera.
- Tubería de retorno de vapor del dispensador al tanque.
- Tubería de drenaje. No será necesaria en este caso.
- Tubería de retorno de líquido de la válvula by pass al tanque.

En el diseño de las tuberías se harán los siguientes análisis y cálculos:

- a) Determinación de las tuberías económicas.
- b) Diseño por resistencia a la tracción.
- c) Diseño por resistencia a la fatiga.

3.10.1 Determinación de las tuberías económicas

La determinación del diámetro de la tubería económica está basado en el empleo de las curvas de costos de instalación y costos de operación con la cuales se obtiene la gráfica "Costos totales vs diámetro"; siendo el punto más bajo de esta curva (costo total mínimo) la que determina el diámetro teórico económico, el cual se ubicará en un rango con un diámetro teórico mínimo y un diámetro teórico máximo. Este rango se obtiene de la misma gráfica de "Costo total vs diámetro" ubicando en ella un punto en la ordenada que será un 5% más del costo total mínimo y trazando por dicha ordenada una recta paralela al eje de abscisas la cual cortará a la curva de costos totales en dos puntos, el primero estará antes del costo total mínimo y el segundo estará después. El diámetro estándar requerido estará en ese rango. Pero este método es válido para tuberías de un diámetro significativo y también de una longitud significativa, incluso se puede agregar el factor del terreno o sea que

la línea deba ser instalada en un terreno de difícil acceso como es el caso de un oleoducto o de un gasoducto, porque los costos de tubería, transporte, soldadura, mano de obra, etc, aumentan significativamente ante pequeñas variaciones del diámetro. En nuestro caso este cálculo no es necesario porque las diferencias de diámetro serán insignificantes quedando absorbidos por dos o a lo más tres diámetros estándar de tubería y las diferencias de costos serían también insignificantes comparadas con el costo total del proyecto. Por eso el diámetro se obtendrá con fórmulas más simples.

3.10.2 Diseño por resistencia a la tracción.

Existen algunos aceros apropiados para tuberías que soportarán presión como el A53B o el A106B. Se seleccionará tubos de acero ASTM A53B de alta resistencia, sin costura para ser soldados. No se considerará margen por corrosión, abrasión u otros porque el espesor obtenido es mucho menor que el espesor mínimo requerido por los reglamentos técnicos y de seguridad.

a) Tubería de llenado o carga del tanque

Se debe tener presente que a mayor área de tubería mayor es la absorción de calor y esta tiende a formar vapor de GLP.

Esto y los costos de tubería, accesorios e instalación determinan el usar ductos del menor diámetro posible.

La bomba del camión tiene generalmente un caudal de $30 \frac{gal}{min}$ (las

hay hasta de 50 gal/min)

Entonces: $30 \frac{gal}{min} \ll 0,0014 \frac{m^3}{s}$

La velocidad del GLP líquido en tuberías debe estar entre

1 m/s a 3 m/s

Aplicando continuidad se tendrá:

$$v.A = Q \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

$$A = \frac{\pi.d_{i.c.}^2}{4} \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

De ambas ecuaciones y agregando el factor de conversión de metros a centímetros., se obtiene:

$$d_{i.c.} = \sqrt{\frac{4Q}{v.\pi}} \times 100$$

Siendo:

v = Velocidad (m/s)

A = Area (m²)

Q = Caudal (m³/s)

$d_{i.c.}$ = Diámetro interior de la tubería de carga (cm.)

Considerando $Q = 0,0014 \frac{m^3}{s}$ y tanteando con varios valores de “v”

en el rango indicado:

$$\text{Si } v = 1 \frac{m}{s} \rightarrow d_{ic} = 4,22\text{cm} \quad d_{ic} = 1\frac{3}{4} \text{ pulg. estándar}$$

$$\text{Si } v = 1,5 \frac{m}{s} \rightarrow d_{ic} = 3,45\text{cm} \quad d_{ic} = 1\frac{1}{2} \text{ pulg. estándar}$$

$$\text{Si } v = 2 \frac{m}{s} \rightarrow d_{ic} = 2,99\text{cm} \quad d_{ic} = 1\frac{1}{4} \text{ pulg. estándar}$$

$$\text{Si } v = 3 \frac{m}{s} \rightarrow d_{ic} = 2,44\text{cm} \quad d_{ic} = 1 \text{ pulg. estándar}$$

El diámetro de la tubería de carga debe ser;

$$d_{ic} = 1\frac{1}{4} \text{ pulg.}$$

Las tuberías de la red se diseñan de acuerdo a las normas ANSI B31.3

De la Ref. N° 08, página 178, se tiene:

$$t_m = t + c \dots\dots\dots(3.25)$$

Siendo:

t_m = Espesor mínimo del tubo (pulgadas) que se requiere por presión y para compensar por material removido por roscado, ranurado, etc., y como previsión para resistencia mecánica, corrosión y erosión.

t = Espesor del tubo requerido por presión (pulg.)

c = Suma (pulg.), de los márgenes mecánicos (profundidad de rosca o ranura) más margen por corrosión y erosión.

Además:

$$t = \frac{p' \cdot d_e}{2(SE + p\gamma)} \dots\dots\dots(3.26)$$

Siendo:

p' = Presión interior de diseño o presión máxima permitida de trabajo (lb./pulg², manométrica).

d_e = Diámetro exterior del tubo (pulg.).

S = Esfuerzo máximo permitido en el material por presión interna a la temperatura de diseño (lb./pulg² manométricas)

E = Factor de eficiencia de la junta soldada del tubo (ver código aplicable). Para tubo sin costura $E = 1,0$ (nuestro caso).

γ = Coeficiente

Los valores son:

$$p' = (p + p_{d.b.}) \cdot f_p$$

$$f_p = \text{Factor de la presión} = 1,2$$

p = Presión máxima en el tanque (psi)

$p_{d.b.}$ = Presión diferencial de la bomba (psi)

$p' = 350$ psi (válido según Norma NFPA 58, edición 2008)

$$d_e = d_i + 2t$$

$$d_e = 1,25 + 2t$$

$S = 20000$ psi, para $T_{amb} = 20$ °C (Ref. N° 08, página 172)

$\gamma = 0,4$ (de la Ref. N° 08, página 179).

Sustituyendo valores:

$$t = \frac{350x(1,25 + 2t)}{2x(20000x1 + 350x0,4)}$$

Efectuando y despejando t :

$$t = 0,01105 \text{ pulg.}$$

Redondeando:

$$t = 0,0111 \text{ pulg.}$$

En mm:

$$t = 0,28 \text{ mm}$$

Como $c=0$, entonces :

$$t_m = t = 0,28 \text{ mm}$$

En tuberías de acero al carbono se establece espesor mínimo por norma, la cual en el Perú señala que no debe ser menor de Sch. 40:

Se selecciona tubería de acero ASTM A53B, de alta resistencia,

$\phi 1\frac{1}{4}$ pulg., Sch. 40 (para ser soldada); diámetro de acople =

$$1\frac{1}{4} \text{ pulg.}$$

b) Tubería de descarga del tanque

Se debe tener presente una ampliación en el futuro colocando otra isla de GLP con un dispensador de dos mangueras. Se deduce entonces que la tubería debe ser de mayor diámetro.

El caudal en una manguera del dispensador es:

$$40 \frac{1}{\text{min}} \triangleleft 0,04 \frac{m^3}{\text{min}} \triangleleft 0,00066 \frac{m^3}{s}$$

Considerando la ampliación futura se tendrá cuatro mangueras (dos mangueras por dispensador):

$$4 \times 0,00066 \frac{m^3}{s} = 0,00264 \frac{m^3}{s}$$

Redondeando:

$$\text{Caudal en la tubería} = 0,0026 \frac{m^3}{s} .$$

Como ya se indico anteriormente, para GLP líquido, las velocidades

de flujo en tuberías según norma, están en el rango de $1 \frac{m}{s}$ a $3 \frac{m}{s}$

Usando la fórmula del diámetro interior de la tubería deducido anteriormente:

$$\text{Si } v = 1 \frac{m}{s} \rightarrow d_{id} = 5,7\text{cm} \quad d_{id} = 2 \frac{1}{2} \text{ pulg. estándar}$$

$$\text{Si } v = 2 \frac{m}{s} \rightarrow d_{id} = 4,0\text{cm} \quad d_{id} = 1 \frac{3}{4} \text{ pulg. estándar}$$

$$\text{Si } v = 2,3 \frac{m}{s} \rightarrow d_{id} = 3,7\text{cm} \quad d_{id} = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg. estándar}$$

$$\text{Si } v = 2,5 \frac{m}{s} \rightarrow d_{id} = 3,6\text{cm} \quad d_{id} = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg. estándar}$$

El diámetro interior de la tubería de descarga debe ser:

$$d_{id} = 1 \frac{1}{2} \text{ pulg. Estándar}$$

Como la boca de salida de la bomba de GLP es de $\phi 1 \text{ pulg}$, debe

usarse acople con cambio de sección de $\phi 1 \text{ pulg}$ a $\phi 1 \frac{1}{2} \text{ pulg}$

Con la fórmula (3.26) tendremos:

$$t = \frac{350x(1,5 + 2t)}{2.(20000x1 + 350x0,4)}$$

$$t = 0,01326 \text{ pulg.}$$

Redondeando:

$$t = 0,0133 \text{ pulg.}$$

En mm:

$$t = 0,34 \text{ mm}$$

Se selecciona tubería de acero ASTM A53B de alta resistencia, $\phi 1 \frac{1}{2}$

pulg., Sch. 40 (para ser soldada).

c) Tubería de succión

La bomba trabajará con succión positiva y esta disminuye la formación de burbujas y aumenta la eficiencia de la misma.

Como existe la posibilidad de una ampliación futura, el máximo caudal que fluiría por esta tubería sería el mismo que fluiría por la tubería de descarga cuando hubiese máxima demanda: $0,0026 \frac{m^3}{s}$

Además la velocidad para fluidos de GLP líquido está entre $1 \frac{m}{s}$ a 3

$\frac{m}{s}$ como ya se dijo.

Usando la fórmula de continuidad y considerando que el caudal y la velocidad en esta tubería son los mismos que los usados en la tubería de descarga entonces el diámetro de succión será también el mismo que el de descarga o sea $1 \frac{1}{2}$ pulg.

Pero se debe considerar el diámetro de ingreso de la bomba que, según catálogo CORKEN, es de $1 \frac{1}{2}$ pulg. Luego, a efectos de tener una conexión, con cambio de sección, gradual, entre la tubería de succión y la bomba; que impida la formación de vapor en el ingreso de esta, (Ver Fig. N° 3.5), se tomará:

$$d_{i.s.} = 2 \text{ pulg.}$$

Recalculando la velocidad para 2 pulg. $\rightarrow 0,0508 \text{ m}$, se tendrá lo siguiente:

$$v = \frac{4(0,0026)}{\pi 0,0508^2}$$

$$v = 1,28 \frac{m}{s}$$

El valor obtenido está en el rango exigido.

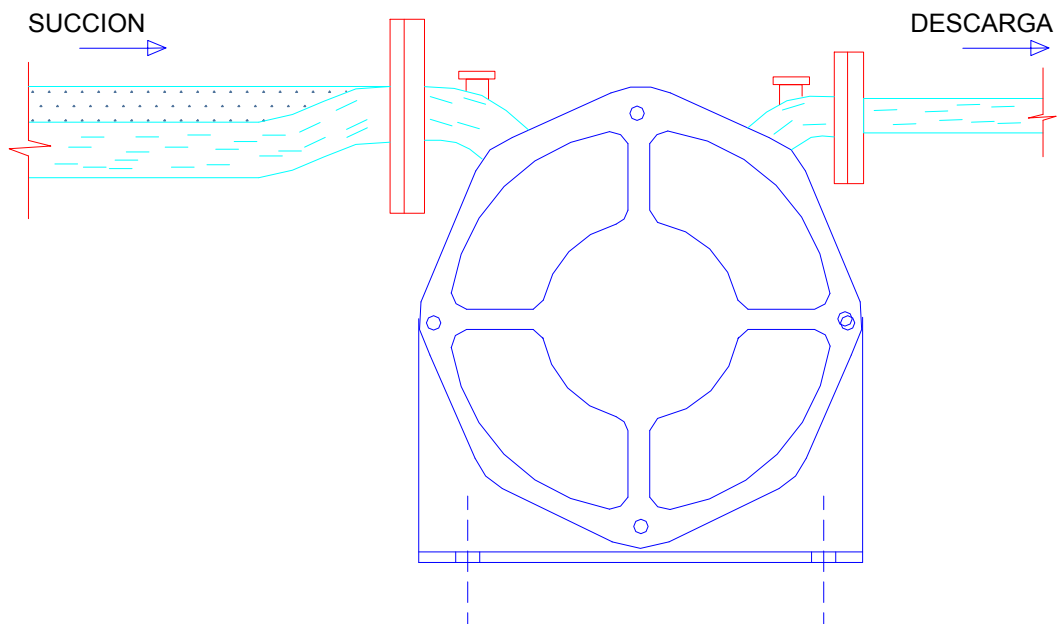


Fig. N° 3.5: Esquema simplificado del montaje de tuberías conectadas a la bomba de GLP.

Esc: S/E

De la Ref. N° 08, página 124, se obtiene la fórmula para el espesor de tubería instalada en el tanque:

$$t = \frac{pr_i}{SE - 0,6p} \dots\dots\dots(3.27)$$

Donde:

t = Espesor de pared mínimo requerido en el tubo (pulg.)

p = Presión interna de diseño (psi manométricas)

S = Valor de esfuerzo de los materiales

E = Eficiencia de la junta del tubo sin costura

r_i = Radio interior de la tubería (pulg.)

Los valores son:

$p = 250$ psi (válido según Norma NFPA 58, edición 2008)

$S = 15000 \frac{lb}{pulg^2} man$, valor del esfuerzo de los materiales de

uso más común para tuberías A53B y A106B a

Temperatura de (-20 o 650) °F

$E = 1$

$r_i = \frac{1}{2} x d_{i.s.}$

$r_i = \frac{1}{2} x 2$

$r_i = 1$ pulg.

Sustituyendo valores:

$$t = \frac{250 \times 1}{15000 \times 1 - 250 \times 0,6}$$

$t = 0,01683$ pulg

Redondeando:

$$t = 0,0168 \text{ pulg.}$$

En mm :

$$t = 0,43 \text{ mm}$$

Se selecciona tubería de acero ASTM A53 B, de alta resistencia, ϕ 2 pulg, Sch. 40 (para ser soldada).

d) Tubería de venteo del tanque.

La tubería de venteo será seleccionada en base al diámetro de la rosca de la válvula de seguridad. Esta tubería no trabaja a presión porque está en contacto con la atmósfera y debe ser capaz de evacuar el GLP fácilmente en caso haya fuego sobre el tanque o en caso ocurra el sobre llenado del mismo.

e) Tubería de retorno de vapor del dispensador al tanque

Como la masa de GLP (fase vapor) que retorna del dispensador al tanque es menor que la masa de GLP líquido que se descarga por una manguera del dispensador; cuyo diámetro interior es $\frac{3}{4}$ pulg.; entonces se puede tomar, conservadoramente, este diámetro para la tubería analizada:

Diámetro de la tubería de retorno de vapor del dispensador al tanque

$(d_{i.r.})$:

$$d_{i.r.} = \frac{3}{4} \text{ pulg.}$$

Aplicando la fórmula de la Ref. N° 08, página 178, se tiene:

$$t = \frac{250 \times (0,75 + 2t)}{2 \times (20000 \times 1 + 250 \times 0,4)}$$

$$t = 0,0047 \text{ pulg.}$$

Se selecciona tubería de acero ASTM A53B de alta resistencia,

$$\phi \frac{3}{4} \text{ pulg., Sch. 40 (para ser soldada).}$$

f) Tubería exterior de drenaje

Como se usará válvula de drenaje directamente sobre el tanque, entonces no es necesaria esta tubería.

g) Tubería de retorno de líquido de la válvula by pass al tanque

El diámetro de esta tubería es el mismo diámetro tomado para la válvula by pass. La selección de esta válvula se verá más adelante.

$$d_{i.b.p.} = \frac{3}{4} \text{ pulg.}$$

Aplicando la ecuación (3.26)

$$t = \frac{250(0,75 + 2t)}{2x(20000x1 + 250x0,4)}$$

$$t = 0,00472 \text{ pulg.}$$

Redondeando :

$$t = 0,0047 \text{ pulg.}$$

En mm :

$$t = 0,12 \text{ mm}$$

Se selecciona tubería de acero ASTM A53 B, de alta resistencia,

$$\phi \frac{3}{4} \text{ pulg., Sch 40 (para ser soldado).}$$

3.10.3 Diseño por resistencia a la fatiga.

El diseño por fatiga no es aplicable a las tuberías de un gasocentro sea de GLP o de GNV, por los siguientes motivos:

- f) No se presentarán dilataciones y contracciones en ellas originadas por el cambio de temperatura ambiental. Estando soterradas y cubiertas por el pavimento, no se produce acción directa del Sol. Además, el efecto de la temperatura ambiental es despreciable, para los cálculos de fatiga, aún en sitios donde el rango de variación de esta es amplio
- g) Tampoco se presentarán vibraciones originadas por el viento ya que estarán soterradas.
- h) En las tuberías de GLP no se presentarán expansiones y contracciones originadas por la presión interior debido al empleo de válvulas de alivio de presión y porque el fabricante recomienda poner un elemento flexible a la salida de la bomba.
- i) Tampoco se presentarán cargas cíclicas originadas por el tránsito vehicular en las zonas donde esté la red de tuberías debido a que ésta se encuentra rodeada de un elemento amortiguante de vibraciones como es la arena lavada de río.

Además la profundidad mínima de 0,60 m a la que se encuentra dicha red y la loza o pavimento que la cubrirá garantiza la dispersión de la carga sobre ellas.

Sin embargo se verificará que tal diseño no es necesario haciendo el análisis y el cálculo respectivo en la tubería de descarga de GNV que es la que soportará mayores esfuerzos de los dos sistemas de tuberías ya que la presión interior en ella será de 220 bar y ha esto se añadirá la carga dinámica.

En el capítulo IV se procederá a realizar el diseño mencionado anteriormente.

3.11 SELECCIÓN DE LOS ACCESORIOS.

Los accesorios a utilizar serán de acero forjado ASTM A105 o A234 y certificados por el fabricante.

Dichos accesorios son:

- **Codos de 90°:**

De $\phi \frac{3}{4}$ pulg., de $\phi 1\frac{1}{4}$ pulg., de $\phi 1\frac{1}{2}$ pulg., de $\phi 2$ pulg.

- **Codos de 45°:**

De $\phi 1\frac{1}{2}$ pulg. y de $\phi 2$ pulg.

- **Unión T:**

De $\phi 1\frac{1}{2}$ pulg. con reducción a $\frac{3}{4}$ pulg.

3.12 SELECCIÓN DE LAS VÁLVULAS.

En esta parte se hará uso de la información de la Ref. N° 15 y de la Ref. N° 16.

a) Válvula de seguridad

Conservadoramente se asume que el tanque es cilíndrico de diámetro 1,90 m y 4,35 m de alto para tener un área mayor que la real y entrar a tablas con un margen mayor de seguridad.

$$A_t = \pi \frac{d^2}{4} + \pi \cdot d \cdot l$$

$$A_t = \frac{\pi 1,9^2}{4} + \pi 1,9 \times 4,35$$

$$A_t = 31,61 m^2 \quad \text{ó}$$

$$A_t = 340,24 pie^2$$

Para esta área corresponde:

Modelo 7534 G, marca REGO

Diámetro de conexión = 2 pulg.

Accesorios para la válvula de seguridad:

Tapa de protección: 753440

Adaptador pipe away: 7534-20

Tubería de venteo del tanque

Va roscada a la válvula de seguridad

Diámetro = 3 pulg.

Material: Acero A36, cobre o bronce.

El criterio de selección es que la capacidad de descarga supere los 6380 pie³/min de aire, de acuerdo a la Tabla A del Manual REGO. (Ver Ref. N° 16)

b) Válvula de drenaje

Se selecciona modelo 7590 U

Diámetro de conexión = $\frac{3}{4}$ pulg. macho

Conexión de salida: $1\frac{5}{8}$ pulg. , rosca UNF

c) Válvula de máximo nivel

Se le conoce como medidor de máximo nivel. Lleva un ducto cuyo extremo llega hasta el máximo nivel de llenado, un manómetro y un spish.

Se selecciona:

Tipo: J415-1

Diámetro de acople de la válvula de máximo nivel:

$\frac{3}{4}$ pulg. NPT macho

Diámetro de conexión de salida: $\phi \frac{1}{4}$ pulg. NPT hembra

d) Válvula de alivio: línea de retorno de la válvula by pass al tanque

Se selecciona en base a requerimiento de la norma:

Válvula de alivio, modelo H124, $\phi \frac{1}{4}$ pulg, marca FISHER

e) Válvula de alivio: línea de descarga del tanque.

Considerando el criterio anterior (item “d”), se selecciona:

Válvula de alivio, modelo H144, $\phi \frac{1}{2}$ pulg., marca FISHER

f) Válvula de alivio: línea de carga del tanque

Con el criterio anterior se selecciona:

Válvula de alivio, modelo H144, $\phi \frac{1}{2}$ pulg., marca FISHER

g) Válvula de desconexión rápida (pull away)

Considerando el diámetro de la tubería de carga del tanque, ($\phi 1\frac{1}{4}$ pulg.), se

selecciona: válvula pull away de $\phi 1\frac{1}{4}$ pulg, modelo A2141A10, marca REGO

h) Válvula doble check y válvula check

Con el diámetro de la tubería de llenado, $\phi 1\frac{1}{4}$ pulg., se selecciona:

- Válvula doble check, $\phi 1\frac{1}{4}$ pulg., modelo G101, marca FISHER

Capacidad: 55 gal / min, presión diferencial = 10 psi.

- Válvula check, $\phi 1\frac{1}{4}$ pulg., marca FISHER

i) Válvula de cierre de emergencia (shut off)

Con el diámetro de la tubería de llenado, $\phi 1\frac{1}{4}$ pulg., se selecciona:

Modelo N550-10, marca FISHER , tamaño del cuerpo : $1\frac{1}{4}$ pulg. FNPT

Accionado por cable a distancia.

j) Válvula by pass

Con el dato de la presión en la salida de la bomba y el caudal de la misma escojo:

Modelo B166

Diámetro = $\frac{3}{4}$ plg.

Esta válvula es apropiada para las bombas tipo turbina regenerativa .

k) Válvula de exceso de flujo para succión de la bomba

Considerando el mismo diámetro de la tubería de succión se selecciona:

Modelo F105, marca FISHER

Diámetro = $1\frac{1}{4}$ pulg.

Capacidad de cierre = $55 \frac{gal}{min}$

l) Válvula exceso de flujo de la línea de carga del tanque

Considerando el diámetro de la tubería de carga del tanque se selecciona:

Modelo F105, marca FISHER

Diámetro: $1\frac{1}{4}$ pulg. MNPT (entrada)

Diámetro: $1\frac{1}{4}$ pulg. FNPT (salida)

Capacidad de cierre: $55 \frac{gal}{min}$

m) Válvula de exceso de flujo de la línea de descarga del tanque

Modelo F106, marca FISHER

Diámetro = $1 \frac{1}{2}$ pulg. MNPT (entrada)

Diámetro = $\frac{3}{4}$ pulg. FNPT (salida)

Capacidad de cierre = $85 \frac{gal}{min}$

n) Válvula de exceso de flujo de la línea de retorno de vapor del dispensador al tanque.

En base al diámetro de la tubería que es de $\frac{3}{4}$ pulg. se selecciona.

Modelo F101, marca FISHER

Diámetro = $\frac{3}{4}$ pulg. MNPT

o) Válvula de exceso de flujo de la línea de retorno de la válvula by pass al tanque.

Considerando el diámetro de la tubería selecciono:

Modelo F100, marca FISHER

Diámetro = $\frac{3}{4}$ pulg. (hembra y macho)

Capacidad = $8,4 \frac{gal}{min}$

3.13 INSTRUMENTOS:

a) Manómetro

Considerando el rango del indicador del manómetro se selecciona:

Modelo J 506

Rango del indicador : (0 a 300) psi

Conexión en la parte inferior

b) Termómetro

Considerando la altura del tanque (4,35m) se selecciona un termómetro de sonda. Modelo J701, marca FISHER

Rango del indicador: (-40 a 120) °F

c) Medidor magnético de volumen

Conocido también como medidor de nivel. Se selecciona:

Medidor magnético de volumen, número de parte: RM 1834, marca VISIBLE.

3.14. FALDÓN

El llamado faldón es el soporte más común y apropiado de los tanques verticales. Va unido por soldadura continua a la cabeza inferior y por lo general el espesor del cordón de soldadura determina el espesor del faldón.

Este elemento es muy útil y necesario en los tanques verticales que van en superficie, que estarán expuestos a las cargas del viento, cargas sísmicas, etc. Pero en el caso de tanques soterrados, como el que estamos analizando, no es necesario por que estará soportado por la arena lavada de río y además no estará sometido a cargas del viento y otras más.

Por otro lado, existe la norma especificada en el D.S. 029-2007 dictada por el MINEM que elimina el uso del faldón en tanques soterrados verticales, donde no exista el riesgo de filtraciones de la lluvia o del subsuelo; de lo contrario sería necesario anclarlo y en ese caso se requeriría dicho elemento.

CAPITULO IV

SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

DEL SISTEMA DE GNV

4.1 INTRODUCCIÓN SOBRE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

El sistema de instalar establecimientos de venta de GNV y proveerlos de gas, presentado en esta Tesis, es distinto del que se está empleando en los gasocentros y estaciones de servicio que expenden GNV en Lima, hasta la fecha. Este sistema utiliza una batería de tanques, paquetizada, prefabricada, en la que se transportará el GNV desde una planta de carga o llenado de dichas baterías, hasta el lugar de consumo, en este caso, el establecimiento en estudio.

