

Ref. 136



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**“NORMAS, ESPECIFICACIONES Y PROCESOS PARA  
OBTENCION Y MANEJO DE LPG”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A :  
**JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1988



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E   G E N E R A L .

	CAPITULO	PAG.
I.	INTRODUCCION	
II.	GENERALIDADES	1
II.1	DEFINICION DE GAS LICUADO	2
II.2	DIFERENTES TIPOS DE GAS LICUADO	3
II.3	PROPIEDADES FISICAS	6
II.4	APLICACIONES Y USOS	7
III.	BALANCE OFERTA-DEMANDA	19
IV.	NORMAS Y ESPECIFICACIONES	28
IV.1	PARAMETROS QUE DEFINEN AL GAS LICUADO	31
IV.2	PARAMETROS A CONTROLAR PARA SU USO Y/O APLICACION	33
IV.3	PRUEBAS DE LABORATORIO	37
V.	PROCESOS DE OBTENCION	58
V.1	UNIDADES DE EXTRACCION	62
V.2	UNIDADES DE FRACCIONAMIENTO	85

VI.	ACONDICIONAMIENTO DEL GAS LICUADO	92
VI.1	FILTRACION	93
VI.2	ENDULZAMIENTO	97
VI.3	ADICION DE AGENTES QUIMICOS	144
VII.	ALMACENAMIENTO	150
VII.1	SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y ASPECTOS DE SELECCION	151
VII.2	PRINCIPALES PARAMETROS DE DISEÑO	174
VII.3	DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE ALMACE- -NAMIENTO	178
VIII.	SISTEMAS DE TRANSPORTE DE GAS LICUADO	193
IX.	ASPECTOS GENERALES DE SEGURIDAD EN PLANTAS DE GAS LICUADO	201
	CONCLUSIONES	215
	BIBLIOGRAFIA	218

## CAPITULO I.

### INTRODUCCION

## INTRODUCCION.

Dada la carencia de una fuente de consulta que contenga y resuma información técnica acerca de lo que es el Gas Licuado, las Normas y Especificaciones que rigen su calidad, así como los diversos procesos para su obtención y acondicionamiento. En este trabajo se presenta una recopilación y resumen acerca de estos temas, ofreciendo al mismo tiempo lineamientos generales para la aplicación y utilización mostrada.

El objetivo de este trabajo es el de conciliar las fuentes de información para dar a conocer las nuevas tecnologías referentes a la Normalización, Producción, Acondicionamiento y Almacenamiento del Gas Licuado y de esta manera, sentar las bases que permitan realizar estudios más detallados y específicos enfocados a implementar la tecnología mundial existente a las instalaciones nacionales con propósitos de optimización y actualización, bien en plantas en operación o en nuevas instalaciones.

El objetivo marcado se logra mediante el analisis de la informacion existente a la fecha, tal como especificaciones, normas, practicas de ingenieria y articulos de bancos nacionales e internacionales.

Adicionalmente permitira al personal que se inicia en algunas de las diversas areas del Gas Licuado, tener un panorama general acerca del producto.

Para facilitar el entendimiento del tema los capitulos se desarrollan iniciando una breve introduccion, seguida de una descripcion detallada de los puntos considerados. La secuencia adaptada en el desarrollo del trabajo se elige de forma en que primero se establecen los requerimientos de calidad y caracteristicas que deben de cumplir nuestro producto y, posteriormente, presentar alternativas viables para cumplir con las necesidades mencionadas; asimismo se dan recomendaciones generales conforme a caracteristicas de aplicacion especificas a cada problema.

## C A P I T U L O   I I .

### G E N E R A L I D A D E S .

## II.1 DEFINICION DE GAS LICUADO DEL PETROLEO

Existe una gran variedad de clasificaciones para los productos derivados del petróleo, en el presente trabajo se propone la siguiente: Se consideran tres categorías principales para los productos del petróleo, definiendo a cada uno como sigue:

1a. Se incluyen en esta categoría a todos aquellos compuestos que a las condiciones de presión y temperatura ambiente se encuentran en estado gaseoso.

2a. La segunda categoría se refiere a compuestos que contienen cinco o más átomos de carbono por molécula, y que además son líquidos a las condiciones de presión y temperatura ambiente.

3a. Esta tercer categoría denota a los compuestos hidrocarburos formados por tres y cuatro átomos de carbono por molécula y que además tienen la propiedad de ser líquidos a temperatura ambiente y presiones moderadas.

La tercer categoría se refiere principalmente al propano, propileno, butano, butileno, isobutano, isobutileno y butadieno, los cuales se caracterizan por la

relativa facilidad que tienen de pasar del estado líquido al estado gaseoso cuando se les disminuye la presión y corresponden a los llamados gases licuados del petróleo. El código standard American Society for Testing and Materials (ASTM) establece la siguiente DEFINICION para los gases licuados del petróleo y sus sinónimos, LPgas y Gas LP,¹

Se refiere a aquellos compuestos hidrocarburos producidos durante el procesamiento del gas natural y de refinación convencional del Petróleo.

## II.2. DIFERENTES TIPOS DE GAS LICUADO

Se conocen en el mercado cuatro tipos diferentes de Gas Licuado, en donde cada uno corresponde a una formulación específica, de tal forma que se satisfagan las necesidades de los usuarios cumpliéndose las necesidades de uso común.

Los cuatro tipos de Gas Licuado son los siguientes:

1. PROPANO COMERCIAL.

Este combustible es el que más se prefiere para uso doméstico, comercial e industrial; En particular se usa en aquellas áreas geográficas y en estaciones del año donde llegan a existir bajas temperaturas ambiente. Adicionalmente se utiliza cuando la uniformidad del combustible es un factor importante a considerar.

Se debe de hacer notar que esta preferencia se debe a la elevada volatilidad del producto.

2. BUTANO COMERCIAL.

Este combustible es el de menor volatilidad de los cuatro, por lo cual tiene diferente aplicación; Se utiliza también como combustible doméstico, por lo regular en áreas y climas cálidos. Contrario al propano comercial, se aplica en industrias y procesos donde la uniformidad en la vaporización del combustible no es un factor importante a considerar.

3. MEZCLAS COMERCIALES PROPANO-BUTANO.

Este producto se utiliza bajo situaciones donde se requiere una volatilidad intermedia. Hay que considerar que este tipo de combustible involucra una extensa proporción de mezclas, permitiendo así cubrir los

rangos de necesidad específicos de cada aplicación. Se utiliza como combustible doméstico, comercial e industrial en áreas y climas templados.

4. PROPANO PARA SERVICIOS ESPECIALES (ESPECIAL DUTY).

Es un producto de alta calidad compuesto principalmente por Propano, sus características de composición y combustión son mucho menos variables comparadas con los otros tres tipos. Debido a sus características antidetonantes, muy superiores a los otros tres, se emplea para conseguir las necesidades restrictivas de las máquinas de combustión interna que operan a altas presiones y temperaturas.

La norma ASTM D1835-82 establece los requerimientos de composición con que deben de cumplir cada uno de los tipos de Gas Licuado, mismos que se presentan a continuación:

### 11.3. PROPIEDADES FISICAS DE LOS GASES LICUADOS

Para poder presentar las propiedades físicas del Gas Licuado se debe de aclarar que debido a las diferencias existentes en la composición de los cuatro tipos del producto sólo es posible proporcionar valores aproximados para el Butano y Propano comerciales, tratando de que sean lo más representativos posibles.

Tales valores están basados en datos promedio tomados de la industria, incluyendo los provenientes de las plantas de recuperación de hidrocarburos a partir del gas natural y refinerías del petróleo.

Debido a esto, algunos propanos y butanos comerciales pudieran llegar a presentar diferencias significativas en el valor de cualquiera de las propiedades dado que, como ya se mencionó, ningún tipo de gas licuado es consistente en composición, lo cual hace que el valor de la propiedad cambie.

Con todo y esto se puede decir que los datos presentados en este trabajo se pueden utilizar en forma confiable en la mayor parte de los cálculos de Ingeniería con propósitos de diseño, sin que por ellos se afecten los resultados finales.

Para el caso de las mezclas comerciales Propano-Butano es posible aplicar ciertas relaciones matemáticas para el cálculo de las propiedades, dichas relaciones tienen la condición de que deberá de conocerse la composición exacta del producto en cuestión.

A continuación se presenta una lista de las propiedades físicas más relevantes de los Gases Licuados del Petróleo y, al final, se dan algunas relaciones matemáticas para el caso de mezclas.

#### II.4 APLICACIONES Y USOS DEL GAS LICUADO

El Gas Licuado esta considerado como uno de los combustibles más limpios y nobles de la actualidad, esto es gracias a que prácticamente no contamina el medio donde se utiliza, es relativamente fácil de manejar y transportar

La siguiente tabla indica las propiedades físicas promedio del propano y butano comerciales para uso industrial en el mundo.

PROPIEDAD	UNIDADES	PROPANO	BUTANO
PREBION DE VAPOR	Kg/cm <sup>2</sup> (Psi g)		
	21 oC	8.72 (124)	2.18 (31)
	38 oC	14.63 (208)	4.93 (70)
	40 oC	15.19 (216)	-----
	55 oC	21.10 (300)	6.82 (97)
PEO ESPECIFICO DEL LIQUIDO A 15.5/15.5 oC	----	0.496 MIN.	0.6 MAX
PEO ESPECIFICO DEL VAPOR A 15.5/15.5 oC	----	1.52	2.01
PUNTO DE EBULLICION A 1 ATM.	oC	-46	-9
PEO POR LITRO DE LIQUIDO A 1 ATM.	Kg	0.509	0.580
PUNTO DE ROCIO A 1 ATM.	oC	-43	-4
CALOR ESPECIFICO DEL LIQUIDO A 15.5 oC	CAL/Gr oC	0.588	0.549
VOLUMEN ESPECIFICO DEL GAS A 15.5 oC, 1 ATM.	cm <sup>3</sup> /Gr	535.68	406.44
CALOR ESPECIFICO DEL GAS A 15.5 oC	CAL/Gr oC	0.404	0.382
TEMPERATURA DE AUTOIGNICION	oC	468	365
TEMPERATURA DE IGNICION EN AIRE	oC	920-1020	900-1022

MAXIMA TEMPERATURA DE FLAMA EN AIRE	oC	1980	1990
% DE GAS EN AIRE PARA MAXIMA TEMPERATURA DE FLAMA	oC	4.2 - 4.5	3.3-3.4
MAXIMA VELOCIDAD DE PROPAGACION DE FLAMA EN TUBO DE 25 mm	cm/seg	84.9	87.1
LIMITE INFERIOR DE INFLAMABILIDAD	% DE GAS EN AIRE	2.4	1.9
LIMITE SUPERIOR DE INFLAMABILIDAD	% DE GAS EN AIRE	9.6	8.6
OXIGENO REQUERIDO PARA COMBUSTION COMPLETA	m3 O2/m3 GAS	2.4	1.9
CALOR LATENTE DE VAPORIZACION EN EL PUNTO DE EBULLICION	CAL/Gr	103	93
PODER CALORIFICO TOTAL	BTU/Fl3	2522	3280
RELACION VOL GAS/VOL LIQ.	8 0 oC 8 15.5 oC	274 279	232 238
INDICE DE OCTANO		100	95

RELACIONES MATEMATICAS PARA EL CALCULO  
DE PROPIEDADES FISICAS DE MEZCLAS COMERCIALES  
PROPANO-BUTANO.

PRESION DE VAPOR DEL COMPONENTE i	$\text{Log } P_i = K_{1i} - K_{2i}/T+460$
PRESION DE VAPOR DE LA MEZCLA	$P_{\text{tot.}} = \text{SUM } X_i P_i$
DENSIDAD DEL COMPONENTE i	$D_i = K_{3i} - K_{4i} T$
DENSIDAD DE LA MEZCLA	$D_{\text{mez.}} = \text{SUM } D_i W_i$
FRACCION PESO DEL COMPONENTE i	$W_i = X_i P M_i / \text{SUM } X_i P M_i$
CALOR LATENTE DEL COMPONENTE i	$\text{LAT. } i = K_{5i} - K_{6i} T$
CALOR LATENTE DE LA MEZCLA	$\text{LAT. MEZ} = \text{SUM } \text{LAT. } i W_i$
CALOR ESPECIFICO DEL COMPONENTE i	$\text{ESP. } i = K_{7i} + K_{8i} T$
CALOR ESPECIFICO DE LA MEZCLA	$\text{ESP. MEZ} = \text{SUM } \text{ESP. } i W_i$

DONDE T ES LA TEMPERATURA EN OF  
LA PRESION DE VAPOR EN PSIG  
LA DENSIDAD EN LB/FT<sup>3</sup>  
EL CALOR LATENTE EN BTU/LB  
EL CALOR ESPECIFICO EN BTU/LB OF  
Y PM ES EL PESO MOLECULAR  
SUM ES LA SUMATORIA

VALORES DE LAS CONSTANTES K

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	PRESION DE VAPOR		DENSIDAD		CALOR LATENTE		CALOR ESPECIFICO	
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
ETANO	30.07	12.05	3209	28.09	.0902	126	1.24	.7122	.00112
PROPANO	44.09	12.63	4142	34.43	.0459	170	.304	.5609	.00094
PROPENO	42.08	12.82	4288	33.61	.0534	172	.3908	.5410	.00049
N-BUTANO	58.12	13.17	5154	38.66	.0375	172	.209	.5046	.00077
I-BUTANO	58.12	12.81	4766	37.59	.0407	161	.255	.5167	.00078
I-BUTENO	56.01	13.34	5330	39.83	.0392	171	.2456	.4878	.00070
N-PENTANO	72.15	13.74	6214	41.35	.0343	171	.1800	.4895	.00065
I-PENTANO	72.15	14.12	6599	40.98	.0348	160	.1775	.4933	.00066

y, cuando se tienen los cuidados necesarios, no representa mayor riesgo ni peligro, comparado con los beneficios adicionales que representa.

Debido a ésto el producto ha encontrado magnífica aplicación en los sectores industrial, comercial y doméstico. En la actualidad el sector industrial consume aproximadamente el 50% de la producción nacional y, dados los avances tecnológicos y restricciones en cuanto a los niveles de contaminación, se espera que éste valor aumente notablemente en los próximos años.

En cuanto a aplicaciones comerciales y domésticas se pueden enumerar principalmente las siguientes:

- En el cocimiento de alimentos
- Calentamiento de agua para uso doméstico
- Calentamiento de áreas
- Iluminación
- Acondicionamiento de aire
- Sopleteado y soldado de algunos materiales, etc.

Las aplicaciones industriales son también muy variadas y aunque en México, por ser un país en vías de desarrollo, no se dan algunas de ellas se espera que en un futuro próximo adquiera un nivel de aplicación tan amplio

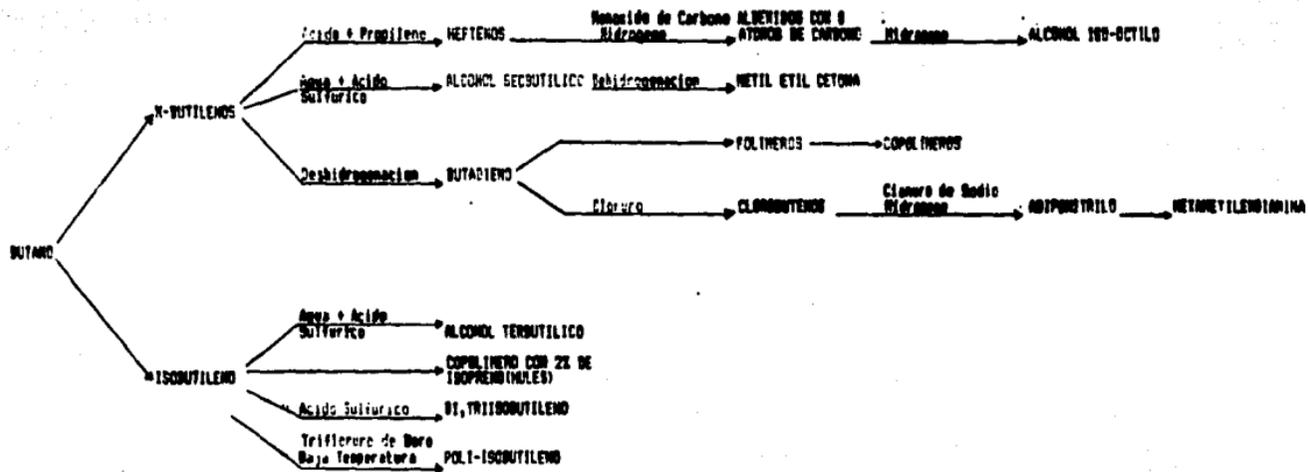
como la propia nobleza del producto lo permite.

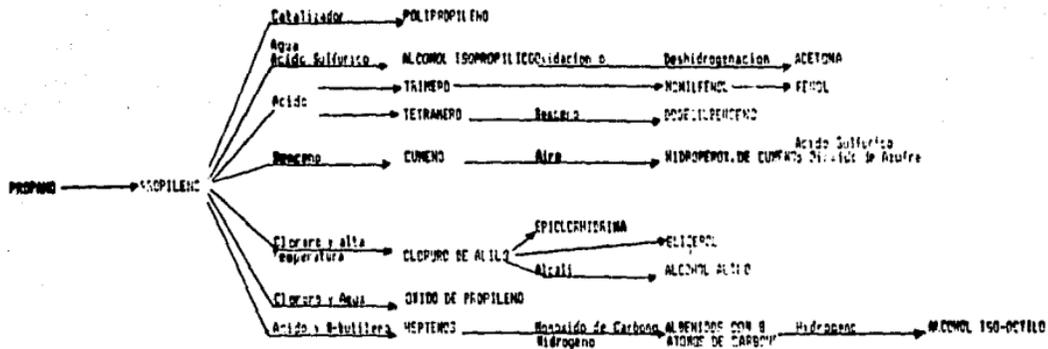
A continuación se presenta una lista de aplicaciones junto con una breve explicación de cada una de ellas.

#### II.4.1. MATERIA PRIMA DE LA INDUSTRIA QUIMICA

Hoy en día el Gas Licuado es el punto de partida para la elaboración de numerosos productos e intermediarios químicos, como se puede apreciar en el cuadro No.11.3.

