

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Adaptación tecnológica de una máquina recuperadora de GLP  
residual en tanques domésticos”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Adolfo Gustavo Vargas Ponguillo

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2008**

## **AGRADECIMIENTO**

A toda persona que colaboró en la realización del presente trabajo y en especial al PhD. Alfredo Barriga, Director de Tesis, por su invaluable ayuda y paciencia.

## **DEDICATORIA**

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

PhD. Alfredo Barriga R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Jorge Abad M.  
VOCAL

---

Ing. Ignacio Wiesner F.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Adolfo Gustavo Vargas Ponguillo

## **RESUMEN**

En la actualidad, en caso de que los cilindros domésticos de GLP requieran mantenimiento, ya sea por mejora de presentación (pintura), cambio de asa y/o base, se despresuriza su interior para proceder al retiro de la válvula de manera segura; luego se realiza la limpieza del tanque mediante el lavado de su interior con agua y aire a presión eliminando la mayor cantidad de lodos existentes. De esta manera se asegura que el cilindro pueda ser sometido a soldadura y otros procesos en caliente sin peligro de inflamación

Esta actividad genera un área de riesgo ya que el GLP remanente se libera al ambiente aumentando la posibilidad de crear una atmósfera explosiva, que bajo condiciones adversas, podría terminar en un accidente que involucraría la integridad física de las personas e instalaciones cercanas, y potencialmente áreas pobladas cercanas.

En el trabajo a presentar se desea generar las especificaciones de diseño de una máquina recuperadora de GLP residual a partir de un sistema existente en una compañía del exterior, de la que se ha recopilado información general de su funcionamiento, para satisfacer la necesidad de reducir la cantidad de GLP liberado al ambiente. Adicionalmente, se evaluará el costo que involucraría la adición de esta actividad en el proceso actual.

# INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS .....	X
SIMBOLOGIA .....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS .....	XIV
INDICE DE PLANOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1	
1. FUNDAMENTOS BÁSICOS.....	2
1.1 GLP: Características y propiedades.....	3
1.1.1 Clasificación de los gases combustibles.....	3
1.1.2 Físico-Química de los GLP.....	5
1.1.3 Efectos de los GLP.....	7
1.2 Revisión de normativa para instalaciones en plantas de GLP.....	13
1.2.1 Diseño de plantas de GLP.....	13
1.2.2 Clasificación de áreas de trabajo.....	14
1.2.3 Instalación de máquinas y tuberías.....	19
1.2.4 Seguridad en el área de evacuado.....	24

1.3 Descripción del proceso previo reparación de cilindros.....	25
1.4 Necesidad del proyecto.....	28

## CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN.....	29
2.1 Introducción.....	29
2.1.1 Condiciones de funcionamiento.....	30
2.2 Constitución del sistema.....	31
2.2.1 Banco de vaciado.....	31
2.2.2 Tanque colector.....	32
2.2.3 Equipo de vacío.....	32
2.2.4 Equipo consumidor.....	35

## CAPÍTULO 3

3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	37
3.1 Evaluación de la demanda del equipo.....	37
3.1.1 Requerimientos del sistema.....	38
3.2 Diseño del banco de vaciado.....	49
3.3 Dimensionamiento de tuberías.....	50
3.3.1 Análisis termodinámico.....	52
3.3.2 Eliminación de efectos no deseados.....	52
3.4 Dimensionamiento de tanque colector.....	53



3.5 Selección de equipo de trasvase.....	53
CAPÍTULO 4	
4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	56
4.1 Inversión inicial.....	56
4.2 Costos operativos.....	61
CAPÍTULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

## **ABREVIATURAS**

%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
API	American Petroleum Institute
GLP	Gases Licuados de Petróleo
GN	Gas Natural
NEC	National Electric Code
NFPA	National Fire Protection Association
Psia	Libras por pulgada cuadrada absoluta
Psig	Libras por pulgada cuadrada manométrica
US\$	Dólares de los Estados Unidos de América

## SIMBOLOGIA

$\rho$	Densidad
AR	Relación de áreas
dt	Diferencial de tiempo
dV	Diferencial de volumen
h	Altura
H, ho	Entalpía
k	Coeficiente de pérdida para flujo de través de cambios súbitos de área
m	Masa
p	Presión
Q	Calor
s	superficie, área, sección
t	Tiempo
T	Temperatura
U	Energía interna
v	Velocidad
V	Volumen
W	Trabajo

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1. Propiedades aproximadas de los GLP .....	8
Figura 1-2. Densidad a 15 °C de diferentes tipos de mezclas .....	9
Figura 1-3. Factores de corrección de volumen de líquido .....	10
Figura 1-4. Tensión de vapor butano propano para diversas temperaturas .....	11
Figura 1-5. Calor específico de los GLP como función de la temperatura.....	11
Figura 1-6. Calor latente de vaporización de los GLP como función de la temperatura .....	12
Figura 1-7. Distancias mínimas de seguridad para recipientes de almacenamiento de GLP .....	14
Figura 1-8. Dimensiones y clasificación de áreas según el NEC .....	17
Figura 1-9. Dimensiones y clasificación de áreas según el NEC (continuación).....	18
Figura 1-10. Diagrama de procesos en una planta de envasado de GLP .....	27
Figura 2-1. Máquina volteadora para extracción de GLP líquido en sistema no. 1 .....	33
Figura 2-2. Extracción de GLP vapor en sistema no. 2.....	33
Figura 2-3. Tanque colector junto a compresor de GLP en sistema no. 1.....	34
Figura 2-4. Bomba de vacío junto a tanque colector en sistema no. 2 .....	34
Figura 2-5. Tanque de almacenamiento (descarga del compresor) del sistema no. 1.....	36
Figura 2-6. Torre con antorcha para quema de GLP residual del sistema no. 2 .....	36
Figura 3-1. Composición estimada de GLP en cilindros domésticos según consumo .....	44
Figura 3-2. Composición porcentual estimada de GLP en cilindros domésticos según consumo .....	45
Figura 3-3. Presión de vapor estimada en el interior de cilindros domésticos .....	45
Figura 3-4. Coeficientes de pérdida para flujo a través de cambios súbitos de área .....	46
Figura 3-5. Variación de presión en el tanque durante el proceso de evacuado de GLP residual .....	48
Figura 3-6. Volumen de GLP desplazado del tanque durante el proceso de evacuado .....	48
Figura 3-7. Máquina volteadora de cilindros llenos con fugas para evacuación de GLP líquido.....	51

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de áreas según el NEC.....	19
Tabla 2	Puntos estimados de transición en mezclas de GLP en cilindros domésticos .....	44
Tabla 3	Presupuesto: Transportadores de cadena para cilindros domésticos .....	58
Tabla 4	Presupuesto: Banco para evacuación .....	58
Tabla 5	Presupuesto: Tuberías .....	59
Tabla 6	Presupuesto: Tanque de almacenamiento .....	59
Tabla 7	Presupuesto: Compresor de GLP .....	60
Tabla 8	Presupuesto: Instalaciones antideflagrantes .....	60
Tabla 9	Presupuesto: Resumen de rubros .....	61
Tabla 10	Presupuesto: Flujo de Caja .....	64

## INDICE DE PLANOS

Plano 1	Cilindro doméstico de 15 kg
Plano 2	Máquina volteadora de cilindros
Plano 3	Tanque colector
Plano 4	Compresor de GLP
Plano 5	Sistema de evacuación

## **INTRODUCCION**

El presente trabajo tiene como fin el dimensionamiento de un sistema para la recuperación del GLP residual existente en los cilindros domésticos, con una capacidad de evacuación de 1.200 unidades diarias.

Los objetivos deseados son: presentar una solución que reduzca las emisiones de GLP al medio ambiente, minimizando el riesgo potencial de existencia de áreas explosivas, mejorando las condiciones de trabajo de los operarios, evitando la inhalación de estos vapores; realizar un análisis económico que nos permita evaluar los costos y posibles beneficios que puede generar la ejecución de este proyecto.

Inicialmente se recopilara información acerca de los GLP ya que son fluidos de comportamiento variable en función de su composición, la presión y la temperatura a la que se encuentran, lo que nos ayudará a comprender mejor los criterios expuestos en este documento; luego se presentará la información obtenida de las plantas de recuperación de GLP externas y se analizará para definir los componentes del sistema; como paso siguiente, se hará una estimación de tiempos de operación y con ello, las capacidades de los equipos a seleccionar; finalmente se define el sistema a instalar localmente para solventar la necesidad existente. Con esta información disponible se procede a estimar costos y posibles beneficios económicos.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. FUNDAMENTOS BÁSICOS**

Los Gases Licuados de Petróleo (GLP) son hidrocarburos que se encuentran en el petróleo crudo, así como en yacimientos de gas natural (GN). En el primer caso, los GLP deben ser separados antes del transporte de crudo ya que estos son los componentes que mayor presión de vapor poseen, lo que se realiza en el proceso denominado como estabilización en las primeras fases de extracción. A pesar de ello el crudo puede contener aun GLP en alguna proporción, el cual se separa en los primeros procesos de destilación. Para el caso de los yacimientos de gas natural, los GLP son los componentes de más baja presión, por lo que se lo separa mediante destilación para evitar su presencia como



líquido en redes de distribución de GN.

Los GLP son transportados mediante gasoductos, buques, vagones y/o camiones cisterna desde las refinerías a los centros de producción y almacenamiento, las terminales de PETROCOMERCIAL para nuestro caso, desde las cuales el Estado se encarga de vender el producto a las compañías comercializadoras.

### **1.1 G.L.P.: Características y propiedades**

Como descripción general, los GLP son gases que alcanzan su estado líquido a presiones bajas (menores a 150 psig), lo que permite su fácil transporte en envases o contenedores de baja presión a sus lugares de consumo.

Como combustible resulta una excelente opción por su alto poder calorífico, posee un precio competitivo respecto a otros combustibles (puede representar un ahorro del 25%), así como las bajas emisiones contaminantes que genera, lo cual permite que sea ampliamente utilizado en todo tipo de instalaciones, incluso en aquellas que exigen bajos niveles de emisiones.

En vista de que el fluido a tratar a lo largo de este escrito son los GLP, es necesario conocer sus características y propiedades de manera que

nos permita entender su comportamiento bajo diversas condiciones. Cabe recalcar que se considerarán como más relevantes las propiedades como fluido que como combustible por la misma naturaleza del análisis a realizar.

### **1.1.1 Clasificación de los gases combustibles**

Los gases combustibles tradicionalmente se clasifican en tres grandes grupos o familias, de acuerdo a sus características y origen:

Primera familia: conformada por los gases manufacturados, utilizados en las grandes ciudades y distribuidos por redes canalizadas, con bajo contenido de propano y butano. Su composición en mayor parte corresponde a hidrógeno (53%), anhídrido carbónico (21,2%), y metano y otros (23%).

Segunda familia: correspondiente a los gases naturales y mezclas equivalentes de otros gases con mayor cantidad de butano y propano que los gases de la primera familia. Su composición es muy variable, pero está conformado mayormente por metano (más del 86%) y el resto es básicamente etano, propano, isobutano, butano y nitrógeno.

Tercera familia: constituida por butano y propano como productos del refinamiento del petróleo mantenidos en estado líquido (y una pequeña fracción de vapor), por lo que se deriva de ellos el nombre

de gases licuados de petróleo (GLP).

Los gases combustibles pertenecientes a diferentes familias no son intercambiables, ya que reemplazos de este tipo pueden generar fenómenos indeseables como combustión no higiénica, desprendimiento de llama o retorno de llama. Esto se debe a que los rangos del poder calorífico que proporciona cada familia difieren de una manera considerable entre ellas.

### **1.1.2 Física de los GLP**

Para el análisis de los procesos en las plantas de envasado y/o transferencia de GLP, es necesario conocer sus características físicas en estado líquido y gaseoso, entre las más importantes encontramos:

- Densidad,
- Calor latente de vaporización,
- Tensión de vapor,
- Punto de ebullición, y,
- Punto de rocío.

La densidad de los GLP varía dependiendo de su composición y las condiciones bajo las que se encuentra (presión y temperatura). Usualmente se encuentran tablas de densidad con referencia a una

temperatura de 60° F (15° C) y tablas con factores de corrección de densidad y volumétricas para el aforo de recipientes con GLP.

También se encuentra en la práctica, nomogramas con los que fácilmente se puede determinar la densidad de una determinada mezcla.

El calor latente de vaporización de un líquido se define como la energía necesaria para vaporizar una unidad de masa de dicho líquido en el punto de ebullición sin variación de temperatura y presión. Para el caso de los GLP, el calor latente de vaporización varía con la temperatura.

La tensión de vapor de un GLP a una determinada temperatura es la presión absoluta que tanto el líquido como el vapor ejercen sobre las paredes del recipiente que los contiene cuando están en equilibrio.

El punto de ebullición es la temperatura a la que un líquido comienza a hervir a presión atmosférica. Los GLP poseen un punto de ebullición normalmente inferior a los 0° C, por lo que a presión atmosférica y temperatura sobre 0° C se encontrarán en estado gaseoso. Esta característica es aplicada reduciendo la temperatura en recipientes que soportan baja presión.

Se define como punto de rocío a la temperatura de condensación de vapor, la cual varía dependiendo de la presión a la que se realice el cambio de estado.

### **1.1.3 Efectos de los GLP**

Hasta la actualidad no se ha comprobado que los GLP posean componentes nocivos para el medio ambiente, no es venenoso y no daña al aire ni al agua.

A lo que se refiere a materiales, disuelven el caucho natural, por lo que este no debe usarse en elementos como membranas, tubos, juntas ni elementos relacionados con su manejo.

En las personas puede producir asfixia en caso de existir una fuga continuada, ya que desplaza al aire al ser más pesado que él y por ello genera la carencia del mismo.

Otro riesgo en el manejo del GLP es cuando entra en contacto con la piel en estado líquido, ya que por sus características, podría causar quemaduras importantes por su rápida evaporación.

	<b>Propano Comercial</b>	<b>Butano Comercial</b>
<b>Presión de vapor en kPa a:</b>		
20°C	895	103
40°C	1 482	285
45°C	1 672	345
55°C	1 980	462
<b>Peso específico</b>	0,504	0,582
<b>Punto de ebullición inicial a 1,00 Atm. de presión, °C</b>	- 42	- 9
<b>Peso por Metro cúbico de líquido a 15,56°C, kg</b>	504	582
<b>Calor específico del líquido, Kilojoule por Kilogramo, a 15,56°C</b>	1,464	1,276
<b>Metros cúbicos de vapor por Litro de líquido a 15,56°C</b>	0,271	0,235
<b>Metros cúbicos de vapor por Kilogramo de líquido a 15,56°C</b>	0,539	0,410
<b>Peso específico del vapor (Aire = 1) a 15,56°C</b>	1,50	2,01
<b>Temperatura de ignición en aire, °C</b>	493-549	482-538
<b>Temperatura máxima de llama en aire, °C</b>	1 980	2 008
<b>Límites de inflamabilidad en aire, % de vapor en la mezcla Aire-Gas:</b>		
Inferior	2,15	1,55
Superior	9,60	8,60
<b>Calor latente de vaporización en el punto de ebullición:</b>		
Kilojoule por kilogramo	428	388
Kilojoule por litro	216	226
<b>Cantidad de calor total luego de la vaporización:</b>		
Kilojoule por Metro cúbico	92 430	121 280
Kilojoule por Kilogramo	49 920	49 140
Kilojoule por Litro	25 140	28 100