Este sistema consta de las siguientes partes: unidad de carga de las baterías de tanques, unidad semiremolque-batería de tanques, tracto, unidad de presión, dispensador, sistema de tuberías de descarga de GNV y sub estación eléctrica. La unidad de carga de las baterías estará permanentemente en la planta de carga mientras que la unidad semi remolque-batería de tanques y un tracto permanecerán allí momentáneamente hasta que le toque el turno a la primera de ser transportada por el segundo hasta el establecimiento de expendio de GNV en el cual será intercambiada por la unidad semi remolque-batería de tanques que ha quedado vacía de gas. Como ocuparse en detalle del diseño de cada uno de estos equipos es extenso debiendo ser motivo de otras evaluaciones, sólo se describirá, se

indicará su uso y su ubicación dentro del sistema en estudio (donde corresponda) dándose mayores alcances de los equipos que irán en el sector de GNV del establecimiento.

4.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE CARGA

Esta planta debe estar cerca de un gasoducto y lo más cerca posible del establecimiento de venta de GNV. Deberá contar con una unidad de carga de las baterías de tanques, con dos o tres tamaños de unidades semi remolque-batería de tanques, con espacio suficiente para estacionar otras unidades más (pueden ser cuatro de cada tamaño); para cuando surjan otros proyectos de este tipo y la demanda aumente; el espacio necesario para las pistas de servicio por donde ingresarán y saldrán dichas unidades, y para la ubicación de la Administración, guardianía y equipos de seguridad. Para el presente Estudio se sugiere trabajar con dos tamaños de semi remolque-batería de tanques, que veremos más adelante.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES

4.3.1 Unidad de carga .

Es un compresor que se encarga de extraer gas natural de un gasoducto existente y almacenarlo en una batería de cilindros para su posterior uso en la recarga de las baterías de tanques.

Esta unidad irá fija en su apoyo en la planta de carga.

Consta básicamente de las siguientes partes:

- j) Tubería de conexión al gasoducto (acometida)
- k) Cilindro de amortiguación.
- l) Motor eléctrico, si la energía eléctrica es abundante o motor de explosión, si la energía eléctrica es escasa y cara.

- m) Compresor de gas natural.
- n) Batería de cilindros de almacenamiento de GNV (fijas).
- o) Detector de atmósfera explosiva.
- p) Sub estación eléctrica

Esta unidad debe ir aislada en un cubículo de concreto y fierro.

4.3.2 Unidad semi-remolque – batería de tanques

Es la unidad que almacena el gas natural a 220 bar y queda lista para ser transportada hasta el centro de consumo.

La batería de tanques de gas va unida a un remolque para su transporte desde la planta de carga hasta el establecimiento y viceversa. Dicha batería estará constituida por tanques horizontales. En el presente trabajo se propone el uso de tanques horizontales porque se aprovecha mejor el espacio, almacenando mayor cantidad de gas en menor número de recipientes y esto disminuye el riesgo de fugas.

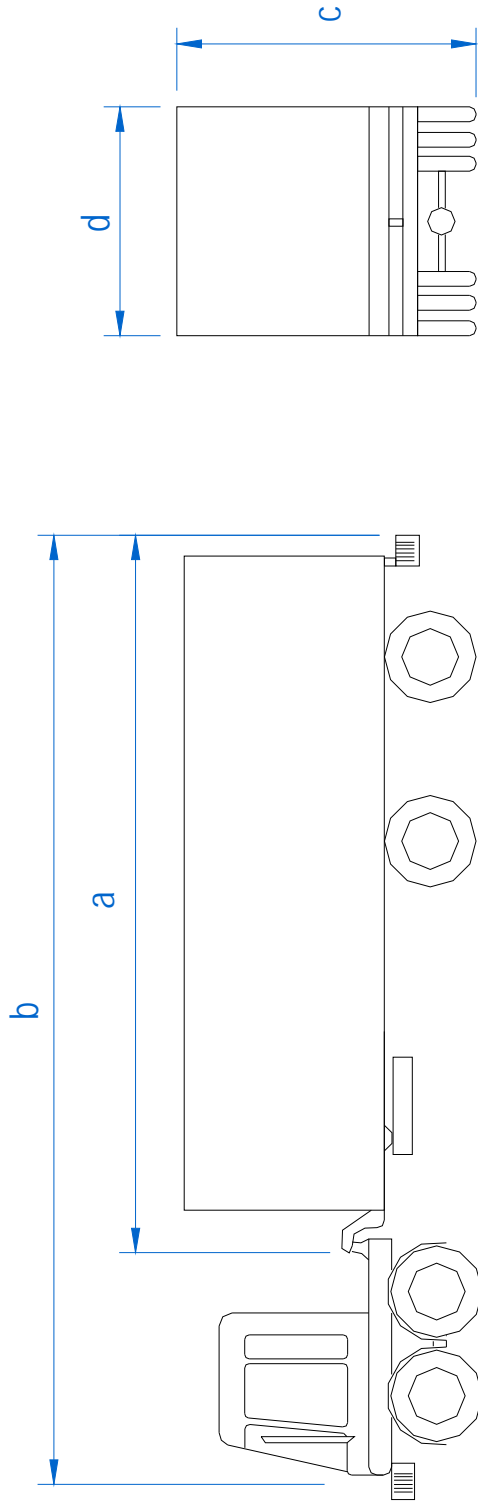
La batería de tanques consta de:

- q) Los tanques
- r) El bastidor o estructura metálica donde se apoyarán los tanques
- s) Las tuberías de interconexión de los tanques.
- t) Las válvulas.
- u) Los instrumentos de medición.

A esto se añade el semi remolque. (Ver Fig. N° 4.1)

4.3.3 Tracto

Es la unidad motorizada que se encargará de llevar a la unidad semiremolque - batería de tanques desde la planta de carga hasta el centro de consumo



| Tamaño | Tanque diámetro interior (m) | Numero de tanques | Dimensiones (m) | | | | Volumen total de carga (m ³ = 220 bar) |
|--------|------------------------------|-------------------|-----------------|----|------|------|---------------------------------------------------|
| | | | a | b | c | d | |
| I | 0.762 | 4 | 7.65 | 10 | 3.40 | 2.40 | 10.90 |
| II | 0.762 | 4 | 9.65 | 12 | 3.40 | 2.40 | 14.60 |

Fig. N° 4.1: Esquema simplificado de los remolques sugeridos

(establecimiento de venta de GNV) y viceversa. Al conjunto tracto – semiremolque – batería de tanques, se le denominará remolque.

4.3.4 Unidad de Presión

Es la unidad que hace posible transferir el GNV desde la batería hasta el tanque del vehículo del usuario, pasando previamente por el dispensador que controla la cantidad vendida.

Para lograr la transferencia, esta unidad inyecta un polímero a los tanques que almacenan el gas, manteniendo la presión de 220 bar en todo el proceso hasta lograr extraer un 95% a 97% del gas. Luego de expulsado el GNV del tanque, el polímero retorna al depósito que lo contenía, ubicado en la unidad de presión quedando lista, de ese modo, para ser inyectado a un nuevo tanque de gas .

El polímero es una sustancia que no reacciona con el gas natural, ni se mezcla con él.

La unidad de presión consta, básicamente, de:

- El recipiente que contiene al polímero.
- El polímero.
- El motor eléctrico.
- La unidad impulsora.
- Las válvulas correspondientes.
- Los instrumentos de medición.
- El bastidor o soporte metálico.
- La cubierta hecha de fibra de vidrio.

4.3.5 Dispensador

Es la máquina que se encarga principalmente de controlar la cantidad de gas vendida de acuerdo al monto de dinero pagado por el usuario.

Puede realizar otros trabajos como extender la factura por la venta realizada, guardar en su memoria datos sobre la venta, etc.

Consta básicamente de las siguientes partes:

- Dos mangueras para expendio simultáneo.
- Cabezal electrónico
- Teclado para introducción de datos y programación de venta.
- Sistema de medición másica.
- Cubierta pintada al horno.
- Válvula de desacople break away (seguridad contra choques).

Existen varias marcas como Gilbarco, Kraus, los del Grupo Galileo, etc. De éste último se sabe que cuenta con dos modelos.

- El modelo base.
- El modelo multi servicio

Veamos estos modelos:

a) El modelo base

El cual tiene únicamente, las partes indicadas anteriormente para ofrecer los servicios principales.

b) El modelo multi servicio

El cual, aparte de los elementos que tiene el modelo base, cuenta con otros elementos que le permite ofrecer otros servicios:

- Manguera retráctil para carga de agua.
- Manguera retráctil para carga de aire.
- Manguera retráctil para carga de aceite.
- Grifo para agua con cierre automático.
- Alojamiento para cesto de residuos.
- Módulo dosificador para toallas de papel.

Para mayor información sobre equipos similares a los descritos, ver Ref. N° 18.

4.3.6 Sistema de tuberías de descarga de GNV

Es el que permite al flujo de gas llegar desde la batería de almacenamiento hasta el dispensador en cada isla.

En el establecimiento en estudio se tendrá una tubería que alimentará a dos dispensadores ubicados en serie.

La tubería irá soldada y soterrada.

4.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE GNV POR BATERÍA DE TANQUES

Este sistema funciona del siguiente modo:

1. En la planta de carga, una unidad de carga de las baterías de tanques es conectada a un gasoducto existente y almacena el gas en su propia batería de cilindros a 250 bar, lo cual le permite llenar la batería de tanques a 220 bar. Esta última se encontrará fija sobre un semiremolque.
2. Una vez cargadas con GNV la unidad semi remolque – batería de tanques serán transportadas por un tracto hasta el establecimiento de expendio de GNV, para su uso.

3. En dicho establecimiento se sustituye la unidad semiremolque – batería de tanques, cuyos depósitos han quedado vacíos, por la otra unidad semiremolque – batería de tanques, llenas de GNV.
4. La batería de tanques con carga de gas es conectada a la unidad de presión por un extremo y también es conectada a la tubería de descarga por el otro extremo. Para esto se usarán conexiones flexibles apropiadas.

De este modo el gas queda listo para su expendio.

5. Ante el requerimiento de GNV por un usuario, la unidad de presión inyecta polímero a los tanques manteniendo así la presión de 220 bar en su interior, permitiendo de ese modo la transferencia, solamente del GNV, al auto del usuario.

4.5 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

4.5.1 Unidad de Carga

Como se recomienda ubicar la planta de carga en el distrito de Santa Anita, en zona urbana, cerca de la red eléctrica pública, entonces conviene usar motor eléctrico para el compresor.

La unidad de carga tendrá las siguientes características:

| | |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| -Motor | eléctrico |
| -Potencia | 250 kw |
| -Compresor: | |
| - Etapas | Según presión en la línea |
| - RPM | 1200 a 1500 |
| - Presión de aspiración | Según presión en la línea |
| - Caudal | Desde 400 a 2500 $\left(\frac{m^3}{h} a CN\right)$ |

- Cilindros 10
(Ref. N° 18)

4.5.2 Unidad semi remolque – batería de tanques

Para la unidad semi remolque – batería de tanques se propone dos tamaños:

- Tamaño 1
 - v) Número de tanques: 4
 - w) Diámetro interior: 76,2 cm
 - x) Volumen total de la batería: 10,90 m³ en agua
 - y) Longitud del remolque: 10 m
 - z) Longitud del semiremolque: 7,65 m
 - aa) Altura del semiremolque – Batería.: 3,40 m
- Tamaño 2
 - bb) Número de tanque: 4
 - cc) Diámetro interior: 76,2 cm
 - dd) Volumen total de la batería: 14,60 m³ en agua
 - ee) Longitud del remolque.....: 12 m
 - ff) Longitud del semiremolque: 9,65 m
 - gg) Altura del semiremolque – Batería.: 3,40 m

4.5.3 Tracto

Este equipo es, simplemente, la parte motriz de un vehículo diesel adaptado para tirar del remolque y con capacidad para transportar el peso de este.

Motor:

- De combustión interna – diesel
- Potencia: Según el peso que vaya a transportar.

4.5.4 Unidad de presión

- Consumo.....: 0,025 kw-h/m³
- Flujo.....: 1200 m³/h mínimo
- Sustancia de trabajo.....: Polímero patentado
por Cia. NEOGAS.

4.5.5 Dispensador

Por razones económicas y de espacio se selecciona el modelo simple de los dispensadores conocidos:

- **Razones económicas:** El modelo simple con dos mangueras para GNV es más barato que el modelo que brinda multiservicios. Además para el servicio de agua el establecimiento tiene un grifo aparte y para el servicio de aire se tendrá una manguera retráctil de alta presión ubicada al costado del servicio de agua.
- **Razones de espacio:** Cada isla tendrá 1,80 m de largo, y un modelo simple de dispensador tiene 0,75 m de largo dejando un espacio de 0,52 m a cada lado para facilitar maniobras del operario. Por lo tanto este modelo es apropiado para estas islas.

Se requiere dos dispensadores.

Las características son:

| | |
|---------------------|--------------------------------------|
| Marca | : Galileo |
| Código | : EMB-15-7-D |
| Flujo másico | : $15 \frac{kg}{min}$ (por manguera) |
| Número de mangueras | : 2 |

(Ver Ref. N° 18)

4.5.6 Sistema de tuberías de descarga de GNV

El diseño de esta tubería comprende dos aspectos:

- El diseño por resistencia a la tracción.
- El diseño por resistencia a la fatiga.

Como ya se mencionó anteriormente, el diseño por fatiga se hará solo para esta tubería que es la que soporta mayores esfuerzos.

4.6 TUBERÍA DE DESCARGA DE GNV: DIÁMETRO ECONÓMICO

De acuerdo a lo especificado en la sección 3.10.1, el diámetro económico no se calculará.

De dato obtenido de los proyectos realizados de gasocentros, se tiene que el diámetro de tubería usado es de $\frac{3}{4}$ pulg. Se verificará más adelante que este diámetro es el correcto para la demanda de GNV que se desea satisfacer en el establecimiento.

4.7 TUBERÍA DE DESCARGA DE GNV: DISEÑO POR RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Debido a que este sistema de GNV, para un establecimiento cualquiera, se vende en paquetes o módulos, no es necesario diseñar las tuberías de interconexión de los equipos, ni seleccionar las válvulas, salvo la tubería de descarga y sus componentes, pues esta tendrá, para cada establecimiento, una longitud diferente, dependiendo de la posición de los dispensadores y un diámetro distinto dependiendo de la cantidad de dispensadores, lo cual tiene estrecha relación con la demanda.

Flujo másico

El caudal que fluye por la manguera de un dispensador es variable, dependiendo de las características mecánicas de este. Tomando un dispensador para GNV marca GALILEO (Ref. N° 18)

Flujo másico $15 \frac{kg}{min}$ (por manguera)

Número de mangueras: 2

- **Cálculo del peso específico en la entrada de la tubería.**

Se hará uso de la Fig. N° 4.2.

Se toma el flujo másico de $15 \frac{kg}{min}$ para el cálculo de la velocidad.

La gravedad específica en el punto de ingreso de gas a la tubería es, según Ref. N° 20:

$$\rho_1 = \frac{Mp_1}{RT_1} \dots\dots\dots(4.1)$$

Siendo:

$$\rho_1 = \text{gravedad específica} \left(\frac{g}{l} \right)$$

$$M = \text{Peso molecular del metano} \left(\frac{atm.l}{^\circ K.mol} \right)$$

p_1 = Presión absoluta en la entrada (atm)

T_1 = Temperatura absoluta en la entrada (°K)

Los valores en la entrada son:

$$M = 16 \frac{g}{mol} (\text{metano } .CH_4)$$

$$p_1 = 220 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} \leftrightarrow 221,013 \text{ bar} \leftrightarrow 218,2 \text{ atm}$$

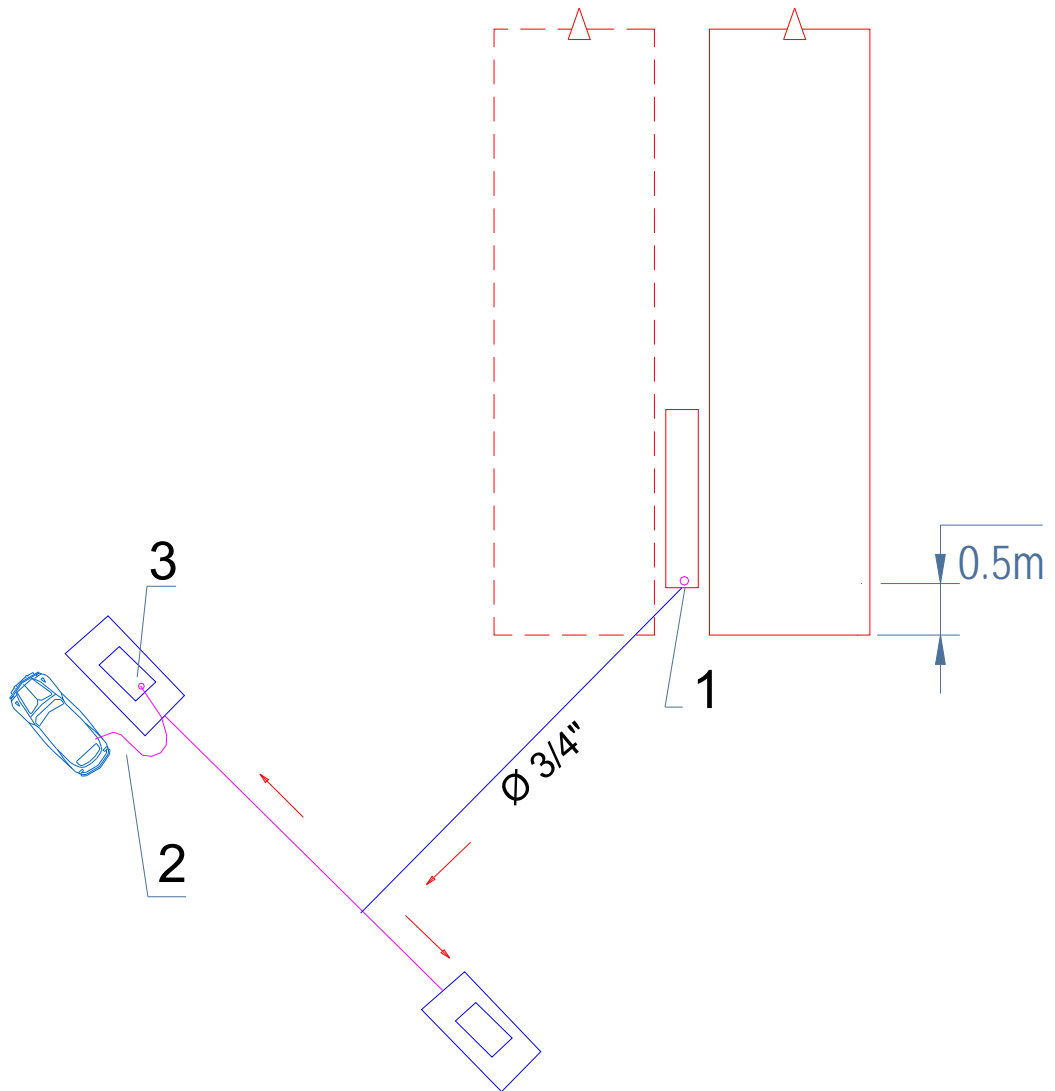


Fig. N° 4.2: Esquema simplificado de la tubería de descarga de GNV (Vista de Planta)

Punto 1: Entrada a la tubería de descarga

Punto 2: Salida de la manguera

Punto 3 : Salida de la tubería de descarga

Esc: S/E

$$R = 0,082 \frac{\text{atm.l}}{\text{°k.mol}}$$

$$T_1 = 293 \text{ °K}$$

Sustituyendo valores en ecuación (4.1)

$$\rho_1 = \frac{16 \times 218,2}{0,082 \times 293}$$

$$\rho_1 = 145 \frac{\text{g}}{\text{l}}$$

$$\rho_1 = 145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- **Cálculo de la velocidad en la entrada de la tubería.**

Se hará uso de la Fig. N° 4.2.

Partiendo del dato del flujo másico por una manguera del dispensador igual a

$$15 \frac{\text{kg}}{\text{min}}, \text{ se tendrá:}$$

$$\dot{V}_1 \cdot \rho_1 = \dot{m} \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

(Ver Ref. N° 21, pág. 24)

Y también:

$$v_1 \cdot A \cdot \rho_1 = \dot{m}$$

$$\text{ya que: } \dot{V}_1 = v_1 \cdot A$$

Siendo:

$$A = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

Despejando v_1 :

$$v_1 = \frac{\dot{m}}{\rho_1 \cdot A} \dots\dots\dots(4.3)$$

Donde:

$$\dot{V}_1 = \text{Caudal en la entrada} \left(\frac{m^3}{1} \right)$$

$$v_1 = \text{Velocidad del gas en la entrada} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\dot{m} = \text{Flujo másico} \left(\frac{Kg}{1} \right)$$

$$d_i = \text{Diámetro interior de la tubería (m)}$$

Se tiene que considerar la mayor sollicitación de flujo másico en la tubería, o sea para cuatro mangueras.

$$\dot{m} = 4 \times 15 \langle \rangle 60 \frac{kg}{min} \langle \rangle 1 \frac{kg}{s}$$

Los demás valores son:

$$\rho_1 = 145 \frac{kg}{m^3}$$

$$d_i = \frac{3}{4} \text{ pulg. } \langle \rangle 0,0191 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación del área (A):

$$A = \frac{\pi \times (0,0191)^2}{4}$$

$$A = 2,849 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sustituyendo en la ecuación (4.3):

$$v_1 = \frac{1}{2,849 \times 10^{-4} \times 145}$$

$$v_1 = 24,2 \frac{m}{s}$$

Para gases, el rango de velocidad es de $5 \frac{m}{s}$ a $30 \frac{m}{s}$ (Ref. N° 11, página 87),

luego este valor es correcto.

- **Cálculo del peso específico en la salida de la manguera.**

En la salida de la manguera (punto 2) se tendrá:

$$\rho_2 = \frac{M p_2}{R T_2}$$

Los valores son:

$$M = 16 \text{ (metano CH}_4\text{)}$$

$$p_2 = 200 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} = 201,013 \text{ bar} \approx 198,4 \text{ atm}$$

$$R = 0,082 \frac{\text{atm}\cdot\text{l}}{\text{°Kmol}}$$

$$T_2 = 293 \text{ °K}$$

Sustituyendo en (4.1) para las condiciones en el punto 2:

$$\rho_2 = \frac{16 \times 198,4}{0,082 \times 293}$$

$$\rho_2 = 132 \frac{g}{l}$$

$$\rho_2 = 132 \frac{kg}{m^3}$$

- **Cálculo de la velocidad en la salida de la manguera**

De la Ref. N° 21, página 33, se tiene, por la fórmula de continuidad para gases y para tuberías de sección constante:

$$v_1 \cdot \rho_1 = v_2 \cdot \rho_2 \dots\dots\dots(4.4)$$

Despejando v_2 :

$$v_2 = \frac{v_1 \rho_1}{\rho_2}$$

Sustituyendo valores:

$$v_2 = \frac{24,2 \times 145}{132}$$

$$v_2 = 26,6 \frac{m}{s}$$

Este valor también está en el rango de velocidades de un gas.

Antes de proceder al cálculo del espesor de la tubería se deberá determinar la presión de operación máxima:

Las tuberías de GNV también son de acero ASTM A53B o de acero ASTM A106B (Ver Ref. N° 08, página 180).

Para el presente trabajo se usará tuberías de acero ASTM A53B

- **Presión de operación máxima**

La presión de operación máxima expresada en metros de gas metano será:

$$H_{op} = \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \dots \dots \dots (4,5)$$

Donde:

H_{op} = Altura de operación (m)

p_1 = Presión absoluta en la entrada de la tubería $\left(\frac{N}{m^2} \right)$

ρ_1 = Peso específico $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

g = Aceleración de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

z_1 = Altura geodésica (m)

En esta ecuación no se considera el golpe de ariete porque este efecto se presenta en sistemas abiertos y en fluidos que no están en estado gaseoso.

Los valores son:

$$p_1 = (220 + 1,013) \text{ bar} \quad (\text{presión absoluta})$$

$$p_1 = 221,013 \text{ bar}$$

Redondeando:

$$p_1 = 221 \text{ bar}$$

En $\frac{N}{m^2}$:

$$p_1 = 221 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$$

$$\rho_1 = 145 \frac{kg}{m^3} \langle \rangle 1421 \frac{N}{m^3}$$

$$v_1 = 24,2 \frac{m}{s}$$

$$g_1 = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$z_1 = 0 \text{ m} \quad (\text{tubería horizontal})$$

Luego, en la ecuación (4.5) se tendrá:

$$H_{op} = \frac{221 \times 10^5}{1421} + \frac{24,2^2}{2 \times 9,8} + 0$$

$$H_{op} = 15552,42 + 29,87$$

$$H_{op} = 15582,2 \text{ m}$$

Redondeando:

$$H_{op} = 15582 \text{ m}$$

Entonces la presión máxima que soportaría la tubería sería:

$$p_{\max} = H_{op} \cdot \rho_1$$

$$p_{\max} = 15582 \left(1421 \frac{N}{m^3} \right)$$

$$p_{\max} = 22142 \ 022 \frac{N}{m^2}$$

En bar sería:

$$p_{\max} = 221,4 \text{ bar}$$

Redondeando:

$$p_{\max} = 221 \text{ bar (presión absoluta)}$$

- **Cálculo del espesor de la tubería de descarga**

Las tuberías para GNV se diseñan con la norma ANSI B31.8

De la Ref. N° 08, página 180, se tiene la siguiente ecuación que nos permitirá calcular el espesor buscado:

$$p = \frac{2S}{d_e} t_{n.c.} \cdot F \cdot E \cdot T$$

Despejando $t_{n.c.}$:

$$t_{n.c.} = \frac{p d_e}{2.S \times F . E . T} \dots\dots\dots(4,6)$$

Donde:

$t_{n.c.}$ = Espesor nominal de pared calculado (pulg.)

(ver notas 1, 2, 3, 4, 5; página. 109 de la Ref. N° 08)

p = Presión interior de diseño (lb/pulg² manométrica)

d_e = Diámetro exterior de la tubería (pulg.)