Aún con esto se espera que en los próximos años la demanda y diversificación de usos aumente, ya que también pudiera utilizarse para la fabricación de productos como Amoniaco, Metanol, Gas Natural, etc., pero el marco económico actual no lo permite.





## II.4.2 EN LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES FERROSOS Y NO FERROSOS

En esta rama de la industria el Gas Licuado tiene dos importantes aplicaciones:

1. En el calentamiento de los metales a tratar. El Butano es particularmente adecuado para el calentamiento del material tratado en donde se requiere de atmosferas controladas; eliminándose al mismo tiempo los problemas de oxidación y/o problemas de corrosión.
2. En la producción de Aluminio. Se utiliza butano para proveer de cierto calentamiento a las placas antes del rolado, y también para mantener el metal fundido en un estado de temperatura estable.

#### II.4.3. EN LA INDUSTRIA DE LA INGENIERIA NAVAL.

En la industria naval algunas secciones y placas de acero se deben de calentar automáticamente antes de aplicar la cubierta de primer y pintura de protección, para ello se requiere elevar la temperatura de la placa desde los 15 oC hasta los 35 oC de una manera uniforme. se utiliza también en los hornos de precalentamiento continuo después de la aplicación de la primera capa de antioxidante; para el horneado después de éste recubrimiento y el horneado de los recubrimientos finales de piezas ligeras de acero.

#### II.4.4. INDUSTRIA DE LAS ARCILLAS PESADAS.

En la industria de las arcillas pesadas el Butano ha dejado fuera a los otros combustibles (petróleo diáfano, diesel), y no solo se debe ha que los fabricantes han bajado los niveles de contaminación de la atmósfera por las emisiones de gases, sino que ha traído mejoras económicas importantes al proceso.

Por ejemplo, el tiempo de conversión de

un panal en el horno ha disminuido en un 50% cuando se utiliza butano en relación al gas natural utilizado anteriormente, También se han podido utilizar los gases provenientes del quemador para propósitos de secado de los productos.

#### II.4.5. INDUSTRIA DE LA CERAMICA

Las ventajas que tiene el Gas licuado en la industria de la cerámica estriban en su elevada pureza, gran flexibilidad en la operación y en el buen control de los perfiles de temperatura, trayendo como consecuencia un notable aumento en la calidad del producto, incremento en el volumen de la producción y una considerable disminución de las pérdidas.

#### II.4.6. ELABORACION DE BLOQUES DE CEMENTO Y DE CARBON.

El butano es el combustible más adecuado para producir, combinación con agua, la atmósfera necesaria para el rápido curado de los bloques de cemento y carbón. Al utilizar este sistema el periodo de curado disminuye de una semana a tan solo cinco horas.

#### II.4.7. INDUSTRIA DEL VIDRIO

El Gas Licuado se utiliza para los hornos de fundición y el buen templado de los productos de vidrio; se incrementa notablemente la calidad de artículos tales como cristalería, botellas, bulbos eléctricos, lámparas fluorescentes, etc. con la utilización del gas licuado con respecto al gas natural, especialmente cuando se requieren puntos de flama característicos.

#### II.4.8. PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

La superioridad de la utilización del Gas Licuado en la industria alimenticia no solo se basa en la facilidad de manejo, sino que adicionalmente en la paureza del combustible puesto que permite el calentamiento directo de los productos sin riesgo de contaminación por los subproductos de la combustión.

Adicionalmente se utiliza en el secado de los alimentos por esprayado.

#### II.4.9. PRODUCCION DE ELEMENTOS DE ELECTRONICA

El gas licuado se utiliza en el calentamiento de las soldadura y las partes que van a ser soldadas, lográndose así un mejor terminado en las partes y conexiones eléctricas. La función más importante es quizá como agente de calentamiento para soldar las secciones de los tubos de rayos catódicos para la televisión.

#### II.4.10. EN LA AGRICULTURA

Las aplicaciones más importantes en la agricultura se pueden resumir en tres importantes regiones:

1. Importante aumento de la producción agrícola, en particular de la horticultura. En algunos lugares se han instalado quemadores de gas licuado, de fácil diseño y bajo costo, sobre las zonas sembradas dentro de los invernaderos lográndose que en apariencia el día sea más largo, mantener una temperatura estable y que la concentración del dióxido de carbono del medio aumente de 0.035% a 0.1% trayendo como consecuencia un incremento de la cosecha del 50% al 60% sobre un mismo periodo. Se han reportado consumos típicos de gas de 2 1/2 Kg/Hr hectarea de invernadero.
2. En el calentamiento de los corrales de ganado. Colocando quemadores de gas licuado en los pabelllos del ganado se logra mantener una temperatura adecuada del lugar, reduciendo pérdidas por enfriamiento y resfrio.
3. Secado de las cosechas. El calentamiento del aire con gas licuado se usa ampliamente para secado por contacto directo de las cosechas de granos y raíces, evitando la contaminación de los mismos. Tales calentadores se usan también para secar y curar el tabaco.

#### II.4.11. COMO COMBUSTIBLE PARA VEHICULOS.

Los motores de combustión interna en autos y camiones, se pueden adaptar fácilmente para operar con gas licuado en lugar de gasolina o diesel. El sistema adicional para la combustión interna incluye un tanque para el gas, filtro, vaporizador, controlador de presión en dos etapas y un mecanismo para mezclar el aire y el combustible.

Con respecto al uso del combustible normal se tiene que la velocidad máxima del vehículo disminuye en un 9% en promedio, pero con la ventaja que se alcanzan las velocidades máximas en menor tiempo.

Debido a que el gas tiene una mayor pureza que las gasolinas y el diesel de uso normal, aunado con una combustión más completa, la contaminación atmosférica es menor.

#### 11.4.12. GENERACION DE ELECTRICIDAD.

Se emplea para el arranque convencional de las turbinas de vapor. Pudiera emplearse también como combustible para las turbinas de gas en el caso de que se llegase a interrumpir el suministro de gas natural al sistema.

En los casos en que el precio lo permita y la regulación de emisiones a la atmósfera lo exijan se podrá utilizar gas licuado para las turbinas de gas en la generación de potencia.

#### 11.4.13. PRODUCTOS TEXTILES Y DE PIEL.

El secado de los cordones a fuego directo, con el objeto de darles mayor resistencia y mejorar la textura solo es posible con la utilización de butano como combustible, puesto que el bajo contenido de compuestos de azufre es esencial para asegurar el éxito de la operación.

#### **II.4.14. INDUSTRIA DE LA LITOGRAFIA Y EL PAPEL.**

La principal demanda de calor en la industria del papel se debe a la necesidad de evaporar dos toneladas de agua para producir una tonelada de papel, entonces al aplicar energía radiante con gas licuado la velocidad de remoción de agua aumenta notablemente, incrementándose la velocidad de producción de papel.

**CAPITULO III.**

**BALANCE OFERTA - DEMANDA**

El objetivo de este capítulo es presentar el panorama general de la forma en que ha variado la oferta y la demanda del Gas Licuado durante el periodo 1976 a 1985.

Adicionalmente, y en base a los datos reportados en los libros de "MEMORIA DE LABORES DE PEMEX" se pretende estimar la demanda a futuro, con el fin de evidenciar la potencialidad del producto.

En la siguiente tabla se presentan los volúmenes de gas licuado producidos por PEMEX durante el periodo en mención, y en la fig.No.III.1 se muestra la gráfica para estos valores.

ANO	GAS LICUADO ALTA PRESION (MTON)	GAS LICUADO BAJA PRESION (MTON)	TOTAL (MTON)
1976	1 005	787	1 792
1977	1 299	805	2 104
1978	1 371	1 002	3 373
1979	1 539	1 373	2 912
1980	2 603	1 218	3 822
1981	3 627	650	4 277
1982	3 935	818	4 753
1983	3 994	890	4 884
1984	4 026	879	4 905
1985	4 294	976	5 270

A partir de estos datos puede observarse que la producción de Gas Licuado en México es incremento en aproximadamente tres veces de lo producido en 1976, igualmente se observa que aunque si bien la producción siempre fué en aumento, no se tuvo un crecimiento constante a través del tiempo, mostrando en 1979 el mayor incremento, y el menor incremento en el periodo 1982-84.

Este comportamiento corresponde a la puesta en operación de algunas plantas recuperadoras de licuables y, en el otro caso solo se debe al aumento en los volúmenes de gas procesados y/o optimización del proceso de recuperación.

Debido a que el aumento o disminución de los volúmenes producidos dependen directamente de las políticas de explotación de PEMEX no resulta muy acertada la idea de tratar de pronosticar la producción de Gas Licuado, por lo que no se incluye este aspecto.

Conviene aclarar que se propusieron algunos modelos matemáticos que predijeran este estimado, pero los valores en los parámetros estadísticos no daban confiabilidad a los resultados obtenidos, debido a que no existe ninguna tendencia significativa durante algún periodo más o menos largo.

Respecto al consumo nacional de Gas Licuado en la siguiente tabla se dan los valores correspondientes para el mismo lapso, la gráfica correspondiente a estos datos se muestra en la fig.No.III.1. En esta misma figura se puede observar las diferencias entre los volúmenes producidos y los que se requieren para consumo nacional, la diferencia entre ambos valores dará el Déficit de Gas Licuado, mismo que se requiere importar para satisfacer la demanda nacional.

ANO	CONSUMO NACIONAL (M TON)
1976	2 209
1977	2 322
1978	2 676
1979	2 914
1980	3 458
1981	4 501
1982	4 682
1983	4 778
1984	5 912
1985	6 308

En relación a estos valores se obtuvo un incremento de 2.8 veces con respecto al consumo obtenido en 1976.

No obstante que la Oferta y la Demanda se han incrementado prácticamente en la misma proporción, sólo

# BALANCE OFERTA—DEMANDA

## COMPARACION PRODUCCION/CONSUMO

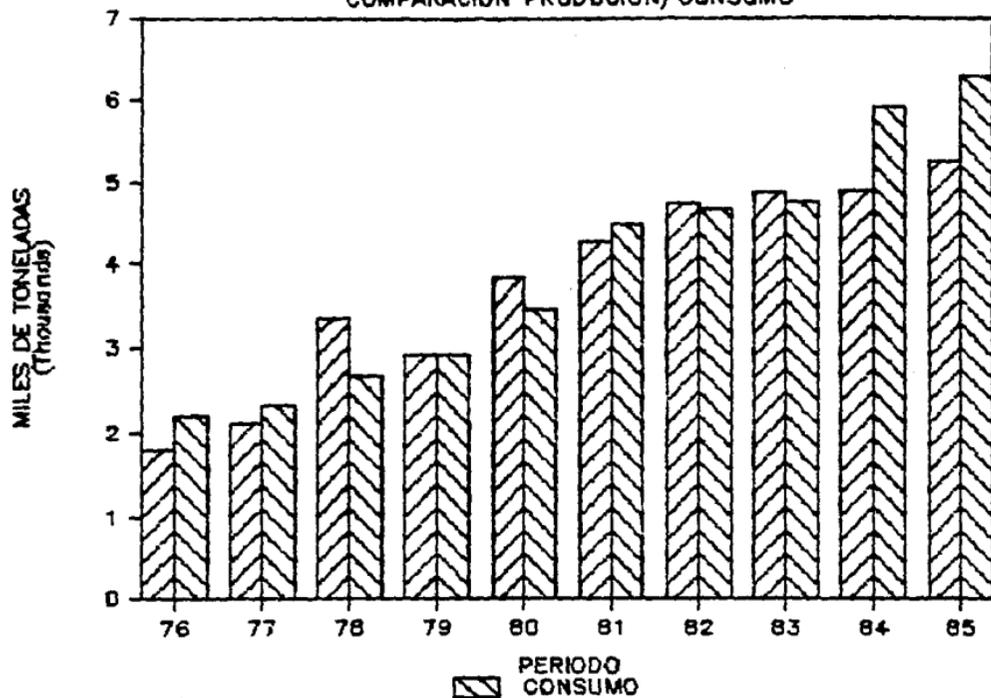


Fig. No. III.1

# BALANCE OFERTA—DEMANDA

## COMPARACION PRODUCCION/CONSUMO

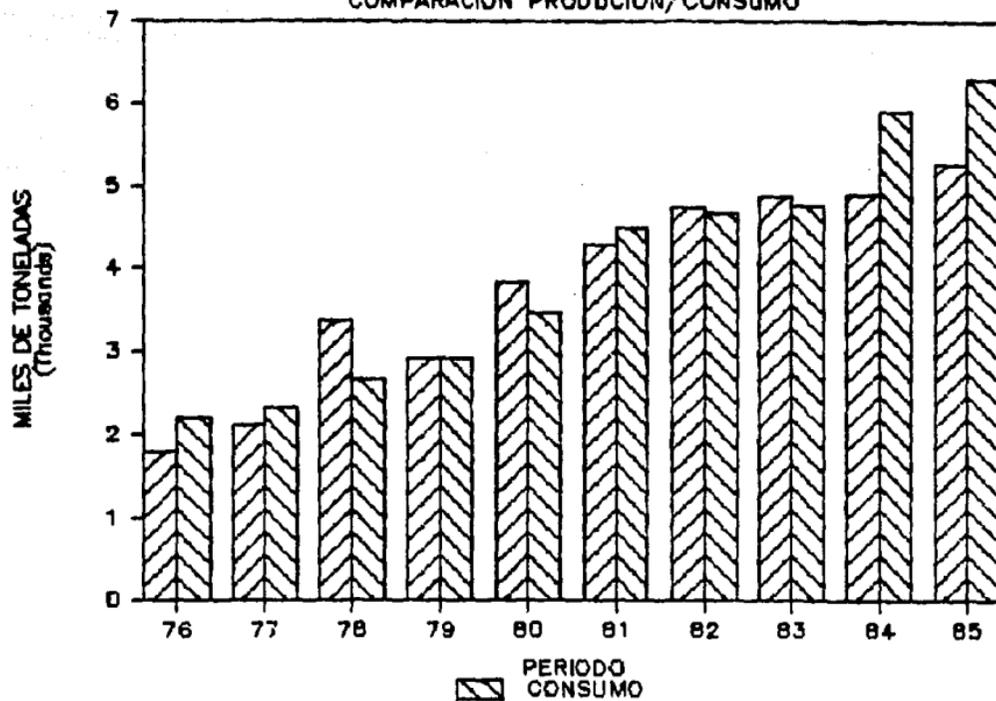


Fig. No. III.1

# BALANCE OFERTA—DEMANDA

## PROYECCION DE LA DEMANDA DE LPG

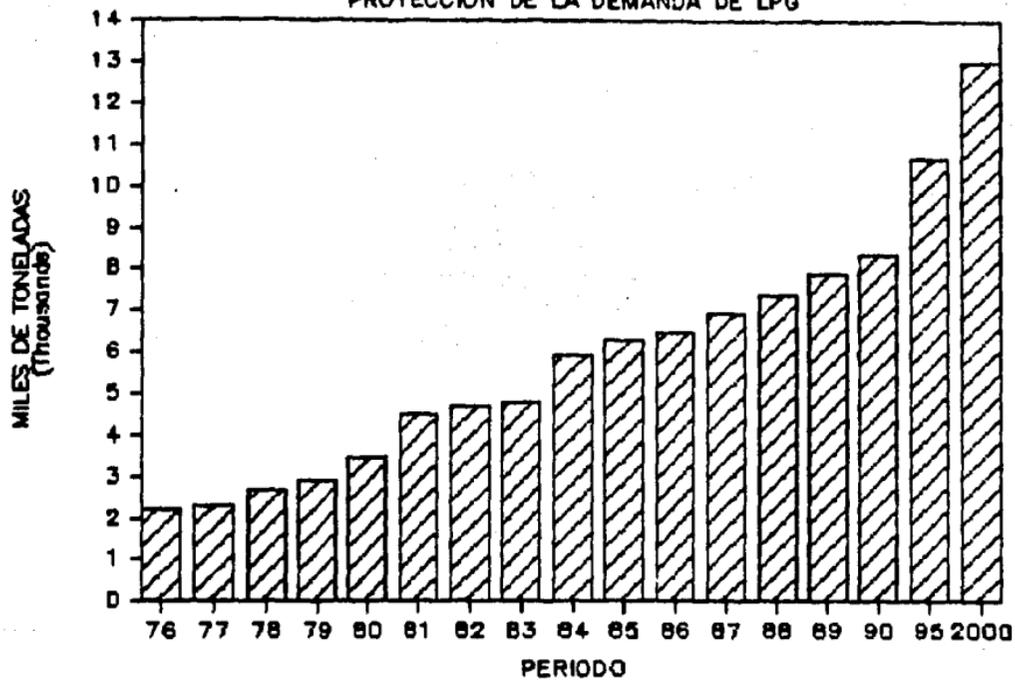


Fig. No. III.2.

en algunos periodos cortos se satisface completamente la demanda (1979-80), pero se nota claramente la necesidad de importar el producto para abastecer el mercado nacional.

Asimismo, durante los primeros años la velocidad de crecimiento de la demanda no es tan grande en relación a la que se tiene a partir de 1982, en donde se incrementa notablemente hasta valores muy por encima de los reportados en producción, la cual contrario a lo que se requiere, parece frenar su crecimiento.

Aplicando procedimientos estadísticos se obtiene la demanda de Gas Licuado que pudiera llegar a tenerse para el futuro, dichos valores se dan a continuación:

ANO	DEMANDA (M TON)
1986	6 477
1987	6 944
1988	7 410
1989	7 877
1990	8 343
1995	10 675
2000	13 007

Como se puede ver se tendrá un importante incremento en las necesidades de Gas Licuado para el futuro.

En cuanto a la producción se espera en 1990 un aumento del 50% con respecto a la de 1985 y de casi 60% sobre la

misma base para 1995, quedando el 4.3% y el 22.2% de la demanda sin cubrir, respectivamente.

Cabe aclarar que en México no solo se trabaja con los volúmenes producidos, sino que PEMEX se ve en la necesidad de importar y/o exportar Gas Licuado cuando se requiere, lo cual se debe a que en las zonas del Sureste del país se tiene un volumen de Gas Licuado mayor al requerido, en contrapartida con la zona de del norte del país que adolece de este producto y requiere importarlo de los EUA. Utilizando para esto las políticas de comercialización que mejor le convengan.