**FIGURA 1. 1 PROPIEDADES APROXIMADAS DE LOS GLP SEGÚN  
NFPA 58**

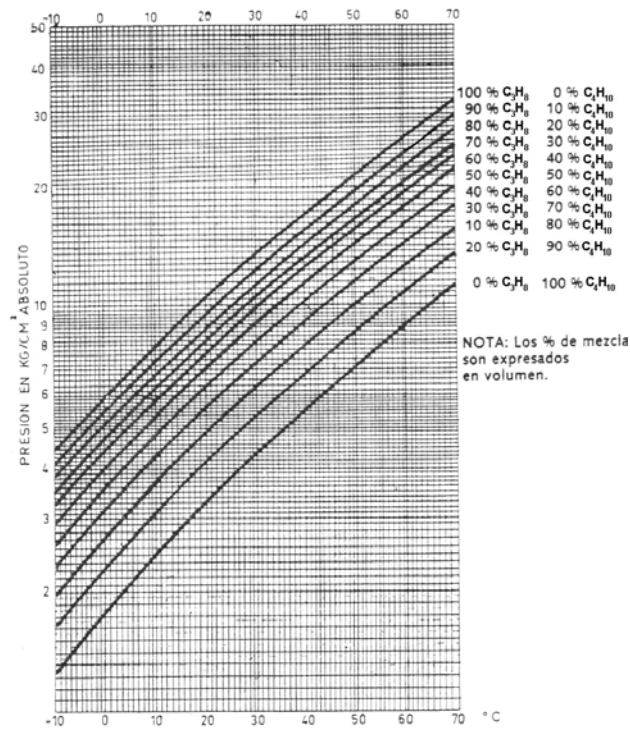
$C_4/C_3$	$d_{15}$ LIQUIDO	$d_{15}$ GAS	$C_4/C_3$	$d_{15}$ LIQUIDO	$d_{15}$ GAS	$C_4/C_3$	$d_{15}$ LIQUIDO	$d_{15}$ GAS
100/0	0.58440	2.460	65/35	0.557625	2.250	31/69	0.531615	2.046
99/1	0.583635	2.454	64/36	0.556860	2.244	30/70	0.530850	2.040
98/2	0.583070	2.448	63/37	0.556095	2.238	29/71	0.530085	2.034
97/3	0.582105	2.442	62/38	0.555330	2.232	28/72	0.529320	2.028
96/4	0.581340	2.436	61/39	0.554565	2.226	27/73	0.528555	2.022
95/5	0.580575	2.430	60/40	0.553800	2.220	26/74	0.527790	2.016
94/6	0.579810	2.424	59/41	0.553035	2.214	25/75	0.527025	2.010
93/7	0.579045	2.418	58/42	0.552270	2.208	24/76	0.526260	2.004
92/8	0.578280	2.412	57/43	0.551505	2.202	23/77	0.525495	1.998
91/9	0.577515	2.406	56/44	0.550740	2.196	22/78	0.524730	1.992
90/10	0.576750	2.400	55/45	0.549975	2.190	21/79	0.523965	1.986
89/11	0.575985	2.394	54/46	0.549210	2.184	20/80	0.523200	1.980
88/12	0.575220	2.388	53/47	0.548445	2.178	19/81	0.522435	1.974
87/13	0.574455	2.382	52/48	0.547680	2.172	18/82	0.521670	1.968
86/14	0.573690	2.376	51/49	0.546915	2.166	17/83	0.520905	1.962
85/15	0.572925	2.370	50/50	0.546150	2.160	16/84	0.520140	1.956
84/16	0.572160	2.364	50/50	0.546150	2.160	15/85	0.519375	1.950
83/17	0.571395	2.358	49/51	0.545385	2.154	14/86	0.518610	1.944
82/18	0.570630	2.352	48/52	0.544620	2.148	13/87	0.517845	1.938
81/19	0.569865	2.346	47/53	0.543855	2.142	12/88	0.517080	1.932
80/20	0.569100	2.340	46/54	0.543090	2.136	11/89	0.516315	1.926
79/21	0.568335	2.334	45/55	0.542325	2.130	10/90	0.515550	1.920
78/22	0.567570	2.328	44/56	0.541560	2.124	9/91	0.514785	1.914
77/23	0.566805	2.322	43/57	0.540795	2.118	8/92	0.514020	1.908
76/24	0.566040	2.316	42/58	0.540030	2.112	7/93	0.513255	1.902
75/25	0.565275	2.310	41/59	0.539265	2.106	6/94	0.512490	1.896
74/26	0.564510	2.304	40/60	0.538530	2.100	5/95	0.511725	1.890
73/27	0.563745	2.298	39/61	0.537735	2.094	4/96	0.510960	1.884
72/28	0.562980	2.292	38/62	0.536970	2.088	3/97	0.510195	1.878
71/29	0.562215	2.286	37/63	0.536205	2.082	2/98	0.509430	1.872
70/30	0.561450	2.280	36/64	0.535440	2.076	1/99	0.508665	1.866
69/31	0.560685	2.274	35/65	0.534675	2.070	0/100	0.507900	1.860
68/32	0.559920	2.268	34/66	0.533910	2.064			
67/33	0.559155	2.262	33/67	0.533145	2.058			
66/34	0.558390	2.256	32/68	0.532380	2.052			

**FIGURA 1.2 DENSIDAD A 15° C DE DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS  
(FUENTE: LOS GLP, BECCO J.L.)**

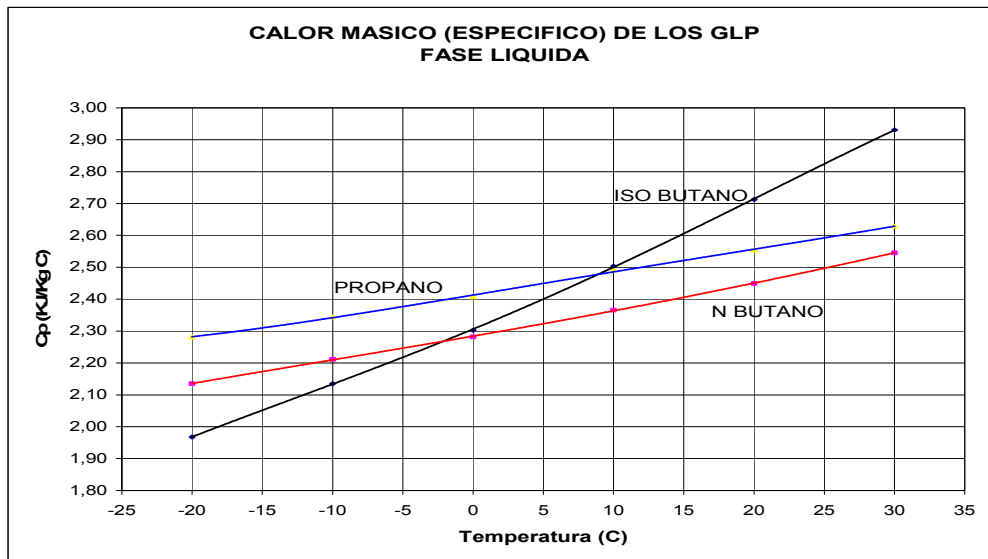
Peso específico a 60°F/60°F													
Temperatura Observada, Grados Fahrenheit	0,500	Propano 0,5079	0,510	0,520	0,530	0,540	0,550	0,560	iso- Butano 0,5631	0,570	0,580	n- Butano 0,5844	0,590
	Factores de corrección del volumen												
-50	1,160	1,155	1,153	1,146	1,140	1,133	1,127	1,122	1,120	1,116	1,111	1,108	1,106
-45	1,153	1,148	1,146	1,140	1,134	1,128	1,122	1,117	1,115	1,111	1,106	1,103	1,101
-40	1,147	1,142	1,140	1,134	1,128	1,122	1,117	1,111	1,110	1,106	1,101	1,099	1,097
-35	1,140	1,135	1,134	1,128	1,122	1,116	1,112	1,106	1,105	1,101	1,096	1,094	1,092
-30	1,134	1,129	1,128	1,122	1,116	1,111	1,106	1,101	1,100	1,096	1,092	1,090	1,088
-25	1,127	1,122	1,121	1,115	1,110	1,105	1,100	1,095	1,094	1,091	1,087	1,085	1,083
-20	1,120	1,115	1,114	1,109	1,104	1,099	1,095	1,090	1,089	1,086	1,082	1,080	1,079
-15	1,112	1,109	1,107	1,102	1,097	1,093	1,089	1,084	1,083	1,080	1,077	1,075	1,074
-10	1,105	1,102	1,100	1,095	1,091	1,087	1,083	1,079	1,078	1,075	1,072	1,071	1,069
-5	1,098	1,094	1,094	1,089	1,085	1,081	1,077	1,074	1,073	1,070	1,067	1,066	1,065
0	1,092	1,088	1,088	1,084	1,080	1,076	1,073	1,069	1,068	1,066	1,063	1,062	1,061
2	1,089	1,086	1,085	1,081	1,077	1,074	1,070	1,067	1,066	1,064	1,061	1,060	1,059
4	1,086	1,083	1,082	1,079	1,075	1,071	1,068	1,065	1,064	1,062	1,059	1,058	1,057
6	1,084	1,080	1,080	1,076	1,072	1,069	1,065	1,062	1,061	1,059	1,057	1,055	1,054
8	1,081	1,078	1,077	1,074	1,070	1,066	1,063	1,060	1,059	1,057	1,055	1,053	1,052
10	1,078	1,075	1,074	1,071	1,067	1,064	1,061	1,058	1,057	1,055	1,053	1,051	1,050
12	1,075	1,072	1,071	1,068	1,064	1,061	1,059	1,056	1,055	1,053	1,051	1,049	1,048
14	1,072	1,070	1,069	1,066	1,062	1,059	1,056	1,053	1,053	1,051	1,049	1,047	1,046
16	1,070	1,067	1,066	1,063	1,060	1,056	1,054	1,051	1,050	1,048	1,046	1,045	1,044
18	1,067	1,065	1,064	1,061	1,057	1,054	1,051	1,049	1,048	1,046	1,044	1,043	1,042
20	1,064	1,062	1,061	1,058	1,054	1,051	1,049	1,046	1,046	1,044	1,042	1,041	1,040
22	1,061	1,059	1,058	1,055	1,052	1,049	1,046	1,044	1,044	1,042	1,040	1,039	1,038
24	1,058	1,056	1,055	1,052	1,049	1,046	1,044	1,042	1,042	1,040	1,038	1,037	1,036
26	1,055	1,053	1,052	1,049	1,047	1,044	1,042	1,039	1,039	1,037	1,036	1,036	1,034
28	1,052	1,050	1,049	1,047	1,044	1,041	1,039	1,037	1,037	1,035	1,034	1,034	1,032
30	1,049	1,047	1,046	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,035	1,033	1,032	1,032	1,030
32	1,046	1,044	1,043	1,041	1,038	1,036	1,035	1,033	1,033	1,031	1,030	1,030	1,028
34	1,043	1,041	1,040	1,038	1,036	1,034	1,032	1,031	1,030	1,029	1,028	1,028	1,026
36	1,039	1,038	1,037	1,035	1,033	1,031	1,030	1,028	1,028	1,027	1,025	1,025	1,024
38	1,036	1,035	1,034	1,032	1,031	1,029	1,027	1,026	1,025	1,025	1,023	1,023	1,022
40	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,026	1,025	1,024	1,023	1,023	1,021	1,021	1,020
42	1,030	1,029	1,028	1,027	1,025	1,024	1,023	1,022	1,021	1,021	1,019	1,019	1,018
44	1,027	1,026	1,025	1,023	1,022	1,021	1,020	1,019	1,019	1,018	1,017	1,017	1,016
46	1,023	1,022	1,022	1,021	1,020	1,018	1,018	1,017	1,016	1,016	1,015	1,015	1,014
48	1,020	1,019	1,019	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,014	1,013	1,013	1,013	1,012
50	1,017	1,016	1,016	1,015	1,014	1,013	1,013	1,012	1,012	1,011	1,011	1,011	1,010
52	1,014	1,013	1,012	1,012	1,011	1,010	1,010	1,009	1,009	1,009	1,009	1,009	1,008
54	1,010	1,010	1,009	1,009	1,008	1,008	1,007	1,007	1,007	1,007	1,006	1,006	1,006
56	1,007	1,007	1,006	1,006	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,004	1,004	1,004
58	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002
60	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
62	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
64	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996
66	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
68	0,986	0,986	0,987	0,987	0,988	0,989	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991	0,991
70	0,983	0,983	0,984	0,984	0,985	0,986	0,987	0,988	0,988	0,988	0,989	0,989	0,989
72	0,979	0,980	0,981	0,981	0,982	0,983	0,984	0,985	0,986	0,986	0,987	0,987	0,987
74	0,976	0,976	0,977	0,978	0,980	0,980	0,982	0,983	0,983	0,984	0,985	0,985	0,985
76	0,972	0,973	0,974	0,975	0,977	0,978	0,979	0,980	0,981	0,981	0,982	0,982	0,983
78	0,969	0,970	0,970	0,972	0,974	0,975	0,977	0,978	0,978	0,979	0,980	0,980	0,981
80	0,965	0,967	0,967	0,969	0,971	0,972	0,974	0,975	0,976	0,977	0,978	0,978	0,979
82	0,961	0,963	0,963	0,966	0,968	0,969	0,971	0,972	0,973	0,974	0,976	0,976	0,977
84	0,957	0,959	0,960	0,962	0,965	0,966	0,968	0,970	0,971	0,972	0,974	0,974	0,975
86	0,954	0,956	0,956	0,959	0,961	0,964	0,966	0,967	0,968	0,969	0,971	0,971	0,972
88	0,950	0,952	0,953	0,955	0,958	0,961	0,963	0,965	0,966	0,967	0,969	0,969	0,970
90	0,946	0,949	0,949	0,952	0,955	0,958	0,960	0,962	0,963	0,964	0,967	0,967	0,968
92	0,942	0,945	0,946	0,949	0,952	0,955	0,957	0,959	0,960	0,962	0,964	0,965	0,966
94	0,938	0,941	0,942	0,946	0,949	0,952	0,954	0,957	0,958	0,959	0,962	0,962	0,964
96	0,935	0,938	0,939	0,942	0,946	0,949	0,952	0,954	0,955	0,957	0,959	0,960	0,961
98	0,931	0,934	0,935	0,939	0,943	0,946	0,949	0,952	0,953	0,954	0,957	0,957	0,959
100	0,927	0,930	0,932	0,936	0,940	0,943	0,946	0,949	0,950	0,952	0,954	0,955	0,957
105	0,917	0,920	0,923	0,927	0,931	0,935	0,939	0,943	0,943	0,946	0,949	0,949	0,951
110	0,907	0,911	0,913	0,918	0,923	0,927	0,932	0,936	0,937	0,939	0,943	0,944	0,946
115	0,897	0,902	0,904	0,909	0,915	0,920	0,925	0,930	0,930	0,933	0,937	0,938	0,940
120	0,887	0,892	0,894	0,900	0,907	0,912	0,918	0,923	0,924	0,927	0,931	0,932	0,934
125	0,876	0,881	0,884	0,890	0,898	0,903	0,909	0,916	0,916	0,920	0,925	0,927	0,928
130	0,865	0,871	0,873	0,880	0,888	0,895	0,901	0,908	0,909	0,913	0,918	0,921	0,923
135	0,854	0,861	0,863	0,871	0,879	0,887	0,894	0,901	0,902	0,907	0,912	0,914	0,916
140	0,842	0,850	0,852	0,861	0,870	0,879	0,886	0,893	0,895	0,900	0,905	0,907	0,910

**FIGURA 1.3 FACTOR DE CORRECCIÓN DEL VOLUMEN DEL LÍQUIDO SEGÚN NFPA 58**

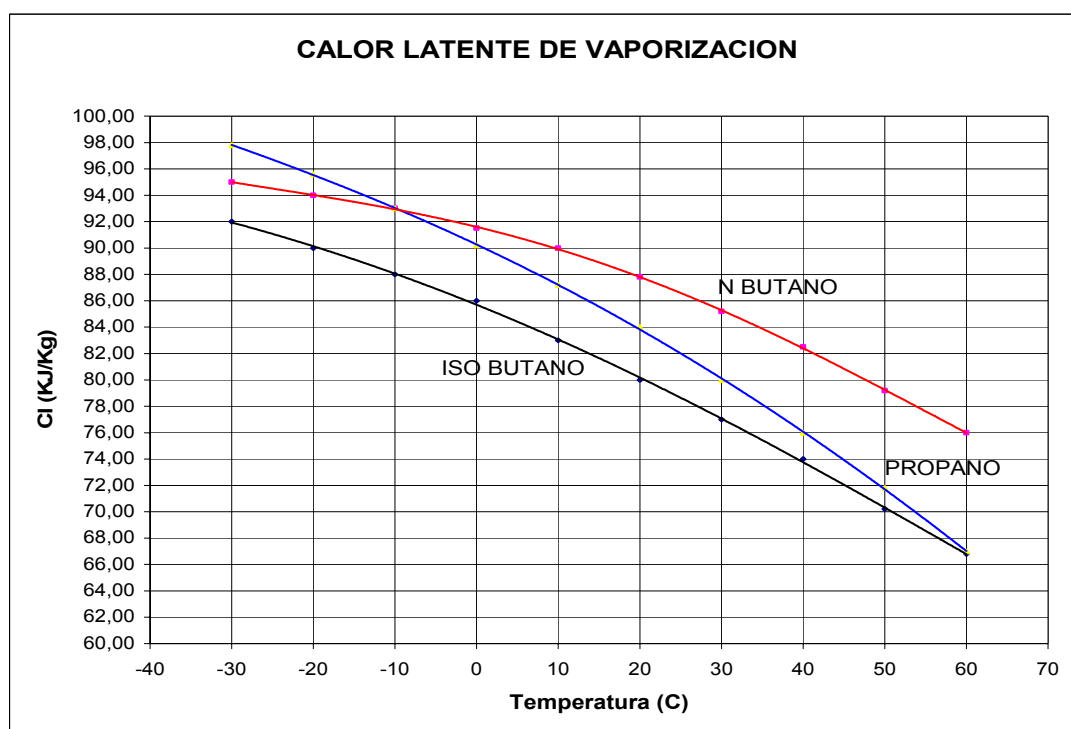




**FIGURA 1. 4 TENSIÓN DE VAPOR PROPANO BUTANO PARA DIVERSAS TEMPERATURAS (FUENTE: LOS GLP, BECCO J.L.)**



**FIGURA 1.5 CALOR ESPECÍFICO DE LOS GLP COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA (FUENTE: INSTALACIONES DE DEPÓSITOS FIJOS PARA GLP, GUERRA E.)**



**FIGURA 1.6 CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN DE LOS GLP COMO FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA (FUENTE: INSTALACIONES DE DEPÓSITOS FIJOS PARA GLP, GUERRA E.)**

Por su gran volatilidad, los GLP no generan contaminación de suelos o agua cuando entran en contacto con ellas. Se dispersa fácilmente en el ambiente y se degrada por proceso fotoquímico. La vida media es de 3,2 a 7 días. Como dato referencial, el metano tiene una vida media de 960 días.

## **1.2 Revisión de normativa para instalaciones en plantas de GLP**

### **1.2.1 Diseño de plantas de GLP**

La normativa que rige las instalaciones de plantas de GLP en el país se basan en las normas NFPA 58 “Código de Gas LP” y API 2510 “Diseño y Construcción de Instalaciones de GLP”, y en lo que se refiere a la protección contra incendios, la norma API 2510A.