S = Valor especificado de la resistencia mínima de fluencia
(lb / pulg²)

F = Factor de diseño por tipo de construcción (Ver norma 841.02) ó
Anexo 1

E = Factor de junta longitudinal, obtenido de la norma, Tabla
841.12

T = Factor de reducción de temperatura para tubo de acero

C.A.= Margen por corrosión (pulg). Añadir al espesor " $t_{n.c.}$ "

Los valores son:

S = 35000 lb/pulg² para materiales de tubería ASTM A53B
ó A106B (Ref. N° 08)

F = 0,40 (Construcción en zonas urbanas)

E = 1 (Para tuberías sin costura).

T = 1 (T= 20 °C <> 68 °F) (Ver Tabla contigua)

C.A.= 0 (Porque el espesor obtenido es mucho menor que el espesor mínimo
requerido por los reglamentos técnicos y de seguridad)

Factor de reducción
de temperatura (T)
para tubos de acero

| Temperatura | Factor T |
|----------------|------------|
| 250 °F o menos | 1,000 |
| 300 °F | 0,967 |
| 350 °F | 0,933 |
| 400 °F | 0,900 |
| 450 °F | 0,867 |

Nota: Interpole para valores intermedios

También:

$$d_e = d_i + 2t$$

Se tomará:

$$d_i = \frac{3}{4} \text{ pulg.}$$

$$p = 220 + \frac{50}{100} \times 220$$

$$p = 330 \text{ bar}$$

$$p = 4785 \text{ psi}$$

Luego, en ecuación (4.6):

$$t_{n.c.} = \frac{4785 \left(\frac{3}{4} + 2t_{n.c.} \right)}{2 \times 35000 \times 0,4.1 \times 1}$$

$$t_{n.c.} = 0,19472 \text{ pulg.}$$

Redondeando:

$$t_{n.c.} = 0,1947 \text{ pulg.}$$

En mm:

$$t_{n.c.} = 5 \text{ mm (Aprox.)}$$

Se selecciona tubería de acero ASTM A53B de alta resistencia, $\phi \frac{3}{4}$ pulg., sch 160 (para ser soldada).

En la selección a efectuar del catálogo de tuberías, se deberá considerar la tolerancia en menos del fabricante (12,5% del espesor nominal del fabricante). Ver Ref. N° 08, Nota 1, página 181.

4.8 TUBERÍA DE DESCARGA DE GNV: DISEÑO POR RESISTENCIA A LA FATIGA

Se hará el análisis para la tubería de descarga de GNV que irá desde la boca de descarga (cerca de los tanques) hasta los dispensadores (uno en cada isla). De los dos dispensadores se tomará el más distante de la boca de descarga el cual requerirá una mayor longitud de tubería, y por lo consiguiente producirá un mayor recorrido del gas.

El espesor de tubería que corresponde a sch 160 para $\frac{3}{4}$ pulg. de diámetro interior es 7,82 mm.

Además:

$$\frac{t}{d_i} = \frac{7,82}{19,05}$$

$$\frac{t}{d_i} = 0,410 > 0,07$$

Por lo tanto se trata de un caso de tubería de pared gruesa. En el análisis de esfuerzos deberá considerarse el esfuerzo radial.

- **Datos del material de la tubería.**

Acero ASTM A53B

$$S_u = 60000 \text{ psi}$$

$$S_y = 35000 \text{ psi}$$

- **Factores para el límite de fatiga correcto**

Se tiene:

- Acabado superficial

$$k_a = 0,8$$

- Factor de tamaño

$$k_b = 1 \text{ (para cargas de tracción – compresión)}$$

- Factor de confiabilidad

Para una probabilidad de falla de 0,5%, $D = 2,58$ unidades tipificadas.

$$k_c = 1 - 0,08D$$

$$k_c = 1 - 0,08 \times 2,58$$

$$k_c = 0,794$$

- Factor de temperatura

Se considera temperatura ambiente:

$$k_d = 1$$

- Factores varios

$$k_e = 1$$

- **Límite de fatiga de la probeta (S'_e)**

$$S'_e = 0,5 S_u \quad \text{para } S_u \leq 200\,000 \text{ psi}$$

Como $S_u = 60000 < 200000$ entonces la ecuación a tomar para S'_e es correcta.

$$S'_e = 0,5 \times S_u$$

$$S'_e = 0,5 \times 60000$$

$$S'_e = 30000 \text{ psi}$$

- **Límite de fatiga correcto (S_e)**

$$S_e = 0,8 \times 1 \times 0,794 \times 1 \times 1 \times 30000$$

$$S_e = 19056 \text{ psi}$$

- **Esfuerzos actuantes en la placa de la tubería, parte inferior**

Se tiene:

- **Esfuerzos por presión interior máxima (eje X).**

Se usarán las fórmulas de Birnie para determinar el esfuerzo máximo y el esfuerzo mínimo en la pared interior de la tubería (Ver Ref. N° 10):

$$S_{i,il} = p_i \left[\mu + \frac{d_e^2 + d_i^2}{d_e^2 - d_i^2} \right] - \frac{2p_e d_e^2}{d_e^2 - d_i^2} \dots\dots\dots(4.7)$$

$$S_{r,il} = \frac{2\mu p_e d_e^2}{d_e^2 - d_i^2} - p_i \left[1 + \mu \left(\frac{d_e^2 + d_i^2}{d_e^2 - d_i^2} \right) \right] \dots\dots\dots(4.8)$$

Donde:

$S_{i,il}$ = Esfuerzo tangencial equivalente en la pared interior (psi)

p_i = Presión interior (psi)

p_e = Presión exterior (psi)

μ = Coeficiente de Poisson

d_i = Diámetro interior (pulg.)

d_e = Diámetro exterior (pulg.)

$S_{r,il}$ = Esfuerzo radial equivalente en la pared interior (psi)

Los valores son:

p_i = 221 bar \leftrightarrow 3205 psi (presión de operación, incluye la presión dinámica)

μ = 0,25 a 0,30 (Ref. N° 10)

Se toma el valor intermedio

μ = 0,275

d_i = 19,05 mm \leftrightarrow 0,75 pulg.

$d_e = d_i + 2t$

El espesor "t" tomado para la tubería de descarga de GNV es de sch 160

cuyo valor es 7,82 mm para $\phi \frac{3}{4}$, luego:

$d_e = 19,05 + 2 \times 7,82$

$d_e = 34,69 \text{ mm} \leftrightarrow 1,37 \text{ pulg.}$

$p_e = p_{atm} = 1 \text{ bar} \leftrightarrow 14,5 \text{ psi}$ aproximadamente.

Sustituyendo valores en las ecuaciones (4.7) y (4.8):

$$S_{t il} = 3205 \left[0,275 + \frac{1,37^2 + 0,75^2}{1,37^2 - 0,75^2} \right] - \frac{2 \times 14,5 \times 1,37^2}{1,37^2 - 0,75^2}$$

$$S_{t il} = 6788,5 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_{t il} = 6789 \text{ psi}$$

$$S_{r il} = \frac{2 \times 0,275 \times 14,5 \times 1,37^2}{1,37^2 - 0,75^2} - 3205 \times \left[1 + 0,275 \left(\frac{1,37^2 + 0,75^2}{1,37^2 - 0,75^2} \right) \right]$$

$$S_{r il} = -4829,6 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_{r il} = -4830 \text{ psi}$$

De los dos valores se toma el mayor, luego:

$$S_{t il} = 6789 \text{ psi}$$

○ **Esfuerzo debido al peso máximo (eje X)**

El peso de la tubería, más el gas contenido en ella, más la arena de río lavada con la que se le cubre para protegerla de la corrosión y como elemento amortiguante de vibraciones, y la tierra que va encima de ella, se consideran despreciables frente al elevado valor de la presión interior (la presión estática principalmente). Por tal motivo no se tomará en cuenta.

Finalmente el esfuerzo máximo resultante será:

$$\sigma'_{\max x} = S_{t il} = 6789 \text{ psi}$$

○ **Esfuerzo por presión interior máxima (eje Y)**

El valor de este esfuerzo es cero ya que una tubería se considera como

un tanque sin cabeza.

○ **Esfuerzo debido al peso máximo (eje Y).**

El valor de este esfuerzo se desprecia por ser pequeño.

Finalmente:

$$\sigma'_{\max y} = 0$$

○ **Esfuerzo por presión interior mínima (eje X).**

Se aplicará las ecuaciones (4.7) y (4.8) nuevamente pero considerando

$$p_i = 220 \text{ bar} = 3190 \text{ psi}$$

La condición de menor presión interior se presentará cuando no haya presión dinámica, o sea cuando no fluya gas por la tubería. Además se considerará como presión mínima la mayor presión en la tubería en ese momento y esto ocurre en el punto de ingreso del gas a esta. (Ver Fig.Nº 4.3).

Sustituyendo valores en las ecuaciones (4.7) y (4.8):

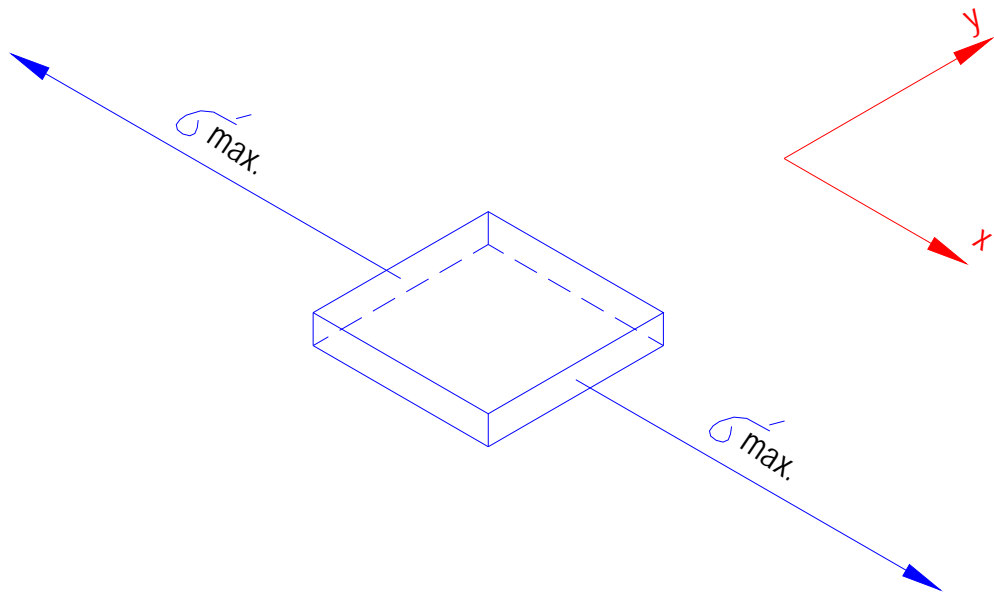
$$S_{t,i2} = 3190 \left[0,275 + \frac{1,37^2 + 0,75^2}{1,37^2 - 0,75^2} \right] - \frac{2 \times 14,5 \times 1,37^2}{1,37^2 - 0,75^2}$$

$$S_{t,i2} = 6756,1 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_{t,i2} = 6756 \text{ psi}$$

$$S_{r,i2} = \frac{2 \times 0,275 \times 14,5 \times 1,37^2}{1,37^2 - 0,75^2} - 3190 \left[1 + 0,275 \left(\frac{1,37^2 + 0,75^2}{1,37^2 - 0,75^2} \right) \right]$$



(a)

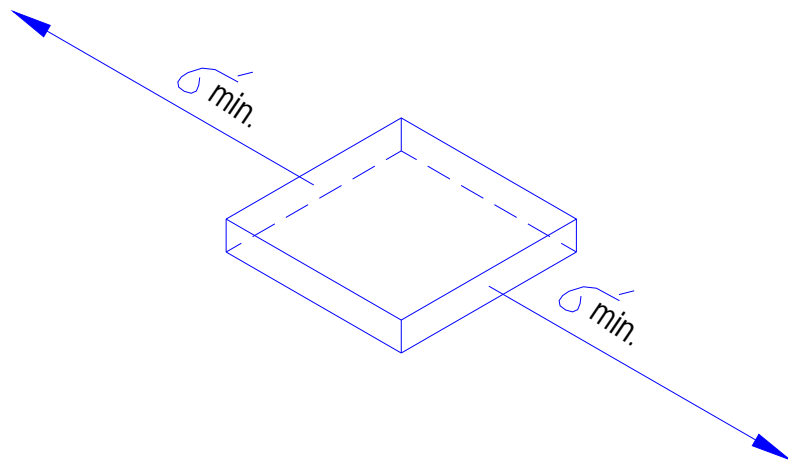


Fig. N° 4.3 Esquema simplificado de los esfuerzos actuantes sobre un elemento de placa de la parte inferior de la tubería de descarga de GNV:
a) Para la tubería durante el flujo de gas
b) Para la tubería con el gas estático

$$S_{r.i2} = -4806,7 \text{ psi}$$

Redondeando:

$$S_{r.i2} = -4807 \text{ psi}$$

De los dos valores se toma el mayor, luego:

$$S_{t.i2} = 6756 \text{ psi}$$

○ **Esfuerzo debido al peso mínimo (eje X)**

Por las mismas razones expuestas anteriormente, se considera despreciable la acción de los pesos de la tubería y de los elementos que actúan sobre ella.

Finalmente, el esfuerzo mínimo resultante será:

$$\sigma'_{\min x} = S_{t.i.2} = 6756 \text{ psi}$$

○ **Esfuerzo por presión interior mínima (eje Y).**

El valor de este esfuerzo es cero.

○ **Esfuerzo debido al peso mínimo (eje Y).**

El valor de este esfuerzo se desprecia por ser pequeño.

Finalmente el esfuerzo mínimo resultante será:

$$\sigma'_{\min y} = 0 \text{ psi}$$

• **Esfuerzos amplitud (σ_{xa}, σ_{ym}) y esfuerzos medios (σ_{xm}, σ_{ym})**

Usando la ecuación (3.18) se tiene:

$$\sigma_{xa} = \frac{6789 - 6756}{2}$$

$$\sigma_{xa} = 17 \text{ psi}$$

Usando la ecuación (3.18) nuevamente:

$$\sigma_{ya} = \frac{0 - 0}{2}$$

$$\sigma_{ya} = 0 \text{ psi}$$

Ahora, usando la ecuación (3.19) se tiene:

$$\sigma_{xm} = \frac{6789 + 6756}{2}$$

$$\sigma_{xm} = 6773 \text{ psi (redondeado)}$$

Usando la ecuación (3.19) nuevamente:

$$\sigma_{ym} = \frac{0 + 0}{2}$$

$$\sigma_{ym} = 0 \text{ psi}$$

- **Factor de fatiga (N_F) y factor de fluencia (N_y)**

Usando la ecuación (3.20) para N_F , siendo:

$$\sigma_{xa} = 17 \text{ psi}$$

$$\sigma_{xm} = 6773 \text{ psi}$$

$$\sigma_{ya} = 0 \text{ psi}$$

$$\sigma_{ym} = 0 \text{ psi}$$

$$\tau_{xya} = 0 \text{ psi}$$

$$\tau_{xym} = 0 \text{ psi}$$

Reemplazando los valores iguales a cero para simplificar la ecuación, nos queda:

$$N_F = \left[\left(\frac{\sigma_{xa}}{S_e} + \frac{\sigma_{xm}}{S_u} \right)^2 + \left(\frac{0}{S_e} + \frac{0}{S_u} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{xa}}{S_e} + \frac{\sigma_{xm}}{S_u} \right) \left(\frac{0}{S_e} + \frac{0}{S_u} \right) + 3 \left(\frac{0}{S_e} + \frac{0}{S_u} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Simplificando previamente y reemplazando los valores que faltan, queda:

$$N_F = \left[\left(\frac{17}{19056} + \frac{6773}{60000} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$N_F = \left[(0,0009 + 0,1129)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$N_F = 8,787$$

Redondeando:

$$N_F = 8,79$$

Para calcular N_y se procede de manera similar, usando la ecuación (3,21):

$$N_y = S_y \left[(\sigma_{xa} + \sigma_{xm})^2 + (0 + 0)^2 - (\sigma_{xa} + \sigma_{xm})(0 + 0) + 3(0 + 0)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Simplificando previamente y reemplazando los valores que faltan queda:

$$N_y = 35000 \left[(17 + 6773)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$N_y = 5,154$$

Redondeando:

$$N_y = 5,15$$

Como $N_y = 5,15 > 3,5$, no hay necesidad de aumentar el espesor de la tubería o de mejorar el material de la misma.

Además, como $N_F = 8,79 > 1$, estaríamos en la zona B del diagrama de Wohler, lo cual indica que la tubería tiene vida infinita.

CAPITULO V

DISEÑO DE PLANTA DEL SECTOR DE GLP

5.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO ACTUAL

El establecimiento cuenta con dos sectores de combustibles líquidos: Uno para gasolina de 84 octanos (G84) y petróleo (D2) y otro para kerosene. (D1)

Se tiene dos zonas de tanques de estos combustibles: La zona para gasolina y petróleo con dos tanques; uno de doble compartimiento para G84/D2; de 3000 / 3000 galones y otro para D2, de 10 000 galones; y la zona para kerosene., con un tanque de 500 galones. Cuenta además con la zona de llenado de los tanques, las zonas de despacho y la zona de ventilación de los tanques.

En las zonas de despacho se distingue dos islas: Una isla tiene surtidor para gasolina y petróleo , con dos mangueras; una para cada producto. La otra isla tiene surtidor para kerosene, con una manguera.

Aparte se tiene las edificaciones donde están la Administración, el mini mercado (aún no operativo), el Privado, los servicios higiénicos y el cuarto de máquinas. Para la ampliación se deberá contar con seis lotes adicionales de 7 m x 20 m en donde se ubicarán los sectores de GLP y GNV.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE GLP.

Este sector contará con tres zonas bien definidas:

- a) La zona de llenado del tanque (zona de carga).
- b) La zona de ventilación o venteo y la zona del tanque (juntas).
- c) La zona de despacho (zona de descarga).

La zona de llenado del tanque contará con una boca de llenado que estará bajo el nivel del piso, en una caja de concreto con tapa de acero; para protegerla de golpes; y estará fijada a su apoyo, para protegerla de tensiones.

Irà unida a una tubería soterrada cuyo extremo opuesto ingresará en el tanque.

La zona de ventilación y la zona del tanque, ambas constituyen una sola zona, porque el ducto de venteo es vertical y está encima del tanque, dentro de la zona de seguridad del mismo.

La zona de despacho contará con una isla en la cual habrá un dispensador con dos mangueras, ambas para atender sólo a vehículos chicos (autos y otros similares). Estará ubicada paralelamente a la Av. Miguel Grau.

El dispensador estará conectado a una bomba que extraerá GLP del tanque mediante una tubería de succión y lo descargará por otra tubería hasta aquel.

5.3 DETALLES DEL DISEÑO DE PLANTA .

A continuación se mencionará y se detallará las normas del Reglamento de establecimientos de GLP para uso automotor – Gasocentros, D.S. N° 019-93-EM, que correspondan al diseño de planta del sector de GLP y que serán aplicados en

la modificación del grifo en estudio; y se detallará para cada artículo, las obras a realizar en dicho grifo. (Ver Ref. N° 23)

En adelante los linderos del establecimiento estarán referidos a los del establecimiento ampliado.

1. Las distancias indicadas a continuación están referidas al dispensador, al punto de descarga de la válvula de seguridad y a la conexión de carga del tanque. Serán tomadas como proyecciones horizontales en el suelo, medidas en forma radial desde los puntos donde se puedan producir gases :

a) La subestación eléctrica, para uso del establecimiento, estará a 70 m de esta y estará aún más lejos de los puntos de emanación de gases de GLP

b) No existe a 50 m de cada uno de los puntos críticos ningún predio destinado o proyecto aprobado por el municipio para centro educativo, mercado, supermercado, hospital, clínica, iglesia, cine, teatro, cuarteles, zonas militares, comisarías o zonas policiales, establecimientos penitenciarios y lugares de espectáculos públicos.

(Artículo 19)

2. Considerando el volumen del tanque de GLP seleccionado para el establecimiento en estudio se tendrá que la distancia a respetar , medida desde los límites de este hasta los límites de otro gasocentro y/o planta envasadora será de 100 m. Pues a esta distancia no existe ninguno de los establecimientos señalados (Artículo 21).

3. Cumplirá con el radio mínimo de giro sólo para vehículos chicos (6,5 m). No atenderá a vehículos grandes (camiones, ómnibus, otros similares).

En el sector de GLP se colocará aviso que dirá: "PROHIBIDA LA TENCION A OMNIBUS Y CAMIONES".

(Artículo 25).

4. El retiro de la isla del dispensador de GLP será 6 m respecto del borde interior de la vereda en la Av. Miguel Grau y 5 m desde el retiro municipal. (Artículo 26).
5. El ancho de la entrada en la Av. Miguel Grau se mantendrá en 6 m y en la Calle 4 será de 6 m. El ancho de la salida en la Av. Miguel Grau y en la Calle 4 se mantendrá en 6 m. (Artículo 27).
6. Los ángulos de las entradas y salidas serán de 45° en las tres vías de tránsito. (Artículo 28).
7. Para el sector de GLP sólo se tendrá un ingreso y una salida en la Av. Miguel Grau.
Cumplirá también con las dimensiones y forma de la vereda en el espacio destinado a las entradas y salidas (la pendiente será de 10%). (Artículo 29).
8. No se construirá techo sobre las islas (Artículo 30).
9. El material de construcción a usar a 10 m a la redonda de los puntos de transferencia será incombustible; en base de acero y concreto. (Artículo 31).
10. Se respetará el Reglamento Nacional de Construcción en lo que sea necesario. (Artículo 32).
11. El tanque soterrado estará en una zona de seguridad, protegido con un sardinel de concreto de 0,10 m de ancho y 0,20 m de alto; más una malla metálica de una altura de 1,75 m, medida desde el piso, con una puerta de acceso corrediza y otra de una hoja. (Artículo 42).
12. El tanque será cubierto con una capa de arena de río, lavada, de un espesor de 0,30 m por el fondo y la parte lateral. (Artículo 45).

13. La profundidad de la parte superior del tanque será de 0,30 m.

El punto de carga o llenado del tanque estará ubicado a 3,00 m de la proyección horizontal del tanque de GLP (Artículo 46).

14. Los puntos de llenado, despacho y venteo se ubicarán según el cuadro siguiente:

| Punto | Distancia a líneas eléctricas aéreas de media y alta tensión. (m) | Distancia a edificios más cercanos. (m) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Llenado | 20,00 | 17,80 (Calle 4) |
| Despacho | 15,40 | 16,00 (Av. M. Grau) |
| Ventilación | 16,10 | 16,70 (Av. M. Grau) |

A una distancia menor a 22 m de los límites del establecimiento, no se instalará sub estaciones eléctricas o transformadores elevados que estén a una altura de 4,60 m

(Artículo 47).

15. La boca de descarga del tubo de venteo estará ubicada a 2 m por encima del piso. (Artículo 48).
16. El tanque del establecimiento de 10,53 m³, soterrado, estará ubicado a 6,00 m del límite frontal, a 5,80 m del límite lateral izquierdo, a 28,50 m del límite lateral derecho y a 27,70 m del límite posterior.

Además estará a 10,60 m de la proyección horizontal del tanque de diesel (el más cercano). (Artículo 51).

17. Las tuberías de llenado y de despacho estarán a 0,60 m de profundidad. (Artículo 52).
18. El camión tanque que abastecerá de GLP al establecimiento se estacionará a 6 m de la boca de llenado del tanque y estará orientado hacia la salida en la Calle 4. (Artículo 57).
19. En el extremo de la tubería donde estará la boca de llenado del tanque, se instalará una válvula de cierre de emergencia y la tubería tendrá un anclaje metálico para protegerla de tensiones excesivas. (Artículo 59)
20. Todos los equipos eléctricos estarán conectados a un pozo a tierra, ubicado cerca de la pared lateral derecha a 17,50 m del dispensador de GLP. (Artículo 67).
21. El dispositivo de parada de emergencia, exigido en este artículo, estará ubicado a 17,70 m del dispensador de GLP. (Artículo 68).
22. La isla del dispensador de GLP estará ubicado a 9,30 m de la proyección horizontal del tanque de GLP.
Tendrá defensas contra choque hechas de tubos de fierro de 0,10 m de diámetro, rellenas de concreto.
La isla tendrá una altura de 0,20 m y estará dispuesta para dejar un espacio libre de 0,50 m entre el dispensador y el vehículo. (Artículo 77).
23. Los sardineles de protección en las entradas y salidas tendrán una altura de 0,15 m y estarán pintados según lo indicado por la norma respectiva. (Artículo 78)
24. Se tendrá lo siguiente:
 - a) La distancia entre el dispensador de GLP y el surtidor de G84 y D2 será de 15,50 m.

b) Por las pistas aledañas a la isla de GLP sólo transitarán los autos que adquirirán GLP o el camión de abastecimiento de GLP.

(Artículo 92).

25. Se solicitará a la compañía del servicio de agua la instalación de dos hidrantes a no más de 100 m del sector de GLP. (Artículo 96).
26. Se contará con un generador eléctrico para operación de las bombas de agua contra incendio (caso de corte de energía eléctrica) y estará ubicado a 25,10 m del tanque de GLP y 24,80 m del dispensador de GLP. (Artículo 98).
27. Se ubicará panel luminoso en el límite del establecimiento con la Calle 4, a una distancia de 2 m del nivel del piso y de una altura máxima de 5 m. Será a prueba de explosión. (Artículo 116).

CAPITULO VI

DISEÑO DE PLANTA DEL SECTOR DE GNV

6.1 INTRODUCCIÓN SOBRE EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE GNV MEDIANTE BATERÍA DE TANQUES.

Los equipos a utilizar en el sistema de GNV, tratado en esta Tesis, los cuales ya se mencionaron en el Capítulo IV, tendrán una ubicación determinada, respecto del establecimiento de venta de gas, según como sigue: el tracto y la unidad semi remolque-batería de tanques, estarán momentáneamente en el establecimiento, la unidad de presión permanecerá siempre en el establecimiento y las sub estaciones eléctricas y la unidad de carga de las baterías de tanques, estarán fuera del establecimiento; esta última se ubicará en la planta de carga..