Se analizaron también las cifras que se reportan oficialmente (en las "MEMORIAS DE LABORES DE PEMEX") en cuanto a volúmenes de exportación e importación, encontrándose que en la mayoría de los años del período analizado, el balance general no cierra, por lo cual se opta por no incluirlos en el análisis.

CAPITULO IV.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA.

GAS LICUADO.

Como ya se ha indicado anteriormente, uno de los principales objetivos de este trabajo es el de establecer el número de parámetros necesarios para regular y controlar la calidad y características de los Gases Licuados del Petróleo.

Se parte del hecho que las especificaciones que maneja actualmente la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y Petróleos Mexicanos (PEMEX), solo están referidas a mezclas comerciales Propano-Butano y, únicamente involucran pocas pruebas y propiedades, como se puede ver en el siguiente cuadro:

**ESPECIFICACIONES ACTUALES PARA GAS LICUADO (PEMEX)**

	GAS LICUADO		METODO DE PRUEBA
	ALTA PRESION	BAJA PRESION	
Presión de vapor a 100 oF. Paig máx.	150	69	ASTM D1267-73
Residuo volátil, 95% destila a. oF	13.8	34	ASTM D1837-64
Residuo no volátil, ml a 100 oF. máx.	NADA	NADA	
Peso específico. 60/60 oF	0.537	0.575	ASTM D1657-67
Corrosión a la tira de cobre a 100 oF	Std. 1A	Std. 1A	ASTM D1832-64
Azufre total, ppmw máx.	12	90	

Al revisar las normas internacionales y las especificaciones de algunas de las compañías productoras de Gas Licuado, se pone en evidencia que existe una gran diferencia entre el número de parámetros necesarios para especificar y verificar la calidad del producto. además de la diferencia entre el valor para tales parámetros.

Se ha observado también que la demanda internacional de los productos es mayor hacia el Butano comercial, que es el que tiene el precio más alto de los cuatro; por lo que si la política de comercialización se orientara hacia la exportación de Butano y la importación de Propano, para abastecer el mercado nacional, con el subsiguiente beneficio económico, la consecuencia inmediata es que los productos exportados deben de cubrir al menos el nivel de calidad internacional para que puedan ser competitivos en el mercado exterior.

Por otro lado, la importación de Propano comercial o de mezclas comerciales Propano-Butano de alta presión, implica modificar los contenedores y normas que los rigen, ya que con las actuales no es posible su uso y manejo en forma confiable y segura, en particular en el sector doméstico.

Como ya se indicó anteriormente, se han revisado las normas y especificaciones aplicadas por las asociaciones y compañías internacionales más importantes a nivel mundial; se compararon el tipo de parámetros que manejan, de su valor como tal y de las pruebas que controlan y dirigen a cada uno de ellos. En base a ésto se propone una lista de NORMAS Y ESPECIFICACIONES para el control de calidad del Gas Licuado, considerando su

ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL GAS LICUADO

CONCEPTO	DESIGNACION				UNIDAD
TIPO DE GAS LICUADO	PROPANO COMERCIAL	BUTANO COMERCIAL	MEZCLAS PROP-BUT	PROPANO P/USOS ESP.	
COMPUESTOS PREDOMINANTES	PROPANO Y/O PROPILENO	BUTANO Y/O BUTILENO	BUTANO Y/O BUTILENO PROPANO Y/O PROPIL.	>95% DE PROPANO Y (5% DE PROPILENO	ASTM D2163-82
PRESION DE VAPOR MAX. A 38°C, Kg/CM <sup>2</sup>	10.63	0.93	10.95 - 10.06	10.63	ASTM D1267-84 ASTM D2990-83
RESIDUO VOLATIL, EL 95% DESTILA A, aC -30.3		2.2	2.2 MAX.	-30.3	ASTM D1857-81
COMPOSICION, % EN VOLUMEN MAX. DE:					
PROPILENO				5	ASTM D2163-82
BUTANO MAS PESADOS	2.5			2.5	ASTM D2163-82
BUTILENOS					
PENTANO MAS PESADOS		2	2 MAX.		ASTM D2163-82
RESIDUO NO VOLATIL, a1 MAX. A 38°C, MARCHA DE ACEITE	0.05 pasa	0.05 pasa	0.05 pasa	0.05 pasa	ASTM D2158-80 ASTM D2158-80
PEGO ESPECIFICO, 15.5aC/15.5aC	(1)	(1)	(1)	(1)	ASTM D1637-83
CORROSION A LA TIRA DE COBRE, A 38°C	No.1	No.1	No.1	No.1	ASTM D1838-79
CONTENIDO DE ACIDO SULFHDRIICO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	ASTM D2420-81
AZUFRE TOTAL, ppa MAX.	105	140	140	125	ASTM D2704-80
HUMEDAD	pasa			pasa	ASTM D2715-81
CONTENIDO DE AGUA LIBRE	NADA	NADA	NADA	NADA	VISUAL
CONTENIDO DE SULFURO DE CARBONILO, ppa				1	USP 212-72
LIMITES DE INFLAMABILIDAD					ASTM E681-79

NOTAS: 1. El peso especifico no es requisito, pero se usa con otros propósitos y será reportado

aplicación en México.

En dicha lista se toman en cuenta los valores estándares internacionales para la concentración de los compuestos que conforman el producto; incluye las características y los métodos de prueba para cada uno de los parámetros.

Con el objeto de entender mejor el procedimiento e importancia de cada una de las especificaciones se hace la siguiente sistematización:

ESPECIFICACIONES DEL  
GAS LICUADO

PARAMETROS QUE DEFINEN AL  
GAS LICUADO

PARAMETROS A CONTROLAR PARA  
SU USO Y/O APLICACION

PRUEBAS DE LABORATORIO

#### IV.1. PARAMETROS QUE DEFINEN AL GAS LICUADO

Según la norma ASTM D1835-85 los parámetros que definen al Gas Licuado son básicamente:

1. Presión de vapor.

La presión de vapor se define como la presión a la

que un líquido se encuentra en equilibrio con su vapor a una temperatura dada.

Se considera como una medida directa de las condiciones más extremas de baja temperatura bajo la cual se espera que inicie la vaporización.

También se toma como una medida semicuantitativa del material más volátil presente en el producto.

Es importante por razones de seguridad para conocer la presión máxima de operación con el propósito de diseño, puesto que es una medida para predecir la presión máxima que puede ejercer el producto a la temperatura del recipiente.

## 2. Volatilidad.

La volatilidad es una medida de la cantidad del combustible menos volátil presente en el producto, y se expresa en términos de la temperatura de evaporación del 95% de producto.

Si la volatilidad se acompaña con el valor de la presión de vapor límite, servirá para asegurar productos con componentes únicos en Propano y Butano comerciales.

Al relacionarla con una presión límite apropiada sirve para asegurar que el Propano para servicios especiales está compuesto principalmente de propano y propileno y que el propano será el principal constituyente.

Los resultados indican la concentración aproximada de butano en propano, pentano en mezclas propano-butano y tipos de butanos.

### 3. Gravedad específica.

La gravedad específica siempre se determina para todos los productos del Gas Licuado, ya que resulta de gran importancia para reunir los requerimientos de transporte y almacenamiento.

Por si sola tiene poco significado y viene a ser de valor único cuando se relaciona con la presión de vapor límite y la volatilidad, ya que, para el caso de mezclas, la combinación sirve para asegurar dos componentes mezclados para tales combustibles.

## IV.2. PARAMETROS A CONTROLAR PARA SU USO Y/O APLICACION

Mientras que las características del punto anterior definen las aplicaciones de uso normal, existen otras que pudieran afectar los resultados obtenidos en alguna aplicación específica. Por lo cual se especifican los límites para:

### 1. Residuo no volátil.

El residuo no volátil es una medida de la concentración de hidrocarburos combustibles presentes en el producto que son menos volátiles que los hidrocarburos del gas licuado.

### 2. Corrosión a la tira de cobre.

Se establecen los límites para la corrosión a la

tira de cobre para proveer seguridad y no se presente deterioración de accesorios y conexiones de cobre y sus aleaciones, las cuales se utilizan comunmente en el transporte y almacenamiento.

### 3. Azufre total.

Se requiere determinar el contenido de azufre total con el propósito de definir aún más los productos del Gas Licuado, puesto que son inherentemente más bajos en contenido de azufre que la mayoría de los productos que se derivan directamente del petróleo.

En su uso normal como combustible el contenido de azufre no es muy significativo siempre y cuando las otras características del producto estén dentro de los límites especificados.

### 4. Contenido de humedad.

El contenido de humedad es una medida del porcentaje aproximado de saturación con agua. Es un requisito importante para el propano comercial y el propano de usos especiales.

El propósito para su control, es el de asegurar que las valvulas reguladoras, reductoras de presión y equipo similar opere constantemente sin problemas de congelamiento del agua presente.

### 5. Contenido de agua libre.

El contenido de agua libre es importante en mezclas comerciales Propano-Butano y Butano comercial, ya que estos se usan normalmente en condiciones ambiente y como único requisito es el de asegurar que el agua libre no este presente.

Hasta este punto se cubren las pruebas que marca la norma ASTM D1835-82, pero se sabe que algunas compañías practican algunas pruebas adicionales al producto, como son:

#### 6. Contenido de ácido sulfhídrico.

El contenido de ácido sulfhídrico es una prueba que solo se aplica para el Propano de usos especiales, y se debe a la corrosividad del compuesto a las condiciones tan severas de operación del producto.

#### 7. Contenido de Sulfuro de Carbonilo.

Es importante determinar el contenido de sulfuro de carbonilo, puesto que en presencia de trazas de agua y a las temperaturas de operación de los productos es muy factible que se efectue la reacción de hidrólisis del compuesto para dar ácido sulfhídrico y Dióxido de Carbono.

Se debe considerar que durante el manejo y almacenamiento del producto los contenedores, por lo regular, no están lo suficientemente bien controlados para evitar que contengan los reactivos necesarios para que se efectue la reacción. Esto es tan cierto que en ocasiones el producto se reporta como aceptable solo en el momento de entrega y, posteriormente, una vez almacenado falla la misma prueba bajo condiciones idénticas.

#### 8. Color Saybolt

El color Saybolt es una definición empírica del color y se basa en la claridad de líquidos del petróleo sobre una escala de -16 (correspondiente al más oscuro) a +30 (correspon-

diente al más claro).

Para el caso del Gas Licuado, el usuario es quien observa el color, y si existe alguna variación en el rango establecido indica posible contaminación con otros productos.

#### 9. Límites de inflamabilidad.

Esta prueba incluye los límites superior e inferior de inflamabilidad; se define el límite superior como la concentración máxima de combustible capaz de propagar una flama a través de una mezcla homogénea de combustible y un agente oxidante a las condiciones de prueba; el límite inferior se define como la mínima concentración de combustible que es capaz de propagar una flama a través de una mezcla homogénea de combustible y oxidante a las mismas condiciones de prueba.

Es importante conocer estos límites ya que sirven como elementos para definir el rango de concentraciones que pueden provocar incendios al mezclarse con el aire.

También se usa en la determinación de guías para el manejo seguro de químicos volátiles, en particular para asignar los requerimientos mínimos de ventilación para el manejo de estos productos.

#### IV.3. PRUEBAS DE LABORATORIO.

##### 1. Determinación de la Presión de Vapor.

NORMA: ASTM D1267-84

###### Alcance.

Determinación de la presión de vapor manométrica de los Bases Licuados del petróleo a la temperatura de 37.7 °C (100 °F).

###### Procedimiento.

Al inicio de la determinación se debe de purgar el aparato con parte de la misma muestra para su uso. Posteriormente se llena completamente y se desaloja del 33% al 40% del volumen con el fin de proporcionar un espacio vapor adecuado; se sumerge todo el sistema en un baño de agua y se mantiene la temperatura constante e igual a 37.7 °C.

La presión manométrica observada en el equilibrio se reporta como la presión de vapor del producto a esta temperatura.

###### Precisión.

La precisión del sistema es considerablemente buena no habiendo diferencias de más de 1.8 Psi en uno de cada 20 casos utilizando el mismo procedimiento, aparato y operador. La reproducibilidad es aceptable puesto que la máxima diferencia encontrada ha sido de 2.8 Psi en uno de cada 20 casos cuando se trabajo en laboratorios y operadores diferentes en aparatos y condiciones idénticas.

**Material.**

- Sistema de dos camaras interconectadas, con una relacion de volumen especifico.
- Accesorios: valvulas de purga y llenado, manometro tipo Bourdon y baño de agua con controlador de temperatura automatico.

**1.1 Determinación de la Presion de Vapor.**

**NORMA: ASTM D2598-83**

**Alcance.**

Determinación de la presion de vapor y gravedad especifica por medio del analisis composicional para propano comercial y de Usos especiales.

**Procedimiento.**

El metodo consiste en determinar primero la composicion del producto utilizando el metodo ASTM D2163 llamado "Analysis of Liquefied Petroleum Gases and Propylene concentrates by Gas Chromatography", cuyos resultados se utilizaran para los siguientes calculos:

- Calcular la presión de vapor parcial de cada componente en la mezcla con la siguiente fórmula:

$$P_{vap.i} = P_{vap} \times C/100$$

Donde:  $P_{vap}$  es el factor de presión de vapor de cada componente.

C es el porcentaje en volumen de cada componente.

- La suma de la presión parcial de todos los componentes redondeados a 1 Psi se reporta como la presión de vapor del producto.

**FACTOR DE PRESION DE VAPOR DE  
LOS COMPONENTES A 100 °F, EN**

Lb/in<sup>2</sup>.

ETANO	785
PROPANO	175
PROPILENO	212
N-BUTANO	97
I-BUTANO	87

## 2. Analisis del Gas Licuado por Cromatografia de Gases.

NORMA: ASTM D2163-82

### Alcance.

Este metodo cubre la determinacion de la composicion del Gas Licuado por Cromatografia de Gases. El analisis se aplica para Propano, Propeno y Butanos en todos los rangos de concentracion hasta un minimo de 0.1% en volumen.

### Procedimiento.

Consiste en separar fisicamente los componentes de una muestra por medio de cromatografia de gas y comparar con un cromatograma de composicion conocida o con cromatogramas obtenidos a partir de los componentes puros.

El tipo de columna a utilizar junto con las condiciones para el analisis son funcion del tipo de Gas Licuado a analizar; a continuacion se presenta una tabla de columnas cromatograficas, sus condiciones de operacion y la aplicacion especifica de cada una. Los detalles del procedimiento son basicamente los mismos que se usan en el analisis comun.

TIPOS DE COLUMNAS Y CONDICIONES DE ANALISIS PARA LOS GASES LICUADOS DEL PETROLEO

Tipo de columna	Compuestos que separa	Longitud m (ft)	Diámetro mm (in)	Peso del sustrato	Flujo ml/min	Temp. °C	Aplicación
Silicon 200/500	Etano, propano, n-, i-butano, n-, i-pentano	9 (30)	6.4 (1/4)	27 %	60-70	90	LPG libre de hidrocarburos insaturados
Bencil-cianida AgNO <sub>3</sub>	N-, i-butano, butenos, n-, i-pentano	9 (30)	6.4 (1/4)	36 %	45-55	40	Para los cuatro tipos de gas licuado
Hexametil-fosforamida	Etano, propano, propileno n-, i-butanos, butanos, n-, i-pentano	9 (30)	6.4 (1/4)	17 %	60-70	30	Para los cuatro tipos de gas licuado
Dimetilsulfonato + Bencilcianida- AgNO <sub>3</sub>	Todos los componentes	7 (24)	6.4 (1/4)	36 %	60-70	35	
Dimetilsulfonato		15 (50)	6.4 (1/4)	30 %	30	25	
Hexametilfosforamida		6 (20)	3.2 (1/8)	25 %	12	28	
Di-n-butilmaleato		4 (15)	6.4 (1/4)	25 %	60	28	
Tricresilsulfato + silicón 550		9 (30)	6.4 (1/4)	30 %	70	35	
Metoxi-etoxi-etil ether		9 (30)	6.4 (1/4)	30 %	60	30	

Nota: Todas las columnas utilizan Helio como gas de arrastre.

### 3. Volatilidad.

NORMA: ASTM D1837-81

#### Alcance.

La presencia de compuestos menos volátiles que los productos del gas licuado se indica por el incremento de la temperatura cuando se tiene un 95% de la evaporación.

#### Procedimiento.

El producto se refrigera por medio de un serpentín de refrigeración, el cual utiliza agua para butano y mezclas Propano-Butano y algún otro refrigerante para los demás productos. Se colectan 100 ml de producto en un tubo centrifugo y se llega que deja que llegue a las condiciones ambiente.

Se observa la temperatura cuando el 95% de la muestra se halla evaporado.

#### Precisión.

No se encuentran diferencias mayores de 1 oF trabajando en el mismo equipo, operador y condiciones. Las diferencias de reproductibilidad son de 17 oF para mezclas P-B y de 2.3 oF para Propano en uno de cada 20 casos, obtenidos en diferentes laboratorios y operadores con aparatos idénticos.

#### Material.

- Consiste de un tubo centrifugo graduado de forma cónica y redondeado en la parte inferior.
- Tubo soporte para el tubo centrifugo
- Baño de agua
- Termómetro

- Frasco Dewar
- Receptor de condensados
- Preenfriador

#### 4. Densidad específica.

NORMA: ASTM D1657-83

##### Alcance.

El método cubre la determinación de la densidad relativa de los gases licuados del petróleo y de otros hidrocarburos ligeros utilizando para ello un hidrómetro presurizado. No debe utilizarse para productos con una presión de vapor mayor a 1.4 Megapascals (13.7 Kg/cm<sup>2</sup>) a la temperatura de prueba.

##### Procedimiento.

Al inicio se debe purgar el aparato con una porción de la muestra y se sumerge en un baño de agua para mantenerlo a 15.5 oC (60 oF). Cuando se alcance el equilibrio se retira el aparato hasta el punto en que el hidrómetro flota libremente.

La lectura en el hidrómetro se reporta como densidad relativa junto con la temperatura de prueba.