En estos documentos se definen las distancias mínimas entre recipientes y edificaciones, la clasificación de emplazamientos de acuerdo a las posibles fuentes de GLP cercanas y los requerimientos de seguridad en ellas, incluyendo las características de los equipos que pueden operar en estas áreas.

Cabe indicar que las normas anteriormente mencionadas aplican al diseño, construcción, instalación y operación de terminales que tienen como propósito primario recibir GLP para su entrega a transportistas, distribuidores o usuarios. No aplica para plantas de gas natural, refinerías y plantas petroquímicas.

Capacidad de Agua por Recipiente en galones (m <sup>3</sup> )	Distancias Mínimas pies (m)		
	Recipientes en montículo o subterráneos [Ver 3-2.2.2(f)]	Recipientes en superficie [Ver 3-2.2.2(h)]	Entre recipientes [Ver 3-2.2.2(g)]
Menos que 125 (0,5) [Ver 3-2.2.2(a)]	10 pies (3)	Ninguna [Ver 3-2.2.2(b), (c), y (d)]	Ninguna
de 125 a 250 (de 0,5 a 1,0)	10 pies (3)	10 pies (3)	Ninguna
de 251 a 500 (de 1,0 + a 1,9)	10 pies (3)	10 pies (3)	3 pies (1)
de 501 a 2000 (de 1,9 + a 7,6)	10 pies (3)	25 pies (7,6) [Ver 3-2.2.2(e)]	3 pies (1)
de 2001 a 30,000 (de 7,6 + a 114)	50 pies (15)	50 pies (15)	5 pies (1,5)
de 30,001 a 70,000 (de 114 + a 265)	50 pies (15)	75 pies (23)	} ¼ de la suma de los diámetros de los recipientes adyacentes
de 70,001 a 90,000 (de 265 + a 341)	50 pies (15)	100 pies (30)	
de 90,001 a 120,000 (de 341 + a 454)	50 pies (15)	125 pies (38)	
de 120,001 a 200,000 (de 454 a 757)	50 pies (15)	200 pies (61)	
De 200,001 a 1,000,000 (de 757 a 3785)	50 pies (15)	300 pies (91)	
mayor que 1,000,000 (3785)	50 pies (15)	400 pies (122)	

**FIGURA 1.7 DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD PARA RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO DE GLP SEGÚN NFPA 58**

### 1.2.2 Clasificación de áreas de trabajo

Para el análisis de equipos a instalarse al interior de una planta de GLP, se revisó la norma API 500 (Clasificación de áreas para instalaciones eléctricas en plantas petroleras recomendada para áreas Clase 1, División 1 y División 2), ya que esta considera la existencia, o la posibilidad de existencia, de gas o vapor mezclado con aire en cantidades inflamables o explosivos (definición de área clase 1).

En instalaciones de plantas de GLP se tratan tres tipos de áreas:

Área clase 1 división 1: emplazamiento en la que se prevé la existencia de mezclas de gases o vapores con aire en proporciones inflamables o explosivas bajo condiciones normales de operación o en la que una falla operativa de equipos o procesos pueden simultáneamente causar la liberación de gases o vapores inflamables y también ocasionar la falla de equipamiento eléctrico.

Área clase 1 división 2: emplazamiento en la que gases o vapores inflamables pueden estar presentes, pero que normalmente se encuentran en sistemas cerrados.

Área no clasificada: emplazamiento no clasificado como división 1 o división 2.

La decisión de definir a un emplazamiento como división 1 o 2 depende en parte de la ventilación existente. Se considera una buena ventilación si ésta es suficiente para prevenir la acumulación de cantidades significativas de mezclas de gas o vapor con aire en una concentración menor al 25% de su Límite Inferior de Inflamación o Explosión (LFL o LEL por sus siglas en inglés).

Las sustancias manejadas en instalaciones petroleras se dividen en tres grandes grupos: líquidos inflamables y combustibles, líquidos inflamables altamente volátiles (HVLs por sus siglas en inglés) y gases y vapores inflamables.

Los GLP se incluyen dentro del grupo de los HVLs ya que éste considera al butano, propano, etano, propileno, gas natural y mezclas de ellos. La presión de vapor de estos líquidos supera los 276 kPa (40 psia) a 37.8°C (100°F).

Según el Código Nacional Eléctrico de los Estados Unidos (NEC) establece la clasificación mostrada en la tabla 1-1 para la tipificación de emplazamientos para instalaciones eléctricas.

Un listado referencial de sustancias según la clasificación dada por el NEC se escribe a continuación:

Grupo A: Atmósferas que contienen acetileno.

Grupo B: Atmósferas que contienen butadieno, óxido de etileno, óxido de propileno, acroleno o hidrógeno (o gases o vapores con similar peligro al hidrógeno).

Parte	Ubicación	Extensión del área clasificada <sup>1</sup>	El equipo deberá ser adecuado para la Clase I, Grupo D del Código Eléctrico Nacional <sup>2</sup>	
A	Recipientes no refrigerados, diferentes de cilindros y recipientes verticales ASME, de menos de 1000 lb de capacidad de agua	Dentro de los 15 pies alrededor de las conexiones, a excepción de las conexiones cubiertas de otro modo en la Tabla 3-7.2.2	División 2	
B	Recipientes de almacenaje refrigerados	Dentro de los 15 pies alrededor de las conexiones cubiertas de otro modo en la Tabla 3-7.2.2	División 2	
		El área en el interior del dique hasta el nivel superior del mismo	División 2	
C	Carga y descarga de vehículos tanque y vagones cisterna	Dentro de los 5 pies alrededor de las conexiones normales o desconectadas para transferencia del producto	División 1	
		Más allá de los 5 pies, hasta 15 pies alrededor del punto donde se efectúen conexiones normales o se desconecte, y en el interior del volumen cilíndrico comprendido entre el ecuador horizontal de la esfera y el nivel del piso (Ver fig. 3-7.2.2)	División 2	
D	Aberturas de venteo de medidores diferentes de aquellas ubicadas sobre cilindros y recipientes ASME verticales de menos de 1000 lb de capacidad de agua	Dentro de los 5 pies alrededor del punto de descarga	División 1	
		Más allá de los 5 pies hasta 15 pies alrededor del punto de descarga	División 2	
E	Descarga de dispositivos de alivio de presión distintos de aquellos ubicados sobre cilindros y recipientes ASME verticales de menos de 1000 lb de capacidad de agua, y vaporizadores	Dentro del camino directo de la descarga	División 1 NOTA: Preferiblemente no deberían instalarse equipos eléctricos fijos.	
F	Bombas, compresores de vapor, mezcladores gas-aire y vaporizadores (diferentes de los de fuego directo o los de fuego indirecto con una fuente de calor unida o adyacente a los mismos)	En el interior, sin ventilación	La totalidad de la habitación y toda otra habitación adyacente que no se encuentre separada por una división hermética al gas	División 1
			Dentro de los 15 pies alrededor de la cara externa de toda pared externa o techo que no sean herméticos al vapor o 15 pies alrededor de toda abertura externa	División 2
	En el interior, con ventilación	La totalidad de la habitación y toda habitación adyacente que no se encuentre separada por una división hermética al gas	División 2	
	En el exterior al aire libre a nivel o por encima del nivel del piso	Dentro de los 15 pies alrededor del equipo y dentro del volumen cilíndrico comprendido entre el ecuador horizontal de la esfera y el nivel del piso. (Ver Figura 3-7.2.2.)	División 2	
G	Surtidor de combustible para vehículos	La totalidad del espacio dentro del encerramiento del surtidor, y a 18 pulg. de distancia horizontal del exterior del encerramiento y hasta una altura de 4 pies por encima de la base del surtidor. La totalidad del foso o del espacio abierto ubicado por debajo del surtidor	División 1	
		Hasta 18 pulg. sobre el nivel superficial, dentro de 20 pies alrededor de todo borde del encerramiento.	División 2	

Nota: Para los fosos incluidos en este área, ver la parte H de esta tabla.

**FIGURA 1.8 DIMENSIONES Y CLASIFICACIÓN DE AREAS SEGÚN EL NEC.**

Parte	Ubicación	Extensión del área clasificada <sup>1</sup>	El equipo deberá ser adecuado para la Clase I, Grupo D del Código Eléctrico Nacional <sup>2</sup>	
<b>H</b>	Fosos o trincheras que contengan o se ubiquen por debajo de válvulas, bombas, compresores de vapor, reguladores, para Gas LP y equipos similares	Sin ventilación mecánica	La totalidad del foso o trinchera	División 1
			La totalidad de la habitación y toda habitación adyacente que no se encuentre separada por una división hermética al gas	División 2
			Dentro de los 15 pies alrededor del foso o trinchera, si se encuentran ubicados en el exterior	División 2
	Con ventilación mecánica		La totalidad del foso o trinchera	División 2
			La totalidad de la habitación y toda habitación adyacente que no se encuentre separada por una división hermética al gas	División 2
			Dentro de los 15 pies alrededor del foso o trinchera, si se encuentran ubicados en el exterior	División 2
<b>I</b>	Edificios o habitaciones especiales para el almacenaje de cilindros	La totalidad de la habitación	División 2	
<b>J</b>	Gasoductos y conexiones que contengan purgas operacionales, separadores de condensación, orificios de ventilación o drenajes	Dentro de los 5 pies alrededor de los puntos de descarga	División 1	
		Más allá de los 5 pies de distancia al punto de descarga, igual que la Parte F de esta tabla		
<b>K</b>	Llenado del cilindros	En el interior con ventilación	Dentro de los 5 pies alrededor del punto de transferencia	División 1
			Más allá de los 5 pies y la totalidad de la habitación	División 2
	En el exterior al aire libre		Dentro de los 5 pies alrededor del punto de transferencia	División 1
			Más allá de los 5 pies hasta 15 pies alrededor del punto de transferencia y dentro del volumen cilíndrico comprendido entre el ecuador horizontal de la esfera y el nivel del piso. (Ver figura 3-7.2.2.)	División 2

Para unidades SI: 18 pulg. = 256 mm; 4 pies = 1.2 m; 5 pies = 1.5 m; 15 pies = 4.6 m; 20 pies = 6.1 m; 1000 lb = 454 kg

<sup>1</sup> El área clasificada no deberá extenderse más allá de cualquier pared sin perforaciones, techo o división maciza, hermética al gas.

<sup>2</sup> Ver el Artículo 500 "Ubicaciones (Clasificadas) peligrosas" de la norma NFPA 70 (Código Eléctrico Nacional ANSI) para las definiciones de Clases, Grupos y Divisiones.

**FIGURA 1.9 DIMENSIONES Y CLASIFICACIÓN DE AREAS SEGÚN EL NEC.**



**TABLA 1**  
**CLASIFICACIÓN DE ÁREAS SEGÚN EL NEC**

Grupo	Material de Referencia para Prueba	Máxima Abertura Segura Experimental (mm)	Máxima Presión de Explosión (kPa)		
			Ignición en Cámara de Prueba Primaria		Ignición en Conductor
			Reposo	Turbulento	Reposo
A	Acetileno	0.0762	1241	1793	7860
B	Hidrógeno	0.0762	938	1303	5826
C	Dietil éter	0.3048	758	1227	1379
D	Gasolina	0.7356	655	1076	1103

Grupo C: Atmósferas con ciclopropano, etil éter, etileno, sulfuro de hidrógeno, o gases o vapores con riesgo equivalente.

Grupo D: Atmósferas que contienen acetona, alcohol, amoniaco, benceno, butano, metano, gasolina, gas natural, propano, o gases o vapores con riesgo equivalente.

### 1.2.3 Instalación de máquinas y tuberías

Se revisó la norma API RP 686 “Prácticas recomendadas para instalación de maquinaria y diseño de instalación”, la cual posee procedimientos, prácticas y revisiones para la instalación de equipos nuevos y reaplicados en instalaciones petroleras, químicas e industria del gas.

De acuerdo a la capacidad de los equipos a utilizar, se podrán definir como equipos de propósito general y de propósito especial o específico. Se define como equipo de propósito general a aquellos que trabajan a una presión menor a 48 bar manométricos (700 psig) a 250° C (700° F) con una velocidad menor a 5000 RPM.

Entre los aspectos más importantes en la ejecución de la instalación de los equipos en una industria están el correcto dimensionamiento del bloque de fundación, así como el anclaje al mismo y la adecuada colocación de tuberías

En lo que respecta a las fundaciones, deben tenerse las siguientes consideraciones:

- ç El espesor mínimo del mortero de nivelación debe ser de 25 milímetros en la cara superior del bloque.
- ç Las fundaciones para compresores reciprocantes con potencia superior a 150 KW (200 HP) y equipos de propósito especial deben ser analizados dinámicamente. Si se prevé resonancia, la masa de la fundación debe incrementarse en lo posible para evitar este efecto.

- ç La masa del bloque de fundación debe ser tres veces la masa del equipo en caso de ser máquinas centrífugas, y cinco veces la masa del equipo si es una máquina reciprocante, a menos que un análisis demuestre que con un valor menor de masa no existirá problemas.
  
- ç La fundación debe proveer por lo menos un factor de seguridad de 1.5 para evitar volcamientos o deslizamientos para toda fuerza o par aplicable.
  
- ç Las fundaciones de máquinas reciprocantes (compresores y similares) deben tener como mínimo un 50% del espesor del bloque enterrado, a menos que haya alguna especificación del usuario del equipo.
  
- ç Todo el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de 28 N/mm<sup>2</sup> (4000 PSI) a los 28 días, a menos que se especifique otra cosa.
  
- ç A menos que se especifique lo contrario por el usuario del equipo, este debe ser instalado sobre una placa de montaje. No está permitido la fijación directa del equipo mediante pernos de anclaje.

- ç Las placas de anclaje deben ser lo suficientemente resistentes y rígidas para transferir las fuerzas aplicadas a la fundación.
- ç A menos que sea especificado de otra manera, toda maquinaria debe ser anclada usando mortero epóxico.

Para las instalaciones de tubería, se tienen las siguientes recomendaciones:

- ç Deben evitarse derivaciones (venteos, drenes, válvulas de alivio de presión, inyección) en espacios confinados. La ubicación de estas conexiones deben ser elegidas de tal manera que no estén sujetas a causar daños durante las operaciones de mantenimiento, ni de ser pisadas por el personal.
- ç La entrada y la salida a máquinas deben soportarse lo más cercano posible a la máquina como sea práctico.
- ç Los filtros permanentes no deben ubicarse a una distancia no menor al equivalente a 5 veces el diámetro de la tubería de la succión de la máquina.

- ç Una válvula check debe ubicarse en la línea de descarga de toda bomba, compresor o soplador, sea centrífugo o rotatorio, a menos que no exista la posibilidad de retorno de flujo o golpe de ariete bajo cualquier condición. La válvula check debe ubicarse entre la brida de descarga y la válvula de bloqueo de la descarga.
- ç Para diámetros mayores o igual a  $\frac{3}{4}$ ", todas las conexiones de drenes y venteo deben ser de diámetro  $\frac{3}{4}$ " o mayor. Para diámetros menores a  $\frac{3}{4}$ " no deben tener un menor diámetro que el de la tubería.
- ç Las derivaciones deben ser instaladas por una razón justificable y debe mantenerse el mínimo posible. Deben ubicarse donde la tubería este anclada. Deben ubicarse lo más lejos posible del origen de la vibración como sea práctico.
- ç La tubería no debe ser conectada a la maquinaria hasta después de que se hayan terminado todos los trabajos de anclaje y alineamiento.
- ç No debe instalarse tubería sin soporte; debe diseñarse la soportería para minimizar los posibles esfuerzos aplicados

sobre la maquinaria.

#### **1.2.4 Seguridad en el área de evacuado y lavado**

Para determinar las acciones necesarias para trabajar de una manera segura, primero debemos conocer el comportamiento del producto y sus peligros inherentes:

- ç El principal peligro potencial es el fuego, por la alta inflamabilidad del GLP, y en caso extremo causar una explosión de vapor expandido – líquido hirviendo (BLEVE por sus siglas en inglés).
- ç El GLP líquido puede causar quemaduras si entra en contacto directo con la piel.
- ç La inhalación del GLP, aparte de la capacidad asfixiante que posee, puede tener un efecto narcotizante que podría llevar a lesiones en el personal.
- ç Siendo el GLP más pesado que el aire, en caso de una fuga puede acumularse en espacios reducidos y zonas bajas.
- ç El GLP líquido al evaporarse puede llegar a ocupar 200 volúmenes en fase vapor.

### **1.3 Descripción del proceso previo reparación de cilindros**

Los cilindros que requieren mantenimiento son identificados en el momento en el que ingresan a la planta, en los que se tiene la necesidad de resoldar o cambiar el asa y/o la base, y realizar el mejoramiento de pintura cuando esta se encuentra demasiado deteriorada. A más de estos cilindros, también son separados aquellos que presentan problemas una vez envasados, a los que se evacua el GLP hasta llegar a aproximadamente 2 kilogramos en una máquina recuperadora de líquido, la cual trabaja con las líneas de vapor propias del sistema de carga y descarga de tanqueros.