Por otro lado, como ocuparse en detalle del diseño de la planta de carga es extenso y motivo de otra evaluación, por lo tanto, en este capítulo sólo se tratará del diseño de planta del Sector de GNV del establecimiento en estudio.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE GNV.

Este sector contará con tres zonas bien definidas:

- a) La zona de almacenamiento de GNV y ventilación.
- b) La zona de presurización de GNV.
- c) La zona de despacho de GNV.

La zona de almacenamiento de GNV y ventilación, contendrá a las unidades semi remolque – batería de tanques. Cada batería de tanques tendrá un colector de venteo y un único tubo de desfogue.

La zona estará delimitada por un cerco, tipo vallas; (en forma de “U” invertida); hecho de tubos de fierro, de 0,10 m de diámetro y 0,80 m de altura medido desde el pavimento y separados 1m uno de otro.

El cerco podrá ser removido, para permitir el paso de los remolques, durante el intercambio de los mismos.

La zona de presurización de GNV contendrá a la unidad de presión, la cual mantendrá la presión de 220 bar en los tanques, haciendo uso del polímero, y permitiendo así la transferencia del gas natural al tanque del vehículo.

Esta zona estará delimitada por un cerco de tubos de fierro fijos, con malla metálica de 1,75 m de alto a los costados del equipo; la protección en la parte posterior será el muro perimétrico y en la parte delantera un cerco de tubos de fierro movibles al igual que el mencionado anteriormente.

La zona de despacho contará con dos islas de GNV, cada una con un dispensador de dos mangueras, ambas para atender sólo a vehículos chicos (autos y otros similares). La isla N° 1 estará ubicada en la parte central del Patio de Maniobras, inclinada 45° hacia la izquierda respecto al eje de la Av. Miguel Grau. La isla N° 2 estará ubicada en serie con la Isla N° 1.

Los dos dispensadores estarán alimentados por el gas que llegará a ellos mediante una tubería soterrada la cual se bifurcará en dos ramales, uno para cada dispensador.

6.3 DETALLES DEL DISEÑO DE PLANTA.

A continuación se mencionará y detallará las normas del “Reglamento para la Instalación y operación de Establecimientos de Venta al Público de Gas Natural Vehicular (GNV)”, aprobado por D.S. N° 006-2005-EM que correspondan al diseño de Planta del Sector de GNV y que serán aplicados en la modificación del grifo en estudio, y se detallará para cada artículo, las obras a realizar en dicho grifo. (Ver Ref. N° 24)

Además, para complementar el sustento de las medidas tomadas en algunos artículos se ha tenido que recurrir a la lectura de lo indicado en la Ref. N° 25 y la Ref. N° 26.

En adelante los linderos del establecimiento estarán referidos a los del establecimiento ampliado:

1. Se respetará las normas establecidas en el Reglamento indicado anteriormente y también las Normas Técnicas Peruanas (NTP) aplicables y a falta de estas, las normas técnicas internacionales reconocidas por la autoridad competente (Artículo 20).
2. El establecimiento en estudio contará sólo con mini mercado.
No venderá GLP envasado para uso doméstico.
(Artículo 22)
3. El establecimiento en estudio tendrá trayectorias con radio de giro de 6,5 m mínimo, para atención a vehículos chicos (autos, furgonetas y otros vehículos similares).

No atenderá a vehículos grandes (ómnibus y camiones). Sin embargo se ha trazado una trayectoria de 14 m de radio que va desde la entrada por la Av.

Miguel Grau hasta la salida por la Calle S/N, que corresponde a los remolques de GNV.

Hay trayectorias con radios de giro mayores a 6,5 m pero ellas están referidas a los vehículos menores.

Se colocará un letrero que dirá "PROHIBIDA LA ATENCION A VEHICULOS GRANDES".

El eje de circulación será trazado a 1,5 m paralelo a las islas ya que la atención será para vehículos chicos.

Las dos islas de GNV atenderán por ambas caras.

El sentido de tránsito vehicular estará señalado con flechas pintadas en el pavimento y letreros en las entradas y salidas.

(Artículo 23)

4. a) Se instalará una sub estación eléctrica a 70 m de la unidad de presión de GNV, para uso del establecimiento.

- b) No existe proyecto aprobado por el Municipio para centros de afluencia masiva de público (colegios, cines, mercados, hospitales, zonas militares o policiales, etc.) ni estos locales mencionados, a menos de 50 m de los puntos de emanación de gases.

El colegio más cercano está a más de 100 m del lindero del establecimiento y el mercado más cercano está a más de 700 m también del lindero del establecimiento.(Artículo 24).

5. Las entradas y salidas serán de las mismas dimensiones de las señaladas para el Sector de GLP las cuales coinciden con las indicadas en este artículo. No se construirá acceso en la esquina de la Av. Miguel Grau con la Calle 4. Se respetará la pendiente de 10% en los accesos entre el límite de propiedad y el borde de la calzada.

(Artículo 25).

6. El ángulo en las entradas y salidas del establecimiento será de 45°. (Artículo 27).

7. Para el sector de GNV se tendrá una entrada por la Av. Miguel Grau y una salida por la Calle 4. Habrá una salida por la Calle S/N., de 9 m de ancho, para uso exclusivo de los remolques de GNV. Dicha salida permanecerá cerrada para otros vehículos. Además, las veredas de las calles adyacentes al establecimiento serán construidas según lo indicado por la municipalidad respectiva. (Artículo 28).

8. Todo el Sector de GNV estará construido a cielo abierto. (Artículo 30).

9. Todo el material de construcción usado a 10 m a la redonda de los puntos de emanación de gases será incombustible, hecho a base a concreto, ladrillo y fierro. (Artículo 31).

10. La distancia más corta entre las islas del establecimiento es la siguiente:

- Entre islas de GNV.....06,00 m
- Entre isla N° 1 de GNV y la isla de G84/D2..... 15,00 m
- Entre isla N° 1 de GNV y la isla de Kerosene.....19,90 m
- Entre isla N° 2 de GNV y la isla de G84/D2 09,40 m
- Entre isla N° 2 de GNV y la isla de kerosene.....12,00 m
- Entre la isla N° 1 de GNV y la isla de GLP..... 06,50 m

- Entre la isla N° 2 de GNV y la isla de GLP.....11,30 m.
(Artículo 32) (Ver Ref. N° 25).
11. Las islas llevarán defensas en los extremos hechas de tubo de fierro de 0.10 m de diámetro rellenos con concreto y estarán separadas 0,60 m del dispensador.
La altura de la isla será de 0,20 m. (Artículo 33).
 12. Las zonas aledañas a las islas tendrán losa de asfalto de 3 m de ancho y constituyen las pistas de servicio dentro del Patio de Maniobras.
En general habrá vías de tránsito vehicular asfaltadas y también sardineles y veredas de concreto donde convenga. (Artículo 34).
 13. No se usará compresor. La unidad de presión usará un equipo impulsor del polímero el cual será inyectado en el tanque de gas (Artículo 35).
 14. No se usará sardinel de protección sino más bien, cerco de tubos de fierro, de 0,10 m de diámetro y 0,80 m de altura sobre el pavimento; soldados en pares a un perfil en "U", horizontal (tipo valla) y separados 1 m uno del otro. Estas vallas serán removibles (Artículo 36)
 15. La proyección de las líneas eléctricas aéreas de media tensión , que pasan por la Av. Miguel Grau se encuentran a las siguientes distancias:
 - Desde la batería de tanques.....28,90 m
 - Desde la unidad de presión.....31,30 m
 - Desde el venteo..... 29,74 m
 - Desde el dispensador de la isla N° 1 de GNV.....22,40 m
 - Desde el dispensador de la isla N° 2 de GNV.....28,00 m
 (Artículo 38) (Ver Ref. N° 25)
 16. El tablero eléctrico se ubicará a las siguientes distancias:
 - De la batería de tanques más cercana.....15,80 m

- De la unidad de presión.....26,10 m
- Del venteo más cercano.....20,70 m
- Del dispensador de la isla N° 1 de GNV.....24,20 m
- Del dispensador de la isla N° 2 de GNV.....16,40 m

(Artículo 41)

17. El rótulo iluminado estará ubicado en la Av. Miguel Grau, a 6 m del dispensador de GLP que es el punto de emanación de gases más cercano. Este rótulo será a prueba de explosión y estará a 2 m mínimo por encima del piso. (Artículo 44).
18. Habrá cuatro reflectores para iluminación del Patio de Maniobras:
 - Uno estará ubicado en el límite que colinda con la propiedad vecina, cerca de la Av. Miguel Grau, a una distancia de 18,3 m del dispensador de GNV en la lista N° 1 (punto de emanación de GNV más cercano) y a 14,8 m del dispensador de GLP.
 - Otro estará ubicado en el límite que colinda con la propiedad vecina, a 10,85 m de la batería de almacenamiento de GNV (punto de emanación de gases más cercano).
 - El tercero estará ubicado en el límite que colinda con la Calle 4 a una distancia de 7,6 m del surtidor de la isla de Kerosene (punto de emanación de gases más cercano).
 - El cuarto estará ubicado cerca de la salida de la Calle S/N a una distancia de 6,9 m de la batería de tanques de GNV (punto de emanación de gases más cercano).

Las distancias mencionadas anteriormente se han tomado entre la proyección horizontal de los reflectores y la de los equipos mencionados. De

todos ellos, los que colindan con la Calle 4 y la Calle S/N serán necesariamente a prueba de explosión porque distan menos de 10 m de los puntos de emanación de gases más cercano.

Además, todos estarán a 4,5 m sobre el pavimento.

En cuanto a los avisos luminosos, estos si serán a prueba de explosión.

(Artículo 45).

19. No se construirá techo sobre las islas de GNV. (Artículo 48).
20. Se ubicará un puesto de guardia a 17,6 m del dispensador N° 1 de GNV, y a 17 m del dispensador de GLP (punto de emanación de gases más cercano). (Artículo 58).
21. La batería de tanques para GNV será un conjunto de cuatro tanques solidarios a los semi–remolque, unidos a un colector para la descarga de GNV y a otro colector para el desfogue por la válvula de seguridad. (Artículo 62)
22. Las distancias de los equipos y accesorios para la venta al público de GNV a los límites del establecimiento se muestran a continuación:

| Equipo | Distancia al límite de propiedad (m) | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|---------|-----------------|
| | Propiedad Privada | Calle S/N | Calle 4 | Av. Miguel Grau |
| Dispensador de la Isla N° 1 de GNV | 13,45 | 21,55 | 21,40 | 13,10 |
| Dispensador de la Isla N° 2 de GNV | 19,00 | 15,90 | 15,80 | 18,65 |
| Batería de tanques N° 1 | 8,00 | 7,00 | 25,80 | 19,60 |
| Batería de tanques N° 2 | 11,25 | 7,00 | 22,60 | 19,60 |
| Unidad de presión | 1,25 | 9,65 | 32,50 | 22,00 |
| Boca de descarga de GNV | 10,80 | 14,40 | 25,35 | 21,15 |

La batería de tanques N° 2 de GNV es el equipo más cercano a las edificaciones del establecimiento y está a 7,85 m de estas.

(Artículo 62)

23. El establecimiento brindará servicio de agua mediante un grifo y una manguera instalada para tal propósito.

El servicio de aire comprimido se hará a través de una manguera retráctil de alta presión, alimentada por un compresor.

(Artículo 73).

24. El establecimiento ya cuenta con servicios higiénicos para el público, tanto para varones como para mujeres, incluso hay una ducha.

Además hay servicio higiénico para el personal y otro para uso exclusivo del dueño del establecimiento.(Artículo 74).

25. Se colocará panel luminoso con los precios por metro cúbico estándar, para el GNV y por litro, para el GLP, usando caracteres destacados y contrastantes los cuales tendrán un tamaño mínimo de 30 cm. de alto por 20 cm. de ancho.

La base del panel estará a 2 m del nivel del piso y llegará a una altura máxima de 5 m.

Será a prueba de explosión.

Estará ubicado en la Calle 4.

(Artículo 75).

CAPITULO VII

EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 INTRODUCCIÓN

La presente evaluación económica ha sido elaborada tomando como punto de partida el mes de enero del año 2006 para el cual se hizo una proyección de automóviles que serían atendidos, por día, en los sectores de GLP y de GNV del establecimiento en estudio respectivamente.

Se considerará que la demanda y la oferta de gas vehicular y, por consiguiente, el ingreso por ventas, estarán regidos por las condiciones expuestas en el Anexo 4.

7.2 FLUJO DE EFECTIVO DE OPERACIÓN: SECTOR DE GLP Y SECTOR DE GNV

A continuación se muestran dos flujos de caja elaborados para ambos sectores, de GLP y de GNV, respectivamente. Para ello se ha tomado en cuenta, algunas consideraciones adicionales indicadas, también, en el Anexo 4.

Tabla N° 7.1
Grifo la Joya de Santa Isabel: Flujo de Efectivo de Operación - Sector de GLP

| Rubro | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ingreso por ventas | | 554 534 | 587 806 | 423 220 | 389 362 | 358 213 |
| Costo total del servicio | | 265 645 | 186 596 | 186 596 | 186 596 | 186 596 |
| -Costo del GLP | | 143 106 | 143 106 | 143 106 | 143 106 | 143 106 |
| -Costo de energía eléctrica | | 1 061 | 1 061 | 1 061 | 1 061 | 1 061 |
| -Costo de mano de obra | | 20 040 | 20 040 | 20 040 | 20 040 | 2 040 |
| -Costo de mantenimiento de equipos | | 8 700 | 8 700 | 8 700 | 8 700 | 8 700 |
| -Personal administrativo | | 6 020 | 6 020 | 6 020 | 6 020 | 6 020 |
| -Gastos administrativos | | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 |
| -Depreciación de equipos | | 6 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 |
| Amortización e intereses | | 79 049 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad antes de impuestos | | 288 889 | 401 210 | 236 624 | 202 766 | 171 617 |
| -Impuesto a la renta (30%) | | 86 667 | 120 363 | 70 987 | 60 830 | 51 485 |
| Utilidad Neta | | 202 222 | 280 847 | 165 637 | 131 936 | 120 132 |
| Flujo de efectivo de operación | -126 300 | 287 271 | 286 847 | 171 637 | 137 936 | 126 132 |

Continuación de Tabla N° 7.1

| Rubro | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ingreso por ventas | 329 556 | 322 965 | 316 506 | 310 176 | 307 074 |
| Costo total del servicio | 186 596 | 186 596 | 186 596 | 186 596 | 186 596 |
| -Costo del GLP | 143 106 | 143 106 | 143 106 | 143 106 | 143 106 |
| -Costo de energía eléctrica | 1 061 | 1 061 | 1 061 | 1 061 | 1 061 |
| -Costo de mano de obra | 20 040 | 20 040 | 20 040 | 20 040 | 20 040 |
| -Costo de mantenimiento de equipos | 8 700 | 8 700 | 8 700 | 8 700 | 8 700 |
| -Personal administrativo | 6 020 | 6 020 | 6 020 | 6 020 | 6 020 |
| -Gastos administrativos | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 |
| -Depreciación de equipos | 6 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 |
| Amortización e intereses | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad antes de impuestos | 142 960 | 136 369 | 129 910 | 123 580 | 120 478 |
| -Impuesto a la renta (30%) | 42 878 | 40 911 | 38 973 | 37 074 | 36 143 |
| Utilidad Neta | 100 082 | 95 458 | 90 937 | 86 506 | 84 335 |
| Flujo de efectivo de operación | 106 082 | 101 458 | 96 937 | 92 506 | 90 335 |

Tabla N° 7.2
Grifo la Joya de Santa Isabel: Flujo de Efectivo de Operación - Sector de GNV

| Rubro | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| Ingreso por ventas | | 1 032 816 | 1 213 359 | 1 286 161 | 926 036 | 851 953 |
| Costo total del servicio | | 517 942 | 507 286 | 496 630 | 485 974 | 475 318 |
| -Costo del GNV | | 273 828 | 273 828 | 273 828 | 273 828 | 273 828 |
| -Costo de energía eléctrica | | 13 814 | 13 814 | 13 814 | 13 814 | 13 814 |
| -Costo de mano de obra | | 27 200 | 27 200 | 27 200 | 27 200 | 27 200 |
| -Costo de mantenimiento de equipos | | 13 000 | 13 000 | 13 000 | 13 000 | 13 000 |
| -Personal administrativo | | 6 350 | 6 350 | 6 350 | 6 350 | 6 350 |
| -Gastos administrativos | | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 |
| -Depreciación de equipos | | 40 000 | 40 000 | 40 000 | 40 000 | 40 000 |
| Amortización e intereses | | 142 080 | 131 424 | 120 768 | 110 112 | 99 456 |
| Utilidad antes de impuestos | | 514 874 | 706 073 | 789 531 | 440 062 | 376 635 |
| -Impuesto a la renta (30%) | | 154 462 | 211 822 | 236 859 | 132 019 | 112 991 |
| Utilidad Neta | | 360 412 | 494 251 | 552 672 | 308 043 | 263 644 |
| Flujo de efectivo de operación | -740 000 | 542 492 | 665 675 | 713 440 | 458 155 | 403 100 |

Continuación de Tabla N° 7.2

| Rubro | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ingreso por ventas | 783 797 | 721 093 | 706 671 | 692 538 | 678 687 |
| Costo total del servicio | 375 862 | 375 862 | 375 862 | 375 862 | 375 862 |
| -Costo del GNV | 273 828 | 273 828 | 273 828 | 273 828 | 273 828 |
| -Costo de energía eléctrica | 13 814 | 13 814 | 13 814 | 13 814 | 13 814 |
| -Costo de mano de obra | 27 200 | 27 200 | 27 200 | 27 200 | 27 200 |
| -Costo de mantenimiento de equipos | 13 000 | 13 000 | 13 000 | 13 000 | 13 000 |
| -Personal administrativo | 6 350 | 6 350 | 6 350 | 6 350 | 6 350 |
| -Gastos administrativos | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 | 1 670 |
| -Depreciación de equipos | 40 000 | 40 000 | 40 000 | 40 000 | 40 000 |
| Amortización e intereses | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad antes de impuestos | 407 935 | 345 231 | 330 809 | 316 676 | 302 825 |
| -Impuesto a la renta (30%) | 122 381 | 103 569 | 99 243 | 95 003 | 90 848 |
| Utilidad Neta | 285 554 | 241 662 | 231 566 | 221 673 | 211 977 |
| Flujo de efectivo de operación | 325 554 | 281 662 | 271 566 | 261 673 | 251 977 |

7.3 CÁLCULOS

a) Para la inversión de GLP

- Cálculo del VAN_{GLP}

$$VAN_{GLP} = \frac{287271}{(1+0,12)} + \frac{286847}{(1+0,12)^2} + \frac{171637}{(1+0,12)^3} + \frac{137936}{(1+0,12)^4} + \frac{126132}{(1+0,12)^5} + \frac{106082}{(1+0,12)^6} + \frac{101458}{(1+0,12)^7} + \frac{96937}{(1+0,12)^8} + \frac{92506}{(1+0,12)^9} + \frac{90335}{(1+0,12)^{10}} - 126300$$

$$VAN_{GLP} = US\$ 841 513$$

- Cálculo de la TIR_{GLP}

$$0 = \frac{287271}{(1+r)} + \frac{286847}{(1+r)^2} + \frac{171637}{(1+r)^3} + \frac{137936}{(1+r)^4} + \frac{126132}{(1+r)^5} + \frac{106082}{(1+r)^6} + \frac{101458}{(1+r)^7} + \frac{96937}{(1+r)^8} + \frac{92506}{(1+r)^9} + \frac{90335}{(1+r)^{10}} - 126300$$

$$r = 2,183 \rightarrow \text{En porcentaje: } \%r = TIR_{GLP} = 218,3 \%$$

- Tiempo de recuperación del capital (t)

Como la inversión se recupera en menos de un año, se hará el cálculo en meses para el año 1, con una tasa de 1% mensual:

$$0 = 23939 \times \left[\frac{1}{1,01} + \frac{1}{1,01^2} + \dots + \frac{1}{1,01^t} \right] - 126300$$

Cumple para t= 6 meses (redondeado)

Tiempo de recuperación del capital: 6 meses del Año 1

b) Para la inversión de GNV

- Cálculo del VAN_{GNV}

$$VAN_{GNV} = \frac{542492}{(1+0,12)} + \frac{665675}{(1+0,12)^2} + \frac{713440}{(1+0,12)^3} + \frac{458155}{(1+0,12)^4} + \frac{403100}{(1+0,12)^5} + \dots$$

$$\frac{325554}{(1+0,12)^6} + \frac{281662}{(1+0,12)^7} + \frac{271566}{(1+0,12)^8} + \frac{261673}{(1+0,12)^9} + \frac{251977}{(1+0,12)^{10}}$$

-740000

$$VAN_{GNV} = US\$ 1880 275$$

- Cálculo de la TIR_{GNV}

$$0 = \frac{542492}{(1+r)} + \frac{665675}{(1+r)^2} + \frac{713440}{(1+r)^3} + \frac{458155}{(1+r)^4} + \frac{403100}{(1+r)^5} + \frac{325554}{(1+r)^6} +$$

$$\frac{281662}{(1+r)^7} + \frac{271566}{(1+r)^8} + \frac{261673}{(1+r)^9} + \frac{251977}{(1+r)^{10}} - 740000$$

$$r = 0,7698 \rightarrow \text{En porcentaje: } \%r = 76,98 \%$$

- Tiempo de recuperación del capital (t)

Como la inversión se recuperaría en menos de dos años se hará el cálculo en meses, para el Año 2, considerando lo que falta recuperar para ese año.

$$0 = 55473 \times \left[\frac{1}{1,01} + \frac{1}{1,01^2} + \dots + \frac{1}{1,01^t} \right] - 197508$$

Cumple para t=4 (redondeado)

Tiempo de recuperación del capital: 1 año y 4 meses del Año 2.

CAPITULO VIII

ESTUDIO DE RIESGO

8.1 INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE RIESGOS

Este documento constituye el Estudio de Riesgo, referido al proyecto de ampliación y modificación del grifo La Joya de Santa Isabel, correspondiente a las instalaciones del sector de GLP y a las instalaciones del sector de GNV. Cada sector estará dividido en zonas:

Sector de GLP

- Zona de llenado del tanque (zona de carga)
- Zona del tanque de almacenamiento de GLP y ventilación .
- Zona de despacho (zona de descarga)

Sector de GNV

- Zona de la batería de tanques de almacenamiento de GNV y ventilación.
- Zona de transferencia de GNV
- Zona de despacho de GNV

Dichas instalaciones se construirán de conformidad con lo establecido en las disposiciones reglamentarias vigentes y se montarán en terrenos, del propio establecimiento: Terreno actual y otros aledaños a él y que el propietario deberá adquirir.

8.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE ESTÁ EL ESTABLECIMIENTO.

El establecimiento se encuentra en la zona llamada San Gregorio, en el distrito de Vitarte, adyacente a tres vías de tránsito: La Av. Miguel Grau, La Calle 4 y la Calle S/N.

Actualmente esta zona se está urbanizando rápidamente, pero aún existen terrenos deshabitados. Para describir los alrededores del establecimiento se hará uso del plano simplificado “Detalles de las áreas circundantes al establecimiento”, lámina A-04, el cual estará limitado por un círculo de 500 m de radio, cuyo centro será el centro geométrico del establecimiento modificado y ampliado. Dicho círculo quedará dividido en cuatro cuadrantes, I, II, III, IV, formados por los ejes imaginarios que pasan por los cuatro puntos cardinales, y nombrados en sentido antihorario:

Cuadrante I: En la orientación N-E. A lo largo de la calle S/N y hasta la Av. Nicolás de Piérola se puede observar algunas casas de un piso y otras de dos pisos aún sin terminar y en la prolongación de la calle 4 hay lotes desocupados y algunas casas de un piso y un terreno baldío grande que se extiende hasta el Cuadrante II. Pasando la Av. Nicolás de Piérola hay varias casas concluidas, de dos pisos, dos colegios, un parque y una fábrica.

Cuadrante II: En la orientación N-O. A lo largo de la calle S/N predominan casas de dos pisos, de material noble concluidas y habitadas, y también está el terreno baldío mencionado antes.

A lo largo de la Carretera Central hay casas de material noble de uno y dos pisos y propiedades privadas cercadas sin construir.

Cuadrante III: En la orientación S-O. A lo largo de la Av. Miguel Grau predominan casas de dos pisos, de material noble, concluidas y habitadas, hay un lubricentro y también varios restaurantes chicos, una avícola, una librería, tiendas de abarrotes, etc.

Además se haya el colegio Santa Inés y está la parte posterior de la fábrica de ladrillos.

Cuadrante IV: En la orientación S-E. A lo largo de la Av. Miguel Grau hasta la Av. Nicolás de Piérola se aprecia la fábrica de ladrillos y a continuación, por la Av. Nicolás de Piérola, se aprecia propiedades privadas sin construir.

Pasando la Av. Nicolás de Piérola y continuando por la Av. Miguel Grau hay propiedades privadas cercadas, sin construir y casas de dos pisos, de material noble concluidas.

En cuanto a la topografía del terreno, existe un desnivel de 0,80 m, aproximadamente, a lo largo de la Av. Nicolás de Piérola (Cuadrante I).

El nivel freático en el área del establecimiento está a más de 4.00m de profundidad por lo que no habrá problemas en las excavaciones.

8.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE RIESGOS.

- Eliminar o minimizar los riesgos generados por la actividad de comercialización de los combustibles GLP y GNV y que podrían afectar a la colectividad y a los trabajadores del establecimiento.
- Monitorear la aplicación del Plan de contingencias mediante simulacros de accidentes.

- Promover la responsabilidad compartida del personal del establecimiento en el manejo apropiado de las operaciones teniendo en cuenta el Estudio de Riesgos.
- Hacer que el personal del establecimiento cuente con una guía que sería el Plan de Contingencias con el cual enfrentar un accidente.