**Precisión.**

La precisión del método es buena, encontrándose que la diferencia máxima es de 0.001 g/ml en uno de cada 20 casos, mientras que la reproducibilidad es de 0.003 g/ml con respecto a otros paratos y operadores.

**Material.**

- Hidrometro de vidrio graduado en un rango de 0.5 a 0.580 o de 0.570 a 0.660, según las necesidades.
- Termómetro con sensibilidad de 2.7 mm/°C calibrado para inmersión total.
- Cilindro del hidrómetro de material plástico o vidrio.

**1. Residuo no volátil.**

**NORMA: ASTM D2158-80**

**Alcance.**

Cubre la determinación del material extraño al medio por encima de 37.8 °C (100 °F) que se encuentre presente en los gases licuados del petróleo.

#### Procedimiento.

El tubo centrifugo se lava con parte del material de muestra y se llena con 100 ml; se tapa y se introduce un alambre de cobre a traves del tapon con el fin de mantener un calentamiento uniforme. Se deja la muestra a temperatura ambiente y el extremo inferior del tubo se introduce en un baño de agua durante 5 minutos a 37.8 oC.

Después de este tiempo el volumen remanente se reporta como residuo no volátil, el cual no deberá ser mayor o igual a 0.05 ml.

#### Observación a la mancha de aceite.

Como prueba adicional y para asegurar la no existencia de residuos, se debe hacer la observación a la mancha de aceite; la cual consiste en diluir o disolver el residuo remanente de la prueba anterior con algún solvente (de preferencia el n-pentano) hasta llegar a 10 ml totales, se debe procurar lavar las paredes interiores y disolver los posibles residuos. Se toman 1.5 ml de esta solución y se depositan en el centro de un papel filtro a una velocidad tal que se forme un círculo húmedo de 32 mm de diametro aprox.

Si el anillo de aceite no persiste después de 2 minutos de aplicar la muestra, observandola a traves de una luz brillante, se desecha la prueba (repetir).

Si el anillo de aceite se distingue, tomar un papel filtro nuevo y adicionar la mezcla en incrementos de 0.1 ml y se registra el volumen requerido para que el anillo persista.

Para algunos casos este volumen es característico del producto, pero para el caso del Gas Licuado el anillo no debe de persistir después de dos minutos, y el producto se reporta como "pasa".

**Material.**

- Tubo centrifugo de 100 ml. Los primeros 0.5 ml deben de estar graduados de 0.05 ml, y el fondo debe de ser redondeado.

- Jeringa de 1 ml graduada de 0.1 ml.
- Termometro
- Papel filtro de grado medio, rapido, blanco y de 12.3 cm de diametro.
- Bano de agua
- Alambre de cobre del No. 14.
- Solventes (n-pentano, ciclopentano o n-hexano).

**2. Corrosion a la tira de Cobre.**

**NORMA: ASTM D1838-79**

**Alcance.**

Este método cubre la detección de la corrosividad a la tira de cobre producida por el Gas Licuado.

#### Procedimiento.

Un a tira de cobre perfectamente pulida y limpia de dimensiones especificas, se introduce en aproximadamente 100 ml de muestra; la presión dentro del cilindro debe ser la misma que la presión de trabajo.

Todo el cilindro se introduce en un baño de agua para mantener la temperatura a 100 oF +- 1 oF. Una vez establecidas estas condiciones se deja reposar durante una hora.

Al fin del periodo se extrae la placa cuidadosamente y se compara con la clasificación estándar para la corrosión del cobre, cuidando que en el momento de la comparación la luz reflejada forme un ángulo de aproximadamente 45 grados.

Se reporta la corrosividad de la muestra como 1, 2, 3 o 4 según corresponda (ver tabla pag. siguiente).

#### Material.

- Cilindro de prueba. De acero inoxidable diseñado para operar a 1000 psig.
- Baño de agua con controlador de temperatura.
- Termómetro graduado de 0.5 Gr. F
- Solvente para lavado (iso-octano puro)
- Tira de cobre de 76 mm X 12.7 mm X 1.6 a 3.2 mm.
- Material para pulir, silicón Carbide de varios grados.
- Placas ASTM para corrosión a la tira de cobre.

CLASIFICACION ASTM PARA LA CORROSION A LA TIRA DE COBRE

CLASIFICACION	DESIGNACION	DESCRIPCION
1	Ligeramente opaco	- Ligeramente anaranjado - Anaranjado obscuro
2	Moderadamente opaco	- Rojo claro - Lavanda - Multicoloreado (azul,plateado y rojo)
3	Obscuro	- Bronceada - Multicoloreada (rojo y verde, no gris)
4	Corrosión	- Negro transparente, gris obscuro o ca- fe con matices verdes - Grafito - Negro lustroso

### 3. Azufre total.

NORMA: ASTM D2784-80

#### Alcance

El método cubre la determinación de azufre total en Gas Licuado para concentraciones mayores o iguales a 1 ppm; tiene la limitante de que la muestra no deberá de contener más de 100 ppm de Halógenos.

#### Procedimiento.

La muestra se oxida en un quemador de Oxi-hidrógeno o en una lámpara de sistema cerrado con atmosfera de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. No se recomienda el uso de la lámpara cuando se tienen mínimas concentraciones de azufre.

Los óxidos de azufre formados se absorben y oxidan a ácido sulfúrico por medio de una solución de peróxido de hidrógeno. Posteriormente se cuantifican los iones Sulfato por cualquiera de las siguientes técnicas:

1. Titulación con Perclorato de Bario, que utiliza una mezcla de azul de Metileno-Thorin como indicador.
2. Método Turbidimétrico, en donde el sulfato se precipita como sulfato de bario y la suspensión se cuantifica con fotómetro.

#### Material.

- Sistema de combustión tipo Wickbold o tipo Sakman modificado; en donde cada uno incluye: atomizador-quemador, cámara de Combustion y absorbedor con trampa de spray.

- Sistema de lampara de combustion, el cual incluye: Absorbedores, chimeneas y trampas de spray; sistema múltiple de valvulas que proporcione vacio y atmósfera de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>.. Encendedor tipo quemador de gas.
- Servicio de vacio con capacidad minima de 1200 Litros por hora.
- Cilindro de metal de 75 ml.

#### 4. Contenido de Humedad.

NORMA: ASTM D2713-81

##### 1. Tiempo de Congelamiento.

###### Alcance.

El método cubre la determinación de la humedad, especialmente para Propano de usos especiales, pero puede aplicarse para Propano Comercial. No es aplicable cuando el producto contiene algún anticongelante.

###### Procedimiento.

Primeramente se hace pasar el producto en fase líquida a través de la valvula completamente abierta, con el fin de enfriar el cuerpo de esta hasta la misma temperatura del

producto; hecho esto se cierra la valvula hasta un valor prefijado de flujo y se registra el tiempo requerido para que la valvula congele e interrumpa el flujo normal.

El tiempo requerido promedio para diferentes pruebas sucesivas se registra como el tiempo de congelación.

Si la valvula no congela en 60 seg. el producto se reporta como "pasa".

**Material.**

- Valvula de prueba de congelamiento para Propano.
- Reloj de paro
- Cilindro de muestra de 3 gal min. de cap.

**4.1. Contenido de Humedad.**

**NORMA: GPA STD 2140-84**

**II. Método del Bromuro de Cobalto**

**Alcance.**

El método cubre la determinación de la humedad en propano comercial y propano para usos especiales.

**Procedimiento.**

Se coloca algodón impregnado de Bromuro de Cobalto dentro del cilindro de prueba, el uso del algodón es el de provocar un intimo contacto entre la muestra y el reactivo, y facilitar

asi la deteccion del cambio de color.

Se llena el cilindro con la muestra hasta llegar a una presión de  $50 \pm 2$  Paig, la cual se debe mantener durante toda la prueba.

Si el color original persiste durante 30 minutos, entonces la presión se reduce a  $7 \pm 2$  Paig durante 5 min.; y si sigue persistiendo el color azul el producto se reporta como seco.

Si el color cambia a morado claro o rosa en el momento de reducir la presión, el producto se reporta como húmedo.

Si el color cambia a morado claro o rosa durante los primeros 30 min., se puede deber a que el producto este húmedo o que la humedad provenga de los accesorios. Para identificar la causa se reduce la presión a 5 Paig y se evalua como sigue:

- Si el indicador cambia a azul, los accesorios están secos y el producto se reporta como húmedo.
- Si persiste el color en el indicador, los accesorios están húmedos y habra que repetir la prueba.

**Material.**

- Indicador. Algodón con Bromuro de Cobalto QP.
- Medidor de presión.
- Valvula de aguja para regular el flujo
- Baño de agua para mantener la temperatura entre los 32 y los 34 °F.
- Diferentes accesorios para controlar el ensayo.

### 5. Contenido de agua Libre.

La determinación del contenido de agua libre se hace por inspección visual en las muestras en las que ya se halla determinado la gravedad específica.

### 6. Contenido de ácido sulfhídrico.

NORMA: ASTM D2420-81

#### Alcance.

El método cubre la detección de ácido sulfhídrico en Gas Licuado; tiene una sensibilidad de 1.35 ppm a 1.8 ppm en peso. El único compuesto de azufre que interfiere la prueba son los mercaptanos, los cuales producen una ligera coloración amarilla en el papel.

#### Procedimiento.

El producto en fase vapor se pasa sobre un papel húmedo con acetato de plomo a una velocidad de flujo de 2.3 +/- 0.2 Litros por min. durante dos minutos.

El H<sub>2</sub>S reacciona con el acetato de plomo para formar acetato de azufre produciéndose un cambio en la coloración del papel; este cambio en la coloración varía de amarillo a

negro, dependiendo de la cantidad de ácido presente.

Se retira el papel y se esperan cinco minutos; comparar con un papel limpio. Si no existen diferencias en el color la prueba se reporta como negativa y el producto "pasa".

**Material.**

- Aparato para detectar ácido sulfhídrico
- Papel de prueba con carga de acetato de plomo
- Indicador de flujo

#### **7. Determinación de Sulfuro de Carbonilo.**

**NORMA: UOP 212-72**

**Alcance.**

El método cubre la determinación de Sulfuro de Carbonilo, Mercaptanos y Sulfuro de hidrógeno en gases Licuados del Petróleo e hidrocarburos gaseosos. Se pueden determinar concentraciones de H<sub>2</sub>S desde 0.03 hasta unos miles de ppm en peso. Se aplica también a muestras que contengan mercaptanos en concentraciones tan bajas como 1.0 ppm.

**Procedimiento.**

La cuantificación del Sulfuro de Carbonilo se hace por medio de una titulación potenciométrica, utilizando una solución alcohólica de nitrato de plata.

Para esto, la muestra se burbujea a través de una solución de hidróxido de potasio utilizando dos cámaras conectadas en serie, en donde se absorben el  $H_2S$  y los mercaptanos; posteriormente el gas efluyente se pasa a otra cámara a través de una solución de monoetanolamina para absorber el Sulfuro de Carbonilo, esta última cámara deberá estar aislada a la luz para evitar la descomposición de la solución.

Cuando la muestra a analizar contenga arriba de 100 granos de  $H_2S$  por Ft<sup>3</sup> de gas y la misma cantidad de  $COS$ , las dos primeras cámaras deben de contener 50 ml de  $KOH$  al 40% y la tercer cámara 20 ml de solución alcohólica al 5% de monoetanolamina; el volumen de muestra debe de ser de 2 Ft<sup>3</sup> fluyendo a razón de 1 Ft<sup>3</sup>/Hr como máximo; entonces la titulación se efectuara hasta antes de 1 hora de tomada la muestra.

Si el producto contiene menos de 10 granos de  $H_2S$  y  $COS$  por Ft<sup>3</sup> de gas, el volumen de la solución de  $KOH$  será de 100 ml a una concentración de 10% y, adicionalmente se requiere adicionar un gramo de mezcla Versen para prevenir la oxidación de los sulfuros; la cámara de absorción se mantiene a las mismas condiciones que el caso anterior. El volumen de muestra será de 10 Ft<sup>3</sup> a la misma razón de flujo. La solución de MEA deberá de titularse lo mas pronto posible.

Para la titulación se utiliza un electrodo de sulfuro de plata y un electrodo de vidrio como electrodo de referencia; la solución valorante será de nitrato de plata alcohólica al 0.01 N.

La solución de MEA, conteniendo el COS, se transfiere a la celda de titulación lavando la cámara con dos porciones iguales de 50 ml del solvente utilizado para la titulación, y se mezclan con la solución original. El punto de equivalencia se encuentra entre  $-0.1$  y  $+0.1$  Volts.

**Material.**

- Celda de titulación con agitación
- Cámaras equipadas para el burbujeo y transferencia de la muestra.
- Electrodo de vidrio de referencia
- Recipientes para la toma de muestra con válvulas y accesorios de medición
- Electrodo indicador de plata-sulfuro de plata
- Voltímetro de  $\pm 2$  mVolts
- Soluciones apropiadas

### 9. Límites de inflamabilidad.

NORMA: ASTM E681-79

#### Alcance.

El método cubre la determinación de los límites máximos y mínimos de inflamabilidad de líquidos que contengan suficiente presión de vapor para formar mezclas inflamables con aire a la presión de una atm. a la temperatura de prueba. Puede utilizarse introduciendo un gas inerte para dilución de la mezcla o utilizando un agente menos oxidante que el aire.

Se limita a presiones iniciales de 1 atm o menores hasta una presión mínima de 100 mmHg; a una temperatura máxima de prueba de 150 °C.

#### Procedimiento.

Primero se limpia todo el sistema con aire seco para evitar presencia de contaminantes. Se aplica vacío al recipiente hasta llegar a los 10-15 mmHg, si la muestra es líquida, o a menos de 5 mmHg si la muestra es gaseosa. Se procede a introducir la muestra en las cantidades y procedimiento adecuado, empezando por la determinación del límite superior. se introduce aire al sistema hasta llegar a la presión atmosférica, registrando la temperatura de prueba; se activa la fuente de ignición.

Se observa y registra la ignición y propagación de la flama desde la fuente hasta el momento que llega a las paredes del recipiente.

Se deben de variar los tamaños de las muestras hasta obtener datos suficientes para determinar ambos límites.

**Material.**

- Aparatos y sistemas apropiados para la prueba;  
el tipico consta de:

Recipiente de vidrio para la prueba

Camara aislada con control de temperatura

Fuente de ignición

Agitador y conexiones necesarias.

**CAPITULO V.**

**OBTENCION DE GAS LIQUADO**

El incremento en los costos para Etano, Propano y Butano, por su potencialidad como materias primas susceptibles de posterior transformación hacen desable su recuperación a partir del gas natural, el cual es relativamente rico en estos componentes.

En nuestro país se cuenta con amplias reservas de gas natural, por lo cual constituye la materia prima más importante para la obtención del Gas Licuado.

Además, las políticas de ahorro y conservación de energía están enfocadas a aprovechar al máximo los recursos disponibles, empezando por evitar quemar la gran cantidad de gases que se producen durante la obtención y refinación del Petróleo.

Por todo esto se han creado sistemas de recolección y procesamiento de estos gases, principalmente Gas Natural, para la recuperación de sus componentes.

Hoy en día la instalación de estos sistemas es completamente económica ya que el valor en el mercado para Etano y los Gases Licuados hace posible una recuperación de capital relativamente rápida, puesto que estos productos son una buena fuente para incrementar los ingresos obtenidos por la explotación de los recursos naturales.

Los procesos de recuperación de Etano y Licuables a partir del gas natural han evolucionado de tal forma que hoy en día se prefieren los procesos a bajas temperaturas,

puesto que son más confiables y permiten altas recuperaciones de Etano y Licuables a costos bastante aceptables. En la fig. V.1 se pueden observar los niveles de recuperación de los diversos procesos de obtención de Gas Licuado.

Las fuentes principales de obtención de Gas Licuado son dos: 1. A partir de Gas Natural y, 2. Como subproducto de las plantas de refinación.

La obtención de Gas Licuado como subproducto de las plantas de refinación no conforman un renglón importante, dados los volúmenes relativamente bajos que produce y, por ser subproducto de alguna unidad no se tratarán en el presente trabajo, solo se menciona que específicamente se obtiene del:

1. Cracking Catalítico
2. Cracking Térmico
3. Hidrocracking
4. Unidades de Reformación
5. Coquizador Retardado

La mayor parte del Gas Licuado se obtiene a partir del Gas Natural, el cual está formado principalmente por Metano, menores cantidades de hidrocarburos superiores, conocidos como Líquidos del Gas Natural (NGL) y de contaminantes como Agua, Dióxido de Carbono, Nitrógeno y compuestos de Azufre.

# PROCESOS DE RECUP. DE LICUABLES

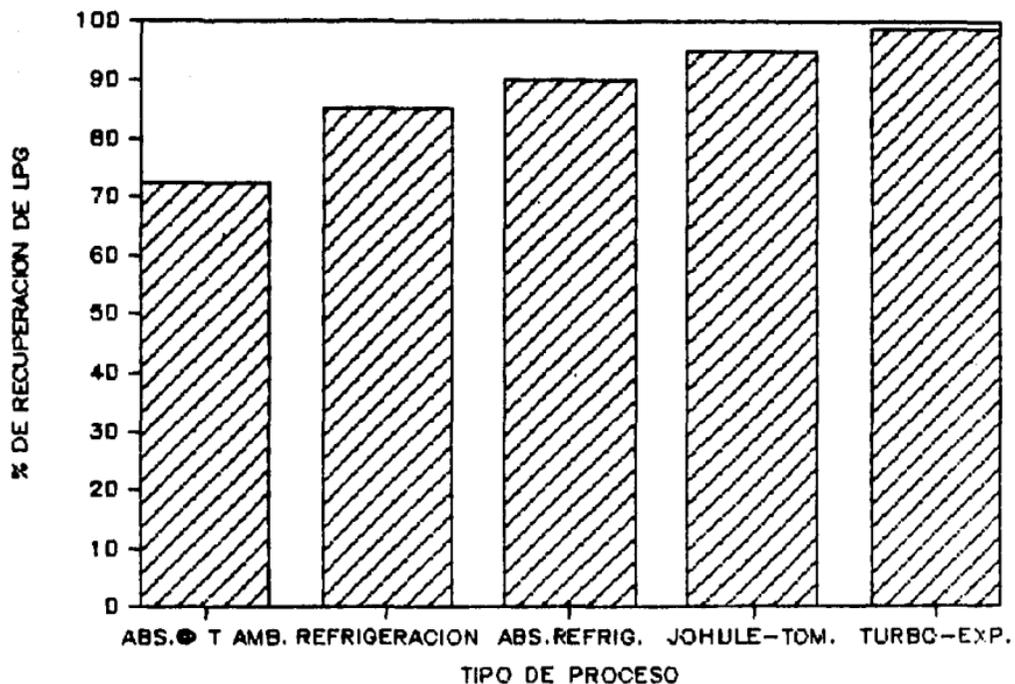


Fig. No. V.1.