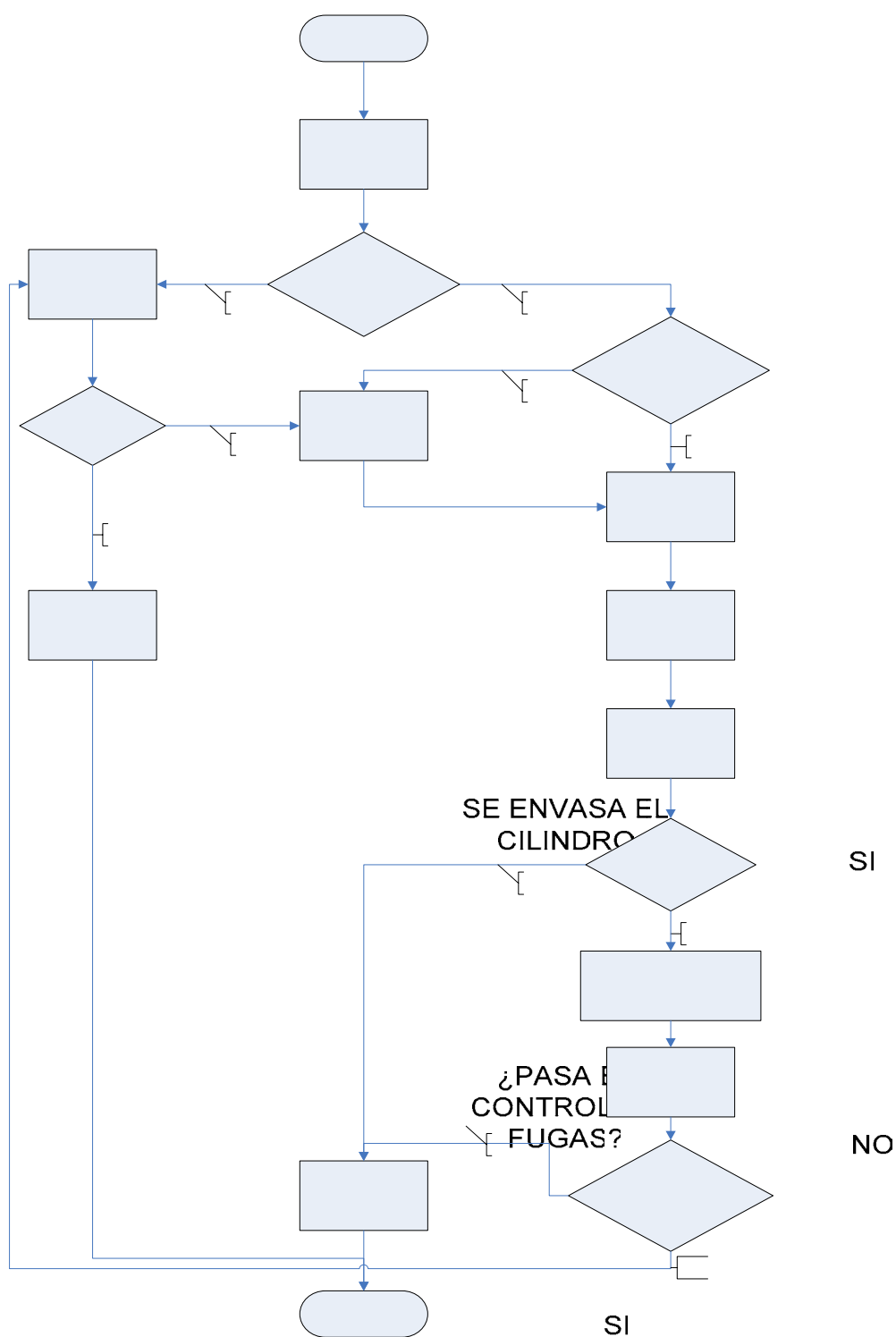
Para proceder a retirar la válvula de manera segura, es necesario despresurizar el cilindro previamente. Por este motivo se coloca un dispositivo de ataque rápido en la válvula del cilindro de manera que el GLP remanente se vaporiza hasta igualar la presión interna con la presión atmosférica; esta acción genera un área con alta posibilidad de ser inflamable, lo que implica un incremento en el riesgo laboral.

Luego de esto se retira la válvula de manera segura, y el cilindro es invertido y colocado en un banco de lavado, en el cual se aplica una combinación de agua y aire a una presión aproximada de 80 PSI para eliminar los lodos adheridos a la superficie interna, garantizando

la no existencia de sustancias inflamables que pudiesen alcanzar su punto de ignición durante el proceso de soldadura.

Los cilindros lavados son transportados al taller de mantenimiento de cilindros donde se ejecutarán los procesos de soldadura, granallado, pintado, colocación de válvula y prueba de estanqueidad. Se verifica el estado del cilindro antes y después de estos trabajos mediante la prueba hidrostática y de estanqueidad, respectivamente, con la finalidad de evaluar si el recipiente puede continuar en servicio, caso contrario, ser descartado.





**FIGURA 1.10 DIAGRAMA DE PROCESOS EN UNA PLANTA DE ENVASADO**  
 SE DESPACHA EL CILINDRO LLENO AL EXPENDIO

#### **1.4 Necesidad del proyecto**

Este proyecto busca principalmente reducir la cantidad de GLP vapor en el medio ambiente con la finalidad de disminuir la probabilidad del riesgo que implica la existencia de atmósfera inflamable que podría provocar accidentes graves en lo que se refiere a seguridad industrial, especialmente en aquellas instalaciones que se encuentran muy cerca a zonas pobladas.

Otro beneficio que se espera obtener es mejorar las condiciones laborales de los empleados que se ven expuestos a la inhalación permanente de los vapores.

Adicional a estos puntos que revisten de mucha importancia, se desea determinar el costo y el beneficio económico que generaría la recuperación del GLP si el proyecto fuese implantado.

# **CAPÍTULO 2**

## **2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN**

### **2.1 Introducción**

Para el estudio de la máquina que se desea construir localmente, se obtuvo como referencia información de dos plantas en Chile que realizan mantenimiento de cilindros. En ambos casos los principios de funcionamiento son los mismos; la diferencia radica en las capacidades de los sistemas de evacuado, y por ende, de los elementos que los conforman.

### **2.1.1 Condiciones de funcionamiento**

Los cilindros domésticos para GLP en Chile retornan con aproximadamente 400 gramos de producto en su interior, el cual debe eliminarse para realizar trabajos en caliente de manera segura, necesarios para su reparación.

Los cilindros son colocados en un banco, en el que un cabezal similar al utilizado para el llenado de cilindros se ubica sobre la válvula para liberar el GLP residual. Para lograr este efecto, se mantiene una presión inferior a la del interior del tanque con ayuda de un compresor o bomba de vacío alcanzando una presión igual o menor a 0 PSIG. El control de flujo se lo hace mediante un visor de paletas conectado a la manguera proveniente del cabezal de vaciado, el cual deja de girar en el momento que no existe flujo.

El visor se encuentra conectado a una manguera flexible que a su vez se acopla a una tubería principal que alimenta a un tanque pulmón, el cual está conectado a la succión del equipo de trasvase de vapor (compresor o bomba de vacío), recibiendo el GLP evacuado.

La descarga del equipo de trasvase se conecta a un tanque de almacenamiento temporal, el cual acumula GLP para su posterior envasado o consumo.

## **2.2 Constitución del sistema**

Como ha sido mencionado, la naturaleza de los sistemas de evacuación presentados es similar en su funcionamiento. Aquí se mostrarán las diferencias y similitudes de los sistemas en cuestión.

### **2.2.1 Banco de vaciado**

Existen dos maneras de evacuar el GLP: con el tanque con la válvula hacia arriba para evacuar vapor (figura 2.2), y con el tanque con la válvula hacia abajo (figura 2.1), para que el líquido se encuentre en contacto con la válvula y se logre su trasiego. En ambos casos se abre la válvula para desplazar el fluido mediante una diferencia de presión. De acuerdo al método utilizado se definirá el tiempo de la operación.

Se propone como opción la construcción de un elemento volteador que permita trabajar en una línea de producción continua. Dicho banco tiene como base a las máquinas de llenado de cilindros, en las que durante el proceso de llenado

baja un cabezal para inyectar el GLP líquido al interior de los envases.

### **2.2.2 Tanque colector**

El tanque colector se dimensiona en función del tiempo en el que demora en llenarse de GLP líquido (85% del volumen de agua del recipiente), momento en el que debe ser vaciado a un contenedor mayor (figura 2.3 y 2.4).

### **2.2.3 Equipo de vacío**

El equipo de vacío o compresor tiene como función reducir la presión en el tanque colector generando un diferencial de presión entre el cilindro a evacuar y el almacenamiento temporal (figura 2.3 y 2.4).

En las figuras mencionadas se puede observar un compresor de GLP en el sistema 1 y una bomba de vacío para el sistema 2. La selección de este dispositivo se hace a través de tablas proporcionadas por los proveedores de estos equipos.



**FIGURA 2.1 MAQUINA VOLTEADORA PARA EXTRACCIÓN DE GLP LÍQUIDO EN SISTEMA NO. 1.**



**FIGURA 2.2 EXTRACCIÓN DE GLP VAPOR EN SISTEMA NO. 2.**



**FIGURA 2.3 TANQUE COLECTOR JUNTO A COMPRESOR DE GLP DEL SISTEMA NO. 1.**



**FIGURA 2.4. BOMBA DE VACÍO JUNTO A TANQUE COLECTOR EN SISTEMA NO. 2.**



#### 2.2.4 Equipo consumidor

El equipo consumidor se refiere al sistema que hará uso del GLP recuperado. De acuerdo al tipo de instalación en el que se encuentre el sistema de evacuado, se podrá definir el uso del combustible.

Puede ser aplicado en:

- Un horno industrial (por ejemplo el de una cámara de horneado de pintura) en caso de que el mantenimiento se lo realice en el mismo sitio,
- Retornar al sistema de almacenamiento de GLP (tanques estacionarios) para ser envasado nuevamente en cilindros o despachado a través de autotanques a instalaciones industriales o domiciliarias (figura 2.5), o
- En caso de que no sea aplicable ninguna de las opciones anteriores, ser quemado mediante una tea (figura 2.6), ya que eliminando el combustible, se elimina el riesgo de existencia de áreas inflamables.



**FIGURA 2.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO (DESCARGA DEL COMPRESOR) DEL SISTEMA NO. 1.**



**FIGURA 2.6 TORRE CON ANTORCHA PARA QUEMA DE GLP RESIDUAL DEL SISTEMA NO. 2.**

# **CAPÍTULO 3**

## **3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA**

### **3.1 Evaluación de la demanda del equipo**

En la actualidad se tiene la necesidad de cumplir con la demanda de cilindros evacuados y lavados existente en el taller de mantenimiento de cilindros, por lo que en función del mismo se harán las estimaciones necesarias para el dimensionamiento del sistema.

### 3.1.1 Requerimientos del sistema

El taller del mantenimiento de cilindros tiene una capacidad instalada de procesamiento de 1200 cilindros por turno, equivalente a 150 cilindros por hora (2,5 cilindros por minuto).

Para estimar el tiempo de evacuado del GLP remanente en los cilindros domésticos es necesario deducir alguna fórmula que nos permite alcanzar este fin.

Consideraremos para el modelo que:

1. Obviando las variaciones de volumen de líquido generadas por el cambio de presión en el interior del tanque, el volumen de GLP líquido que pasa a través de la válvula es el mismo que es reemplazado por el vapor que se genera, por lo que:

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

- 2 Existen pérdidas importantes por la existencia de la válvula doméstica, las cuales son mayores a aquellas que podría generar la conducción del GLP por las tuberías del sistema de evacuación, considerando que la viscosidad del fluido es despreciable (Ecuación de Bernoulli con perdidas en el sistema).

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + \rho h_{loss}$$

3. Consideraremos que la evaporación del GLP líquido necesaria para que este se desplace utiliza una cantidad de energía pequeña (expansión isotérmica).

$$p_o s_1 (H - h_o) = p_1 s_1 (H - h); \Delta U = 0; Q = W$$

$$pV = \text{constante}$$

El enunciado 3 se puede justificar calculando el cambio de temperatura en el GLP líquido, generado por la entrega de calor necesario para la evaporación del GLP gaseoso que ocupará el volumen de líquido desplazado.

$$Q = m_{\text{liq desp}} c \Delta T = m_{\text{liq evap}} c_l$$

$$\Delta T = \frac{m_{\text{liq evap}} c_l}{m_{\text{liq desp}} c} = \frac{(\rho V)_{\text{liq evap}} c_l}{(\rho V)_{\text{liq desp}} c}$$

$$\Delta T = \frac{(2.01 * 1.293 * .001718) * 87.5}{(0.9953) * 2.47} = 0.1589^\circ C$$

Una variación de temperatura menor a 1° C puede ser considerada despreciable ya que no incide de una manera crítica en las propiedades físicas del GLP.

De estas ecuaciones podemos advertir que:

- El volumen de GLP líquido que pasa a través de la válvula es igual a la variación de vapor en el cuerpo del cilindro.
- en el cilindro, la presión producida por el vapor es más significativa respecto a la de la altura del líquido y la velocidad del fluido. En la válvula podemos verificar que los aspectos significativos a evaluar son la velocidad del flujo y las pérdidas a través de la válvula.
- Por ser una expansión isotérmica, el producto de presión y volumen del vapor se mantiene constante durante todo el proceso.

De acuerdo a las observaciones hechas en el párrafo anterior, las ecuaciones se simplifican de la siguiente manera:

$$4. \quad s_2 v_2 = \frac{dV}{dt}$$

$$5. \quad p = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \frac{1}{2} \rho k v_2^2 = \frac{1}{2} (1+k) \rho v_2^2$$

$$6. \quad p_o V_o = pV$$

Derivando (6) en función del tiempo,

$$7. \frac{dV}{dt} = -\frac{p_o V_o}{p^2} \frac{dp}{dt}$$

y reemplazando (4) en (7),

$$8. s_2 v_2 = -\frac{p_o V_o}{p^2} \frac{dp}{dt}$$

Despejamos  $v_2$  de (5), lo sustituimos en (8)

$$9. \frac{dp}{dt} \frac{1}{p^2} = -\frac{s_2}{p_o V_o} \sqrt{\frac{2p}{\rho(1+k)}}$$

Defino el término A como la parte constante de la expresión, simplificándola como se muestra

$$10. A = -\frac{s_2}{p_o V_o} \sqrt{\frac{2}{\rho(1+k)}}$$

$$11. \frac{dp}{dt} p^{-\frac{5}{2}} = A$$

Procedo a integrar (11) para encontrar el valor de p en función del tiempo,

$$12. \quad p^{-\frac{5}{2}} dp = A dt$$

$$\int_{p_0}^p p^{-\frac{5}{2}} dp = \int_0^t A dt$$

$$\left( \frac{p^{-\frac{3}{2}}}{-\frac{3}{2}} \right)_{p_0}^p = A(t - 0)$$

$$\frac{1}{\sqrt{p^3}} - \frac{1}{\sqrt{p_0^3}} = -\frac{3}{2} At$$

$$\frac{1}{\sqrt{p^3}} = \frac{1}{\sqrt{p_0^3}} - \frac{3}{2} At$$

$$\sqrt{p^3} = \frac{2\sqrt{p_0^3}}{2 - 3At\sqrt{p_0^3}}$$

$$13. \quad p = \sqrt[3]{\frac{4p_0^3}{\left(2 - 3At\sqrt{p_0^3}\right)^2}}$$

Reemplazo A en (13) y obtengo la expresión para la presión en el cilindro en función del tiempo,

$$p = \sqrt[3]{\frac{4p_0^3}{\left(2 - 3\sqrt{p_0^3} At\right)^2}}; A = -\frac{s_2}{p_0 V_0} \sqrt{\frac{2}{\rho(1+k)}}$$

$$p = \sqrt[3]{\frac{4p_0^3}{\left(2 + \frac{3s_2}{p_0 V_0} \sqrt{\frac{2p_0^3}{\rho(1+k)}} t\right)^2}}$$

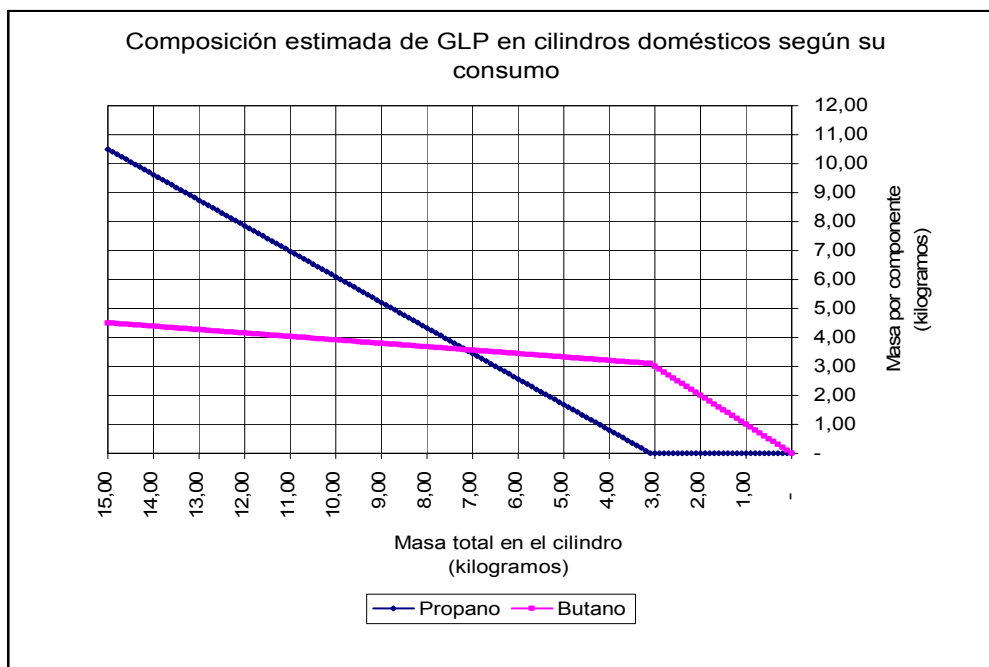


De acuerdo a la teoría de las presiones parciales, los componentes de un gas colaboran proporcionalmente en su cantidad. Según el cuadro del anexo 2, podemos observar que el propano se evapora 7,47 veces mas rápido que el butano, por lo que su porcentaje disminuirá conforme se utilice el combustible. Cuando se llega a los 3,1 kg de producto, la totalidad de la composición es butano. Por tal motivo, para el análisis del evacuado de cilindros, haremos uso de una presión manométrica de 17 psig.