8.4 ALCANCES DEL ESTUDIO DE RIESGOS.

El presente Estudio de Riesgo tiene los siguientes alcances:

1. Se dará una descripción del establecimiento y de la zona donde se encuentra.
2. Se mostrará las características físico – químicas del GLP y GNV para conocerlos mejor y saber con que sustancias se está trabajando y contra que se estaría enfrentando si hay un siniestro.
3. Se analizará los eventos más importantes que podrían ser motivo de un siniestro.
4. Se detallará los sistemas y medidas más importantes para disminuir o evitar siniestros.
5. Se hará un análisis de lo que ocurriría en caso de producirse una fuga con deflagración (siniestro más probable).
6. Se mostrará el Plan de Contingencias en el cual se verá:
 - Los equipos de lucha.
 - La organización contra siniestros.
 - Las funciones que le compete a cada miembro de dicha organización.
 - Las entidades de apoyo.

El personal involucrado en la gestión de riesgos es:

- Gerente o Administrador de Planta.
- Jefes de playa o de turno.

- Personal de los dispensadores
- Vigilantes.

8.5 DISPOSITIVOS LEGALES.

Se tendrá en cuenta lo siguiente:

1. Reglamento de “Establecimientos de Venta de Gas licuado de Petróleo (GLP) para Uso Automotor – Gasocentros”, aprobado por D.S. N° 019-97- EM.
2. Reglamento de “Establecimientos de Venta de Gas Natural para Uso Automotor”, aprobado por D.S. N° 006-05-EM.
3. Texto único de procedimientos administrativos del MINEM (TUPA).

Normatividad Peruana

4. NTP 111.019-2004 Gas Natural Seco, Estación de Servicio para venta al público de GNV.

Reglamento de Construcción

5. Reglamento Nacional de Construcción

8.6 ANÁLISIS DE RIESGOS.

8.6.1 Introducción al análisis de riesgo

Todo establecimiento de venta de hidrocarburos debe cumplir condiciones y requisitos relacionados con su seguridad contra incendios y que dependerá de su configuración, ubicación, su entorno y su nivel de riesgo intrínseco.

Debido a que un establecimiento de venta de combustibles derivados de los hidrocarburos es instalado basándose en normas nacionales e internacionales de construcción y montaje; los accidentes que se generarían

serían por fenómenos naturales, terrorismo, vandalismo, sabotaje, mala maniobra operativa, falta de mantenimiento preventivo o fuego en sus alrededores. Entonces, ya que el incendio es un peligro latente primero se debe evitar y si por algún motivo se hubiese producido se debe estar preparado para enfrentarlo.

8.6.2 Información sobre el GLP

Es un combustible gaseoso, muy peligroso y tiene las siguientes características:

Temp. de Combust. de mezcla estequiométrica:2050°C.

Límite de explosividad (inferior – superior)..... 2% - 9%.

Punto de fusión:

- Propano líquido (1 atm).....-187,7 °C

- Butano líquido (1 atm)-138,3 °C

Punto de ebullición:

- Propano (1 atm)-42,1 °C

- Butano (1atm).....- 0,3 °C

Poder calorífico (gas: 50% propano + 50% butano).....45,700 $\frac{MJ}{kg}$.

Este gas es calificado por las siguientes entidades:

UN : 1075

NFPA : 1.4.0

El GLP es una mezcla de hidrocarburos como el propano, butano, propileno y otros más; combinándose estos en diversas proporciones y formando mezclas explosivas al unirse con el oxígeno.

El GLP con mayor contenido de propano posee una mayor presión de vapor que el GLP con mayor contenido de butano pero la mezcla con este último tiene mayor poder calorífico que la mezcla con la primera.

El GLP no es tóxico pero puede asfixiar y causar la muerte si es que el contenido de oxígeno se reduce, en el aire, por debajo del 6% en volumen. Pero ante una fuga o derrame, la mezcla inflamable cubre mayor área que la mezcla asfixiante; por ello la inflamabilidad se acepta como el mayor peligro. Este gas también puede causar quemaduras frías por su rápida evaporación y por consiguiente una disminución brusca de la temperatura o puede enfriar el equipo que lo contiene de modo que al tocarlo produce quemaduras frías.

8.6.3 Información sobre el GNV

Las características del GNV son:

| | |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Temperatura de auto combustión..... | 600°C |
| Límite de explosividad (inferior – superior)..... | 4,5% - 14,5% |
| Punto de fusión | -183°C |
| Punto de ebullición | -162°C |
| Poder calorífico inferior..... | 44,1 $\frac{MJ}{kg}$ |

Este gas es calificado por las siguientes entidades:

U.N. : 1971

NFPA : 1.4.0

Generalmente este gas contiene impurezas en 1% y que son nitrógeno, bióxido de carbono, helio, oxígeno, vapor de agua y otras más, pero el resto es metano.

A presión atmosférica y a igualdad de volumen el gas natural tiene contenido energético mil cien veces menor que el petróleo pero comprimido su contenido energético se incrementa.

Este gas no es tóxico y por ser más liviano que el aire, si escapa, se desvanece en la atmósfera disminuyendo el riesgo de asfixia y explosión.

También se sabe que es menos inflamable que otros combustibles por lo que se necesita mayor proporción de gas natural en el aire para llegar a la inflamación.

8.6.4 Orígenes de riesgos

Para el establecimiento en estudio los orígenes de riesgo de siniestros pueden ser internos o externos y a su vez dentro de cada grupo, se tiene otras causas de siniestros que deben ser considerados.

1. Origen interno

a.1) De naturaleza eléctrica

Se tiene:

- Falta de conexión a tierra de los equipos y herramientas eléctricas.
- Aislamiento dañado en los cables eléctricos.
- Sobrecarga de los circuitos eléctricos.
- Edificaciones a distancia inapropiada de líneas eléctricas de alta, media o baja tensión, o debajo de ellas
- Instalaciones defectuosas.
- Equipos y/o materiales de mala calidad.

- Falta de conocimiento del trabajo en circuitos y/o equipos eléctricos.
- Falta de conocimiento de los peligros de la electricidad.
- Reparar equipos o instalaciones eléctricos sin tener la preparación para ello.
- Exceso de confianza al trabajar con la electricidad cometiendo actos temerarios.
- No usar equipos y herramientas de trabajo en buen estado.
- No usar equipo de protección personal o usarlo en mal estado.
- No hacer periódicamente la revisión completa de los equipos y conexiones eléctricas.
- Accionar imprudentemente interruptores o equipos eléctricos en el momento que existe el riesgo de una atmósfera explosiva (trasiego, despacho, conexiones)

a.2) De naturaleza mecánica

Se tiene:

- No verificar que válvulas, uniones de mangueras; tanto de los dispensadores como las del trasiego; y las conexiones en general sean herméticas y a prueba de filtraciones.
- No considerar la libre expansión y contracción de las tuberías, ni la absorción de la vibración y asentamiento adecuado de las mismas en el tendido.
- Usar válvulas, conexiones, sellos, etc., no resistentes a GLP y GNV en condiciones de servicio tanto en fase líquida como en la de vapor, y no resistentes al fuego.

- Permitir el ingreso al establecimiento de un camión tanque (GLP) o un camión de transporte de batería de tanques o cilindros (GNV) sin silenciador mata chispa.
- Olvidar la conexión a tierra de los camiones mencionados anteriormente, durante el trasiego (GLP) o la descarga (GNV).
- No hacer el cambio oportuno de mangueras deterioradas.
- Accionar imprudentemente herramientas o equipos mecánicos (martillado, aserrado, etc.) cuando hay riesgo de una atmósfera explosiva.
- No hacer las revisiones periódicas de las instalaciones mecánicas. Los riesgos indicados en (a.1) y (a.2) se aminoran o eliminan contratando, para la construcción de las nuevas instalaciones, a una compañía de prestigio, con personal honesto, de buena formación profesional, responsable y respetuosa de las normas técnicas existentes; y para la operación del establecimiento, contratando a personal de iguales características.

a.3) Problema social (interno)

Corresponde al riesgo de sabotaje interno

Sabotaje.

Este se presentaría en caso de descontento laboral de parte de uno o más miembros del personal del establecimiento.

Este riesgo se aminora siguiendo una política laboral justa y dentro de la ley y con buen trato al personal, lo cual es de conocimiento del propietario del establecimiento.

2. Origen externo

Puede ser:

- Fenómenos naturales.
- Problemas sociales.
- Ruidos.
- Otros.

b.1) Fenómenos naturales

Los fenómenos naturales por analizar en la zona del establecimiento son: calor – frío, viento, lluvia y sismicidad.

Los tres primeros no representan riesgo por que en cuanto al calor – frío la zona registra temperaturas entre 14° C a 28° C (no hay nieve ni temperaturas excesivas de 40° C), en cuanto al viento, la velocidad de este es moderada (no hay tornados, ni huracanes) y en cuanto a la lluvia, la zona no tiene precipitaciones fuertes ni hay descargas eléctricas, como en la sierra y selva. Sólo se debe considerar la sismicidad.

Sismicidad

Como sabemos, por información dada por el Instituto Geofísico del Perú, la capital, Lima, es de alta sismicidad por lo que se debe considerar un factor sísmico en las obras civiles, según lo exigido por el Reglamento Nacional de Construcción. La caída de una edificación del establecimiento no podría alcanzar al dispensador de GNV en la isla 2 (más cercano) porque está a más de 7m de ella e igual pasa con la batería de almacenamiento N° 2 de GNV.

También, el sismo tendría que producir una fractura del terreno que pase justo por donde está la red de tuberías o los tanques de gas

para que se de origen a una fuga en estos. Pero la probabilidad de ocurrencia de este suceso es despreciable.

b.2) Problemas Sociales

Estos Riesgos se refieren a los casos de terrorismo, narcotráfico, delincuencia común, sabotaje, alcoholismo – drogas. Veamos.

Terrorismo

A pesar de que el terrorismo en nuestro país ha disminuido ostensiblemente, aún se sabe de escasos ataques a la policía con arma de fuego pero en la zona de la selva, no existiendo ataques con explosivos o bombas incendiarias como lo había antes, en la capital, de una manera más frecuente y peligrosa.

Narcotráfico

Sólo se conoce de ataques con arma de fuego tanto a la policía como a la gente del entorno de la mafia, sobre todo en la zona de la selva.

Delincuencia común – vandalismo

Este es el riesgo más frecuente en la capital, y los hay en la modalidad de asalto a mano armada, secuestros, pandillaje y otros más. Es el más probable de ocurrencia de todos los mencionados anteriormente.

Sabotaje

El sabotaje de origen externo se podría presentar con personas descontentas con el propietario y ajenas al establecimiento.

Se aminora este riesgo llevando una política de buen trato, con los usuarios, con los vecinos y con los propietarios de otros establecimientos de venta de combustibles.

A esto se sumará la vigilancia constante en las instalaciones, tanto del guardián particular y del personal del establecimiento, como de la policía.

Alcoholismo – drogadicción

El riesgo de un accidente de tránsito debido al alcohol y/o drogas es, también, de poca probabilidad de ocurrencia pero de graves consecuencias si sucediera.

Es el caso de un vehículo manejado por un chofer en estado etílico o drogado, que ingresa intempestivamente al establecimiento durante el trasiego y choca contra el camión tanque de GLP y provoca una fuga de gas de este y puede ser con incendio o sin él. También puede haber explosión. O acaso puede chocar contra el camión tanque de combustibles líquidos o el semi remolque de GNV y provocar el incendio y/o explosión de alguno de ellos que alcanzaría las instalaciones de GLP (o viceversa-los de GNV).

Se aminora este riesgo:

- Cerrando la atención al público en la isla de combustible del cual se está haciendo el trasiego.
- Impidiendo el paso de vehículos cerca al camión tanque haciendo uso de tranqueras de tubos de fierro de 0,10 m de diámetro, movibles y colocando un letrero que diga “PROHIBIDO EL PASO”.

Los fenómenos sociales presentados constituyen riesgos fuera de lo normalmente esperado en un establecimiento de venta de combustibles y para atenuarlos se contará, además, con lo siguiente:

- Coordinación con la Policía.
- Coordinación con Defensa Civil.
- Coordinación con la Cía. De Bomberos.
- Vigilancia interna.
- Hidrantes de agua.
- Extintores portátiles y uno rodante.
- Reserva de agua para incendio y refrigeración del tanque de GLP y/o Batería de tanques de GNV.
- Arena.

c) Ruidos

Los ruidos en horas punta no pasan los 60 dB y esto se debe, sobre todo, al flujo vehicular que hay en la Av. Miguel Grau porque en la Calle 4 y en la Calle S/N, que no están asfaltados, hay menor tránsito vehicular que en aquella. Los ruidos generados por la bomba, dispensador y camión que transporta combustibles líquidos, el GLP o el GNV serán menores que los generados por el flujo vehicular. Por tanto, la alarma del sistema de fuga de gas, de 90 dB, puede ser escuchada.

d) Otros

Entre otros orígenes de riesgo tenemos:

d.1) Incendio de un vehículo.

Generalmente el uso de un extintor de PQS, para fuegos ABC es, suficiente para sofocar el fuego. Se debe proceder de la siguiente forma:

- Cortando el abastecimiento al vehículo.
- Apagando el surtidor.

- Colocando la pistola de despacho en su apoyo.
- Usando el extinguidor.

d.2) Incendio en la vivienda vecina

Se evitará la propagación del siniestro

- Cortando el abastecimiento de carga o despacho.
- Accionando el botón de “Parada de Emergencia”.
- Cerrando acceso al establecimiento y evacuando la zona.
- Avisar a las entidades correspondientes.

Las distancias consideradas desde los puntos de emanación de gases a los límites del establecimiento junto con la disposición de extintores, agua y arena y otras medidas más, atenúan este riesgo.

8.7 OTROS SISTEMAS Y MEDIDAS PARA MITIGAR RIESGOS.

Se deberá contar con sistemas y medidas para antes, durante y después de un siniestro a fin de reducir la probabilidad de daños y atenuar o eliminar su peligrosidad:

8.7.1 Sistema de agua contra incendio

Si ocurre un incendio, el establecimiento cuenta con una reserva de agua y mangueras para enfrentar el siniestro.

Además se dispondrá de dos hidrantes a una distancia no mayor a 100 m en caso el fuego no pueda ser controlado con los equipos contra incendio del establecimiento.

Si se necesita a los bomberos estos llegarían al lugar en 20 minutos.

8.7.2 Medidas de Seguridad

Son varias. Se verán las más importantes:

a) Inertización de las instalaciones

Consiste en desalojar el aire atrapado en el interior de la instalación de gas, usando primero un gas inerte como el dióxido de carbono. Luego, la instalación queda lista para inyectar el gas combustible al sistema.

Esta medida se cumplirá en su debido momento.

b) Instalaciones eléctricas

En los lugares donde haya mezclas explosivas de gas las instalaciones eléctricas se ajustaran al NEC Clase 1 División 1

Tanques, batería de cilindros, compresores y dispensadores deberán estar a la distancia exigida por el Reglamento.

Los motores eléctricos, cañerías, conexiones e iluminación que estén en un área señalada como división 1, deberán ser contra explosión (herméticas).

Todos los equipos eléctricos deben estar conectados a tierra.

Se respetará lo indicado en el NEC, también se ha considerado las distancias apropiadas en el estudio y finalmente se ampliará la capacidad del pozo a tierra para las nuevas instalaciones,

c) Extintores

Se contará con extintores de 12 kg de PQS

- Uno en cada isla de GLP y GNV
- Uno en la Unidad de Presión
- Uno por cada 2000 litros en tanques de almacenamiento de GNV.
- Un extintor rodante de 50 kg de PQS para fuegos tipo ABC.

d) Carteles de seguridad

Se dispondrá los siguientes:

- PROHIBIDO FUMAR
- PELIGRO, GAS ALTA PRESIÓN.
- APAGAR EL MOTOR
- PROHIBIDA LA CARGA EN AUSENCIA DEL ENCARGADO.
- PROHIBIDA LA ENTRADA A PERSONAS AJENAS.

Las letras serán de color negro sobre fondo amarillo. La altura de las mismas será de 70 mm mínimo y 4 mm de espesor mínimo.

e) Pruebas y ensayos periódicos

Los extintores se verificarán mensualmente y serán recargados si su carga disminuyo 25% o más o si el PQS está grumoso o húmedo.

Cada 6 meses se hará prueba hidráulica de mangueras de GNV.

Cada 2 años se revisará válvulas de exceso de flujo, válvulas de seguridad, etc.

Cada 10 años se hará una prueba hidráulica de tanques a una presión de 1,5 veces la presión de trabajo durante 30 minutos.

f) Varios

- El GNV debe estar deodorizado para detectar su presencia. Igual para el GLP.
- El responsable del establecimiento dará a conocer al personal el rol de prácticas y simulacros de incendios, fugas y emergencias, para mantenerlo adiestrado.

- Se deberá hacer y mantener actualizado un registro con las actividades que deberá desarrollar el personal encargado de enfrentar el incendio
- Hacer lista de teléfonos de bomberos, hospitales y la policía.
- El despacho lo hará personal competente que conoce los riesgos del gas.
- Durante el despacho, el vehículo apagará su motor hasta haber concluido la venta.
- Según la magnitud de las instalaciones podría necesitarse la presencia de expertos en uso de elementos contra fuego y maniobras necesarias en caso de siniestro.
- Las instalaciones de GNV tendrá pulsadores de paro de emergencias.
- La capacitación y adiestramiento periódico de personal en lucha contra siniestros, en especial incendios, debe ser mayor.

Se cumplirá con todo lo exigido.

8.8 ESTRATEGIAS

Son las siguientes:

- Capacitar y entrenar al personal del establecimiento en el manejo de equipos y en el modo de enfrentar una emergencia. Esto será obligatorio.
- Hacer mantenimiento preventivo de los equipos y herramientas usados en la operatividad del establecimiento y también los usados en el caso de emergencia.

Esto será obligatorio y lo deberá hacer personal competente de empresa de reconocido prestigio y que seguirá las normas apropiadas.

- Minimizar los riesgos cuando sucedan siniestros y preparar al establecimiento para que este operativo en el menor tiempo posible.
Se tomará en cuenta esta estrategia.
- Monitorear el Plan de Contingencias:
Se deberá poner mayor énfasis en el control de sucesos de riesgo cuando los sectores de GLP y GNV estén operando
- Revisar y actualizar periódicamente el Plan de Contingencias.
Esto ya se está llevando a cabo con las instalaciones del grifo actual y se hará, con mayor razón, cuando estén operando los sectores de GLP y GNV.

8.9 ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN DE FUGAS E INCENDIO.

En establecimientos del tipo que se está evaluando, los siniestros que podrían ocurrir son fugas (escapes y derrames), incendios y los siniestros de origen externo que afecten al medio ambiente físico, biológico o socio económico.

Antes de continuar con el análisis se definirá dos tipos de siniestro de alta peligrosidad.

- BLEVE sigla anglosajona de boiling liquid expansion vapour explosion.
- UVCE sigla anglosajona de unconfined vapour cloud explosion. (Ver Ref. N° 28 y Anexo 2).

La BLEVE se produce por ebullición de una sustancia en estado líquido inestable, confinada en un recipiente diseñado para ser hermético, en condiciones normales y que se encuentra sometido a la acción directa del fuego.

En un inicio, la sustancia está en estado líquido con su vapor, ambos en equilibrio de presión y temperatura; cambiando su condición inicial al ser

alcanzado, el recipiente que lo contiene, por un incendio. Si el recipiente no es enfriado a tiempo, se produce una explosión con lanzamiento de proyectiles, bola de fuego y calor radiante.

La UVCE se produce por fuga de una sustancia inflamable la cual forma una nube explosiva que se activa al contactar con un punto de ignición.

En el establecimiento en estudio como el tanque de GLP está soterrado es poco probable el caso de una BLEVE, ya que si hay un incendio cerca al tanque este puede ser sofocado con mayor facilidad porque habría menor área del tanque expuesta al fuego. Pero el riesgo sería mayor en el caso de la batería de tanques de GNV por estar en superficie. Sin embargo, hay suficiente espacio libre alrededor de la batería ya que se ha tomado, en algunos casos, mayores distancias a las exigidas por ley respecto a las edificaciones y puntos de emanación de gases y además el semi remolque podría ser retirado del área de fuego. Por otro lado, habría un mayor riesgo de una UVCE en la batería de tanques de GNV por estar en superficie y en movimiento diario.

Por lo ya expuesto anteriormente, dichos riesgos serán mitigados por el sistema contra incendio y medidas de seguridad ya mencionadas.

En este análisis sólo se describirá y detallará los efectos en caso de producirse una fuga de GNV.

A continuación se muestra la Fig. N° 8.1: “Evolución de Fugas – Incendio”, Se hará la evaluación del riesgo por deflagración de una nube de vapor no confinada a causa de la fuga de gas natural de la batería de tanques. Se considerará la batería de mayor capacidad.

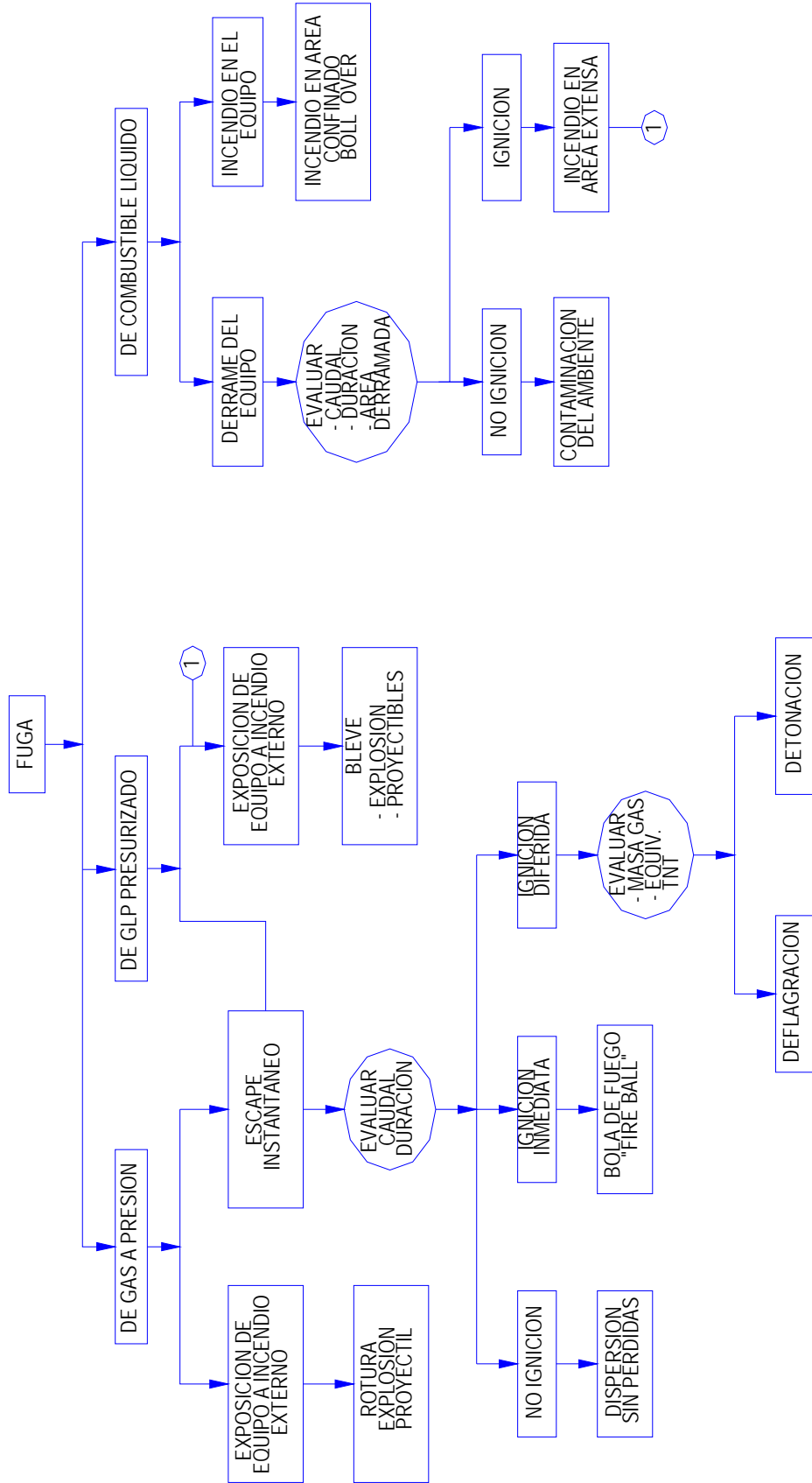


Fig. N° 8.1 Diagrama del desarrollo de una fuga de gas y combustible liquido

Datos:

- Volumen de gas (cuatro tanques):.....14,6 m³ (220 bar, 20 °C)
- Poder calorífico inferior del GNV :.....44100 kJ/kg
- Calor de combustión (detonación) del TNT:...4520 kJ/kg

NOTA:

1 atm <> 1,013 bar

Como en este caso no hay cambio de estado durante la fuga de GNV, entonces se supondrá el caso más desfavorable: de que toda la masa de gas fuga de su recinto.