Las relaciones entre los componentes del gas natural se pueden observar en la figura No. V.2.

La obtención del Gas Licuado se efectua en dos unidades de Proceso, una Unidad de Extracción que produce básicamente NGL, y de una Unidad Fraccionadora que separa y produce los productos comerciales del NGL (Etano, Gas Licuado y Gasolinas Ligeras). Primero se considerarán las Unidades de Extracción y, posteriormente se trataran las Unidades de Fraccionamiento.

#### V.1. UNIDADES DE EXTRACCION

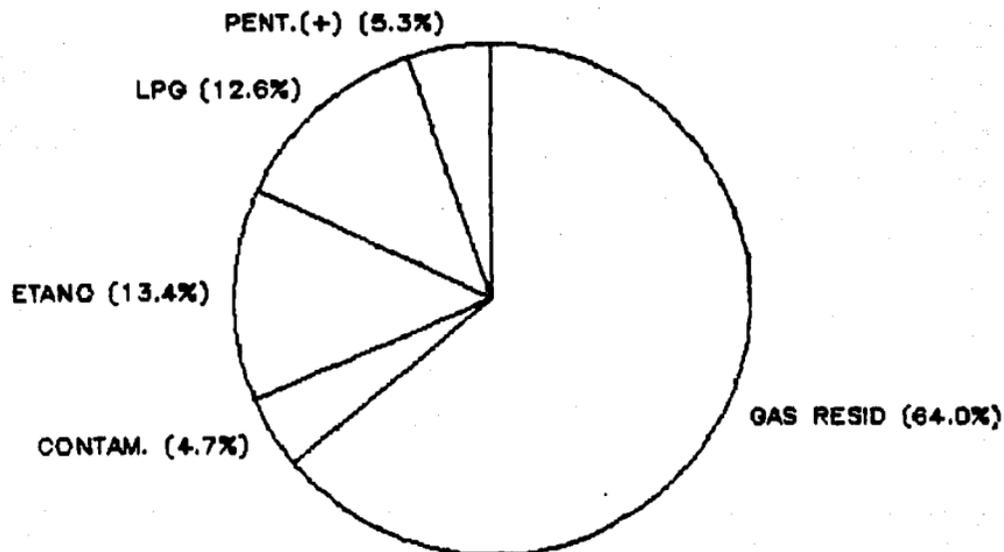
Los procesos de extracción se pueden clasificar en siete grupos diferentes, que son:

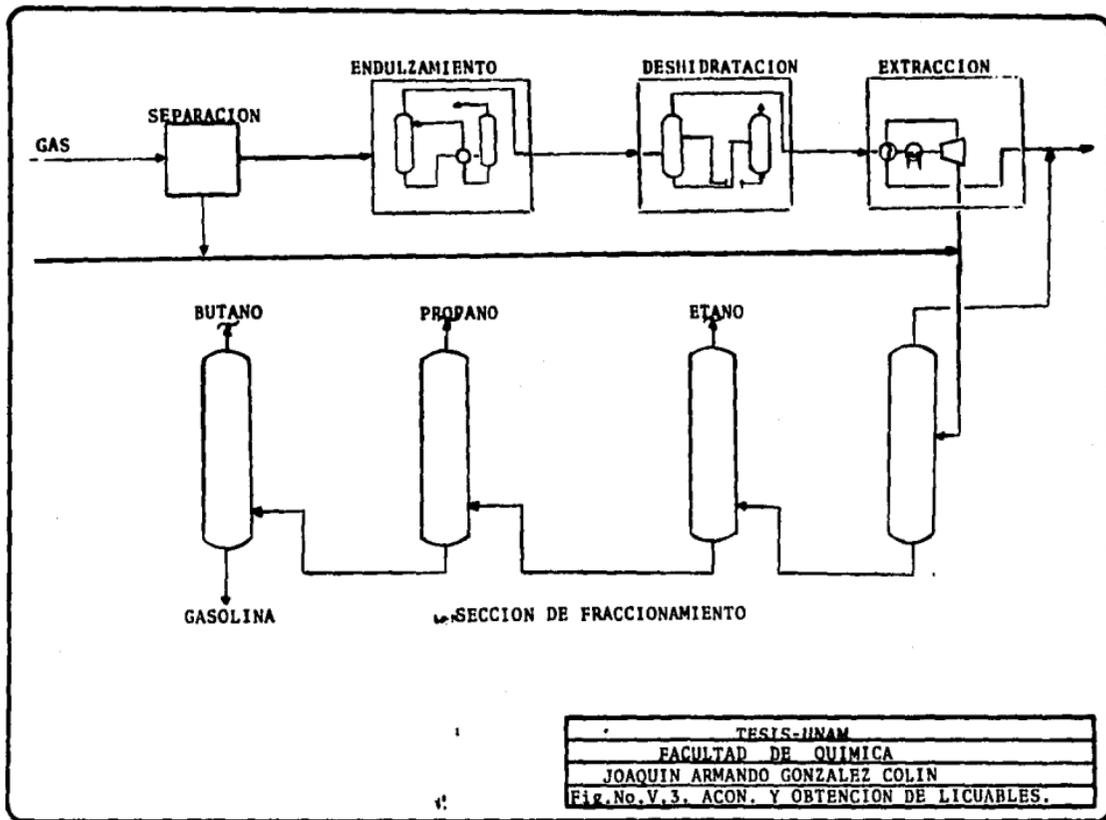
1. Compresión
2. Adsorción
3. Absorción a Temperatura Ambiente
4. Absorción Refrigerada
5. Refrigeración
6. Expansión Joule-Thomson
7. Turbo-Expansión

Los dos primeros procesos extraen únicamente gasolinas naturales, el tercero de ellos recupera parcialmente Propano

# CONSTITUYENTES DEL GAS NATURAL

% Relativo de componentes





y Butano y tiene muy baja eficiencia, y el resto de ellos recuperan variadas proporciones de Etano y más pesados (+) dependiendo de las condiciones de diseño y operación.

Actualmente la capacidad de las plantas de recuperación varia desde unas pequeñas unidades de 5-8 MMPCSD, hasta unidades que procesan unos 1500 MMPCSD con producciones de Gas Licuado desde unos cuantos miles de BPD hasta los cientos de miles de BPD.

Dependiendo de cada situación en particular se pueden englobar, de una manera muy general, tres diferentes objetivos principales de una planta de extracción y recuperación:

1. Extracción del Gas Licuado y el gas residual se quema o se reinyecta.
2. Extracción del Gas Licuado y venta del Gas Residual.
3. Una extracción máxima de Etano más pesados con la venta del Gas Residual.

En éste trabajo se presentan los diferentes procesos de extracción del gas licuado, indicando sus características principales, el enfoque con el cual fueron diseñados y el nivel de recuperación de cada uno, tomando en consideración los objetivos antes expuestos.

Un diagrama de flujo típico para extraer y fraccionar los líquidos del Gas Natural se muestra en la figura No. V.3, como se puede ver se requiere darle un

tratamiento al gas antes de proceder a la extracción, esto es con el objeto de reducir el contenido de gases ácidos (Ácido sulfhídrico y Dióxido de Carbono, principalmente) y la concentración de agua hasta los niveles de procesamiento y especificaciones de venta del producto.

Se deben de eliminar primero los contaminantes ácidos con el fin de evitar problemas de corrosión en liph'neas y equipos principalmente; para lo cual existen numerosos procesos, en donde la elección del más adecuado está en función del tipo de contaminante, concentración, disposición de los subproductos, etc. en México el proceso que se utiliza es el proceso Girbotol, que utiliza una solución alcalina de aminas y reduce la concentración de los contaminantes ácidos hasta los niveles de proceso.

Adicionalmente se requiere deshidratar el gas para evitar congelamientos y formación de hidratos durante la extracción, especialmente en los procesos a bajas temperaturas. Cuando las temperaturas del proceso son moderadamente bajas, unos  $-30$  oC, la remoción de agua se hace por absorción con Glicol, el cual ofrece concentraciones mínimas de agua de 7 Lb/MMPCSD de gas. Mientras que para procesos a menores temperaturas se requiere la utilización de Mallas Moleculares que logran contenidos de agua de hasta 0.1 ppm con puntos de rocío de  $-110$  oC.

A continuación se presentan los principales procesos de recuperación de licuables.

## V.1.PROCESOS DE ABSORCION.

Este tipo de proceso fue el primero que se aplico en México para la recuperación de licuables, inicialmente se utilizaba el proceso de absorción a temperatura ambiente y hasta 1960 se implementó el sistema con absorción refrigerada, que tiene mayores rendimientos.

### V.1.1. PROCESO DE ABSORCION A TEMPERATURA AMBIENTE.

En estos sistemas la recuperación de licuables se realiza con un solvente selectivo para la remoción de hidrocarburos licuables del gas. Las condiciones de operación son las del endulzamiento del gas, de 26 a 65 °C, y de regeneración del aceite absorbente (solvente), de 26 a 37.7 °C.

La desventaja en este tipo de proceso es su dependencia con las condiciones ambientales; durante el invierno el aceite absorbente se puede enfriar hasta 26 °C, lográndose recuperaciones del orden del 80% de Propano, y en épocas de calor las temperaturas obtenidas permiten recuperar el 55% del Propano alimentado como máximo.

Los internos utilizados en las columnas del sistema son platos, obteniéndose una mayor eficiencia para la operación y logrando menores caídas de presión.

Dadas las temperaturas de operación no se requiere deshidratación del gas antes del tratamiento.

El aceite que se utiliza para la absorción es de 43 oAPI y de P.M. 200, normalmente.

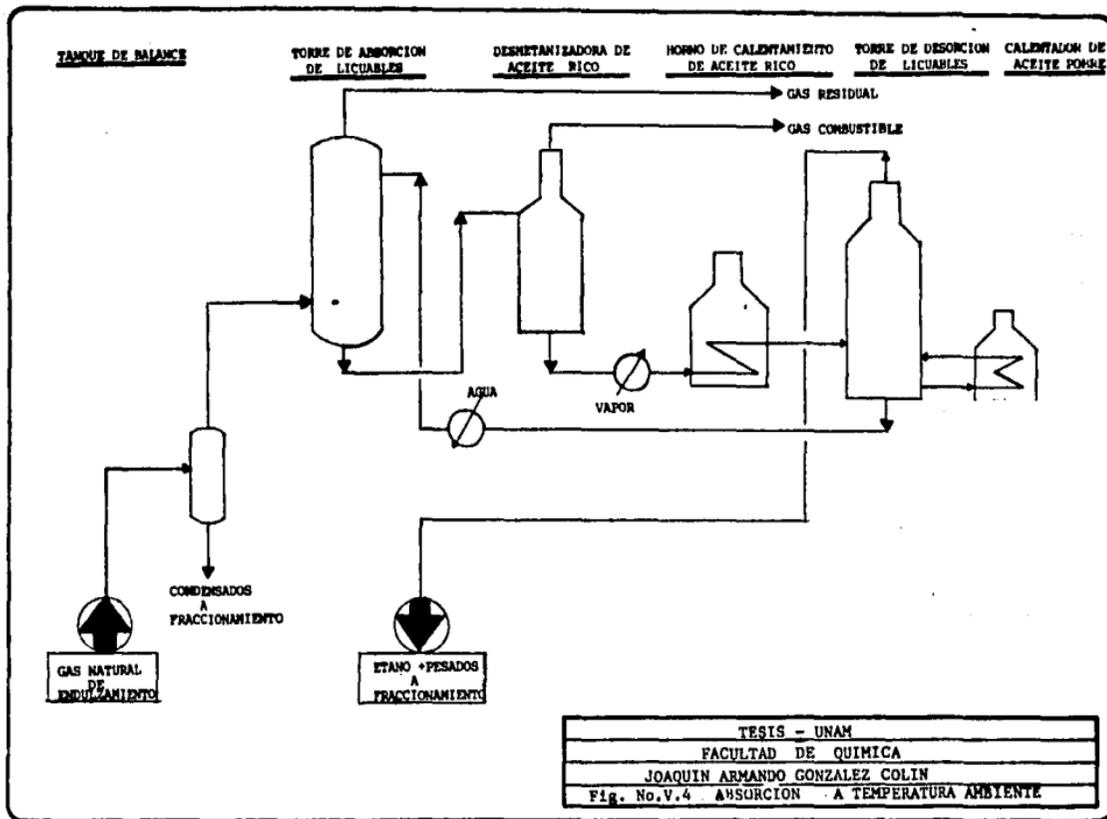
#### DESCRIPCION DEL PROCESO

El gas proveniente del transporte o producción se recibe en un tanque separador, donde los condensados formados se separan y se envían a la Unidad de Fraccionamiento; el gas se alimenta a la torre de absorción a contracorriente a las mismas condiciones de llegada.

El producto proveniente de los domos de la absorbidora, consiste principalmente de metano se manda a límites de batería como gas residual. El aceite de fondos rico en licuables se envía a la torre desmetanizadora.

El gas obtenido en el domo de esta torre, conteniendo metano y parte del etano se utiliza como gas combustible para la misma planta. El aceite rico en licuables se obtiene por el fondo, el cual, previo calentamiento con vapor, se alimenta al horno de calentamiento para elevar la temperatura a los límites requeridos para la desorción de los hidrocarburos contenidos en él, utilizando para ello una torre regeneradora.

En la torre regeneradora se obtiene etano más pesados por el domo, que se envían a la Unidad de fraccionamiento; el producto de fondos lo constituye el aceite absorbente pobre, que se recircula a la torre de absorción previo



enfriamiento con agua.

### V.1.2. PROCESO DE ABSORCIÓN REFRIGERADO.

El proceso de recuperación de Licuables por medio de absorción refrigerada utiliza enfriamiento externo y un solvente (aceite pobre) para remover selectivamente de la corriente de gas los componentes pesados, parte del Etano y la mayor parte del Propano (+).

El gas y el aceite pobre alimentados a la torre contactora se enfrían externamente con un ciclo de refrigeración que normalmente utiliza propano como refrigerante.

El proceso se ve favorecido cuando se trabaja a elevadas presiones, bajas temperaturas y un aceite de absorción de bajo peso molecular. La presión normalmente queda fija por las condiciones en que opere el gasoducto de transporte del gas; y las temperaturas se limitan por las temperaturas del ciclo de refrigeración, que para el caso de utilizar Propano son de 5 a -15 °C. En la elección del sistema de refrigeración se debe tener especial cuidado de que el material de las aleaciones para el equipo no eleven los costos y el proceso se haga antieconómico.

En cuanto al aceite de absorción utilizado se ha visto que el más adecuado es un aceite de peso molecular de 100 a 180, normalmente se usa Nafta deshexanizada la cual absorbe del 85 al 90% de los propanos y la mayor parte de los butanos. Estos valores se deben a que a estas condiciones

la eficiencia del proceso aumenta notablemente con respecto a la absorción a temperatura ambiente.

En algunas ocasiones se requiere de una segunda etapa de adsorción con el objeto de reducir las pérdidas de componentes ligeros en el aceite pobre.

El proceso tiene la ventaja de tener una baja caída de presión, alta selectividad para el Propano (+) y simplicidad de la operación.

La principal desventaja que tiene es el bajo rendimiento para recuperar Etano, que en el mejor de los casos es del orden del 50%.

#### DESCRIPCION DEL PROCESO

El gas dulce proveniente de deshidratación se alimenta directamente al tren de enfriamiento, en donde intercambia calor con la corriente de gas residual y, posteriormente, con un refrigerante externo (Propano). La mezcla resultante en un tanque separador trifásico; los condensados se envían a la Unidad de Fraccionamiento, el agua se envía a tratamiento y el gas se alimenta a la torre absorbedora a contracorriente con el aceite pobre.

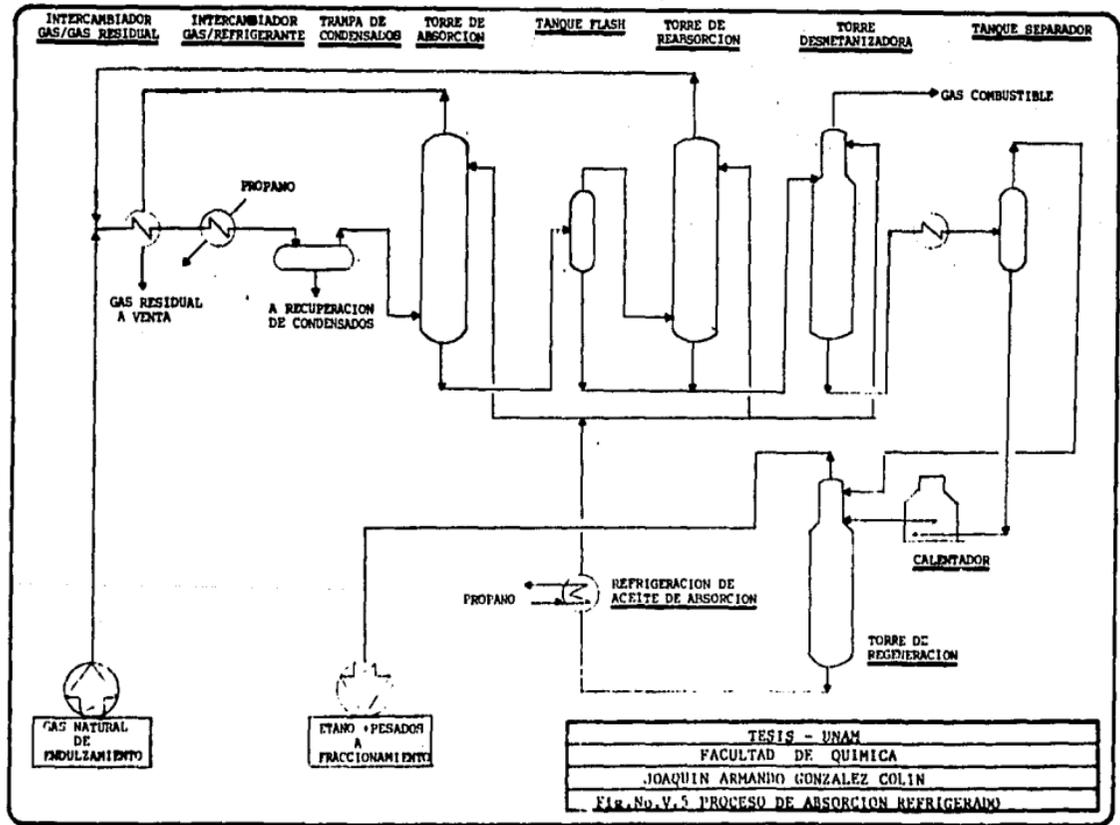
El producto de domos de la torre absorbedora es el gas

que se envía al primer intercambiador del tren de enfriamiento; la corriente de fondos consiste de aceite rico en licuables, se alimenta a un tanque flash para recuperar hidrocarburos del aceite de absorción. Los vapores producidos en este tanque se alimenta a contracorriente a una segunda torre de absorción, que opera con aceite de la misma calidad que la primera; los vapores producidos en la torre se recirculan para aumentar la eficiencia al proceso, mientras que el producto de fondos se unen con el líquido resultante del tanque flash y juntos se envían a la torre desmetanizadora.