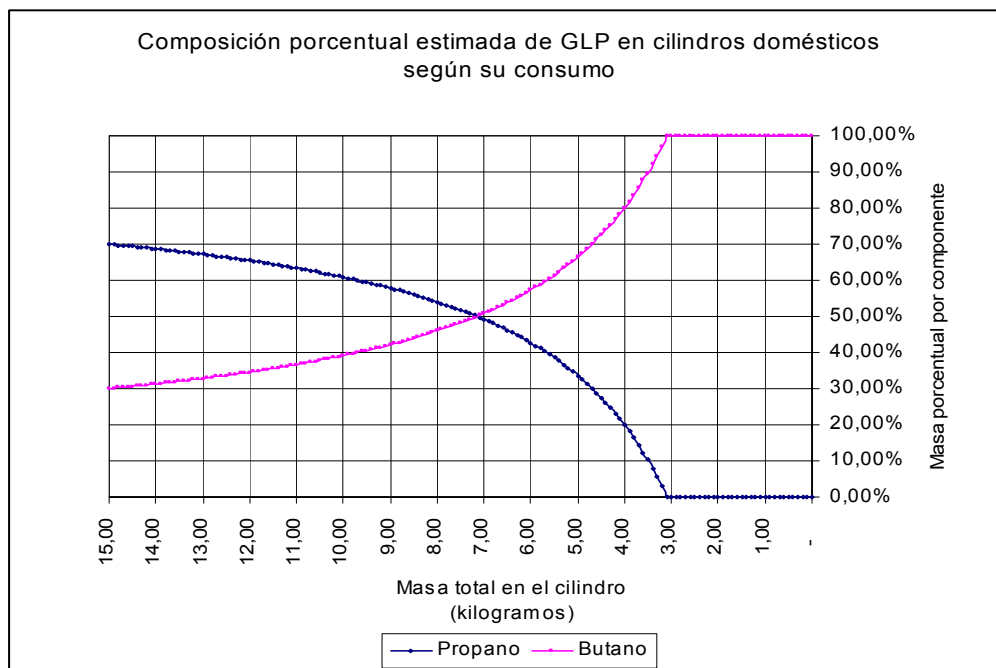
El valor de k correspondiente a las pérdidas menores se lo estima de acuerdo a la relación de las áreas de contracción y/o expansión a través de la válvula (detalle en anexo 1). A la entrada de la válvula se considera la contracción del área de la sección del cilindro a la sección de la válvula, por lo que el valor de AR corresponde a  $1,91E-5$ , cuyo valor de k es de 0,5; a la salida de la válvula se considera la expansión de la sección de la válvula a la sección de la manguera, cuya relación AR es 0,0054, que corresponde a k igual a 1. Como ambos factores afectan al mismo elemento y para la contracción y expansión se considera la velocidad más alta, se puede usar la suma de los factores en la fórmula deducida para el cálculo de la presión en la descarga.

**TABLA 2**  
**PUNTOS ESTIMADOS DE TRANSICIÓN EN MEZCLAS DE GLP EN CILINDROS DOMÉSTICOS**

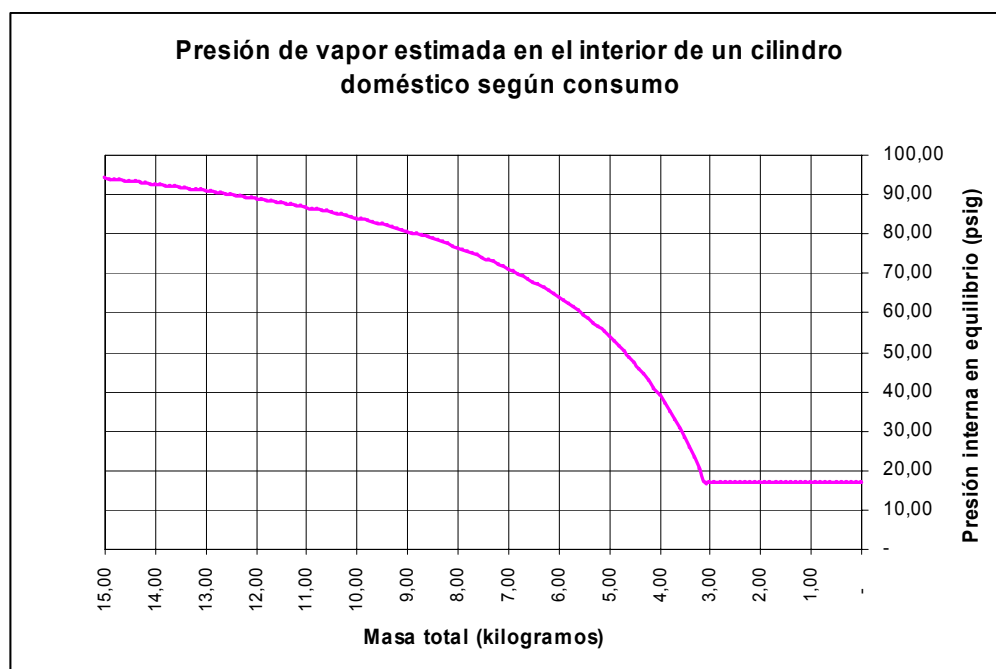
Cantidad de GLP	Propano	Butano
15 kg P = 94 psig	70% 10,5 kg P = 127 psig	30% 4,5 kg P = 17 psig
3,1 kg P = 17 psig	0% 0 kg P = 0 psig	100% 3,1 kg P = 17 psig
1 kg P = 17 psig	0% 0 kg P = 0 psig	100% 1 kg P = 17 psig



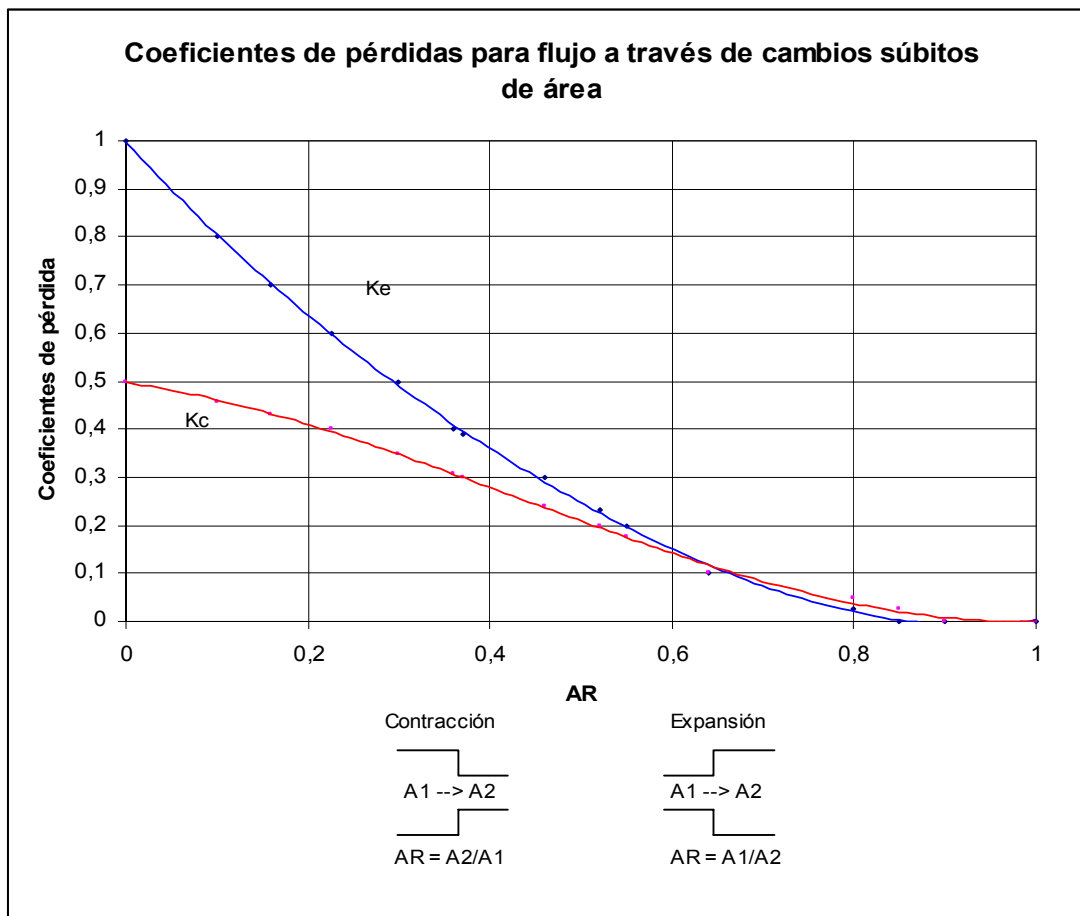
**FIGURA 3.1 COMPOSICIÓN ESTIMADA DE GLP EN CILINDROS DOMÉSTICOS SEGÚN EL CONSUMO**



**FIGURA 3.2 COMPOSICIÓN PORCENTUAL ESTIMADA DE GLP EN CILINDROS DOMÉSTICOS SEGÚN EL CONSUMO**



**FIGURA 3.3 PRESIÓN DE VAPOR ESTIMADA EN EL INTERIOR DE CILINDROS DOMÉSTICOS SEGÚN EL CONSUMO**



**FIGURA 3.4 COEFICIENTES DE PÉRDIDAS PARA FLUJO A TRAVÉS DE CAMBIOS SÚBITOS DE ÁREA (FUENTE: FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS, FOX)**

El volumen del GLP en el cilindro es de 0,001718 m<sup>3</sup> considerando una densidad de 583 kg/m<sup>3</sup>.

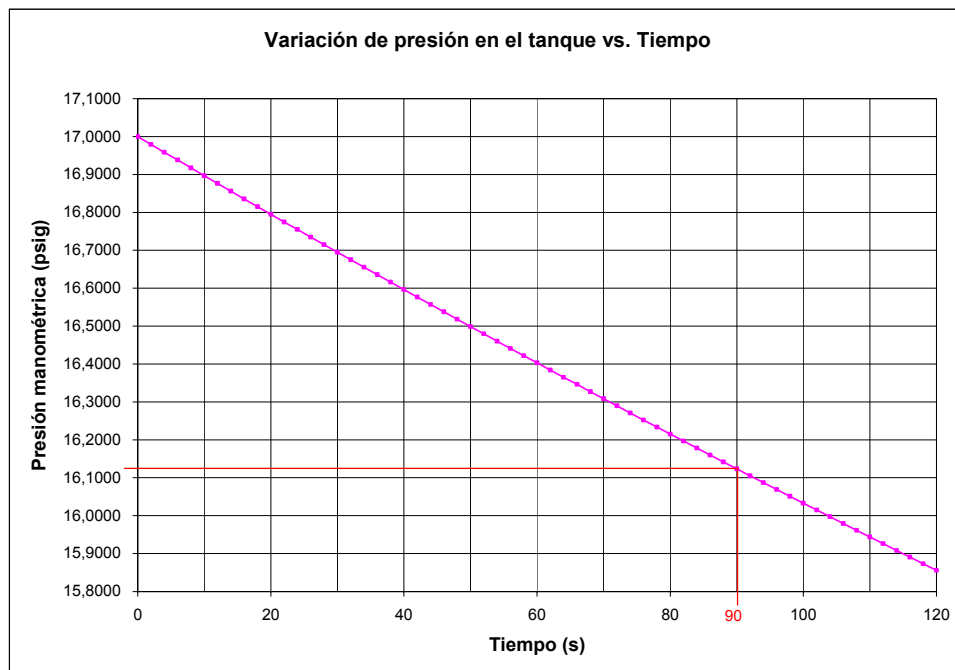
Aplicando la ecuación deducida de la presión en el cilindro, encontraremos el tiempo necesario para evacuar el GLP líquido remanente.

Graficando las curvas correspondientes a la variación de presión y volumen desplazado de GLP líquido respecto al tiempo, podemos observar que a los 90 segundos se alcanza el objetivo deseado de trasegar 0,001718 m<sup>3</sup> de GLP líquido con una variación de casi 1 psig. Cabe anotar que una vez que el GLP líquido es trasvasado, el vapor en el interior del cilindro reducirá su presión hasta la presión de la línea, es decir, 0 psig.

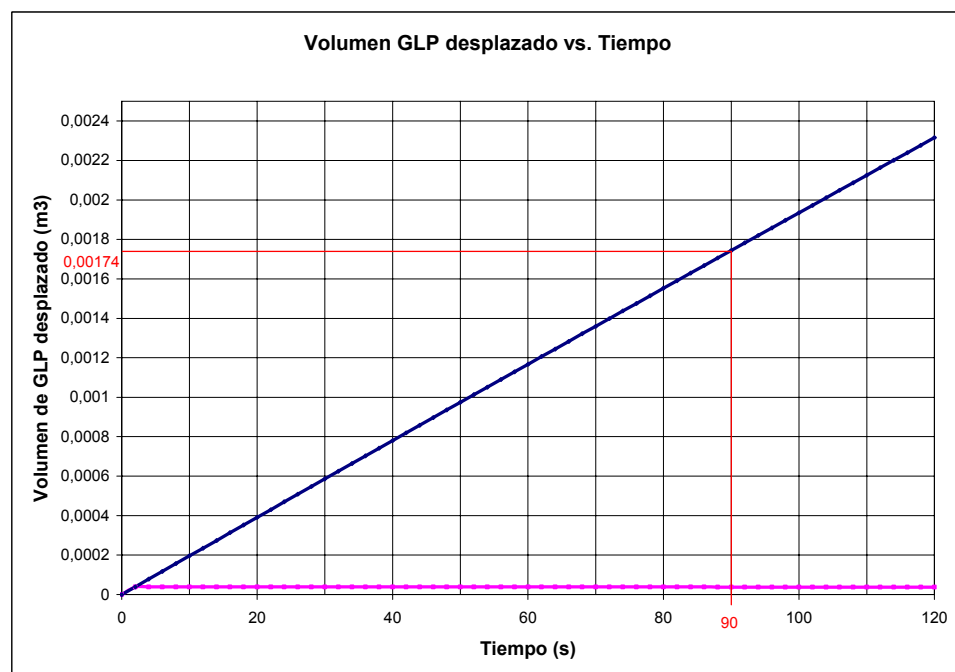
Puede verificarse que a los 90 segundos se ha evacuado todo el GLP líquido del cilindro, por lo que posterior a ello el GLP vapor que se encuentra en el interior igualará su presión a la del existente en el sistema.

Por observación directa, la manipulación del cilindro tomaría alrededor de 40 segundos: 10 hasta ubicarlo en la máquina, 5 para accionar el sistema accionamiento del cabezal de descarga y volteo, 5 segundos para la finalización del proceso y 10 segundos para el retiro del cilindro de evacuado de la máquina volteadora.

Haciendo uso de esta estimación, tenemos un total de 2 minutos 10 segundos por cilindro (ciclo de trabajo).



**FIGURA 3.5 VARIACIÓN DE PRESIÓN EN EL TANQUE DURANTE EL PROCESO DE EVACUADO DE GLP RESIDUAL**



**FIGURA 3.6 VOLUMEN DE GLP DESPLAZADO DEL TANQUE DURANTE EL PROCESO DE EVACUADO**

De acuerdo al requerimiento del taller de 2,5 cilindros por minuto, se necesitarán:

$$\frac{2,5 \text{ cilindros}}{\text{minuto}} \times \frac{2,17 \text{ minutos}}{\text{ciclo}} = \frac{5,43 \text{ cilindros}}{\text{ciclo}}$$

Este resultado nos indica que serán necesarios 6 puestos por cada ciclo de trabajo de 2 minutos 10 segundos.

### 3.2 Diseño del banco de vaciado

Como puede observarse en las imágenes tomadas de las máquinas de evacuado, el trasiego de GLP residual de cilindros se puede realizar con la válvula hacia abajo, ya que se logra que la fase líquida sea trasvasada por gravedad, o con la válvula hacia arriba para evacuar el GLP en fase vapor, lo que requeriría mucha más energía para poder evaporar el líquido remanente, aumentando los costos operativos; además, nos encontraremos con problemas de autorefrigeración de los recipientes, lo cual representaría un problema adicional en el proceso de evacuado, a más del consiguiente envejecimiento del material sujeto a ciclos térmicos (entre la temperatura ambiental y la temperatura de evaporación del GLP líquido).

Se debe realizar una modificación en el diseño para colocar al cilindro en posición completamente invertida para facilitar su vaciado.

Si tomamos el modelo de la máquina volteadora para la evacuación de GLP líquido, nos daremos cuenta que para lograr el objetivo es necesario acortar la longitud del brazo neumático que mueve el cabezal que se ajusta sobre la válvula, así como modificar la base de la bancada para que permita la inversión completa del tanque.

### **3.3 Dimensionamiento de tuberías**

Para dimensionar las tuberías que transportan el GLP líquido de los tanques a la tubería principal debemos considerar un diámetro que no genera pérdidas importantes. De acuerdo a los datos revisados en el punto 2.1.1 la sección mínima por la que atraviesa el GLP evacuado es de 0,0154 cm<sup>2</sup> (diámetro equivalente de 0,7 mm) en la válvula; si consideramos este diámetro para las líneas de evacuación, generaría una restricción importante en la línea y ya no podríamos considerar el supuesto de que las pérdidas mayores son despreciables.