Esta masa de gas es la misma que habría dentro de los cuatro tanques.

$$M_g = \delta_{i.t.} \times Vol \dots\dots\dots(8.1)$$

Siendo:

M_g = Masa del gas en los cuatro tanques (kg)

$\delta_{i.t.}$ = Densidad del GNV en el interior del tanque (kg/m³)

Vol = Volumen de gas (m³) a 220 bar , 20°C)

- **Cálculo de la densidad del GNV en el interior del tanque**

De la ecuación (4.1) se obtiene la densidad en el interior del tanque de gas natural:

$$\delta_{i.t.} = \frac{M p_{i.t.}}{R T_{i.t.}}$$

Donde $p_{i.t.}$ y $T_{i.t.}$ son absolutas

Los valores son:

$$M = 16 \text{ mol}^{-1}$$

$$p_{i.t.} = 220 \text{ bar (manométrica)}$$

$$p_{i.t.} = \frac{220}{1,013} + 1 = 218 \text{ atm (presión absoluta, redondeada)}$$

$$T_{i.t.} = 20 + 273 = 293^\circ \text{ K}$$

$$Vol = 14,60 \text{ m}^3$$

Reemplazando valores:

$$\delta_{i.t.} = \frac{16 \times 218}{0,082 \times 293}$$

$$\delta_{i.t.} = 145,18 \frac{\text{g}}{\text{l}} \langle \rangle 145,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- **Cálculo de la masa de gas (M_g)**

Sustituyendo valores en la ecuación (8.1)

$$M_g = 145,18 \times 14,6$$

$$M_g = 2120 \text{ kg (redondeado)}$$

- **Calculo de la masa equivalente de TNT**

Como toda la masa liberada no llega a explotar, porque no combina lo suficientemente bien con el aire, entonces hay una eficiencia de la explosión

η

$$M_{TNT} = \frac{\eta \cdot M_g \cdot P_{C.I.}}{E_{C.TNT}} \dots\dots\dots (8,2)$$

Donde:

M_{TNT} = Masa equivalente de TNT (kg)

η = Eficiencia de la explosión

$P_{C.I.}$ = Poder calorífico inferior del GNV

$E_{C.TNT}$ = Calor de combustión del TNT

Los valores son:

$\eta = 0,01$ a $0,1$. Se asume $0,1$ (valor más aceptado).

$P_{C.I.}$ y $E_{C.TNT}$ dados anteriormente

Sustituyendo valores en la ecuación (8.2)

$$M_{TNT} = \frac{0,1 \times 2120 \times 44100}{4520}$$

$$M_{TNT} = \frac{0,1 \times 2120 \times 44100}{4520}$$

$$M_{TNT} = 2068 \text{ kg (redondeado)}$$

- **Sobre presión incidente (lateral) máxima. Marco teórico**

Según el anexo 2, para la elaboración de planes de emergencia en el sector químico, se establecen dos zonas objeto de planificación, para los cuales se dan unos valores umbrales, que sirven para delimitarlos.

En cuanto al riesgo de impulsos y sobre presiones, se han establecido para esas zonas, los valores umbrales siguientes:

- Valor umbral para zona de intervención.
 1. Un valor local integrado del impulso debido a la onda de presión, de 150 milibar x segundo (1 500 Pa x s)
 2. Una sobre presión local estática de la onda de presión de 125 milibar (12 500 Pa)

- Valor umbral para la zona de alerta
 1. Valor local integrado del impulso debido a la onda de presión, de 100 milibar x segundo (10000 Pa x s).
 2. Una sobre presión local estática de la onda de presión de 50 milibar (5000 Pa)

Para el presente trabajo se usará solo la sobre presión local estática de la onda de presión

En el Anexo 2 también se tiene una tabla comparativa que sirve para evaluar las consecuencias de la sobrepresión. He aquí la tabla.

Tabla N° 8.1

Consecuencia de las sobre presiones.

| Daños Personales | Sobre Presión | Daños Estructurales | Sobre Presión |
|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| Umbral de muerte por lesiones de pulmón | 70000 Pa (0,70 bar) | Demolición total | 0,80 bar |
| Umbral de rotura de tímpano | 350000 Pa (0,35 bar) | Daños irreversibles | 0,40 bar |
| Umbral de zona de intervención | 12500 Pa (0,125 bar) | Daños estructurales importantes | 0,18bar |
| Umbral de zona de alerta | 5000 Pa (0,05 bar) | Daños graves reparados | 0,15 bar |
| | | Daños estructurales menores | 0,047 bar |
| | | Cristales rotos al 90% | 0,04 bar |

- **Evaluación de la sobre presión incidente (lateral) máxima**

- **Alcance para el valor umbral zona de intervención:**

Antes de continuar se definirá lo que es la distancia escalada (Z):

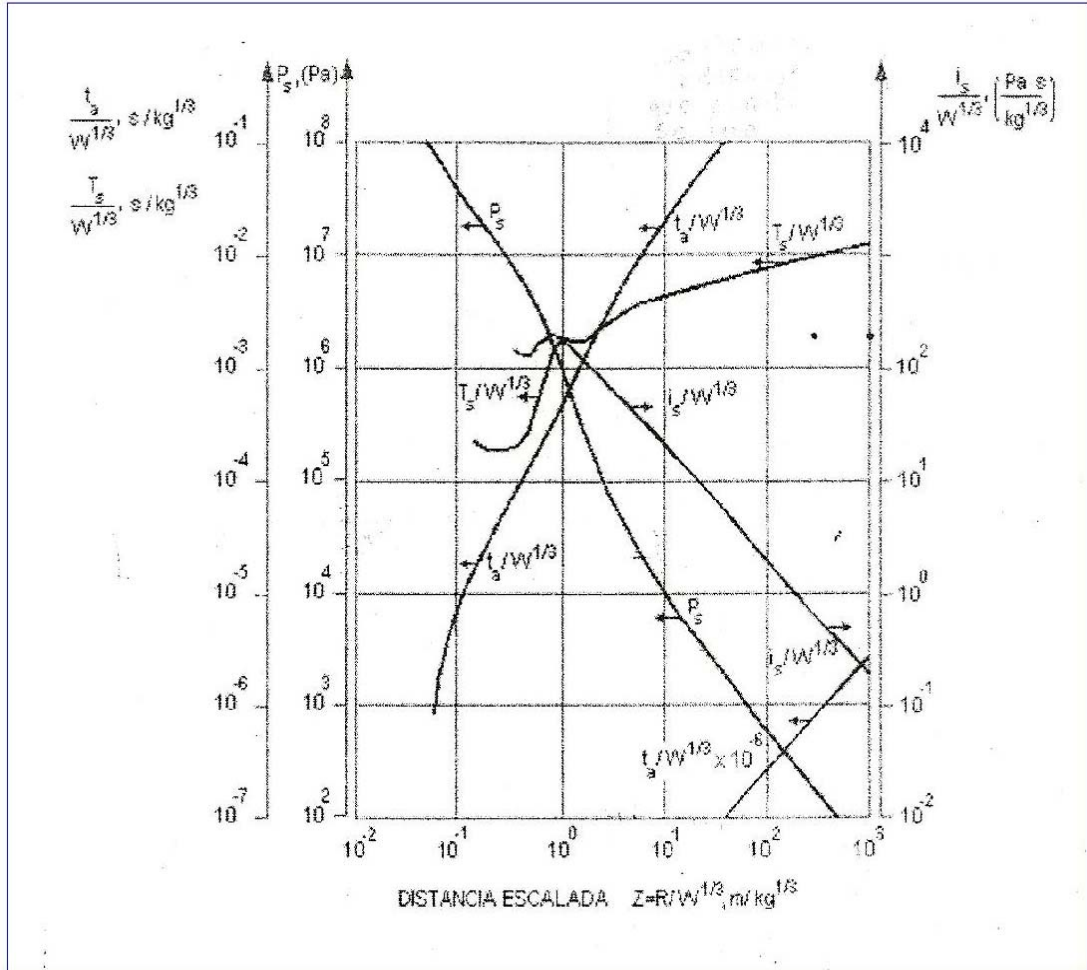


Fig. Nº 8.2: Diagrama para obtener la distancia escalada (Z)

Esta distancia, según el documento del Anexo 2, es el cociente entre la distancia real del centro de la explosión al lugar considerado y la raíz cúbica de la masa equivalente de TNT.

De la misma fuente se tiene que:

$$Z = \frac{R_r}{M_{TNT}^{1/3}} \dots\dots\dots(8.3)$$

Donde:

R_r = Distancia real del centro de la explosión al lugar considerado (m)

M_{TNT} = Masa equivalente de TNT (kg)

Con el valor dado anteriormente de 125 mbar equivalente a 12500 Pa, se va a la Gráfica de la Fig. N° 8.2 (Anexo 2) y se obtiene la distancia escalada igual a 9.

Sustituyendo valores:

$$9 = \frac{R_r}{2068^{1/3}}$$

$$R_r = 114,6$$

Redondeando:

$$R_r = 115 \text{ m}$$

○ **Alcance para el valor umbral zona de alerta.**

Se usará la fórmula anterior pero para una sobre presión local estática de 50 mbar = 5000 Pa

Del gráfico de la Fig. N° 8.2:

$$Z = 17$$

Sustituyendo en la ecuación 8.4:

$$17 = \frac{R_r}{2068^{1/3}}$$

$$R_r = 216,5 \text{ m}$$

Redondeando;

$$R_r = 217 \text{ m}$$

- **Alcance para valor umbral con lesiones de rotura de tímpano.**

De la Tabla N° 8.2 (Anexo 2), se obtiene que la sobre presión local estática de la onda de choque para el umbral de rotura de tímpano es 35000 Pa lo que me da un $Z = 4,4$ m, luego se aplica la fórmula (8.3).

$$4,4 = \frac{R_r}{2068^{1/3}}$$

$$R_r = 56,05 \text{ m}$$

Redondeando:

$$R_r = 56 \text{ m}$$

- **Alcance de la zona con muertos por lesiones pulmonares.**

De manera similar al caso anterior.

Sobre presión = 70000 Pa

Entonces:

$$Z = 2,9$$

$$2,9 = \frac{R_r}{2068^{1/3}}$$

$$R_r = 36,9 \text{ m}$$

Redondeando:

$$R_r = 37 \text{ m}$$

Según dato obtenido del SENAMHI, Anexo 3, la dirección del viento es Sur-Oeste con una velocidad promedio de 3,8 m/s durante el año.

Esto nos indica que en caso de fuga, la masa explosiva se dirigiría hacia el cuadrante III de nuestro plano y según se sabe, la ignición se produciría antes de los 100 m. Esto lo señalan los datos históricos de tragedias anteriores ocurridas en el mundo.

8.10 PLAN DE CONTINGENCIAS

8.10.1 Generalidades:

El mencionado plan, es un documento importante, necesario y obligatorio en todo establecimiento de venta de combustibles ya sean líquidos o gaseosos.

El documento debe tener los lineamientos administrativos y operativos bien definidos y debe darse a conocer al personal y también ejercitarlo para que en caso ocurriese una emergencia este pueda desempeñarse rápidamente y con eficiencia.

8.10.2 Objetivos del Plan de Contingencias

Son los siguientes:

- Crear un grupo humano organizado y concientizado sobre los peligros que puede y debe afrontar.

- Mantener bien preparado al personal del establecimiento.
- Evitar la pérdida de vidas humanas, en el establecimiento y en las propiedades vecinas.
- Proteger las instalaciones del establecimiento y las instalaciones vecinas.

8.10.3 Contenido del Plan de Contingencias:

El principal contenido del plan es:

- Descripción breve sobre las operaciones, mantenimiento y servicios que se realizan en el establecimiento. Esto irá, también, en el Manual de Operaciones.
- Mención de los dispositivos de alarma, funcionamiento y ubicación en el establecimiento. Esto irá, también, en el Manual de Operaciones y en el plano de "Ubicación de equipos de seguridad"
- Relación de números telefónicos y dirección de la compañía de bomberos, estación de policía, hospital más cercano, así como también Defensa Civil. Ya se tiene esta relación.
- Señalización en el establecimiento de rutas de escape y zonas de seguridad. Se harán una vez concluidas las obras.
- Organigrama del Personal de Contingencia, funciones en cada puesto y equipos que usarán. Se muestra en este capítulo.
- Organigrama de la Brigada Médica, funciones en cada puesto y equipos que usarán. Se muestra en este capítulo
- Procedimiento de notificación y comunicación entre el personal del establecimiento, la Dirección General de Hidrocarburos, la policía, hospital y Defensa Civil. Se hará, principalmente, por teléfono (casos

de emergencia) pero también se hará por correo electrónico o cartas (casos normales)

- Programación anual de capacitación teórico – práctica para el personal. La primera capacitación se hará inmediatamente después de contratado el personal para ambos sectores, luego se buscará una fecha apropiada para las otras capacitaciones.
- Nombre, dirección y teléfono del personal del establecimiento involucrado en el plan. Se tomará estos datos al momento de contratar al personal que trabajará en esos sectores
- Relación de equipos a ser usados en las emergencias.

Estos serán:

- Trece extintores de 12 kg de PQS para fuegos tipo ABC
- Un extintor rodante de 50 Kg de PQS para fuegos tipo ABC
- Dos mangueras para agua con sus accesorios.
- Un cilindro con arena y dos recipientes metálicos.
- Un hacha.
- Impermeables y calzado apropiado para la Brigada de Seguridad.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Relación de los simulacros de incendio, rescate y evacuación de personas (incluye los heridos) poniendo énfasis en los resultados. El documento “Simulacros de siniestros” será abierto cuando se inicie las operaciones en los sectores de GLP y de GNV
- Nombre, dirección y teléfono de las entidades, nombre de los titulares, su cargo; que estén involucrados en el plan. Se hará la relación cuando se inician las operaciones en los sectores mencionados.

- Formato para reportar la secuencia en los simulacros de tal forma que puedan evaluarse las prácticas, además de corregir y mejorar las acciones de respuesta.

Este formato se usará en los casos reales de siniestro.

Irá en el documento “Simulacro de siniestros”

- Plano de ubicación de los equipos a ser usados en el siniestro. Un plano completo y detallado será pintado en un muro a la vista de todos, una vez construidos los nuevos sectores.

8.10.4 Organización del personal de contingencias

a) Constitución

- El Coordinador General.- que será el propietario o el administrador. Los propietarios que tienen cadena de establecimientos contratan administradores para sus negocios. En el establecimiento en estudio será el mismo propietario.
- Jefe de Seguridad, quien reemplazará al Coordinador General en su ausencia. Será el supervisor técnico. Aún por designar.
- Brigada contra siniestro, constituida por los despachadores y otro personal entrenado para tal fin. Aún por designar.
- Brigada Médica, constituida por una persona preparada en enfermería o en primeros auxilios y un(a) auxiliar o ayudante capaz de poder desempeñarse eficientemente durante una emergencia. Aún por designar

b) Funciones**• Coordinador General**

- Dirigir las actividades de contingencias.
- Solicitar el apoyo de instituciones especializadas en emergencias.

• Jefe de Seguridad

- Mantener operativos los equipos básicos de lucha.
- Proveer lo necesario para enfrentar el siniestro.
- Asegurar la evacuación de personas ajenas al problema.

• Brigada contra siniestros

- Operar todos los equipos y sistemas necesarios para controlar y extinguir el siniestro.
- Evacuar al personal ajeno al siniestro e impedir ingreso de extraños. Lo hará el vigilante de turno.

• Brigada Médica

- Atender a los heridos con los primeros auxilios hasta la llegada del rescate médico del hospital y el posterior traslado de los mismos a ese nosocomio.

c) Organigrama

En la Fig. N° 8.3 se puede apreciar el Organigrama de la Brigada de Seguridad.

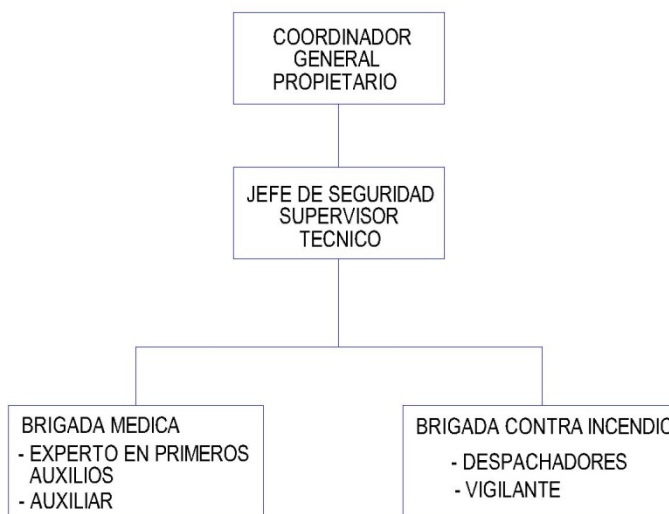


Fig. N° 8.3: Organigrama de La Brigada de Seguridad

8.11 ACCIONES A SEGUIR EN CASO DE EMERGENCIA

En forma global se debe hacer lo siguiente:

- Notificación inmediata al propietario y/o al jefe de seguridad.
- Análisis rápido del siniestro y notificación, si es necesario, a las entidades correspondientes (según la gravedad del problema).
- Operaciones de rescate
- Luego del siniestro, evaluación del plan aplicado y registro de daños ocasionados.
- Relación de los recursos usados, los no usados y los destruidos.
- Resarcimiento de daños y perjuicios ocasionados a terceros.

8.12 ENTIDADES DE APOYO

A continuación se dan las entidades de apoyo más cercanas y de notificación obligatoria, correspondiente a la zona donde está el establecimiento.

Los datos de ese cuadro deben ser actualizados periódicamente.

| Entidad | Dirección | Telefono |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Bombero – Emergencia | ----- | 116 |
| Policía – Emergencia | ----- | 105 |
| Comisaría de Vitarte | Carretera Central km 7.5, Vitarte | 351-4200 |
| Hospital Hermilio Valdizán | Carretera Central Km. 3.5 Santa Anita | 494-2499 |
| Dirección General de Hidrocarburos (D.G.H.) | Av Las Artes Sur N° 260, San Borja | 115 |
| Defensa Civil (emergencias) | Calle Dr. Ricardo Angulo R. N° 694, Urb. Corpac, San Isidro | 475-0065 |
| Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería OSINERGMIN | Calle Bernardo Monteagudo N° 222, Magdalena del Mar | 219-3400 |

OBSERVACIONES

1. La expresión “boca de carga” que figura en esta tesis, se refiere al punto donde se conecta la manguera del camión tanque a la tubería de llenado del tanque de GLP. Esta expresión es usada en el caso de combustibles líquidos. En el caso de GLP se le llama “punto de trasiego”; pero, sirviendo al mismo fin se le puede aceptar como válida.
2. En los cuadros de “Mercado Interno – Venta de Combustibles en el país”; (Perú); en los valores de algunos años, se aprecia diferencias de hasta 2 centésimas en la fila de totales, probablemente por redondeos hechos a esas cantidades. Pero estas diferencias no afectan mayormente el estimado final, pues se pierden en los siguientes cálculos de promedios y redondeos respectivos.

Estos datos son oficiales, obtenidos del MINEM, por tanto no pueden ser alterados.

Para efectos de esta Tesis se tomarán los datos tal y conforme se muestran en dichos cuadros.
3. En la Tabla N° 2.1 y en la Tabla N° 2.2, referida a la demanda diaria de combustibles en el Perú, para los años 2000 y 2001, se ha sumado la fila de valores correspondientes a “Diesel 2- bunker” a la fila de “Diesel 2”, a fin de

uniformizar el número de filas en todas las tablas. La nueva fila así creada lleva el nombre de “Diesel 2”.

4. En la Gráfica N° 2.1, los valores correspondientes a la demanda diaria de GLP, desde el año 2006 hasta el año 2010, han sido proyectados previamente y luego redondeados para ser puestos definitivamente en dicha gráfica.
5. Algunos de los valores de las distancias presentados en el capítulo 5 “Diseño de Planta del Sector de GLP” y en el capítulo 6 “Diseño de Planta del Sector de GNV”, han sido medidos con regla, de los planos correspondientes, así que pueden diferir en el orden de las décimas de metro de la longitud verdadera sin que ello afecte la medida mínima exigida por ley, ya que esas son mayores.
6. Para hacer esta Tesis, los datos de demanda y otros más, fueron recopilados desde mediados del año 2005.

Para la demanda de GLP, como se contaba con los datos de la producción de combustibles en el Perú desde el año 2000 hasta el año 2005; se hizo la proyección de dicha producción, hasta el año 2010, y en base a eso se estimó la demanda de GLP desde el año 2006 hasta el año 2010, tomando el valor de demanda de GLP correspondiente al año 2006 como punto de partida aproximado del presente estudio.

7. A lo largo de la Tesis se han hecho aproximaciones en el orden de las diez milésimas hasta el orden de las centenas dependiendo del parámetro calculado.
8. El sistema de abastecer de GNV a gasocentros mediante el uso de batería de tanques tratado en esta Tesis, puede hacer uso también, de batería de cilindros, como una alternativa.
9. Existe otro sistema que abastece de GNV a gasocentros sólo usando batería de cilindros, que requieren de bastidores de carga y descarga y camiones de transporte de dichas baterías, los cuales poseen un sistema hidráulico y cabrestante para descargarlas a los bastidores y viceversa. Este sistema también requiere de una planta de carga de las baterías de cilindros.
10. Para el diseño de la tubería de GNV se ha tomado la manguera del dispensador (5 m de largo) como una extensión de ella a efectos de calcular la velocidad en la salida por la válvula tipo “pistola” y comprobar así que la velocidad en ese punto está dentro del rango recomendado para fluidos gaseosos y que es de $5 \frac{m}{s}$ a $30 \frac{m}{s}$,
11. El servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) brindó datos de la dirección y velocidad del viento obtenidos de la Estación Meteorológica del Ñaña, válidos también para la zona de San Gregorio, Vitarte, donde está el establecimiento.

12. En el plano de "Circulación", se aprecia una trayectoria con radio de giro de 14 m que corresponde al camión tanque de GLP y otra trayectoria similar que corresponde a los remolques de GNV. En esta última sólo se ha trazado la trayectoria directa desde el ingreso por la Av. Miguel Grau hasta la salida por la Calle S/N, no siendo necesario que coincida el eje de simetría longitudinal del remolque con dicha trayectoria porque este puede maniobrar libremente hasta cuadrarse en su posición final.

13. Para la evaluación económica, vista en el Capítulo VII, no se ha considerado los costos del remolque, ni de la batería de tanques de GNV porque estos equipos no pertenecen al propietario del establecimiento en estudio sino al dueño de la Planta de Carga de baterías de tanques. El primero compra el gas y el servicio de transporte al segundo de los mencionados. También podría ser el caso que las unidades semi remolque –batería de tanques y tracto pertenezcan a un tercer propietario quien alquilaría dichas unidades al propietario de la planta de carga.

14. En el presente Estudio, se ha mencionado la posibilidad de una ampliación futura para el Sector de GLP.

En el Sector de GLP se tiene la capacidad de poner una isla más, lo cual implicaría un estudio para mover los tanques de combustible líquido o anular uno de ellos o afectar la isla de G84/D2.

CONCLUSIONES

1. Sobre la cantidad de automóviles atendidos por día, en el establecimiento en estudio, se concluye que la demanda de GNV será mayor que la demanda de GLP (razón de 3,3 a 1) y por tanto se instalarán dos islas de servicio de GNV y una isla de servicio de GLP.
2. En la cabeza inferior del tanque de GLP, el factor de seguridad por fatiga es igual a 3.41, y en el casco del tanque el factor de seguridad por fatiga es 3,56 y al ser menores que los factores de seguridad por fluencia que son iguales a 4,11 para la cabeza del tanque y a 4,31 para el casco del tanque, la falla más probable es por fatiga.
Siendo el factor de fatiga mayor que 1, el tanque soterrado de GLP de un gasocentro no se diseña por fatiga
3. La tubería de descarga de GNV de diámetro interior $\frac{3}{4}$ pulg. es la apropiada ya que por ella deberá abastecerse a dos dispensadores con dos mangueras cada uno. Para la tubería de GNV el factor de seguridad por fluencia es igual a 5,15, y es menor que el factor de seguridad por fatiga que es igual a 8,79; las tuberías de gas de un gasocentro o instalaciones similares, que estén soterradas y bajo similares exigencias, no se diseñan por fatiga porque éstas se encuentran siempre llenas de gas GLP o GNV,

según sea el caso, y, por tanto, mantienen la presión casi invariable lo cual hace que el esfuerzo amplitud no sea elevado y las fluctuaciones de esfuerzos no sean severas.

4. Habiéndose hecho un análisis global comparativo de costos de tuberías y accesorios y del monto de la inversión para las instalaciones del establecimiento respecto a las de un gasoducto u oleoducto, se concluye que no es necesario el cálculo del diámetro económico para las tuberías de un gasocentro o de instalaciones similares a menos que dichas tuberías sean de diámetros mayores a 2 pulgadas y longitudes mayores a 100 metros.
5. El área necesaria para el sector de GNV es, aproximadamente, siete (7) veces más grande que el área para el sector de GLP debido, sobre todo, al empleo de tanques montados en remolques.
6. Para el tanque de GLP, se concluye que la posición vertical es mejor que la posición horizontal porque esto permite un ahorro de $3,28 \text{ m}^2$ de área ocupada, lo cual será aprovechado dando un mayor espacio para las vías de circulación en la salida por la Av Miguel Grau y en el ingreso por la calle 4.
7. En el sector de GLP, el tiempo de recuperación de capital es de 6 meses y en el sector de GNV es de 1 año y 4 meses.

8. La ampliación del establecimiento se ha realizado de acuerdo a las normas de seguridad del Reglamento de Seguridad y del Estudio de Riesgo.
9. El VAN_{GNV} es mayor que el VAN_{GLP} , obteniéndose con el primero US\$ 1038 672 más que el segundo.
10. El proyecto de GLP se puede calificar de “excelente”, porque la TIR_{GLP} es 218,3% y el proyecto de GNV se puede calificar de “muy bueno” porque la TIR_{GNV} es 76,98%. En el proyecto de GLP por cada dólar invertido se gana 6,66 dólares y en el proyecto de GNV por cada dólar invertido se gana 2,54 dólares.

RECOMENDACIONES

- 1, El tanque de GLP debe estar soterrado a una profundidad de 0,30 m del nivel de piso terminado y no de 0.60 m, como señala el reglamento; para que de ese modo se facilite la manipulación de las válvulas correspondientes y también la visibilidad de los instrumentos de medición,
2. Los tanques que estén en una zona donde el nivel freático esté a más de 4 m de profundidad y no exista problemas de lluvias torrenciales o inundaciones, no necesitan ser instalados en cabinas de concreto y acero ni tampoco ser anclados.
3. Si el patio de maniobras va a llevar loza de concreto y pistas asfaltadas ya no será necesario poner canaletas de protección para las tuberías, pues la loza, la arena, la tierra compactada y el asfalto (en las pistas) absolverán las cargas por el paso de vehículos sobre ellas.
4. Se recomienda no utilizar tubería de drenaje exterior (para la descarga) en aquellos tanques de GLP que usen válvula de drenaje, ya que el gasto sería innecesario. Para ello se usa una manguera apropiada, con sus adaptadores respectivos.