Por el domo de la torre desmetanizadora se obtiene gas combustible, el producto de fondos, consistente en aceite rico en licuables, se manda a regeneración.

El aceite rico de la desmetanizadora pasa primero por un intercambiador de calor con vapor, la mezcla formada entra a un tanque separador. El líquido y el vapor resultantes se alimentan a la torre regeneradora en dos diferentes puntos, el líquido se alimenta previo calentamiento en un horno.

El producto de domos de la regeneradora consiste de etano más pesados, que se envían a fraccionamiento, y por el fondo se obtiene el aceite pobre que se recircula al proceso



previo enfriamiento con un refrigerante externo (Propano).

## V.2. PROCESOS DE REFRIGERACION.

Los procesos de refrigeración hacen uso de la refrigeración mecánica convencional. Dependiendo de los objetivos de la recuperación es posible utilizar cualquier ciclo de refrigeración, con la única condición de que se logren los niveles de temperatura requeridos.

El rango normal de temperaturas para este tipo de proceso se encuentra entre los -30 y los -65 oC. En donde la elección está en función del grado de recuperación deseado.

Un ciclo de refrigeración simple tiene recuperaciones de Etano del 50 al 60% y de propano del 80 al 85%. En cambio, un ciclo de refrigeración en cascada logra niveles de recuperación del 70 al 75% de Etano y del 90 al 95% de Propano. En México no es posible aplicar este último debido a los altos costos que tiene.

Este tipo de procesos son muy simples de operar y tienen una gran flexibilidad en la alimentación.

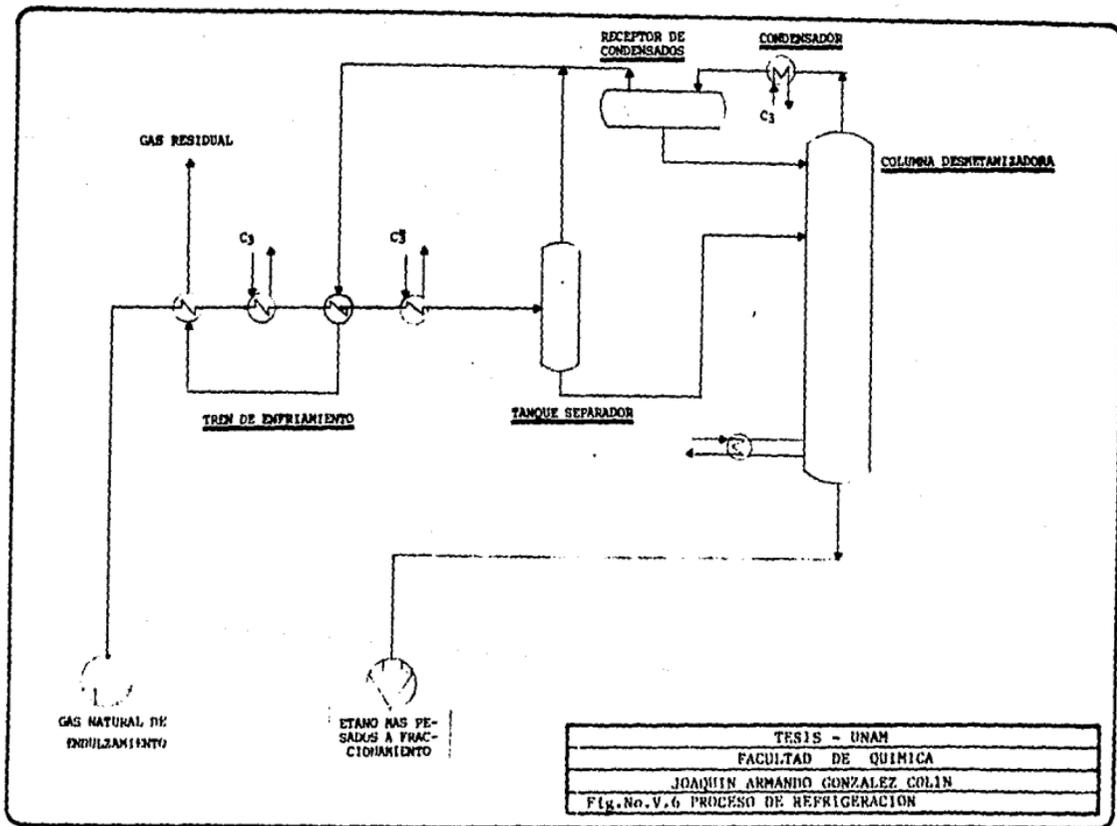
## DESCRIPCION DEL PROCESO

El gas endulzado ingresa a la planta a presiones del orden de 500-1000 Paig, enfriandose con la corriente de gas residual. Posteriormente pasa a través de la valvula de

expansión para reducirle la presión hasta 100 - 500 Psig, dependiendo del grado de recuperación deseado.

La mezcla obtenida se envía a la torre desmetanizadora, en donde el producto de fondos lo constituyen el etano más pesados que se envían a fraccionamiento. Por los domos se obtiene gas residual, formado por metano y etano que se envían a L.B. previo intercambio de calor con el gas de carga, y compresión.

El gas residual se comprime y el calor ganado en la compresión proporciona la carga térmica para el rehervidor de la torre desmetanizadora.



### V.1.3. PROCESOS CON EXPANSION JOULE-THOMSON.

Este tipo de procesos ofrecen atractivas alternativas de recuperación, sobre los demás esquemas de obtención de licuables, solo en ciertas aplicaciones.

El principio del proceso se basa en la expansión isoentálpica del gas a través de una valvula de expansión. Con un intercambio de calor apropiado y grandes diferenciales de presión es posible llegar a obtener temperaturas criogénicas, con la subsecuente recuperación.

Comparando el proceso con el de turboexpansión, se requiere de más energía para llegar a obtener la misma cantidad de licuables, y solo tiene ventajas significativas cuando se aplica en las siguientes condiciones:

- Bajos flujos de gas. Cuando la capacidad de la planta es pequeña se tiene un considerable ahorro en espacio y costo de capital, ya que se elimina el turboexpansor y todo el equipo involucrado con él.
- Limitada recuperación de Etano. Cuando la recuperación de Etano no es un factor importante a considerar, este proceso será el adecuado puesto que solo recupera el 10-30 % del etano presente en la alimentación.
- Amplias fluctuaciones de flujo. Normalmente los turboexpansores solo permiten fluctuaciones del flujo del orden del 20% sobre el valor de diseño, en cambio las valvulas de

expansión no tienen prácticamente ningún problema al variar el flujo.

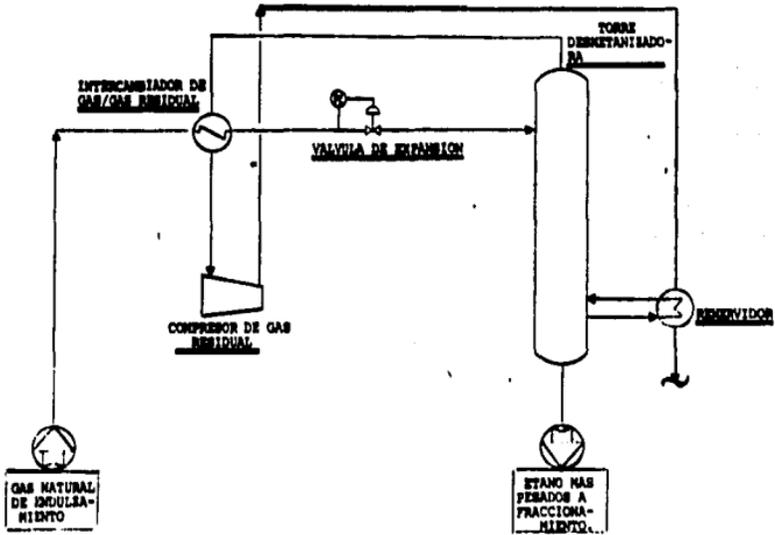
- Simplicidad de la operación. Este tipo de procesos es ideal para instalarse en lugares muy apartados, porque requiere de poco personal en su operación.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El gas endulzado ingresa a la planta a presiones del orden de 500-1000 Psig, enfriandose con la corriente de gas residual. Posteriormente pasa a través de la valvula de expansión para reducirlo la presión hasta 100 - 300 Psig, dependiendo del grado de recuperación deseado.

La mezcla obtenida se envia a la torre desmetanizadora, en donde el producto de fondos lo constituyen el etano más pesados que se envian a fraccionamiento. Por los domos se obtiene gas residual, forreado por metano y etano que se envian a L.E. previo intercambio de calor con el gas de carga, y compresión.

El gas residual se comprime y el calor ganado en la compresión proporciona la carga térmica para el rehervidor de la torre desmetanizadora.



TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. V.7 PROCESO CON EXPANSION JOULE-THOMSON

#### V.1.4. PROCESOS CON TURBO-EXPANSION

Los procesos con Turbo-expansión se basan en la expansión adiabática del gas de alta presión (300-1200 Psig) por medio de una turbina, recuperando al mismo tiempo cierta cantidad de potencia. Durante la expansión la corriente de gas se refrigera hasta muy bajas temperaturas con la subsecuente condensación de los componentes más pesados del gas alimentado.

El nivel de temperaturas obtenido es menor que en el caso de la refrigeración convencional; se encuentra por debajo de los -120 °C, aunque este valor también está en función de los requerimientos y economía de la extracción puesto que en algunas ocasiones requiere de ciclos de refrigeración complementarios o de un segundo turboexpansor, especialmente para razones de recuperación elevadas de etano, 85 al 90%.

La energía recuperada de la expansión normalmente se utiliza para la recompresión del gas residual.

Algunas características relevantes de los turbo-expansores son:

- Alta eficiencia comparada con la expansión isoentálpica.
- Relación de expansión limitada a 5-6.
- Relación de líquido de salida ilimitada.

- Tamaños que van desde unos pocos hasta los miles de HP's.
- Elevadas velocidades de operación, arriba de las 20 000 RPM.
- Flexibilidad limitada hasta un 20% con disminución de la eficiencia abajo del 60% con respecto al flujo normal.

Existe en la actualidad una gran variedad de combinaciones y modificaciones de plantas que operan con este tipo de proceso, por lo cual solo se presenta una de ellas.

#### DESCRIPCION DEL PROCESO

Este es un esquema típico de procesamiento, en donde el gas de carga se deshidrata en lechos de mallas moleculares, debido a que proporciona la especificación de temperatura de rocío para el ingreso del gas al tren de condensación.

El tren de enfriamiento aprovecha óptimamente las corrientes frías generadas en el proceso con el servicio auxiliar de un refrigerante externo para proporcionar mayor enfriamiento, que se traduzca en una mayor recuperación de etano.

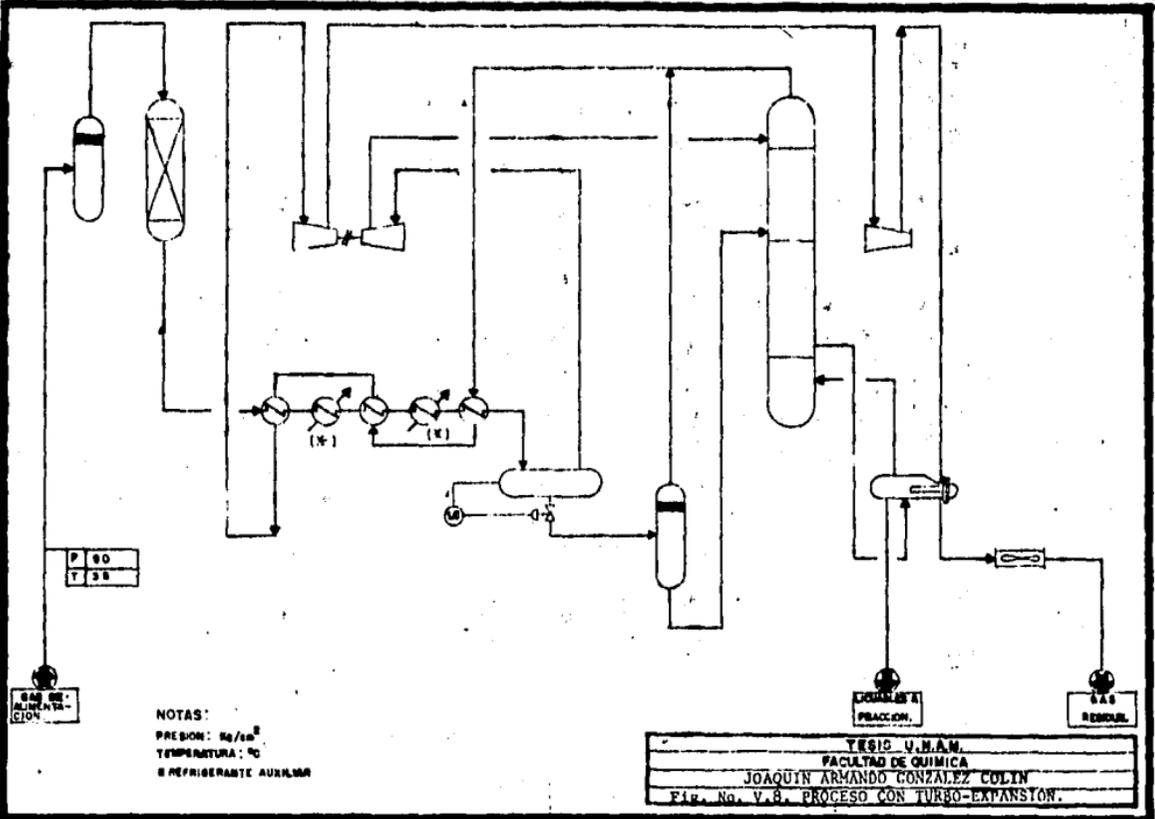
La mezcla resultante del tren de enfriamiento se alimenta a un tanque separador, en donde se separa el gas del líquido; El gas se expande en el Turbo-expansor acoplado

a un primer compresor aprovechandose la energía generada en la expansión del fluido.

El líquido efluente del separador se expande a través de una válvula de expansión y la mezcla resultante se separa en otro tanque separador, de aquí el líquido se alimenta como reflujo de la torre desmetanizadora.

La mezcla producida por la turboexpansión se alimenta a la torre desmetanizadora. El producto de fondos, consistente en Etano más pesados, se envía a la Unidad de Fraccionamiento; el producto de domos, gas residual, se comprime en el compresor acoplado al turboexpansor, posteriormente pasa al tren de enfriamiento del gas de carga, y a un segundo compresor para proporcionar los requerimientos de presión del gas residual.

Debido a que el gas residual resulta con una temperatura elevada al final de su trayectoria, se aprovecha esta energía en el rehervidor de la torre desmetanizadora, para finalmente y dados los requerimientos de temperatura se pasa a través de un enfriador con aire.



NOTAS:  
PRESION: kg/cm<sup>2</sup>  
TEMPERATURA: °C  
R REFRIGERANTE AUXILIAR

TESIS U.N.A.M.  
FACULTAD DE QUIMICA  
JOAQUÍN ARMANDO GONZÁLEZ COLÍN  
Fig. No. V.8. PROCESO CON TURBO-EXPANSTON.

## V.2. UNIDAD DE FRACCIONAMIENTO.

El objetivo de una unidad fraccionadora es la obtención de etano, propano, butanos y gasolinas ligeras con especificaciones comerciales o con los requerimientos de Refinería y/o Complejo Petroquímico, a partir de las mezclas provenientes de la Unidad de Recuperación de Licuables anteriormente descrita.

La proceso de separación de éstos compuestos se hace por medio de Destilación Fraccionada Sucesiva, el cual se basa en la diferencia de volatilidad de cada una de los componentes.

El esquema de proceso para la Unidad de Fraccionamiento se debe de elegir en base a las características de las alimentaciones, a las especificaciones de los productos que se quieren obtener, a los servicios auxiliares de que se disponen y a un estudio técnico-económico final.

Debido a esto y a que se tiene una variedad de plantas que pueden alimentar a la unidad de fraccionamiento, se presentan en éste trabajo solo los criterios técnicos principales para definir y adecuar el sistema.

La corriente alimentada a la Unidad de Fraccionamiento

contiene ciertas cantidades de compuestos ligeros, tales como Etano, Propano, Butanos y Gasolinas Ligeras, con lo cual se requiere disponer de tres torres de destilación para efectuar el fraccionamiento.

El arreglo secuencial de las torres no siempre sigue el orden propuesto anteriormente, sino que debe de elegirse la secuencia de separación más apropiada para cada caso en particular. Hay que hacer notar que existen cinco posibles arreglos diferentes para obtener cuatro productos con tres torres de Destilación, por lo que será función del Ingeniero de Proceso definir el arreglo requerido en la Unidad.