Considerando que a nivel comercial los elementos hidráulicos más comunes son de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro, haremos uso de accesorios y mangueras de esta medida para las líneas en mención, manteniendo la concepción de que el valor mínimo de la sección de la tubería colectora debe ser equivalente a la suma de las secciones de las tuberías que recibe, el diámetro interno de la tubería colectora debe ser de 1,23"; por lo general, las conexiones a los tanques son de 2", por lo que usaremos tubería de este diámetro. En función de estos valores, podemos observar que existe un sobre dimensionamiento del 260%, lo que nos permitiría ampliar la instalación hasta en 9 puestos más (15 puestos en total).



**FIGURA 3.7 MÁQUINA VOLTEADORA DE CILINDROS LLENOS CON FUGAS PARA EVACUACIÓN DE GLP LÍQUIDO**

### **3.3.1 Análisis termodinámico**

Durante el trasvase del GLP el efecto no deseado es el de autorefrigeración el cual se da en el momento en el que existe un cambio de fase de líquido a vapor por la necesidad de absorción de energía del GLP.

Para evitar este efecto se debe garantizar que en las tuberías no se dará la vaporización de GLP, lo cual se puede hacer evitando que haya puntos bajos en el sistema de tuberías.

Para reducir la evaporación del GLP es factible aislar los elementos que contengan el GLP líquido para reducir la transferencia de calor.

### **3.3.2 Eliminación de efectos no deseados**

Por el motivo mencionado, las tuberías de GLP que van desde las maquinas evacuadoras hasta el tanque colector deben tener pendiente negativa de manera que haya flujo por gravedad, la cual debe ser conectada en la parte superior del tanque colector.

En lo que se refiere a la tubería que va desde el tanque colector al compresor, esta se requiere que se conecte a la parte superior del tanque para evitar el posible ingreso de GLP líquido a la cámara de compresión lo cual podría provocar la falla del equipo.

### **3.4 Dimensionamiento de tanque colector**

El dimensionamiento del tanque colector se hace en función del tiempo de autonomía que se desea en el sistema. Considerando la producción diaria de 1200 cilindros a razón de 1 kilogramo de GLP por recipiente evacuado, es necesario un tanque cuya capacidad mínima sea de 1200 kilogramos de GLP, es decir, 2,1 metros cúbicos de producto. Como la norma exige que los tanques estacionarios no excedan el 85% de su capacidad de agua, el tanque debe tener un volumen interno mínimo de 2.4 metros cúbicos. Para este caso se usará un tanque de 3 metros cúbicos de capacidad de agua.

Cabe considerar que la estimación del volumen del tanque es muy conservadora ya que no se está considerando el volumen de GLP vapor desplazado por el compresor, lo que incrementa de una manera importante la autonomía del sistema.

### **3.5 Selección de equipo de trasvase**

Para la selección del equipo de vacío, debemos recordar que el GLP al evaporarse ocupa un espacio aproximado de 200 veces su volumen en estado líquido.

De acuerdo al cálculo efectuado para la obtención del número de puestos necesarios para alcanzar el objetivo de 1200 cilindros diarios, se requieren 90 segundos para evacuar 6 cilindros domésticos (6 kilogramos de GLP líquido), equivalente a 4 kilogramos por minuto. Esto implica un equivalente de 6,86 litros por minuto de GLP líquido (0,412 metros cúbicos por hora).

Consultando la tabla de selección de compresores de la compañía Blackmer, se puede verificar que el compresor de GLP más pequeño que posee es el modelo LB161, acoplado a un motor de 2 KW y 425 RPM, con el cual se pueden transferir 186 litros de GLP líquido por minuto. Su desplazamiento de pistón es de 240 litros por minuto (14,4 metros cúbicos por hora). El diámetro de tubería a su entrada es de 2" y a la salida de 1" (se recomienda que para longitudes superiores a 30 metros se aumente el diámetro de la tubería para reducir las pérdidas de presión).

Se podría considerar que el GLP se evapora en su totalidad, caso en el que requeriría utilizar un compresor con capacidad de 1200 litros por minuto (72 metros cúbicos por hora) de desplazamiento de vapor.

En el mercado son pocos los proveedores que proporcionan equipos con características antideflagrantes, haremos uso del compresor mencionado en el párrafo anterior con la intención de desplazar únicamente el GLP líquido y no de evaporarlo, ya que en el segundo caso tendríamos problemas de autorefrigeración y mayor consumo de energía. Para ello, es necesario instalar un interruptor automático de presión para hacer que el compresor trabaje en un rango de presiones (entre 0 y -5 psig), evitando que trabaje por largos periodos, así como la posible reducción de presión excesiva que causaría la implosión del tanque colector.

# **CAPÍTULO 4**

## **4. ANÁLISIS DE COSTOS**

### **4.1 Inversión inicial**

En vista de que no se encuentra definida ninguna ubicación física para este proyecto, se especificaran dimensiones estimadas de acuerdo a los datos existentes.

Estimando un espacio físico de 225 metros cuadrados, necesarios para almacenar 1200 cilindros para una jornada (distribuido en 4 bloques de 15 x 10 x 2 unidades), se requerirán alrededor de 60 metros de transportador de cadena para cilindros.

Para la instalación del sistema de evacuación de GLP residual en cilindros domésticos debemos considerar los siguientes elementos, definidos según el capítulo anterior de la siguiente manera:

- 60 metros de transportadores de cadena,
- Banco de vaciado, con 6 puestos para volteo de cilindros,
- 60 metros de tubería de 2", mangueras y accesorios de 1/2",
- 1 tanque estacionario para almacenamiento temporal para GLP líquido de 3 m<sup>3</sup> y sus accesorios,
- 1 compresor de GLP de 2 kW de potencia,
- Instalaciones antideflagrantes

En las siguientes tablas se detalla el material a utilizar para la construcción e instalación de los elementos constituyentes del sistema de recuperación de GLP residual, así como la mano de obra requerida.

TABLA 3

**PRESUPUESTO TRANSPORTADOR DE CADENA PARA  
CILINDROS DOMÉSTICOS (POR METRO LINEAL)**

<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Uni</b>	<b>V. Unit</b>	<b>Total</b>
Perfil UPN 60	2,20	m	10,15	22,34
Perfil C 50x25x3	4,00	m	13,19	52,75
Abrazaderas fundidas	2,00	uni	15,00	30,00
Abrazaderas platina	2,00	uni	2,00	4,00
Pernos de expansión 1/2"x4"	2,00	uni	4,00	8,00
Cadena	4,00	m	56,00	224,00
Motorreductor 3 HP	0,07	uni	3.100,00	206,67
Mano de obra	16,67	kg	3,00	50,00
<b>Total</b>				<b>597,76</b>
Valor de 60 metros de transportador				<b>35.865,60</b>

TABLA 4

**PRESUPUESTO BANCO PARA EVACUACIÓN (PAR DE PUESTOS)**

<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Uni</b>	<b>V. Unit</b>	<b>Total</b>
Perfil UPN 60	13,00	m	10,15	132,00
Placas de 1/2"	1	glb	60,00	60,00
Visor de paletas	2,00	uni	30,00	60,00
Brazo neumático 100 mm	2	uni	120,00	240,00
Cadena	1,2	m	10,00	12,00
Cabezal de descarga	2	uni	120,00	240,00
Pernos de expansión 1/2"x4"	6	uni	4,00	24,00
Sistema neumático	1	glb	400,00	400,00
Mano de obra	200,00	kg	1,00	200,00
<b>Total</b>				<b>1.368,00</b>
Valor de 3 pares de puestos				<b>4.104,00</b>



**TABLA 5**  
**PRESUPUESTO DE TUBERÍAS**

<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Uni</b>	<b>V. Unit</b>	<b>Total</b>
Tubería 2" ced. 80	60	m	3,20	191,77
Manguera flexible 1/2" ref.	12	m	12,00	144,00
Accesorios roscados cls 300	1	glb	200,00	200,00
Mano de obra calificada	60	m	4,00	240,00
Total				775,77

**TABLA 6**  
**PRESUPUESTO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA TEMPORAL Y ACCESORIOS**

<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Uni</b>	<b>V. Unit</b>	<b>Total</b>
Tanque de 3 metros cúbicos	1	uni	5.000,00	5.000,00
Válvulas exceso de flujo 2"	2	uni	120,00	240,00
Manómetro-vacuómetro	1	uni	60,00	60,00
Válvula de alivio de presión	1	uni	50,00	50,00
Válvula de globo cls 300 2"	1	uni	30,00	30,00
Total				5.380,00

**TABLA 7**  
**PRESUPUESTO DE COMPRESOR DE GLP**

<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Uni</b>	<b>V. Unit</b>	<b>Total</b>
Compresor Blackmer LB161	1	uni	12.000,00	12.000,00
Fundación y anclaje de compresor	1	glb	650,00	650,00
Total				12.650,00

**TABLA 8**  
**PRESUPUESTO DE INSTALACIONES ANTIDEFLAGRANTES**

<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Uni</b>	<b>V. Unit</b>	<b>Total</b>
Instalación general, incluyendo tuberías rígidas, cortafuegos, tuberías flexibles antideflagrantes	1	uni	4.200	4.200
Total				4.200

**TABLA 9**  
**PRESUPUESTO DE RESUMEN DE RUBROS**

Transportador de cadena (por metro lineal)	35.865,60
Banco de evacuado (par de puestos)	4.104,00
Tuberías	775,77
Tanque de almacenamiento temporal y accesorios	5.380,00
Compresor	12.650,00
Instalaciones antideflagrantes	4.200,00
<b>Total inversión inicial</b>	<b>62.975,37</b>

#### **4.2 Costos operativos**

Los costos operativos se refieren a todos los gastos incurridos para mantener el funcionamiento del sistema de recuperación de GLP residual:

- ç Mano de obra
- ç Mantenimiento del sistema
- ç Energía eléctrica

Se requerirán dos personas por turno. Si consideramos un costo de US\$ 1,60 por hora-hombre, implicaría un costo de US\$ 2,40 por hora laborada. Asumiendo que se laborara 360 días en el año, en jornadas de 8 horas diarias, se tendría un total de 5760 horas hombre, lo que equivale a un valor de US\$ 9.216,00 anuales.

En lo que se refiere al mantenimiento, todos los elementos, a excepción del compresor, no requieren mayor mantenimiento. Normalmente un compresor con las características seleccionadas requerirá un mantenimiento a las 8.000 horas, lo que correspondería aproximadamente a 3 años. El costo se aproximaría a US\$ 2.000,00. Se puede adicionar un valor de US\$ 500,00 por trabajos de pintura en todo el sistema.

Así mismo, el consumo energético se reduce al compresor, el cual tiene una potencia de 2 kW, por lo que se estima un consumo de 2.920 KW-hr al año (funcionamiento de 4 horas por día). Si el valor del KW-hr industrial para grandes consumidores es de \$ 0,058, anualmente habrá que pagar un valor de US\$ 169,36. Asumiendo un aumento del 25% por impuestos, la tasa será de US\$ 211,70.

Considerando todos los valores anteriormente mencionados, y asumiendo que el GLP recuperado (316,8 TM) sea vuelto a envasar en cilindros domésticos, con un ingreso de US\$ 0,10 por kilo, obtendremos el flujo de caja mostrado en la tabla 4-8. La Tasa Interna de Retorno (TIR) resultante para 6 años es del 25%.

Se ha utilizado como período de operación del sistema 6 años, siendo muy conservador el cálculo considerando que el tiempo de vida contemplada para maquinarias es de 10 años. En caso de que se considere una vida de proyecto de 10 años, la TIR es del 31%.

Como podemos observar, el GLP recuperado y vuelto a envasar genera ingresos superiores a la inversión y los gastos de operación después del primer año, lo que indica que el proyecto es plenamente viable. Sin embargo, hay que considerar que en la actualidad el valor comercial del GLP para uso doméstico se encuentra subsidiado, por lo que las condiciones que se encuentran en este documento pueden variar notablemente.

**TABLA 10**  
**FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO**

<b>Periodo</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Egresos							
Inversión	62.976	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-	-	-	2.500	-	-	-
M.O.	-	9.216	9.216	9.216	9.216	9.216	9.216
Energía eléctrica	-	212	212	212	212	212	212
<b>Total egresos</b>	<b>62.976</b>	<b>9.428</b>	<b>9.428</b>	<b>11.928</b>	<b>9.428</b>	<b>9.428</b>	<b>9.428</b>
Ingresos							
GLP recuperado	-	31.200	31.200	31.200	31.200	31.200	31.200
Flujo de Caja	62.976	21.772	21.772	19.272	21.772	21.772	21.772
TIR	25%						

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- De acuerdo a los datos obtenidos mediante los cuales se sustenta esta tesis, podemos encontrar que la adaptación tecnológica de los sistemas de recuperación de GLP de los que se obtuvo información es viable,
- La implementación del sistema de recuperación de GLP residual resulta conveniente, ya que a más de reducir las emisiones de este

combustible al medio ambiente a un costo razonable, puede llegar a generar ingresos a mediano plazo. Adicional a ello hay que considerar los beneficios consiguientes como la minimización de riesgos de accidentes por el mejoramiento del área de trabajo.

- La TIR del 25% nos indica que el proyecto es atractivo para su ejecución, ya que la tasa de interés bancaria se encuentra por el 12%. El riesgo de inversión depende de las condiciones en las que se encuentre el mercado energético.
- Si el sistema es implementado en un taller de mantenimiento externo a la envasadora de cilindros domésticos puede recurrirse a la quema del GLP residual, con un costo de operación promedio de US\$ 0,048 por unidad desgasificada.

### **Recomendaciones:**

- La implementación del sistema de evacuación de GLP residual en talleres de mantenimiento de cilindros domésticos tendría un cambio positivo en lo que se refiere a la mejora de la calidad del ambiente de trabajo. Hay que considerar que una de las exigencias para calificar a



un Sistema de Gestión Ambiental, como la ISO 14001, es la de reducir o eliminar las emisiones contaminantes al medio ambiente.

- En caso de que las condiciones del mercado energético sean favorables para la continuación de operación del sistema de recuperación de GLP residual, es conveniente extender el tiempo del proyecto a 10 años ya que la TIR aumenta al 31% y los costos por unidad desgasificada se reduce a US\$ 0,038, haciendo aún más atractivo el proyecto.
- En caso de que por razones de espacio sea necesario reducir las dimensiones del sistema de evacuación, es factible hacer uso de un compresor de mayor tamaño para la evaporación total de GLP, de manera que en las tuberías se desplace el combustible en fase de vapor, a cuenta de que se requerirá mayor cantidad de energía para este proceso así como la aparición de escarcha en los recipientes evacuados debido al efecto de la autorefrigeración. El consumo de energía se elevara en 8 veces lo que disminuiría notablemente los ingresos que pudiesen generarse.