5. Todos los extintores deben ser recargados en empresas de reconocido prestigio y que certifiquen que el agente extintor de fuego que utilicen, sea polvo químico seco (PQS) original y que sirvan para fuegos tipo ABC.

BIBLIOGRAFÍA

- Ref. Nº 01:** Archivo de equipos para GLP automotriz y servicio de instalación-
www.turbogas.com.pe/historia.htm.
- Ref. Nº 02:** Archivo sobre GLP: “Repsolgas: Automoción”
- Ref. Nº 03:** Archivo cuadros sobre “Mercado Interno: Venta de combustibles en el país” (Perú)-www.minem.gob.pe/archivos/dgh/estadísticas.
- Ref. Nº 04:** Informe técnico sobre consumo de GLP en el Perú-IMPORMAQ S.R.L.
- Ref. Nº 05:** Archivo de cuadros sobre “Mercado del gas natural en la zona de Lima y Callao”-www.minem.gob.pe.
- Ref. Nº 06:** Documento del Ministerio de Energía y Minas.
- Ref. Nº 07:** “Administración de operaciones: Estrategias y Análisis”- Lee J. Krajewski; Larry P. Ritzman- Editorial Prentice & Hall- México 2000- Quinta edición
- Ref. Nº 08:** “Manual de Recipientes a Presión” -Eugene F. Megyesy- Editorial LIMUSA S.A. -1998 México- Cuarta edición.
- Ref. Nº 09:** Tabla de características mecánicas de aceros –American Society Technological Mechanics (ASTM).
- Ref. Nº 010:** Copias del “Curso de resistencias de Materiales”- Ing. Ronald Cueva P. (Catedrático de Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI- Perú 2007.

- Ref. N° 011:** “Esfuerzos y Deformaciones”-Ing. Juan Ori A.-Perú 1969.
- Ref. N° 012:** “Metalurgia Mecánica”-George E. Dieter.
- Ref. N° 013:** Catálogo de Dispensadores para GLP- TOKHEIM.
- Ref. N° 014:** Catálogo de bombas para GLP- CORKEN.
- Ref. N° 015:** Catálogo de Válvulas para GLP- FISHER.
- Ref. N° 016:** Catálogo de Válvulas para GLP- REGO.
- Ref. N° 017:** Manual de Ing. Mecánico- Leonel S. Marks- Editorial Litográfica de México, 1986- Octava edición (Inglés), segunda edición (Español).
- Ref. N° 018:** Catálogo de dispensadores para GNV- Grupo GALILEO.
- Ref. N° 019:** Catálogo de equipos para GNV- NEOGAS.
- Ref. N° 020:** Archivo de problema sobre gases.
fresno.crice.mecd.es/~fgutie6/fisicayquimica1/archivosWORD/Ejer02Gases.doc.
- Ref. N° 021:** “Transporte de Fluidos por Tuberías”- Fritz Herning- Editorial Labor S.A., edición 1975
- Ref. N° 022:** Archivos sobre normas Mexicanas para gasocentros de GNV- NOM B177 1990.
- Ref. N° 023:** “Reglamento de Establecimientos de Gas Licuado de Petróleo para uso Automotor-Gasocentros”- D.S. N° 019-93-EM.
- Ref. N° 024:** “Reglamento de Instalación y Operación de Establecimientos de Venta al Público de Gas Natural Vehicular (GNV)”- D.S. N° 006-20054 EM.
- Ref. N° 025:** “Gas Natural Seco: Estación de servicios para venta al público de GNV”- 2da. ed-NTP 111.019:2007.

- Ref. N° 026:** “Gas Natural Seco: Cilindros de alta presión para almacenamiento de Gas Natural utilizado como combustible para vehículos automotrices”-NTP 111.013:2004.
- Ref. N° 027:** “Gas Natural Seco: Especificaciones Técnicas para Equipos paquetizados y encasetados para compresión y almacenamiento de GNV que no requieren muro perimetral”-NTP 111.084:2006.
- Ref. N° 028:** Archivo de Cia. CALIDDA, sección de consultas- www.calidda.com
- .
- Ref. N° 029:** “Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras”, Vol. I-J.M:Storch de Gracia- Impreso en Impresos y Revistas S.A. (IMPRESA), España.
- Ref. N° 030:** “LP Gas Code Handbook”- Theodore C. Lemoff Editor- quinta edición- Printed in the U.S.A..

ANEXOS

ANEXO 1

**Normas mexicanas sobre diseños de tuberías de gas natural
(Fragmento).**

5.2.1 Espesor mínimo de pared del tubo. La tubería de acero debe tener el espesor mínimo de pared requerido para soportar los esfuerzos producidos por la presión interna del gas. El espesor mínimo de la tubería se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$t = \frac{P \times D}{2 \times S \times F \times E \times T}$$

Donde:

- t espesor de la tubería en milímetros,
- P presión manométrica de diseño en kPa,
- D diámetro exterior de la tubería en milímetros,
- S resistencia mínima de cedencia en kPa,
- F factor de diseño por densidad de población,
- E factor de eficiencia de la junta longitudinal de la tubería, y
- T factor de corrección por temperatura del gas; T = 1 si la temperatura del gas es igual o menor a 393 K.

5.2.2 Factor de diseño por densidad de población "F". El factor de diseño se selecciona en función de la clase de localización, el cual se debe emplear en la fórmula del inciso 5.2.1 de esta Norma. Dicho factor se encuentra en el cuadro 2.

CUADRO 2

Factor de diseño por densidad de población (F)

| Clase de localización | F |
|-----------------------|------|
| 1 | 0.72 |
| 2 | 0.60 |
| 3 | 0.50 |
| 4 | 0.40 |

5.2.2.1 Localización clase 1. Area unitaria que cuenta con diez o menos construcciones o aquella en la que la tubería se localice en la periferia de las ciudades, poblados agrícolas o industriales.

5.2.2.2 Localización clase 2. Area unitaria que cuenta con más de diez y menos de cincuenta construcciones.

5.2.2.3 Localización clase 3. Area unitaria en la que se registra alguna de las características siguientes:

- a) Cincuenta o más construcciones destinadas a ocupación humana o uso habitacional;
- b) Una o más construcciones ocupadas normalmente por 20 o más personas a una distancia menor de 100 metros del eje de la tubería;
- c) Un área al aire libre bien definida a una distancia menor de 100 metros del eje de la tubería y que dicha área sea ocupada por 20 o más personas durante su uso normal, tal como un campo deportivo, un parque de juegos, un teatro al aire libre u otro lugar público de reunión;
- d) Areas destinadas a fraccionamientos y/o comercios en donde se pretende instalar una tubería a una distancia menor de 100 metros, aun cuando al momento de ser construida, solamente existan edificaciones en la décima parte de los lotes adyacentes al trazo, y

- e) Un área que registre un tránsito intenso o se encuentren instalaciones subterráneas a una distancia menor de 100 metros de donde se pretenda instalar una tubería. Se considera tránsito intenso un camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo.

5.2.2.4 Localización clase 4. Área unitaria en la que se localicen edificios de cuatro o más niveles donde el tránsito sea intenso, o bien, existan otras instalaciones subterráneas.

5.2.3 El cuadro 3 presenta los valores de E para varios tipos de tubería.

CUADRO 3

Factor de eficiencia de la junta longitudinal soldada (E)

| Clase de tubería | E |
|---------------------------------------------------------|------|
| Sin costura | 1.00 |
| Soldada por resistencia eléctrica | 1.00 |
| Soldada a tope en horno | 0.60 |
| Soldada por arco sumergido | 1.00 |
| Tubería sin identificación con diámetro mayor de 101 mm | 0.80 |
| Tubería sin identificación con diámetro menor de 101 mm | 0.60 |

5.3 Tubería de polietileno.

5.3.1 Para la conducción y distribución de gas natural se puede utilizar tubería de polietileno de alta o mediana densidad conforme con la Norma NMX-E-43-1977, Tubos de polietileno para conducción de gas natural y gas licuado de petróleo.

5.3.2 Cuando se utilice tubería de polietileno para la conducción de gas, la máxima presión de operación de la tubería debe ser igual o menor a la presión de diseño, la cual se determina con la fórmula siguiente:

$$P = 2S_h \times \frac{t}{(D - t)} \times 0.32$$

Donde:

- P presión manométrica de diseño en kPa;
 S_h resistencia hidrostática a largo plazo a una temperatura de 296 K;
 t espesor de la tubería en milímetros, y
 D diámetro exterior de la tubería en milímetros.

5.3.3 Limitaciones de diseño de la tubería de polietileno:

- a) La presión de diseño no debe exceder la presión manométrica de 685 kPa, y
 b) No se deben hacer trabajos en tubería de polietileno cuando las temperaturas de operación sean menores de 268 K (-5°C) y más de 318 K (45°C).

5.4 Tubería de cobre.

5.4.1 La tubería de cobre usada en la distribución de gas natural debe tener un espesor de pared conforme con la Norma NMX-W-018-1995, Productos de cobre y sus aleaciones-Tubos de cobre sin costura para conducción de fluidos a presión - Especificaciones y métodos de prueba. Dicha tubería debe ser estirada en frío.

5.4.2 La tubería de cobre utilizada en tomas de servicio debe tener un espesor de pared no menor al indicado en la tabla siguiente:

CUADRO 4
Tubería de Cobre

| Diámetro nominal | | Diámetro exterior | | Espesor de pared | | | |
|------------------|----------|-------------------|----------|------------------|----------|------------|-----------|
| | | | | Nominal | | Tolerancia | |
| Mm | pulgadas | Mm | pulgadas | mm | pulgadas | mm | pulgadas |
| 12.7 | (1/2)" | 16 | (0.625)" | 1.016 | (0.040)" | 0.089 | (0.0035)" |
| 15.9 | (5/8)" | 19 | (0.750)" | 1.067 | (0.042)" | 0.089 | (0.0035)" |
| 19 | (3/4)" | 22 | (0.875)" | 1.143 | (0.045)" | 0.1016 | (0.0040)" |
| 25.4 | (1)" | 28 | (1.125)" | 1.270 | (0.050)" | 0.1016 | (0.0040)" |
| 31.7 | (1 1/4)" | 34 | (1.375)" | 1.397 | (0.055)" | 0.1143 | (0.0045)" |
| 38.1 | (1 1/2)" | 41 | (1.625)" | 1.524 | (0.060)" | 0.1143 | (0.0045)" |

5.4.3 La tubería de cobre usada en líneas de distribución y tomas de servicio no puede ser usada bajo presiones que excedan los 685 kPa.

5.4.4 Las tuberías de cobre que no tengan recubrimiento interno resistente a la corrosión, no deben ser usadas para conducir gas que tenga un promedio de ácido sulfhídrico superior a 0.3 granos por 100 pies cúbicos estándar.

6. Materiales y equipo

6.1 Generalidades.- Los materiales y equipos que forman parte de un sistema de distribución de gas natural deben cumplir con lo siguiente:

- a) Mantener la integridad estructural del sistema de distribución bajo temperaturas y otras condiciones ambientales que puedan ser previstas y operar a las condiciones a que estén sujetos;
- b) Ser compatibles químicamente con el gas que conduzcan y con cualquier otro material de la red de distribución con que tengan contacto, y
- c) Ser diseñados, instalados y operados de acuerdo con las especificaciones contenidas en esta Norma.

6.2 Tuberías, válvulas y conexiones de acero.

6.2.1 Para la conducción de gas natural se debe utilizar tubería de acero que cumpla con los requerimientos de la Norma Oficial Mexicana NMX-B-177-1990, Tubos de acero al carbón con y sin costuras, negros o galvanizados por inmersión en caliente y otras especificaciones, en conformidad con lo establecido en el artículo 53 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

6.2.2 Se permite utilizar conexiones de acero al carbón, preferentemente de acero forjado, con extremos soldables, bridados o roscados que permitan soportar la presión interna del gas y cualquier esfuerzo, vibración, fatiga o el propio peso de la tubería y su contenido. Las conexiones bridadas o roscadas no deben utilizarse en tuberías enterradas.

6.2.3 Las válvulas deben cumplir con los requisitos mínimos de seguridad establecidos en esta Norma. No se deben utilizar válvulas bajo condiciones de operación que superen los regímenes de presión y temperatura establecidos en la normatividad aplicable.

6.2.4 Las válvulas deben tener un rango de presión y temperatura de servicio igual o superior a las condiciones de operación máximas requeridas del sistema.


6.2.5 Las válvulas se deben probar cuando se requiera conforme con lo siguiente:

ANEXO 2

Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobre presión (www.mtas.es/insh/ntp/ntp_321.htm).

-NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepres... Página 1 de 13


MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA


INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

English || Français || Português
 mapa del web | contactar

buscador del ministerio ir

Inicio | Novedades y actualidad | Presentación INSHT | Documentación | Normativa | Organizaciones
 Formación | Estadísticas | Estudios e investigación | Homologación y Control de Calidad | Enlaces de interés

Inicio → Documentación → Bases de datos → Notas Técnicas de Prevención → NTP-e

NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepresión

Explosions de nuages de vapeur non confinées: évaluation des surpressions.
 Unconfined Vapour Cloud Explosions (UVCE): overpressure evaluation

Análisis de la vigencia

| Vigencia | Actualizada por NTP | Observaciones | |
|--------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| Válida | | | |
| ANÁLISIS | | | |
| Criterios legales | | Criterios técnicos | |
| Derogados: Sí | Vigentes: | Desfasados: | Operativos: Sí |

Redactor:

Emilio Turmo Sierra
 Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Este tipo de explosiones es uno de los peligros de consecuencias más graves en las industrias de proceso. Un escape de una sustancia inflamable (líquido volátil, gas o gas licuado), si no es cortado a tiempo, puede originar una nube de considerables dimensiones con gran probabilidad de encenderse con cualquiera de los diversos focos de ignición presentes en toda planta industrial, produciendo una deflagración o un incendio rápido que afectará a personas e instalaciones dentro de su radio de acción.

En esta nota técnica se presenta la metodología para evaluarlas sobrepresiones generadas en tales siniestros.

Conceptos básicos

Las explosiones consideradas en este documento son las Explosiones de Nubes de Vapor No Confinadas, traducción de la expresión inglesa Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE) que se puede definir como: Deflagración explosiva de una nube de gas inflamable que se halla en un espacio amplio, cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición.

Las explosiones no confinadas ocurren al aire libre y generalmente son originadas por un escape rápido de un fluido inflamable junto a una dispersión moderada para formar una nube inflamable muy grande de aire e hidrocarburo.

Las explosiones confinadas son las que ocurren con alguna barrera de contención. Ejemplos de este tipo son las que suceden en recipientes o tuberías. También se incluyen las explosiones dentro de edificios. Las explosiones al aire libre que encuentran diversos obstáculos como pueden ser equipos de proceso, paredes de edificios, etc., pueden alcanzar cierto grado de confinamiento y turbulencia originando sobrepresiones superiores a las de explosiones no confinadas.

En general las explosiones de nubes de vapor no confinadas son deflagraciones y en contadas ocasiones se han transformado en detonaciones. Esto ha sido ocasionado por las causas anteriores que provocan cierto confinamiento y a las que también se puede añadir las fuentes de ignición potentes. La diferencia entre deflagración y detonación está en que en la primera la velocidad de propagación del frente de llama es inferior a la del sonido y en la segunda es superior.

En el caso en el que no se alcanzase una deflagración, se tendría un incendio rápido en forma de llamarada que se podría definir como un incendio con llama progresiva de difusión o premezclada con baja velocidad de llama sin producir onda de presión. Su efecto más importante sería la radiación térmica. Este tipo de incendio se ve favorecido por un escape permanente de un fluido inflamable junto a una reducida dispersión del mismo.

La onda de choque que se propaga en el aire tiene una serie de características o parámetros que pueden ser medidos y otros que pueden correlacionarse según los daños provocados.

El parámetro generalmente más definido y medido es la **sobrepresión** generada por la onda de presión no perturbada conforme se propaga a través del aire. En la figura se muestra gráficamente el valor de la presión en función del tiempo.

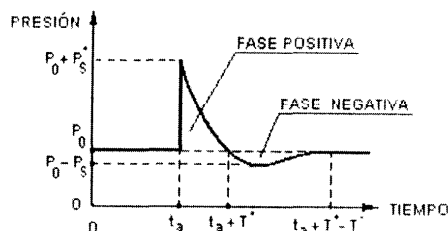


Fig. 1 Variación de la onda de presión de una explosión

Antes de la llegada del frente de choque, la presión existente es la presión atmosférica P_0 . En el tiempo de llegada t_a de la onda de choque, la presión sube abruptamente (discontinua en una onda ideal) hasta un valor $P_s^+ + P_0$. A partir de ese momento la presión decae hasta alcanzar la presión ambiental en un tiempo $t_a + T^+$, pasando seguidamente por una disminución de presión o vacío de amplitud P_0 y finalmente retorna al valor ambiental P_0 en un tiempo total $t_a + T^+ + T^-$.

El valor P_0^+ o simplemente P_0 recibe el nombre de **sobrepresión incidente máxima** y es la sobrepresión que se registraría en un lado de una estructura por lo cual se la llama también **sobrepresión lateral máxima** o simplemente **sobrepresión máxima**. La sobrepresión máxima que existe en una onda de choque antes de que sea afectada por alguna estructura u obstáculo, es por lo tanto frecuentemente referenciada como la

sobrepresión lateral máxima. Esta sobrepresión lateral máxima se define como la presión que se registraría con un sensor situado en el lado de una estructura, paralelo a la dirección de propagación de la onda de choque.

Si el frente de choque impacta sobre una superficie sólida, plana y rígida con un cierto ángulo ocurre una reflexión. Se da el nombre de **sobrepresión reflejada** P_r a la sobrepresión que se generaría en una estructura perpendicular a la dirección de propagación de la onda de choque.

Tanto la sobrepresión lateral como la reflejada son estáticas.

Existe otra presión llamada **presión dinámica** que se manifiesta por un efecto de viento, arrastre y derribo de los obstáculos desplazables. La presión dinámica Q tiene un valor definido por:

$$Q = 1/2 \rho u^2$$

en donde:

ρ = densidad del aire por detrás del frente de choque

u = velocidad de las partículas de aire

La velocidad de las partículas está dada por la fórmula:

$$u = \frac{c_0 \cdot P_s}{g \cdot P_0} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2\gamma} \cdot \frac{P_s}{P_0} \right)^{-1/2}$$

c_0 = velocidad del sonido en el aire (330 m/s)

P_0 = presión absoluta ambiental por delante M frente de choque (10^5 Pa)

ρ = razón de los calores específicos del aire = $C_p/C_v = 1,4$

P_s = sobrepresión lateral máxima

La fórmula de la presión dinámica es:

$$Q = \frac{P_s^2}{2\rho P_0 + (\gamma - 1)P_s}$$

para $\gamma = 1,4$

$$Q = \frac{5}{2} \frac{P_s^2}{7P_0 + P_s}$$

El valor de la sobrepresión reflejada máxima P_r citada anteriormente es función de la sobrepresión lateral máxima P_s y de la dinámica Q según la relación:

$$P_r = 2P_s + (\gamma + 1)Q$$

para el aire $\gamma = 1,4$ se tiene

$$P_r = 2P_s + 2,4Q$$

sustituyendo Q por el valor dado anteriormente:

$$P_r = 2P_s \left(\frac{7P_0 + 4P_s}{7P_0 + P_s} \right)$$

Para ondas de choque débiles $P_r = 2 P_s$ ya que el valor de P_s es despreciable frente a P_0 . En cambio para ondas de choque fuertes se aproxima a ocho veces la sobrepresión lateral máxima.

Otro parámetro útil para evaluar consecuencias en las explosiones es el **impulso específico** i_s que se define como el impulso total por unidad de superficie. La magnitud impulso es el producto de una fuerza por el tiempo que actúa y en el impulso específico es el producto de la sobrepresión por ese mismo tiempo. Si estas magnitudes no son constantes, el impulso sería la integral de la fuerza variable en función del tiempo multiplicada por cada uno de los diferenciales de tiempo en que se divide el tiempo que actúa.

Experiencias extraídas de accidentes

Pietersen y Huerta (1985) han investigado las características claves de 80 incendios con llamarada. La transición de incendio a deflagración se ve influenciada por la expansión térmica y la turbulencia, por lo que la existencia de estructuras de proceso acrecienta el riesgo de que ocurra explosión en vez de incendio rápido.

Basándose en estas observaciones, diversos autores han sacado las conclusiones siguientes:

- Debe existir una masa mínima de sustancia inflamable para que pueda darse una explosión de nube de vapor no confinada. Ciertas estimaciones van de 1 (Wiekema, 1979) a 15 toneladas (Health and Safety Executive, 1979). Se debe ser cauto ya que para productos tan reactivos como el acetileno e hidrógeno han bastado 100 kg (Gugan, 1979) y se tiene referencia que en un accidente relativamente reciente (North and Mac Diarmid, 1988) ha ocurrido explosión con tan sólo unos 30 kg de hidrógeno.
- Las sustancias que tienen velocidades de combustión grandes ocasionan más fácilmente explosiones para una misma cantidad de producto acabado.
- Las sobrepresiones máximas de estas deflagraciones son mucho menores que si fueran detonaciones. Son aproximadamente 1 bar (100 kPa) y con duraciones de la fase positiva (figura 1) de 20 a 100 ms.

El problema de explosión de una nube de vapor no confinada es que, aparte de que es grande y destructiva, puede afectar a bastante distancia del punto de escape.

El número de estos accidentes ha aumentado de forma notable. En la década de 1930 se tenían unos 4 por década, pasando a unos 60 en el mismo período en los dos últimos decenios.

Un ejemplo desastroso de este tipo de explosiones fue el accidente de Flixborough (Gran Bretaña) causado por una nube de vapor no confinada de unas 30 toneladas de ciclohexano y que dio lugar a una explosión equivalente a unas 16 toneladas de T.N.T.

Para tener una idea de la distribución de accidentes de este tipo, se puede acudir a datos estadísticos como los presentados por Davenport (Ref. bibliográfica 5) en los que desglosa 43 accidentes en que se crearon sobrepresiones por explosión. De ellos, 32 sucedieron en plantas industriales, 8 en operaciones de transporte y 3 en otros lugares. De los 32 de plantas industriales, 8 sucedieron en refinerías y 24 en industrias petroquímicas. Los agentes materiales implicados en esos 32 accidentes en plantas industriales se clasificaron de la forma siguiente:

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| Equipos de proceso | 24 |
| Tanques de almacenamiento | 4 |
| Vehículos de transporte dentro de la planta | 3 |
| Agente desconocido | 1 |
| Las formas de escape de los 43 accidentes fueron: | |
| Fallo o avería del recipiente | 13 |
| Fallo o avería de tuberías, válvulas o accesorios | 26 |
| Escapes en dispositivos de venteo | 3 |
| Escape desconocido | 1 |

Según Kletz (Ref. bibliográfica 5) la frecuencia estimada de las UVCE por diferentes fallos de componentes es:

| | | Frecuencia (explosiones/equipo año) |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| FALLO | Recipiente a presión | 10^{-6} |
| | Tubería corta sin válvulas, bombas o elementos de intervención entre dos recipientes | 10^{-6} a 10^{-4} |
| | Tubería normal | 10^{-4} a 10^{-3} |
| | Bomba normal | 10^{-2} |
| | Bomba para alta o baja temperatura | 10^{-1} |
| | Compresor de pistón alternativo | 10^{-1} |
| FUGA | Reactor discontinuo | 10^{-2} a 10^{-1} |
| | Manguera llenado de buque cisterna | 10^{-2} a 10^{-1} |

También basándonos en antecedentes históricos, cabe reseñar que la fuente de ignición surge dentro de un radio no superior al centenar de metros desde el punto en el que se genera el escape. El tiempo entre el inicio del escape y la ignición dependerá de la masa liberada, de las condiciones en que se efectúa la fuga o derrame y de las mismas condiciones atmosféricas. Puede oscilar entre unos 20-30 segundos o algunos minutos.

Normalmente la masa afectada por la deflagración es inferior a la masa liberada, dado que en amplias áreas puede estar fuera de los límites de inflamabilidad. En el próximo apartado se tratará esta cuestión con mayor detalle.

Modelo TNT de evaluación

Existen diversos modelos empíricos para la determinación de los parámetros necesarios para la evaluación de las consecuencias de una explosión. El más empleado es el modelo del equivalente en TNT (trinitrotolueno). Se basa en la hipótesis de la equivalencia en efectos explosivos entre una masa determinada de materia inflamable y otra de TNT.

En la explosión de una nube de vapor la forma de la onda inicial de la explosión es diferente que en una explosión de TNT, pero a partir de una cierta distancia ambas se pueden considerar iguales a la representada en la figura 1. El modelo establece la siguiente relación:

$$W = \frac{\eta M \cdot E_c}{E_{cTNT}}$$

W = Masa equivalente de TNT (kg).

M = Masa de sustancia inflamable liberada (kg).

η = Rendimiento (eficacia) empírico de la explosión (0,01 a 0,10).

E_c = Calor inferior de combustión del gas o vapor inflamable (kJ/kg).

E_{cTNT} = Calor de combustión (detonación) del TNT (4437 a 4765 kJ/kg).

Otras fuentes bibliográficas (Baker et al) dan el calor de combustión experimental del TNT 4520 kJ/kg; Kinney da como valor experimental 4689 kJ/kg

En una nube de vapor no confinada, la energía de la onda de explosión es generalmente sólo una pequeña fracción de la energía teóricamente disponible de la combustión de toda la materia que constituye la nube.

Eficacia o rendimiento de la explosión. Es el coeficiente entre la energía real liberada y la teóricamente disponible.

Normalmente se supone que toda la materia inflamable de la nube está disponible para la combustión y que la energía teóricamente disponible es por lo tanto el producto de la cantidad total de materia inflamable en la nube por el calor de combustión (potencia calorífica). Sobre esta base, el rendimiento de la explosión está normalmente en el rango de 1 a 10%. Podría ser algo superior cuando el escape en ambiente exterior esté constreñido por edificaciones u otras barreras materiales.