A continuación se mencionan algunas reglas heurísticas, que sirven para ayudar a definir el arreglo de las torres y desechar más prontamente las alternativas inadecuadas.

- Las diferencias de composición entre una alimentación y otra son determinantes.
- Tratar de separar primero el componente más abundante.
- Tratar de separar primero los compuestos más corrosivos.
- Las separaciones difíciles se dejan al final.
- Tratar de obtener los productos deseados como destilados.
- Tratar de separar los componentes más volátiles uno por uno.

- El sistema más económico será aquel que requiera la menor cantidad de calor para efectuar las separaciones.

Una vez que se conocen las características de las alimentaciones se podrá definir el arreglo que tendrán las torres para el fraccionamiento resumiendo, el procesamiento óptimo es específico para cada problema y por esta razón en el presente trabajo solo se describirá el esquema de flujo de Proceso típico para la Unidad de Fraccionamiento, lo cual se hará suponiendo que primero se coloca la torre desetanizadora (C2), después la despropanizadora (C3) y finalmente la desbutanizadora (C4).

La fase de fraccionamiento se inicia en la torre Desetanizadora, los productos que se obtienen son: Etano por el Domo, el cual previo endulzamiento ( si es que contiene gases ácidos) se envía a una planta de etileno; y por el fondo se obtiene propano y más pesados que se alimentan a la torre despropanizadora.

Esta torre puede operar entre los 225-490 Psig.

El vapor que sale del domo se condensa parcialmente y las fases se separan en el acumulador de reflujo, el gas del acumulador es el etano producto, y el líquido se utiliza como reflujo de la torre.

El calor necesario para la destilación se proporciona por medio de un rehervidor, que normalmente es del tipo Kettle.

El producto de fondos de la desetanizadora se alimenta a la torre Despropanizadora. Los productos que se obtienen son: Por el domo Propano que se envía a límites de batería y por el fondo el Butano más pesados, que se alimentan a la torre Desbutanizadora.

La presión de operación de esta torre está entre los 235 a 300 Psig.

En el condensador se produce el destilado líquido, en donde una parte se utiliza como reflujo, y la otra parte es el producto final. El medio de enfriamiento que se utiliza es agua.

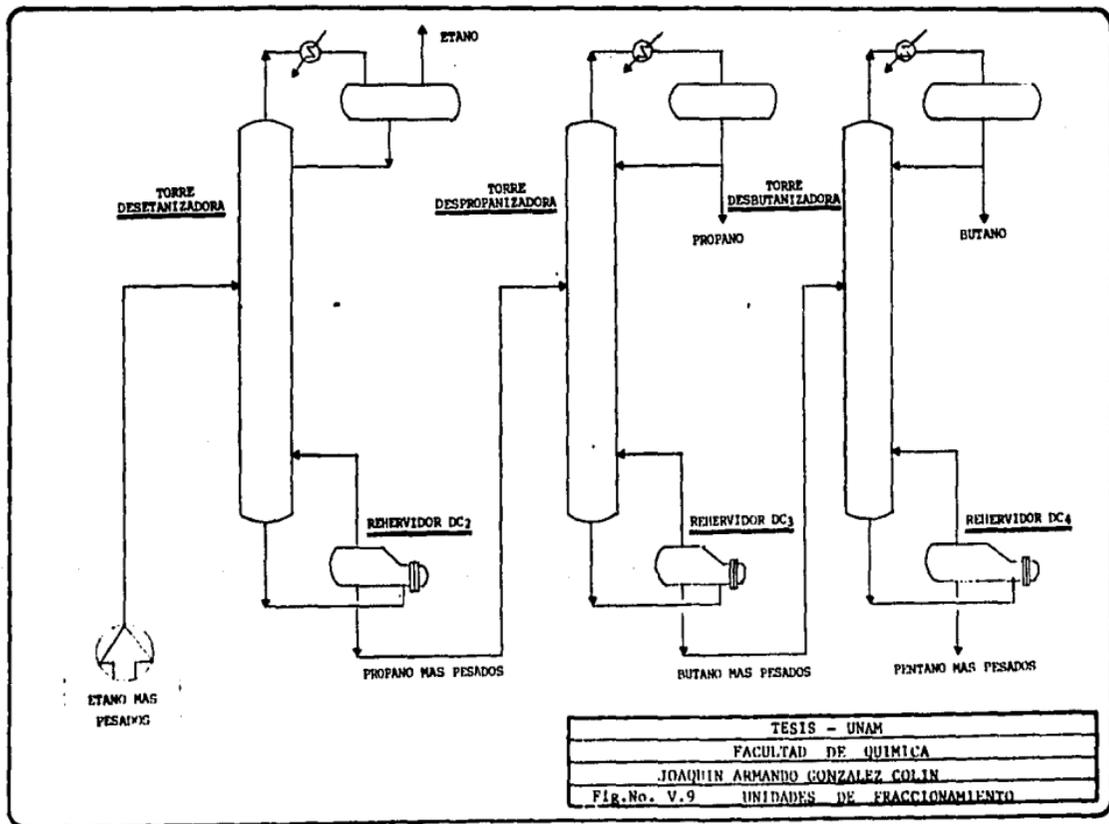
El calor requerido se suministra por medio de un rehervidor, que normalmente es del tipo Kettle.

El butano y más pesados que se obtienen del fondo de la Despropanizadora se alimentan a la torre Desbutanizadora. Por el domo se obtienen los butanos que se envían a límites de batería, y por el fondo se obtienen los pentanos más pesados.

La presión de operación esta entre los 65 y 180 Psig.

En el condensador de la torre se produce el destilado líquido para mantener el reflujo y el producto líquido. El medio de enfriamiento que se utiliza es el agua.

El calor requerido para llevar a cabo la separación se obtiene por medio de un rehervidor tipo Kettle.



## CAPITULO VI.

### ACONDICIONAMIENTO DE GAS

### LICUADO.

En capítulos anteriores se menciona la necesidad de Normalizar el producto, ahora se presentan los procesos que podrían utilizarse para lograr que el Gas Licuado satisfaga tales requerimientos.

El acondicionamiento de los Gases Licuados del Petróleo se divide en tres partes fundamentales, y cada una de las partes corresponderá al tipo de impureza que se requiere eliminar, tal como se ve en el siguiente cuadro:

<b>TIPO DE IMPUREZA</b>	<b>TIPO DE ACONDICIONAMIENTO</b>
Presencia de partículas sólidas	Filtración
Presencia de compuestos de Azufre y Agua	Endulzamiento y secado
Presencia de humedad, agentes corrosivos y re- querimientos de olor	Adición de Agentes Químicos.

A continuación se describen cada uno de estos tipos de acondicionamiento y las alternativas más viables para su aplicación desde un punto de vista técnico.

## VI.1. FILTRACION.

A pesar de que el Gas Licuado es un producto considerado como limpio y se espera no contenga ningún tipo de sólidos, no se descarta esta posibilidad puesto que las partículas pueden llegar a generarse de: 1. Desintegración física del material, 2. Tierra y polvo que llegase a introducirse por cualquier causa, 3. Por reacción química del producto con alguno de los accesorios e internos del equipo, etc.

Con el fin de definir y elegir el filtro adecuado para nuestro servicio se deben de especificar primero algunos parámetros, como son:

### 1. Grado de filtración requerido.

El grado de filtración requerido está en función del tipo de proceso al cual va a ser sometido el producto, para algunos casos se debe de considerar partículas tan pequeñas como 0.3 micras, mientras que otros no requieren grados tan bajos. En este trabajo se considera un grado de filtración de 5 micras como nivel normal.

### 2. Nivel de Contaminación.

Otro parámetro de importancia es el nivel de contaminación y la fuente de éste, para nuestro caso se espera no sea muy alto dado el origen del producto.

### 3. Compatibilidad Química.

El material del medio filtrante no deberá de reaccionar químicamente con el producto a las condiciones de operación; en este punto se debe de conocer la corrosión que presentará el filtro en función del tiempo de operación.

Adicionalmente se debe de considerar la compatibilidad del medio filtrante con los solventes para limpieza, en el caso de que se trabaje con filtros permanentes.

### 4. Resistencia a la Temperatura.

Todos los medios filtrantes tienen un límite a la temperatura, el cual se debe de especificar por el fabricante, puesto que la capacidad de filtración disminuye notablemente al sobrepasar este límite.

### 5. Resistencia a la Abrasión.

Algunos materiales resisten perfectamente al ataque químico y las altas temperaturas, pero son muy sensibles al impacto de partículas abrasivas o se desintegran rápidamente con los cambios y pulsaciones de presión y flujo, por lo que se debe de cuidar este aspecto al hacer la elección.

#### 6. Facilidad y limpieza de Reemplazo.

Cuando se este eligiendo el filtro se debe de determinar si será permanente o temporal. Si el filtro es permanente se considera el tiempo y tipo de limpieza requerido; si es temporal se deberá de estimar el tiempo de vida, y conocer la facilidad y disponibilidad para el reemplazo. Comparar costos para cada caso.

#### 7. Caída de Presión.

Se deben de considerar las caídas de presión permitida al filtro en condiciones limpias y sucias. Un valor típico para el primer caso es de 5 Psi, en el segundo caso se especifica por el tipo de proceso al que será sometido.

Con el fin de tener en conocimiento los filtros disponibles en el mercado que pudieran llegar a tener aplicación con el producto, se presenta a continuación una tabla de filtros, indicando en ella los parámetros más importantes para su selección.



## VI.2. ENDULZAMIENTO.

Para esta sección primeramente se presentará un panorama general de los procesos de endulzamiento que podrían llegar a aplicarse, o que se están utilizando, en el acondicionamiento del Gas Licuado, posteriormente se hace la selección técnica del proceso que se considere el más adecuado y su descripción.

Los procesos de endulzamiento de gases y líquidos son aquellos que se aplican con el fin de eliminar o disminuir el contenido de compuestos ácidos de la corriente de proceso, con el fin de evitar o al menos minimizar problemas tales como:

1. La corrosión en equipo de proceso y en líneas de transporte y almacenamiento.
2. Envenenamiento y/o desactivación de catalizadores.
3. Baja calidad del producto (por cambios en el color, olor, inestabilidad, etc.).
4. El producto debe de estar dentro de normas.

Como ya se ha indicado, los principales contaminantes ácidos del producto son: ácido sulfhídrico, sulfuro de carbonilo, sulfuro de carbono, mercaptanos, dióxido de carbono y agua. La concentración relativa de cada uno de ellos depende principalmente del lugar geográfico de la extracción y del tipo de procesos anteriores al cual ha sido sometida la corriente.

El ácido sulfhídrico es el contaminante que se encuentra en mayor proporción, aunque la presencia de los otros compuestos de azufre y del dióxido de carbono causan una efectiva disminución en la capacidad de endulzamiento.

El nivel de concentración de éstos compuestos es una consideración importante para la selección del proceso. Algunos procesos son económicamente factibles sólo cuando se eliminan cantidades grandes de contaminantes. Otros remueven los contaminantes ácidos hasta rangos de ppm's de concentración, pero pueden adaptarse para eliminar elevadas concentraciones. Algunos sólo son atractivos cuando manejan volúmenes considerables de producto; también los hay aquellos que se ven limitados por causas de la presión de la corriente de proceso, mientras que otros trabajan a cualquier presión.

En algunos casos los procesos están diseñados para la remoción selectiva de algún contaminante en particular, misma que se ve afectada por las condiciones de operación y de las cantidades relativas de los demás compuestos.

A continuación se presenta una lista de los parámetros que deben de considerarse para la selección del proceso:

**PARAMETROS A CONSIDERAR EN LA SELECCION  
DEL PROCESO PARA EL ENDULZAMIENTO  
DEL GAS LICUADO**

1. Tipo y concentración de contaminante a remover
2. Especificaciones finales del producto
3. Especificaciones para los contaminantes ácidos
4. Temperatura y Presión de la corriente a procesar
5. Volumen a procesar
6. Composición del producto
7. Selectividad para la remoción
8. Costos de Inversión de capital y de Operación
9. Relación  $H_2S/CO_2$  en la corriente
10. Flexibilidad del proceso
11. Toxicidad del solvente o reactivo utilizado
12. Disposición de los subproductos
13. Facilidad de operación

Con el objeto de sistematizar el estudio se propone la siguiente clasificación para los procesos de endulzamiento:

PROCESOS CON ABSORCION FISICA

PROCESOS CON ABSORCION QUIMICA

PROCESOS PARA EL  
ENDULZAMIENTO DEL  
GAS LICUADO

PROCESOS CON ADSORCION FISICA

PROCESOS CON ADSORCION QUIMICA

#### VI.2.1 PROCESOS CON ABSORCION FISICA

Estos procesos se basan en la absorción física de los compuestos ácidos sobre soluciones acuosas. Emplea solventes orgánicos para la absorción por efecto de la presión parcial de los contaminantes. En general son importantes cuando:

1. La presión parcial de los gases Ácidos en la alimentación es mayor a 50 Psi.
2. Bajas concentraciones de hidrocarburos pesados en la alimentación.
3. Para la eliminación de volúmenes importantes de gas ácido.
4. Para la remoción selectiva de H<sub>2</sub>S sobre CO<sub>2</sub>.

Como absorvedor se emplea una torre convencional que puede ser empacada o de platos, y la regeneración se efectúa utilizando alguna de las siguientes técnicas o la combinación de ellas:

1. Flasheo de la corriente rica en etapas sucesivas
2. Destilación con gas inerte a baja temperatura
3. Calentamiento y separación de los compuestos ácidos con o sin vapor.

Las principales limitaciones que tienen estos procesos son: Gran afinidad de los solventes empleados por los hidrocarburos más pesados, el alto costo del solvente y su sola aplicación para gases.

## VI.2.2. PROCESOS CON ABSORCIÓN QUÍMICA.

Este tipo de procesos emplea un solvente en solución acuosa, el cual reacciona con los componentes ácidos formando complejos ácidos quienes quedan dentro de la solución.

La reacción es reversible y el solvente se regenera con un aumento en la temperatura y/o disminución de la presión.

Los procesos se pueden adaptar al tratamiento de líquidos y gases.

En cuanto a los procesos basados en la adsorción, también llamados de lecho seco, utilizan un lecho fijo de algún material sólido, el cual posee "sitios activos" para la remoción de los compuestos ácidos, tales sistemas se describen a continuación.

### VI.2.3. PROCESOS CON ADSORCIÓN FÍSICA.

El fenómeno de la adsorción física se lleva a cabo industrialmente en lechos especiales denominados de Mallas Moleculares, en los cuales quedan adsorbidos físicamente los componentes ácidos contenidos en corrientes líquidas y gaseosas.

Las características de estos sistemas son:

1. Se aplican en la remoción de pequeñas o medianas cantidades de componentes ácidos, <50 ppm.
2. Puede manejar cualquier volumen de producto.
3. Importante selectividad para la remoción de ácido sulfhídrico.
4. La corriente a tratar puede contener hidrocarburos ligeros y pesados (no polares).
5. Endulza y deshidrata la corriente al mismo momento.
6. Son de fácil operación.

Las dimensiones de cada uno de los lechos, los ciclos de operación, regeneración y enfriamiento son una función de cada caso en particular, como se explicará posteriormente.

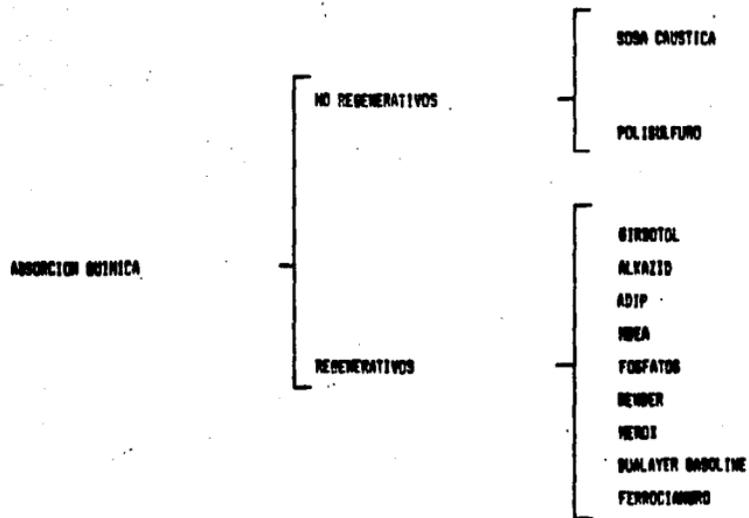
#### VI.2.4. PROCESOS CON ADSORCION QUIMICA.

La adsorción química aplicada para el endulzamiento de productos del petróleo utiliza las llamadas zeolitas (aluminio-silicatos). Estos compuestos sirven como catalizador para la reacción del ácido sulfhídrico con dióxido de azufre para formar azufre elemental, el cual queda retenido en las zeolitas.

Existe también otro proceso que utiliza "esponjas de hierro", en donde el componente activo del lecho es el óxido férrico, quien reacciona con el ácido sulfhídrico formando sulfuro de hierro.

Una vez que se han definido estos puntos se describen ahora los procesos que pueden utilizarse para el endulzamiento de los Gases Licuados del Petróleo, se muestra un esquema de flujo para cada uno junto con sus características principales.

PROCESOS PARA EL EMPOLVAMIENTO DEL GAS LICUADO



## SOSA CAUSTICA

El tratamiento cáustico no regenerativo se aplica en aquellos casos en que no se tienen problemas de contaminación causada por el material de desecho y es económicamente factible cuando la concentración del material contaminante es baja (<10 ppm).

Las trazas de ácido sulfhídrico y otros compuestos de azufre son eliminados de corrientes de Gas Licuado y gasolinas por medio de soluciones acuosas de hidróxido de Calcio, Amonio o Sodio.

Con un buen contacto de ambas corrientes se pueden llegar a obtener concentraciones de H<sub>2</sub>S menores a 0.1 ppm y una buena eliminación parcial de los mercaptanos.

La concentración de la solución endulzadora varía de 5 al 20% en peso y opera a una temperatura de 20 a 43 °C y de 0.35 a 2.8 Kg/cm<sup>2</sup> man.