# **ANEXOS**

ANEXO 1

DETALLE DE VÁLVULA UTILIZADA EN CILINDROS DE GLP PARA  
CONSUMO DOMÉSTICO



## ANEXO 2

### TABLA DE PRESIÓN Y VOLUMEN DE GLP LÍQUIDO DESPLAZADO ESTIMADOS

A            0,00    m2  
 Po        117.952,05    Pa  
 Vo            0,03    m3

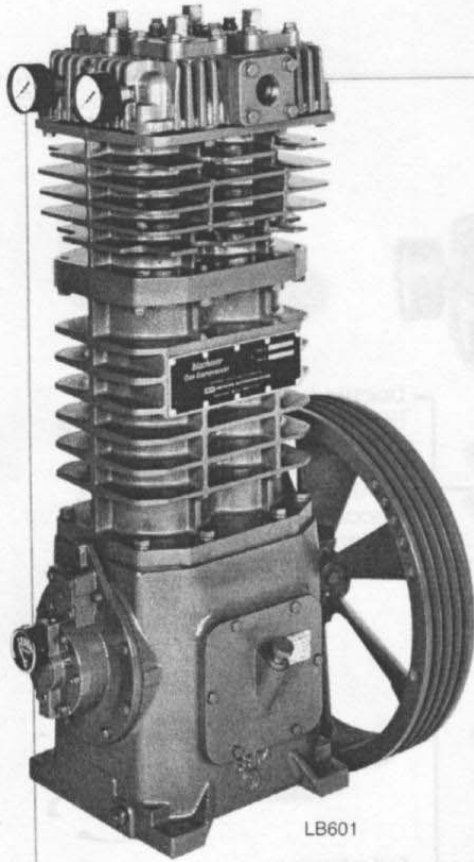
t seg	p psi	p KPa	v m/s	V caudal m3/s	V parcial m3	V acum m3
0	17,0000	1.722	12,7551	1,96349E-05	0	0
2	16,9792	1.720	12,7473	1,96229E-05	3,92579E-05	3,92579E-05
4	16,9585	1.718	12,7395	1,96110E-05	3,92339E-05	7,84918E-05
6	16,9379	1.716	12,7318	1,95990E-05	3,92100E-05	0,000117702
8	16,9173	1.714	12,7240	1,95871E-05	3,91861E-05	0,000156888
10	16,8967	1.712	12,7163	1,95752E-05	3,91623E-05	0,000196050
12	16,8763	1.710	12,7086	1,95634E-05	3,91386E-05	0,000235189
14	16,8559	1.707	12,7009	1,95515E-05	3,91149E-05	0,000274304
16	16,8355	1.705	12,6932	1,95397E-05	3,90913E-05	0,000313395
18	16,8152	1.703	12,6856	1,95280E-05	3,90677E-05	0,000352463
20	16,7950	1.701	12,6780	1,95162E-05	3,90442E-05	0,000391507
22	16,7749	1.699	12,6704	1,95045E-05	3,90207E-05	0,000430528
24	16,7548	1.697	12,6628	1,94928E-05	3,89973E-05	0,000469525
26	16,7347	1.695	12,6552	1,94811E-05	3,89739E-05	0,000508499
28	16,7147	1.693	12,6476	1,94695E-05	3,89507E-05	0,000547449
30	16,6948	1.691	12,6401	1,94579E-05	3,89274E-05	0,000586377
32	16,6750	1.689	12,6326	1,94463E-05	3,89042E-05	0,000625281
34	16,6552	1.687	12,6251	1,94348E-05	3,88811E-05	0,000664162
36	16,6354	1.685	12,6176	1,94233E-05	3,88580E-05	0,000703020
38	16,6157	1.683	12,6101	1,94118E-05	3,88350E-05	0,000741855
40	16,5961	1.681	12,6027	1,94003E-05	3,88121E-05	0,000780667
42	16,5765	1.679	12,5952	1,93889E-05	3,87891E-05	0,000819456
44	16,5570	1.677	12,5878	1,93774E-05	3,87663E-05	0,000858223
46	16,5376	1.675	12,5804	1,93661E-05	3,87435E-05	0,000896966
48	16,5182	1.673	12,5730	1,93547E-05	3,87207E-05	0,000935687
50	16,4988	1.671	12,5657	1,93434E-05	3,86980E-05	0,000974385
52	16,4796	1.669	12,5583	1,93321E-05	3,86754E-05	0,001013060
54	16,4603	1.667	12,5510	1,93208E-05	3,86528E-05	0,001051713
56	16,4412	1.665	12,5437	1,93095E-05	3,86303E-05	0,001090344
58	16,4220	1.664	12,5364	1,92983E-05	3,86078E-05	0,001128951
60	16,4030	1.662	12,5291	1,92871E-05	3,85854E-05	0,001167537
62	16,3840	1.660	12,5219	1,92759E-05	3,85630E-05	0,001206100
64	16,3650	1.658	12,5146	1,92648E-05	3,85407E-05	0,001244640
66	16,3461	1.656	12,5074	1,92536E-05	3,85184E-05	0,001283159
68	16,3273	1.654	12,5002	1,92425E-05	3,84962E-05	0,001321655

TABLA DE PRESIÓN Y VOLUMEN DE GLP LÍQUIDO DESPLAZADO ESTIMADOS (CONTINUACIÓN)

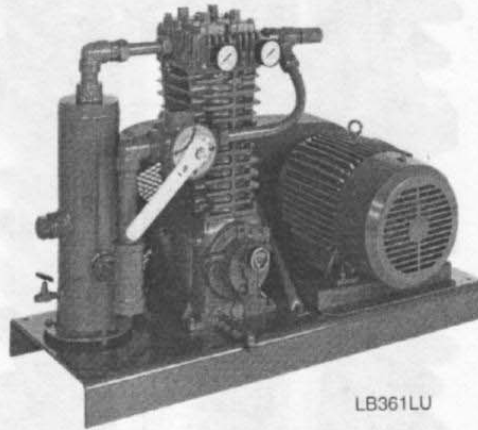
72	16,2898	1.650	12,4858	1,92204E-05	3,84519E-05	0,001398581
74	16,2711	1.648	12,4787	1,92094E-05	3,84298E-05	0,001437011
76	16,2525	1.646	12,4715	1,91984E-05	3,84078E-05	0,001475418
78	16,2339	1.644	12,4644	1,91874E-05	3,83858E-05	0,001513804
80	16,2154	1.643	12,4573	1,91765E-05	3,83639E-05	0,001552168
82	16,1969	1.641	12,4502	1,91655E-05	3,83420E-05	0,001590510
84	16,1785	1.639	12,4431	1,91547E-05	3,83202E-05	0,001628830
86	16,1601	1.637	12,4360	1,91438E-05	3,82984E-05	0,001667129
88	16,1418	1.635	12,4290	1,91329E-05	3,82767E-05	0,001705405
90	16,1236	1.633	12,4220	1,91221E-05	3,82550E-05	0,001743660
92	16,1054	1.631	12,4149	1,91113E-05	3,82334E-05	0,001781894
94	16,0872	1.630	12,4079	1,91005E-05	3,82118E-05	0,001820106
96	16,0691	1.628	12,4010	1,90898E-05	3,81903E-05	0,001858296
98	16,0510	1.626	12,3940	1,90791E-05	3,81688E-05	0,001896465
100	16,0330	1.624	12,3870	1,90684E-05	3,81474E-05	0,001934612
102	16,0151	1.622	12,3801	1,90577E-05	3,81260E-05	0,001972738
104	15,9972	1.621	12,3732	1,90470E-05	3,81047E-05	0,002010843
106	15,9793	1.619	12,3663	1,90364E-05	3,80834E-05	0,002048926
108	15,9615	1.617	12,3594	1,90258E-05	3,80622E-05	0,002086989
110	15,9438	1.615	12,3525	1,90152E-05	3,80410E-05	0,002125030
112	15,9261	1.613	12,3456	1,90046E-05	3,80198E-05	0,002163049
114	15,9084	1.612	12,3388	1,89941E-05	3,79987E-05	0,002201048
116	15,8908	1.610	12,3320	1,89836E-05	3,79777E-05	0,002239026
118	15,8733	1.608	12,3252	1,89731E-05	3,79567E-05	0,002276983
120	15,8558	1.606	12,3184	1,89626E-05	3,79357E-05	0,002314918

ANEXO 3  
 TABLA DE SELECCIÓN DE COMPRESORES BLACKMER

# COMPRESSOR SELECTION



LB601



LB361LU

To select a compressor that best fits your application requirements, use the charts shown. The data provided is based on approximate delivery rates when handling propane or anhydrous ammonia. Actual capacities will depend upon line restrictions, size and length of piping. Horsepower requirements for both liquid transfer and vapor recovery applications are based on moderate climatic conditions.

## ENGINEERING SPECIFICATIONS

	COMPRESSOR MODEL			
	LB161 LB162	LB361 LB362	LB601 LB602	LB942
Bore - Inches (mm)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	4.625 (117.4)	4.625* (117.4)
Stroke - Inches (mm)	2.5 (63.5)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	4.0 (101.6)
Piston Displacement CFM (m <sup>3</sup> /h)				
@ 100 rpm	2.0 (3.4)	4.3 (7.3)	7.7 (13.1)	14.9 (25.38)
@ 825 rpm	16.5 (28.0)	35.5 (60.3)	63.5 (107.9)	123 (209)
Compressor Speed				
Minimum rpm	350	350	350	350
Maximum rpm	825	825	825	835
Maximum Working Pressure - psia (kPa)	350 (2413)	350 (2413)	350 (2413)	425 (2931)
Maximum Brake Horsepower (kw)	7.5 (6)	15 (11)	30 (22)	50 (37)
Max. Discharge Temperature °F (°C)	350 (177)	350 (177)	350 (177)	350 (177)
Max. Compression Ratio <sup>1</sup>				
Continuous Duty <sup>2</sup>	5	5	5	5
Intermittent Duty <sup>2</sup>	9	9	9	9

\*Double acting

<sup>1</sup> Compression Ratio defined as absolute discharge pressure divided by absolute inlet pressure.

<sup>2</sup> Compression Ratios are limited by discharge temperature. High compression ratios can create excessive heat, i.e., over 350°F (117°C). The duty cycle must provide for adequate cooling time between periods of operation to prevent excessive operating temperature.

## COMPRESSOR SELECTION DATA: PROPANE AND ANHYDROUS AMMONIA

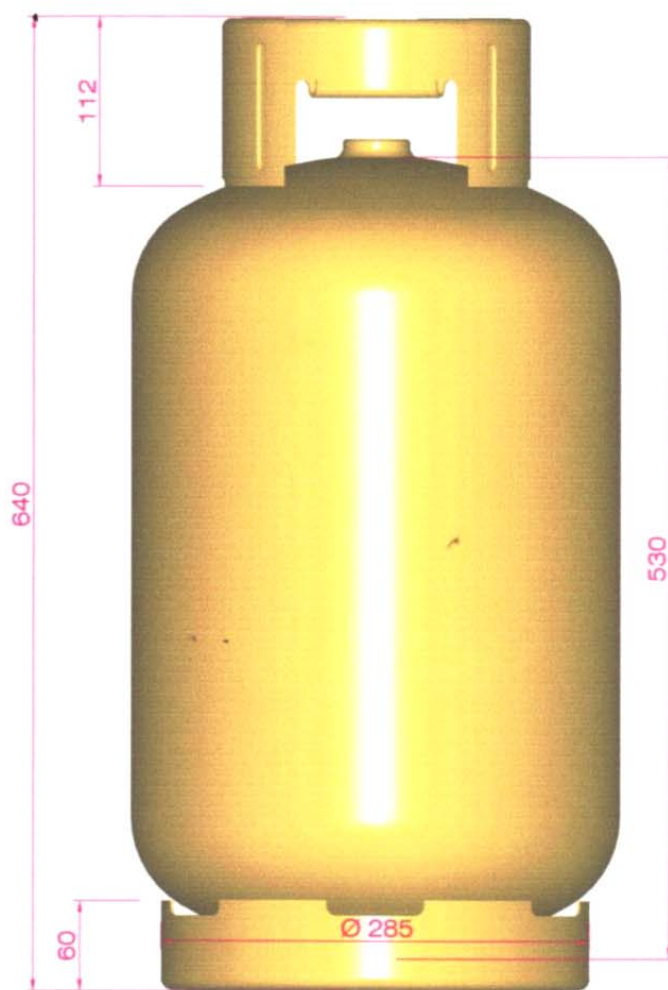
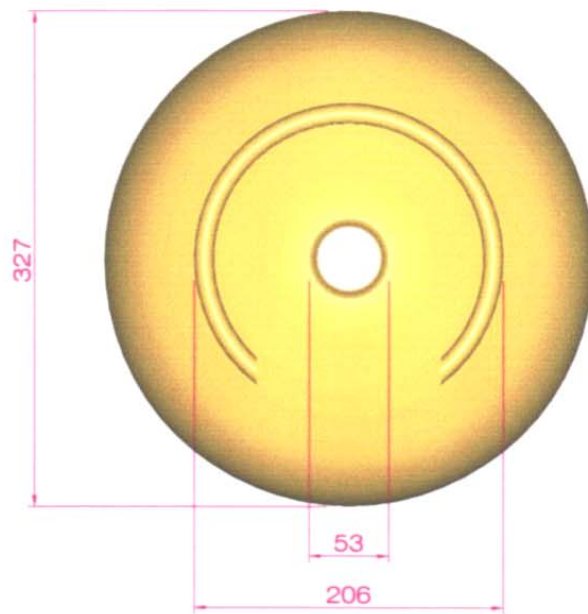
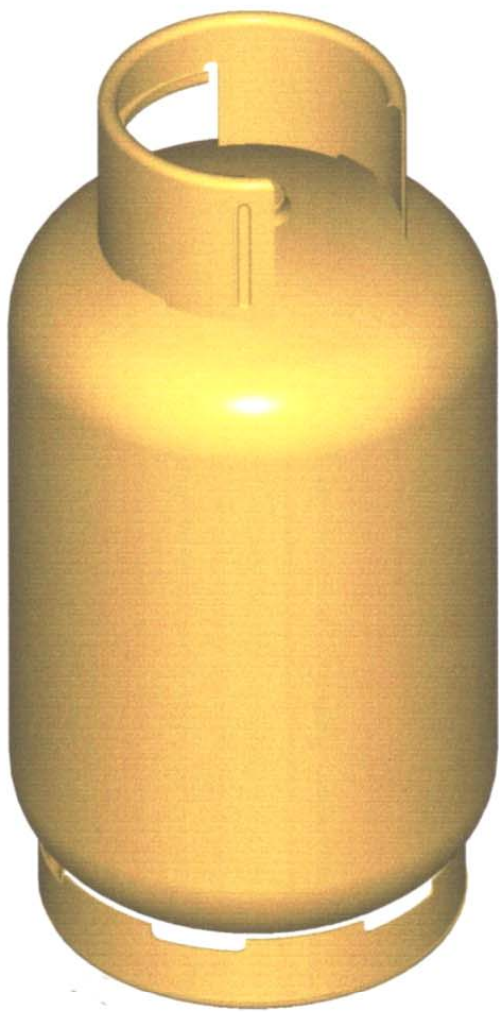
MODEL	SPEED	APPROXIMATE LIQUID TRANSFER DELIVERY <sup>1</sup>		PISTON DISPLACEMENT		DRIVER SIZE <sup>2</sup>		PIPE DIAMETER <sup>3</sup>			
								VAPOR		LIQUID	
								IN.	MM	IN.	MM
LB161 LB162	425*	49	186	8.5	14.4	3	2	1	25	2	50
	660	65	246	11.2	19.0	5	4				
	715*	83	314	14.3	24.3	5	4				
	780	90	341	15.6	26.5	7.5	6				
	825*	95	360	16.5	28.0	7.5	6				
LB361 LB362	495*	123	466	21.3	36.2	7.5	6	1 1/4	32	2 1/2	65
	540	134	507	23.2	39.5	10	7				
	650*	161	609	28.0	47.5	10	7				
	780	194	734	33.5	57.0	15	11				
LB601 LB602	550	245	927	42.4	72.0	15	11	1 1/2 - 2	38 - 50	3	80
	640	285	1079	49.3	83.7	20	15				
	735*	327	1238	56.6	96.2	20	15				
	790*	351	1329	60.8	103.4	25	19				
LB942	470	400	1514	70	119	25	19	2 - 2 1/2	50 - 65	4	100
	565	480	1817	84	143	30	22				
	750	640	2422	112	190	40	30				
	825	700	2650	123	209	50	37				

\*Maximum rpm for each respective motor horsepower.

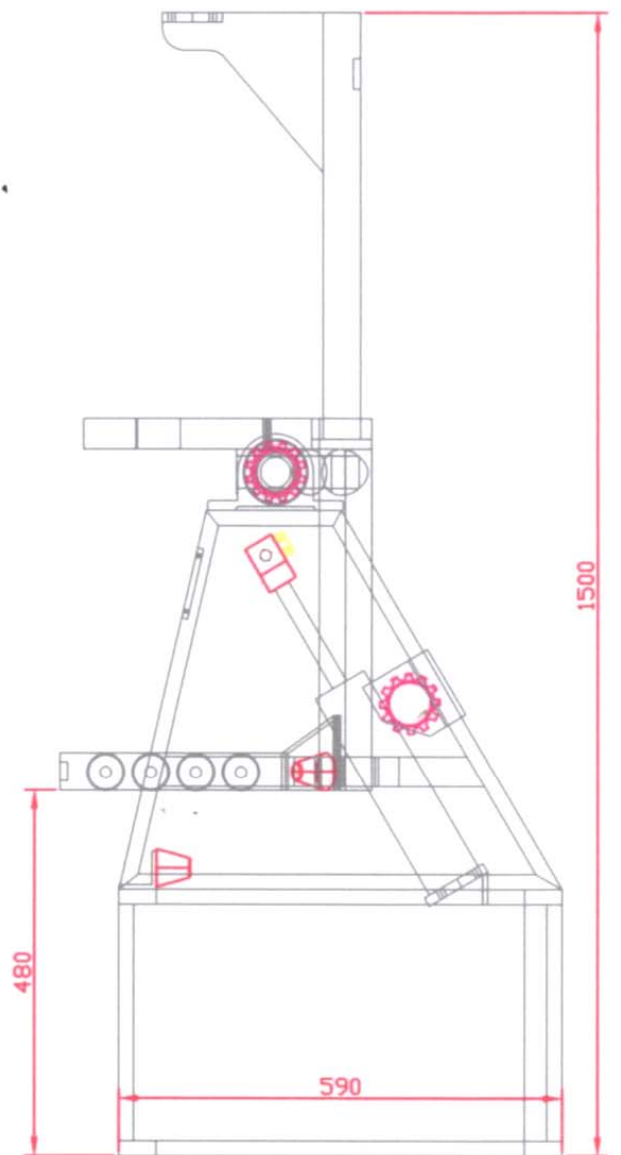
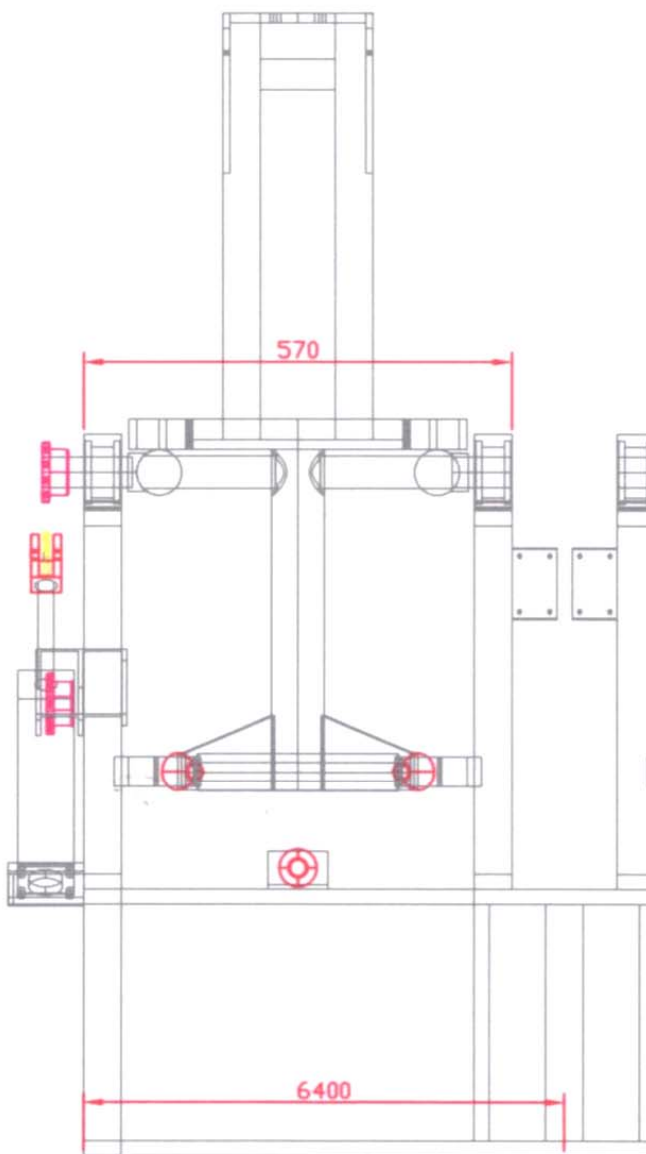
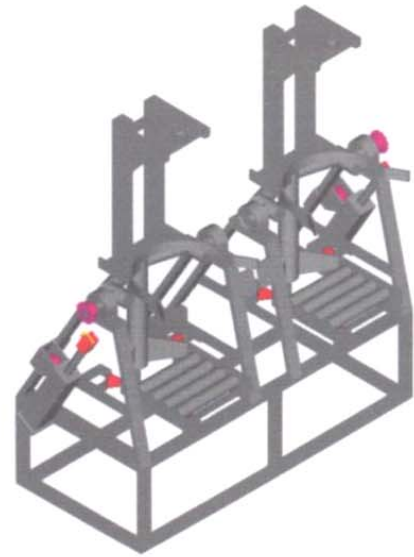
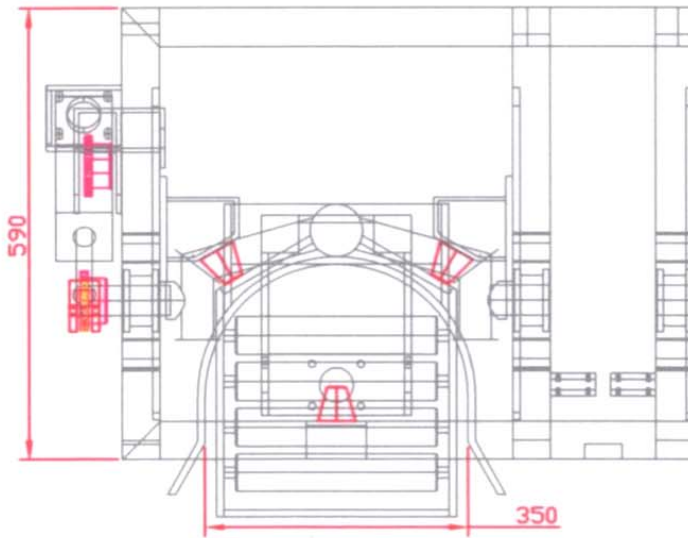
<sup>1</sup> Delivery will depend on proper system design, pipe sizing and valve capacity.