El procedimiento a seguir para obtener los parámetros necesarios para la evaluación de las consecuencias de la explosión es el siguiente:

1. Se calcula la masa equivalente de TNT mediante la fórmula anterior adoptando un rendimiento máximo por ejemplo del 10%, es decir, $\eta = 0,1$ y partiendo del valor del calor inferior de combustión dado en tablas de Manuales de Ingeniería Química (p.ej. Perry's). En cuanto a la masa de sustancia vertida se debe hacer la suposición del accidente simulado, siendo conveniente partir del estudio previo de estimaciones de vertidos y su dispersión en función de la características de la sustancia almacenada o en proceso, condiciones de almacenamiento, presiones, temperaturas, condiciones atmosféricas, escape continuo o instantáneo.
2. Una vez calculada la masa equivalente de TNT se debe utilizar el gráfico de la figura

2 que nos da los parámetros más importantes en función de la distancia escalada Z . Esta se define como el cociente entre la distancia real del centro de la explosión a lugar considerado y la raíz cúbica de la masa equivalente de TNT calculada anteriormente. La expresión de la Distancia Escalada es:

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}}$$

R = Distancia real en metros (m).

W = Masa equivalente de TNT en kilogramos (kg).

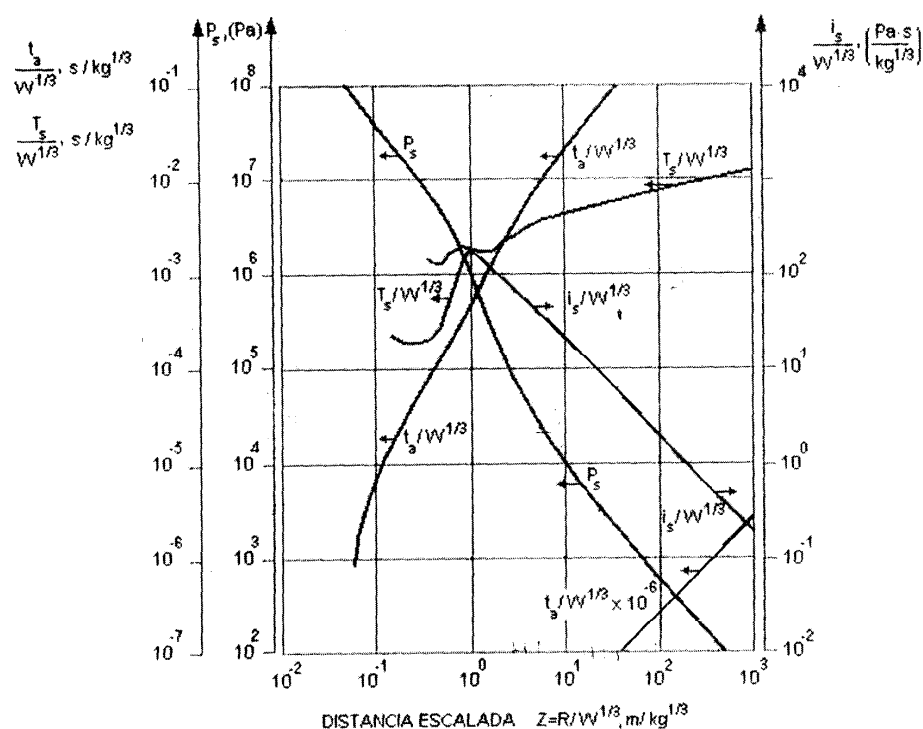


Fig. 2: Parámetros de la deflagración en función de la distancia escalada

P_s = Sobrepresión incidente máxima en pascales (Pa).

i_s = Impulso específico en pascal segundo (Pa.s).

t_a = Tiempo de llegada de la onda de choque en segundos (s).

T_s = Tiempo de duración de la sobrepresión de la fase positiva de la onda de choque en segundos (s).

Este gráfico nos da los parámetros deseados sin contabilizar la posible presión reflejada.

Las experiencias llevadas a cabo con el explosivo TNT han dado como resultado que la sobrepresión máxima producida por una explosión de W_{TNT1} kg, a la distancia R es igual a la producida por W_{TNT2} kg a la distancia R_2 .

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{W_{TNT1}}{W_{TNT2}} \right)^{1/3}$$

Otra expresión de este enunciado nos dice: A una determinada sobrepresión, la distancia es proporcional a la raíz cúbica de la masa de explosivo.

$$R \propto W^{1/3}$$

3. Establecer con la ayuda del gráfico de la figura 2 las diferentes sobrepresiones que se obtienen a las distancias a considerar.

Criterios de evaluación de consecuencias

El gráfico de la figura 2 proporciona diversos parámetros, de los cuales se van a emplear los siguientes: sobrepresión incidente máxima P_s en pascales (Pa) e impulso específico i_s (Pa.s) a partir del valor $i_s/W^{1/3}$ dado en el gráfico.

Existen otros gráficos en la ref. 2 para la sobrepresión reflejada P_r , impulso reflejado i_r y la presión dinámica Q . Debe indicarse que el gráfico de la figura 2 está calculado para una explosión esférica elevada. Si la explosión ocurre a nivel del suelo se puede utilizar el mismo gráfico pero doblando la masa de sustancia explosiva TNT considerada para obtener los parámetros buscados.

Conocido el valor de las sobrepresiones a determinadas distancias, se deberá considerar la posición de las personas y de las paredes de las estructuras respecto a la dirección de propagación de la onda de choque para calcular el efecto total combinado de las tres sobrepresiones. En la figura (ref. 7) se indican los valores de estas sobrepresiones para tres situaciones.

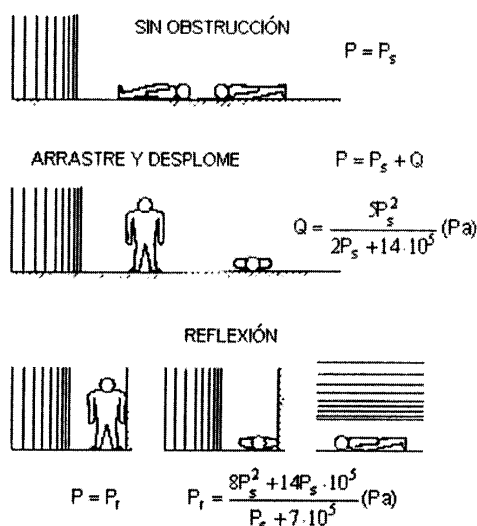


Fig. 3: Sobrepresiones según la posición del cuerpo

En la primera el eje longitudinal del cuerpo es paralelo a la dirección de propagación de la onda de choque y equivale a que no haya obstrucción que perturbe a esa onda. En este caso la sobrepresión recibida sería $P = P_s$ (sobrepresión lateral o incidente máxima).

En la segunda el eje longitudinal del cuerpo es perpendicular a la dirección de la onda de choque y se manifiesta un efecto de arrastre y desplome. La sobrepresión total sería $P = P_s + Q$ siendo Q la presión dinámica recibida en forma de viento y cuyo valor está indicado en la propia figura en pascales. Este caso representa la orientación más probable en que se puede encontrar una persona trabajando o circulando en una planta química. Según Baker et al. (ref. 2) a esta posición se puede añadir la posición de tumbado en que el eje longitudinal del cuerpo es perpendicular a la dirección de la onda de choque.

En la tercera figura se tiene el caso de sobrepresión reflejada, en el cual el tórax está cerca de una superficie reflectante perpendicular a la dirección de la onda de choque. La tercera posición es añadida de la fuente bibliográfica Baker et al. (ref. 2) y es el mismo caso, sólo que la explosión viene de arriba hacia abajo. La expresión de la sobrepresión reflejada viene indicada en la propia figura y su valor coincide con el indicado anteriormente, pero aquí se opera directamente en pascales.

Para evaluar las consecuencias se puede partir de tablas comparativas de daños y sobrepresiones como se indica en la tabla:

Tabla 1: Consecuencia de las sobrepresiones

| DAÑOS PERSONALES | SOBREPRESIONES | DAÑOS ESTRUCTURALES | SOBREPRESIÓN |
|-----------------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|
| Umbral de muerte por lesiones de pulmón | 70000 Pa (0,70 bar) | Demolición total | 0,80 bar |
| Umbral de rotura de tímpano | 35000 Pa (0,35 bar) | Daños irreversibles | 0,40 bar |
| Umbral de sonda de intervención | 12500 Pa (0,125 bar) | Daños estructurales importantes | 0,18 bar |
| Umbral de zona de alerta | 5000 Pa (0,050 bar) | Daños graves reparables | 0,15 bar |
| | | Daños estructurales menores | 0,047 bar |
| | | Cristales rotos al 90% | 0,040 bar |

Para la elaboración de Planes de Emergencia en el Sector Químico según la Directriz Básica (Resolución de 30 de Enero de 1.991) (ref. 6) se establecen dos zonas objeto de planificación, para las cuales se dan unos valores umbrales que sirven para delimitarlas. En cuanto al riesgo de impulsos y sobrepresiones se han establecido los valores umbrales siguientes para esas zonas:

Valor umbral para zona de intervención:

1. Valor local integrado del impulso debido a la onda de presión, de 150 milibar. segundo (15000 Pa. s).
2. Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 125 milibar (12500 Pa).

Valor umbral para zona de alerta:

1. Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 100 milibar. segundo (10000 Pa.s).
2. Una sobrepresión local estática de la onda de presión, de 50 milibar (5000 Pa).

En cada situación de posible accidente por explosión de una nube de vapor inflamable no confinada se tienen unas características del entorno con árboles, montículos, edificios, etc. que pueden disipar la energía de la onda explosiva o reflejarla amplificando sus efectos sobre las personas. En caso de no existir estos obstáculos, se supondrá que una persona está de pie en la zona de expansión libre de la onda de choque y sobre un suelo llano y a nivel cuando entra en contacto con la onda de choque. El oído es la parte más sensible del cuerpo humano a las ondas de choque. Las lesiones internas serán más probables en las zonas de mayor variación de densidad con respecto a tejidos contiguos. Los alvéolos

lentos de aire de los pulmones son por tanto más susceptibles de lesiones que cualquier otro órgano interno.

En la tabla de daños-sobrepresiones, se entiende como **daños estructurales importantes**:

- Techumbre parcial o totalmente destruida.
- Al menos un muro exterior dañado gravemente.
- Elementos portantes de carga o tabiques destruidos.
- Daños no reparables.

y como **daños estructurales menores**:

- Cielos rasos cuarteados.
- Roturas de ventanas de vidrio.
- Juntas o uniones torcidas.
- Tabiques o mamparas desencajados.
- Rotura de algunas jácenas, viguetas y montantes.
- Daños reparables.

Para estimar las consecuencias en personas o en un grupo de población se recomienda aplicar el método Probit de vulnerabilidad a explosiones, desarrollado en la **NTP 291-1991**.

Resolución de un caso práctico

Evaluar el riesgo por sobrepresión generado por la deflagración de una nube de vapor no confinada a causa de la rotura de una esfera de almacenamiento de propano licuado de 2000 m³ de capacidad a temperatura ambiente de 25 °C y a una presión de vapor absoluta de 10 bar.

Datos

- Densidad del propano líquido 0,5 kg/dm³.
- Calor específico a presión constante.
- $C = 2,45 \text{ kJ / kg. K}$ (promedio entre 231 a 298 K).
- Temperatura de ebullición = - 42 °C.
- Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición $h_{fg} = 429 \text{ kJ / kg}$.
- Calor de combustión inferior (potencia calorífica inferior) del propano a 25 °C = 46 389 kJ/kg.

- Calor de combustión (detonación) del TNT = 4 520 kJ/kg.

Solución

La causa del vertido puede ser dilatación y estallido por sobrellenado, fallo del recipiente, BLEVE, sabotaje, inclemencias atmosféricas, inundaciones, colisiones, terremotos, etc. De estas causas la BLEVE es un caso aparte estudiado en las NTP's 293 y 294, y que da origen a una bola de fuego si la materia implicada es combustible y existe un incendio previo al fenómeno. En este caso el efecto más importante es la radiación térmica.

La cantidad de propano líquido vaporizado implicado en la deflagración se calcula mediante la siguiente fórmula termodinámica.

$$F_v = C_p \frac{T - T_b}{h_{fg}}$$

F_v = Fracción vaporizada del líquido derramado.

C_p = Calor específico a presión constante (promediado entre T y T_b).

T = Temperatura absoluta inicial del líquido (K).

T_b = Temperatura absoluta de ebullición del líquido a presión atmosférica (K).

h_{fg} = Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición (kJ/kg).

$$F_v = 2,45 \frac{298 - 231}{429} = 0,38$$

En realidad se debe añadir una masa importante de líquido arrastrado en forma de gotículas (aerosol). Basándose en la experiencia Kletz (Ref. 1) recomienda, para estos casos, doblar ese valor por lo que el porcentaje de masa total derramada implicado en la nube sería $2 \times 0,38 = 0,76 = 76\%$.

La masa de la nube formada sería por tanto:

$$M = 2000 \text{ m}^3 \times \frac{500 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{76}{100} = 760000$$

En este caso práctico se considera el caso más desfavorable con la capacidad máxima de la esfera y en el supuesto que el derrame sea total.

El paso siguiente es considerar el rendimiento o eficacia η de la explosión, para determinar la **masa equivalente de TNT**. Un valor generalmente aceptado es $\eta = 0,1$ que significa que el 10% de la masa de vapor y gotículas (aerosol) existente en la nube, reacciona en la explosión.

$$W = \frac{\eta M \cdot E_c}{E_{cTNT}} = \frac{0,1 \cdot 760000 \cdot 46389}{4520} = 779992 \text{ kg de TNT}$$

Para la evaluación de las sobrepresiones, en primer lugar se puede proceder a delimitar las distancias de la zona de Intervención y la de Alerta, según la Directriz Básica para la

elaboración y homologación de los Planes Especiales del Sector Químico.

Alcance para el valor umbral Zona de Intervención

Sobrepresión local estática de la onda de presión 125 mbar = 0,125 bar = 12,5 kPa = 12 500 Pa.

Utilizando el gráfico de la figura 2 a 12 500 Pa corresponde una distancia escalada $Z = 9$ equivalente a una:

$$R = 9 \cdot 779\,992^{1/3} = 828 \text{ m}$$

En el caso considerado de explosión de una nube de vapor más denso que el aire como es el propano, con un foco de ignición cercano, a la altura de los equipos de proceso, se tendría una explosión asimilable al modelo hemisférico de explosión a nivel del suelo, para lo cual se debería utilizar la figura 2 con una masa doble de TNT ya que este gráfico está previsto para explosiones libres a cierta altura en la cual el frente de onda avanza en todas las direcciones en forma esférica, con lo cual se tendría:

$$R = 9 (2 \times 779\,992)^{1/3} = 1043 \text{ m}$$

Alcance para el valor umbral Zona de Alerta

Sobrepresión local estática de la onda de presión 50 mbar = 0.050 bar = 5 000 Pa.

Utilizando el gráfico de la figura 2 a 5 000 Pa corresponde una distancia escalada $Z = 17$. Considerando como en el cálculo anterior el doble de masa para explosión a nivel del suelo.

$$R = 17 (2 \times 779\,992)^{1/3} = 1962 \text{ m}$$

Alcance de la zona con lesiones de rotura de tímpanos

Valor umbral de sobrepresión 0,35 bar = 35.000 Pa.

Con el mismo gráfico de figura 2 a 35 000 Pa corresponde una distancia escalada $Z = 4,4$.

$$R = 4,4 (2 \times 779\,992)^{1/3} = 507 \text{ m}$$

Alcance de la zona con muertos por lesiones pulmonares

Valor umbral de sobrepresión 0,70 bar = 70 000 Pa.

Con el gráfico de figura 2 a 70 000 Pa corresponde una distancia escalada $Z = 2,9$.

$$R = 2,9 (2 \times 779\,992)^{1/3} = 335 \text{ m}$$

Hasta aquí sólo se ha considerado la sobrepresión incidente (lateral) máxima. La presión dinámica Q y la sobrepresión reflejada P_r se pueden calcular con las fórmulas indicadas anteriormente, o con gráficos no incluidos en este documento, pero sí en en las referencias 1 y 2 en unidades anglosajonas y SI respectivamente. Según la posición de las personas

NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepr... Página 13 de 13

se tendrían los efectos de la presión dinámica y la sobrepresión reflejada (figura 3).

Teniendo en cuenta la duración de la onda de choque, se tendría además el efecto del impulso específico, parámetro que se obtiene del gráfico de la figura 2.

Bibliografía

(1) A. I. Ch. E.

Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis

Nueva York, A.I.Ch.E. 1989

(2) BAKER, W. E. et al.

Explosion Hazards and Evaluation

Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1. 983, 807 págs.

(3) BODURTHA, F. T.

Industrial Explosion Prevention and Protection

Nueva York, McGraw Hill Book Company, 1980, 167 págs.

(4) INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS

The Assessment of Major Hazards

Congreso en Manchester 14-16 Abril, 1982.

Oxford. Pergamon Press Ltd., 1982, 428 págs.

Comunicación: F.K. Crawley.

The Effects of the Ignition of a Major Fuel Spillage págs. 125-145

(5) LEES, F. P.

Loss Prevention in the process Industries. 2 vols

Londres, Butterworths & Co Ltd. , 1.980, 1316 págs.

(6) MINISTERIO DEL INTERIOR

Directriz Básica para la elaboración y homologación de los Planes Especiales del Sector Químico

BOE 6-2-1991

(7) TNO

Methods for the calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material (Liquids and Gases)

(Yellow Book) 2 Vols.

Voorburg (The Netherlands), Directorate- General of Labour, 1980, 222 + 230 págs.

ANEXO 3

**Velocidad y dirección de viento: Base meteorológica de Ñaña
(Fuente: SENAMHI).**

PROHIBIDA LA REPRODUCCION
PARTE 3 DE 3

SOLISMAN

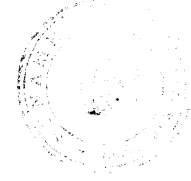
OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA

ESTACION : NAÑA / 000543 / DRE-04

LAT. : 11° 59' "S" DPTO. : LIMA
LONG. : 76° 50' "W" PROV. : LIMA
ALT. : 496 metros DIST. : URUGUAYCO

PARAMETRO : DIRECCION PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO REGISTRADA
EN EL MES / (M/S)

| AÑO | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SET. | OCT. | NOV. | DIC. |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2002 | SW-3.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SW-4.0 | SE-3.0 | SW-4.0 |



PROHIBIDA LA REPRODUCCION
PARTE 3 DE 3

INFORMACION PREPARADA PARA : HUGO HELVER FERNANDEZ PORTILLA
LIMA, 1 DE OCTUBRE DEL 2003

S/D = Sin Dato
T = Traza

ANEXO 4

Evaluación económica: Marco Teórico y Consideraciones

1. MARCO TEORICO

a) Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Siendo:

V_t = Flujo de efectivo de operación en cada período

I_0 = Desembolso inicial de la inversión

n = Número de períodos considerados

r = Tipo de interés

b) Tasa interna de retorno (TIR)

Cuando el VAN es igual a cero, "r" pasa a llamarse "TIR".

2. CONSIDERACIONES ASUMIDAS PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE AUTOMÓVILES ATENDIDOS POR DÍA.

Estas consideraciones son:

a) El año 2005 se produjo un crecimiento fuerte de la demanda de GLP (cerca al 100%), que dio lugar a un crecimiento en la oferta de este combustible, para el año 2006, y quizá este crecimiento de establecimientos de GLP automotriz, continúe, moderadamente, en el año 2007, pues ya existen varios de ellos que pueden absorber parte de dicha demanda.

b) La incertidumbre, en los usuarios, por escoger entre sistema a GLP o sistema a GNV, dio origen a la baja demanda de GNV hasta mediados del año 2005, mejorando hasta la fecha (Enero del año 2006), y podría seguir así hasta

mediados del 2006, esperándose, a partir de ese momento, un incremento mayor que influirá en las ventas.

c) También, debido a esa incertidumbre, los propietarios de grifos, estaciones de servicios e inversionistas en general, no se animan a invertir en establecimientos de GNV, por eso la oferta es baja aún y puede seguir así hasta mediados del 2006.

d) Si ahora el gobierno peruano inicia una campaña promotora para el consumo de GNV, (como se espera), podría ser que la demanda, de este combustible, aumente, propiciando la inversión en establecimientos de GNV, de lo contrario, la demanda y oferta de GLP seguirán creciendo.

e) El hecho de que surja, como alternativa, el GNV, por su bajo costo y otros beneficios a los usuarios y al medio ambiente, hará, quizá, que estos lo prefieran frente al GLP, originando una disminución en la cantidad de automóviles convertidos a este combustible y, por tanto, una disminución en la demanda del mismo.

3. CONSIDERACIONES ASUMIDAS PARA EL FLUJO DE EFECTIVO DE OPERACIÓN: SECTOR GLP Y SECTOR DE GNV

Se ha tomado en cuenta, adicionalmente a lo anterior, las siguientes consideraciones:

a) Interés bancario anual en dolares: 12%

b) Distribución del costo del terreno a adquirir; en forma proporcional al área que ocuparán dichos sectores: 12,5 % del área total corresponderá al sector de GLP y 87,5 % del área total corresponderá al sector de GNV.

c) Distribución del costo de la obra civil; en forma proporcional al área ocupada por cada sector.

d) Valor de la inversión en equipos, tuberías, válvulas, etc; según lo que cada sistema (de GLP o de GNV) requiera.

Para el sistema de seguridad se tomo un valor aproximado del costo.

e) Valor del dólar, en soles, asumido aproximadamente:

Año 1 : \$ 1 <> S/. 3, 22

Todos los rubros del Año 1 se calcularon con ese valor del dólar.

f) La inversión, para cada proyecto de gas, fue desdoblada de la siguiente forma:

hh) Aporte propio.....: 40 % de la inversión en ese proyecto

ii) Préstamo.....: 60 % de la inversión en ese proyecto

g) Los ingresos por ventas, que se presentan variables con los años, se obtuvieron de la siguiente forma:

- Para el proyecto de GLP

Tabla A4-1

| Período | Rango esperado Incremento (+) Decremento (-) | Valor asumido |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|
| Año 1 al año 2 | + (5% a 10 %) | +6% |
| Año 2 al año 3 | -(20% a 30 %) | -28% |
| Año 3 al año 4 y así sucesivamente hasta el año 7 | -(5% a 10 %) | -8% |
| Año 7 al año 8 y así sucesivamente hasta el año 9 | -(3% a 5 %) | -2% |
| Año 9 al año 10 | -(1% a 3 %) | -1% |

- Para el proyecto de GNV

Tabla A4-2

| Período | Rango esperado Incremento (+) Decremento (-) | Valor asumido |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|
| Año 1 al año 2 | + (5% a 10 %) | +6% |
| Año 2 al año 3 | -(20% a 30 %) | -28% |
| Año 3 al año 4 y así sucesivamente hasta el año 7 | -(5% a 10 %) | -8% |
| Año 7 al año 8 y así sucesivamente hasta el año 9 | -(3% a 5 %) | -2% |
| Año 9 al año 10 | -(1% a 3 %) | -1% |

- h) Se asumirá, conservadoramente, que la utilidad neta anual, en US\$, para cada proyecto, independientemente, está en el rango siguiente:

$$\text{US\$ } 36\,000 \leq \text{Utilidad neta anual} \leq \text{US\$ } 600\,000$$

4. PROYECCIÓN DE AUTOMÓVILES ATENDIDOS POR DÍA

Para la proyección de automóviles atendidos por día, del establecimiento en estudio, se ha elaborado la Tabla A4-3 (proyecto de GLP) y la Tabla A4-4 (proyecto de GNV), que se muestra en las páginas siguientes.

Haciendo una comparación entre las cantidades de automóviles atendidos diariamente, para cada año, entre cada sector, se nota que dicha cantidad es mayor en el sector de GNV respecto al sector de GLP, en un rango de 2,90 a 4,47 veces (ver Tabla A4-5) siendo el promedio de todas las cantidades en ese rango, de 3,33 veces.

Tabla A4-3

Grifo La Joya de Santa Isabel – Sector de GLP
Proyección de la atención diaria de automóviles

| Año 1 | | | Año 2 | | | Año 3 | | | Año 4 | | | Año 5 | | |
|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|
| P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. |
| 83 | 166 | 249 | 95 | 171 | 266 | 75 | 122 | 198 | 74 | 111 | 185 | 72 | 101 | 173 |

Continuación de la Tabla A4-3

| Año 6 | | | Año 7 | | | Año 8 | | | Año 9 | | | Año 10 | | |
|-------|----|------|-------|----|------|-------|----|------|-------|----|------|--------|----|------|
| P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. |
| 70 | 91 | 161 | 73 | 88 | 161 | 76 | 84 | 160 | 80 | 80 | 160 | 85 | 77 | 162 |

Tabla A4-4

Grifo La Joya de Santa Isabel – Sector de GNV

Proyección de la atención diaria de automóviles

| Año 1 | | | Año 2 | | | Año 3 | | | Año 4 | | | Año 5 | | |
|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|
| P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. |
| 241 | 482 | 723 | 252 | 579 | 831 | 277 | 609 | 886 | 199 | 439 | 638 | 191 | 401 | 592 |

Continuación de la Tabla A4-4

| Año 6 | | | Año 7 | | | Año 8 | | | Año 9 | | | Año 10 | | |
|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|--------|-----|------|
| P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. | P | T | Tot. |
| 183 | 366 | 549 | 176 | 334 | 510 | 180 | 324 | 504 | 185 | 314 | 499 | 190 | 305 | 495 |

P = Autos particulares

T = Taxis

Tot = Total

Tabla A4-5

Relación de la atención diaria de automóviles entre ambos sectores

Atención diaria – Sector de GNV
 (-----)
 Atención diaria – Sector de GLP

| Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2,9 | 3,12 | 4,47 | 3,45 | 3,42 | 3,41 | 3,17 | 3,15 | 3,12 | 3,06 |

FUENTES

- a) Fuente propia.
- b) Organismo supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN).
- c) Ministerio de Energía y Minas (MINEN).