<sup>2</sup> Horsepower is for liquid transfer and vapor recovery in moderate climates. For liquid transfer without vapor recovery, horsepower will be lower. For severe climates, contact your Blackmer representative for horsepower required.

<sup>3</sup> Use next larger pipe size if piping exceeds 100 feet (30 meters).

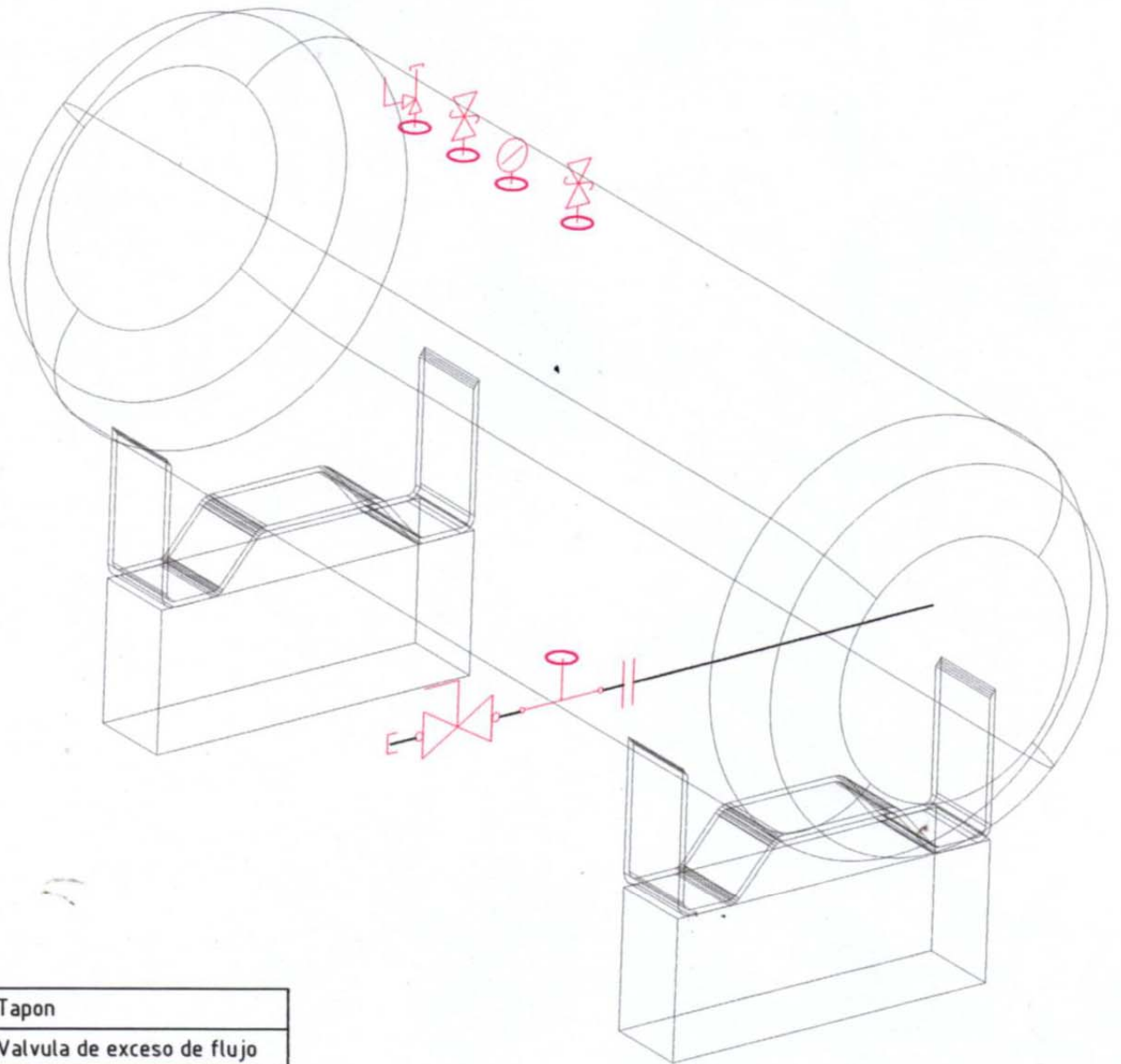


Cantidad	1 uni	Cilindro domestico para 15 kg de GLP			
Dibujado por:	A. Vargas	Revisado por:	PhD. Barriga	Aprobado por:	PhD. Barriga
		Fecha dibujo:	25-11-07	Fecha aprobacion:	08-01-08
FIMCP-ESPOL			SISTEMA DE EVACUACION DE GLP		
Materiales: Acero bajo carbono				Edicion	Plano
				3	01



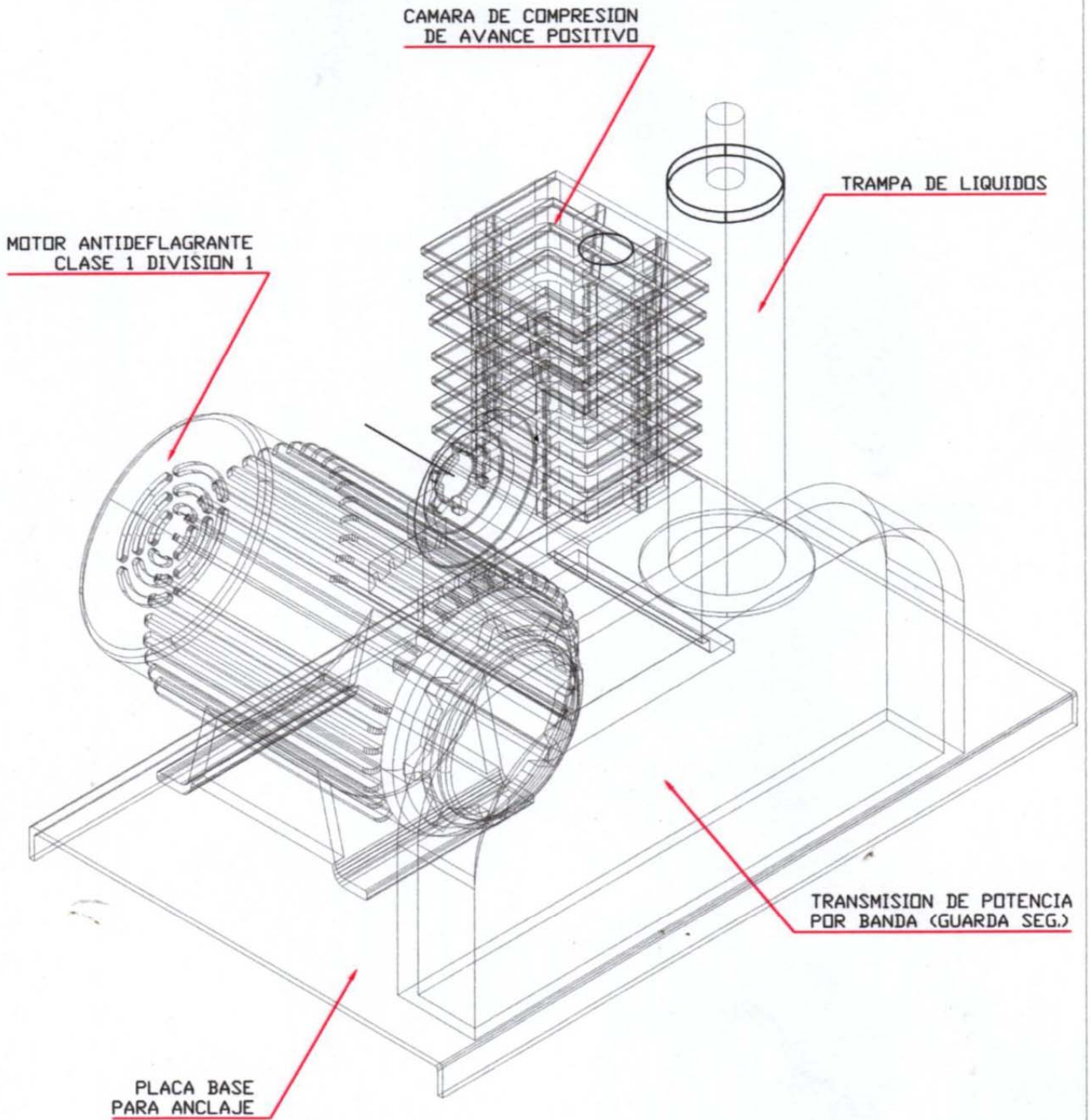
Cantidad	3 uni	Maquina volteadora para evacuación de cilindros 15 kg			
Dibujado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha dibujo:	Fecha aprobacion:	Escala:
A. Vargas	PhD. Barriga	PhD. Barriga	25-11-07	08-01-08	1:10
FIMCP-ESPOL			SISTEMA DE EVACUACION DE GLP		
			Materiales: Acero estructural bajo carbono		Edicion 3



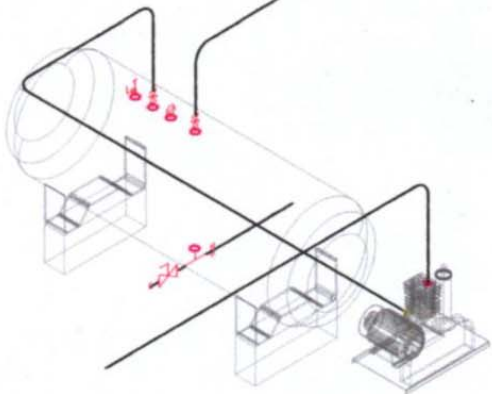
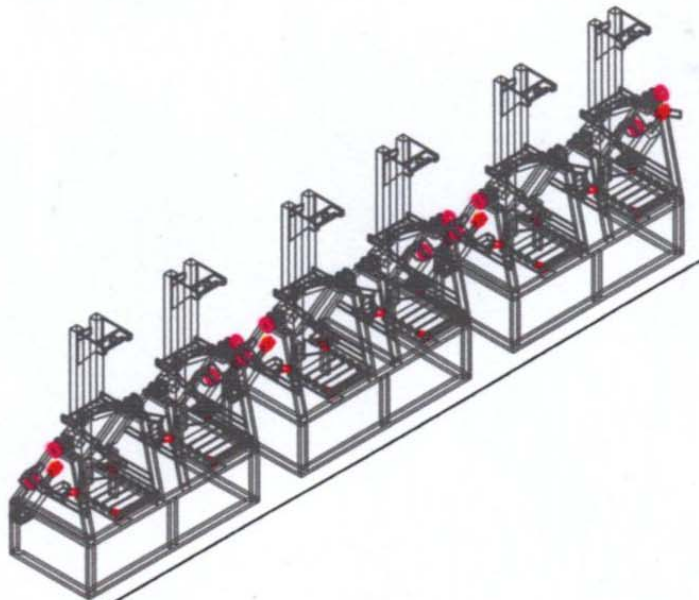


⊢	Tapon
⊗	Valvula de exceso de flujo
⊙	Manometro - Vacuometro
⊥	Valvula de alivio de presion
⊗	Valvula de bola roscada
⊢	Brida
Simbolo	Descripcion

	Cantidad	1 uni	Tanque colector									
	Dibujado por:	A. Vargas	Revisado por:	PhD. Barriga	Aprobado por:	PhD. Barriga	Fecha dibujo:	25-11-07	Fecha aprobacion:	08-01-08	Escala:	S/E
FIMCP-ESPOL						SISTEMA DE EVACUACION DE GLP						
						Materiales: Acero bajo carbono				Edicion	3	Plano



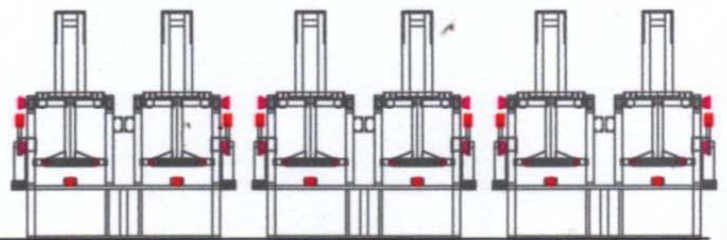
Cantidad	1 uni	Compresor de GLP									
Dibujado por:	A. Vargas	Revisado por:	PhD. Barriga	Aprobado por:	PhD. Barriga	Fecha dibujo:	25-11-07	Fecha aprobacion:	08-01-08	Escala:	S/E
FIMCP-ESPOL				SISTEMA DE EVACUACION DE GLP							
				Materiales: Acero bajo carbono					Edicion	3	Plano



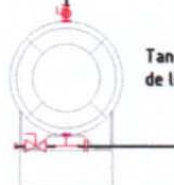
Escala:  
1:40

Al almacenamiento

Compresor GLP



Puestos para evacuación de cilindros



Tanque colector bajo el nivel  
de los puestos de evacuación

Escala:  
1:50

Cantidad	1 uni	Sistema de evacuación de cilindros 15 kg			
Dibujado por:	A. Vargas	Revisado por:	PhD. Barriga	Aprobado por:	PhD. Barriga
		Fecha dibujo:	25-11-07	Fecha aprobación:	08-01-08
FIMCP-ESPOL			SISTEMA DE EVACUACION DE GLP		
Materiales:			Edición	Plano	
Acero estructural bajo carbono			3	05	
Escala: INDICADAS					

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Design and Construction of LPG Installations, API Standard 2510, Eighth Edition, May 2001
2. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Electrical Installations in Petroleum Processing Plants, API Recommended Practice 540, Fourth Edition, April 1999
3. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommend Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2, API recommended Practice 500, Second Edition, November 1997, Reaffirmed 11/2002
4. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommended Practices for Machinery Installation and Installation Design, API Recommended Practice 686, First Edition, April 1996
5. BECCO J. L. LORENZO, Los G.L.P. (Los gases licuados del petróleo), REPSOL YPF
6. GUERRA CHAVARINO EMILIO, GUERRA SORIANO EMILIO, Instalaciones de Depósitos Fijos para GLP - Manual Práctico, 3ra Edición,

Editorial CONAIF

7. JONES J. B., DUGAN R. E., Ingeniería Termodinámica, Primera Edición  
Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

8. NATIONAL FIRE PROTECTION ASOCIATION, NFPA 58: Código de Gas  
LP, Edición 1998

9. OCHOA JOSÉ, “Análisis y diseño del cambio de un proceso industrial a  
Diesel por otro a GLP” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y  
Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001)