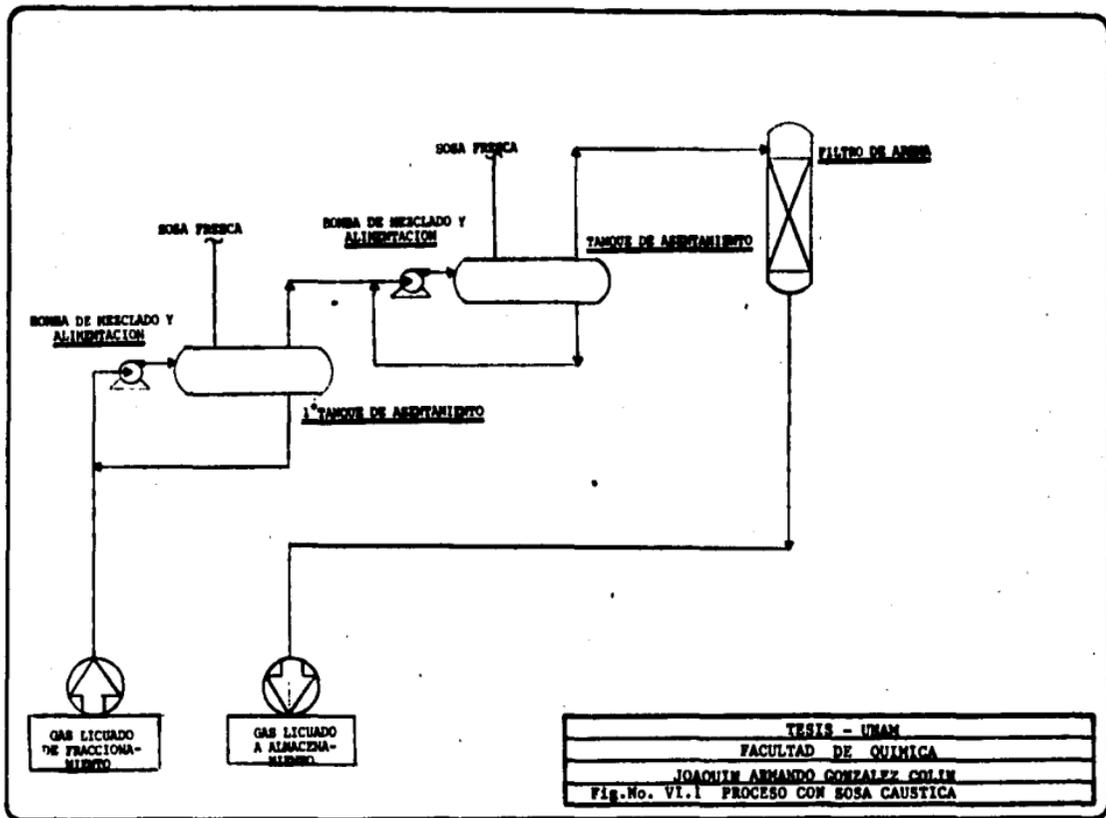
Se deben de evitar las altas temperaturas y elevadas concentraciones de solución ya que existe el riesgo del cambio de color y pérdida de estabilidad del producto.

El consumo aproximado de NaOH es de 1.76 Kg/Kg de H<sub>2</sub>S.

En la práctica común se utilizan dos etapas de contacto y se requiere filtrar el producto por el posible arrastre de sólidos.

La corriente a tratar se mezcla con la solución de sosa por medio de una bomba de doble succión y ambas se envían al tanque de asentamiento, en donde el producto se separa y se envía a un segundo tanque. Mientras que la solución se recircula al tanque. En el segundo tanque el procedimiento es el mismo que para el primero y, el producto, previa filtración se envía a L.B.

Se efectúa la reposición de sosa cuando la concentración de la solución sea de aproximadamente el 40% de la concentración inicial.



TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig.No. VI.1 PROCESO CON SOSA CAUSTICA

## POLISULFURO .

El proceso es no regenerativo y se aplica en la remoción de azufre elemental de corrientes de gas licuado e hidrocarburos líquidos ligeros.

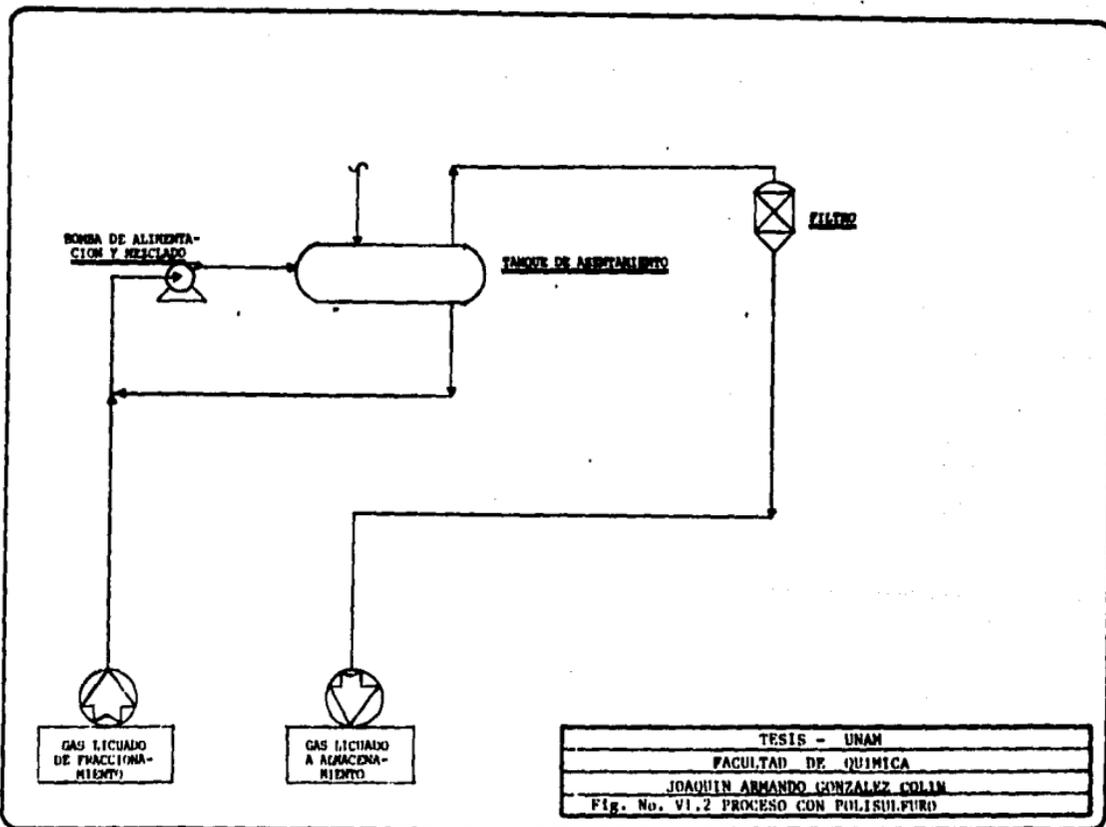
La solución de polisulfuro-caústico que se utiliza se prepara disolviendo 454 g de sulfuro de sodio comercial y 45 g de azufre elemental en 3.8 litros de agua, con lo cual se forma una solución de 15 oBé. La actividad de la solución es mayor cuando se tienen concentraciones aproximadas de Na2S2.5 y disminuye rápidamente cuando cambia a Na2S4.

Se requiere de un buen equipo de mezclado, como un bomba de doble succión, y se opera a una temperatura de aproximadamente 50 oC.

La relación adecuada de alimentación es de 60% de hidrocarburo a 40% de solución de polisulfuro.

En la preparación de la solución fresca se puede utilizar parte de la solución agotada.

La corriente a tratar se mezcla a la succión de la bomba con la solución endulzadora y ambas se alimentan a un tanque de asentamiento, en donde se efectúa el endulzamiento y la separación de las fases. El producto dulce se envía a L.B. y la solución se recircula a la entrada del recipiente.



TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. VI.2 PROCESO CON POLISULFURO

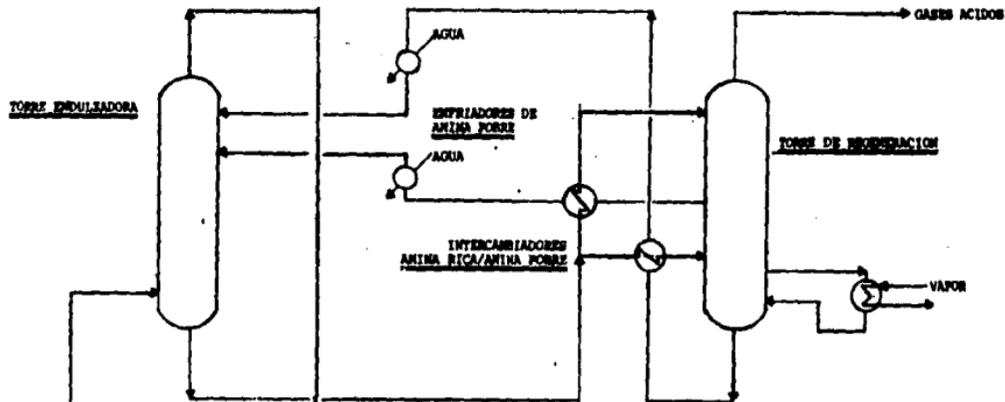
## G I R B O T O L .

Este proceso se encuentra licenciado actualmente por la Gilder Corporation, es regenerativo y se utiliza para la remoción de ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y otras impurezas ácidas presentes en el gas natural y corrientes de refinería, con algunas modificaciones puede utilizarse también en el tratamiento de corrientes líquidas.

El reactivo utilizado puede ser mono, di o trietilen-aminas. La columna de adsorción puede ser de platos o empacada y opera a una temperatura de 37 a 65 °C, que es el rango en el cual las aminas tienen una mayor afinidad por el ácido sulfhídrico.

Se ha observado que la mayor eficiencia de la planta se da cuando se trabaja con una carga alta de solvente y un tiempo de contacto reducido, se sabe también que cuando se sobrepasan ciertos valores límite la selectividad de la solución disminuye fuertemente.

La corriente a tratar se introduce a contracorriente con la solución de amina en la torre absorbadora, por la parte superior se obtiene el producto dulce y por los fondos la solución de amina rica en productos ácidos que se envía a regeneración. La solución a regenerar se alimenta a la parte superior de la columna regeneradora previo calentamiento con la corriente de fondos. Esta columna cuenta con una extracción lateral que se alimenta a un plato inferior de la torre absorbadora.



GAS LICUADO  
DE FRACCIONA-  
MIENTO

GAS LICUADO  
A ALMACENA-  
MIENTO

TESIS - UNAM
FACULTA DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. VI.3 PROCESO GIBBOTT

## ALKAZID.

Proceso licenciado por Badische Anilin and Soda-Fabrik Ac. Se aplica para la remoción de ácido sulfhídrico y dióxido de carbono de corrientes de gas natural, gas de refinería e hidrocarburos líquidos.

Opera a las mismas condiciones de presión de la corriente a tratar. Cuenta con dos tipos de solventes: 1. Soluciones Alkazid M, la cual tiene una alta capacidad de absorción para H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> y esta compuesta por sales de potasio del ácido Metil-amino-propiónico. 2. La solución Alkazid DIK, al cual es altamente selectiva para el H<sub>2</sub>S y es una solución acuosa de sales de potasio del ácido Dimetil-amino-acético. La utilización de uno u otra solución dependerá del tipo de corriente a tratar y de las especificaciones del producto.

Cuando la corriente de alimentación no contiene dióxido de carbono y se opera a baja presión la concentración de H<sub>2</sub>S en el producto es menor a 68.4 ppm.

Si se opera a alta presión con una baja relación de H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> se puede lograr una concentración final de H<sub>2</sub>S de 8.5 ppm.

Operando a baja presión y con un alto contenido de CO<sub>2</sub> inicial el producto que se obtiene contiene unas 342 ppm de H<sub>2</sub>S.

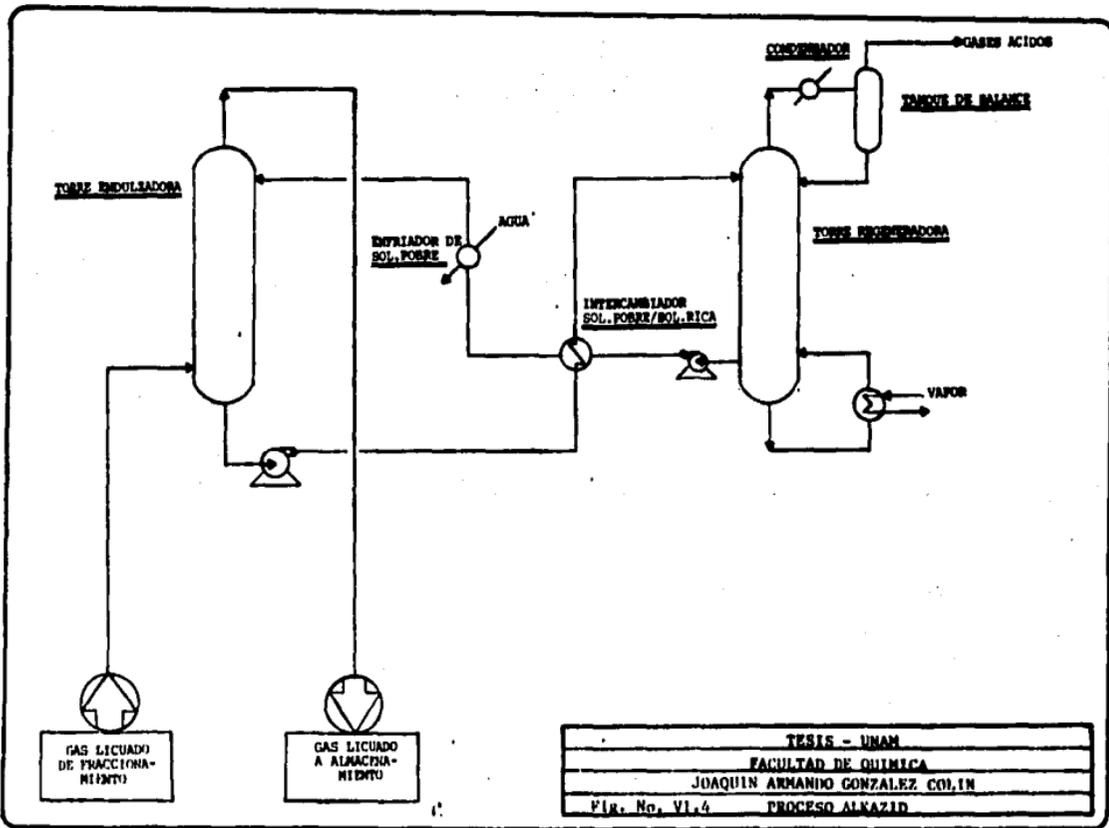
La solución no es corrosiva si se reemplazan las partes de aluminio por acero al carbón.

Debido a la baja presión de vapor de la solución no existen pérdidas por evaporación y, por ser compuestos muy estables a las temperaturas del proceso, tampoco las hay por degradación.

Dado que los hidrocarburos superiores tienen una muy baja solubilidad en las soluciones utilizadas tampoco existen pérdidas por degradación.

La corriente a tratar se alimenta por la parte inferior de la torre a contracorriente con la solución endulzadora. Por el domo se obtiene el producto dulce, y por el fondo la solución rica en compuestos ácidos, la cual se manda a regeneración.

La solución a regenerar se alimenta a la parte superior de la torre regeneradora previo intercambio de calor con la corriente de fondos, en este equipo se eliminan los gases ácidos por el domo y la solución fresca se obtiene por el fondo. Esta última se recircula al proceso previo enfriamiento con la solución rica y con agua de enfriamiento.



TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. VI.4 PROCESO ALKAZID

## A D I P .

El proceso ADIP se aplica a la remoción de ácido sulfhídrico de corrientes de gas natural, de gases de refinería y de síntesis, adicionalmente elimina en forma parcial el dióxido de carbono. En corrientes de Gas Licuado renueva parcialmente el ácido sulfhídrico el dióxido de carbono y la totalidad del Sulfuro de Carbonilo.

El proceso es regenerativo y utiliza Diisopropanol-amino como solvente, presentando las siguientes ventajas:

- No existe degradación ni pérdida del solvente
- Bajo consumo de vapor, comparado con el proceso Girbotol
- El sistema no es corrosivo
- Remoción selectiva del H<sub>2</sub>S estando el CO<sub>2</sub> presente
- Gran flexibilidad de concentración del CO<sub>2</sub> en la alimentación

Cuando se aplica para la remoción del COS de corrientes de Gas Licuado se requiere adicionar equipo de mezcla y asentamiento de productos.

Los rangos para la operación son de los 37 a los 60 °C y presiones desde la atmosférica hasta los 70 Kg/cm<sup>2</sup> man.

El contenido de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> en el Gas Licuado tratado es menor a 10 ppm y 2 ppa respectivamente.

Tiene una capacidad de absorción de 0.6 moles de ácido sulfhídrico por mol de solución.

El proceso se encuentra licenciado por la Shell Development Corporation.

El esquema de proceso es básicamente el mismo que para el proceso Girbotol, se cuenta con una columna contactora para la absorción de los compuestos ácidos y una torre regeneradora de la solución utilizada.

## PROCESO MDEA.

Este proceso es básicamente el mismo que el proceso Girbotol, solo que el solvente utilizado en la remoción de los contaminantes ácidos consiste de una solución acuosa de la Metil-dietanol-amina.

Las ventajas de utilizar la metildietanolamina en lugar de las aminas del proceso Girbotol son:

- Cuenta con una alta resistencia a la degradación
- Causa menores problemas de corrosión
- Tiene un calor de reacción menor
- Alta selectividad de absorción del H<sub>2</sub>S sobre el CO<sub>2</sub>

Estas características hacen que el proceso sea el preferido en casos donde se requiere una corriente con alto contenido de CO<sub>2</sub>, o cuando el gas ácido sea una corriente importante en el sistema.

Las condiciones de operación son, en principio, las mismas que para el Girbotol, aunque se tienen variaciones importantes en el diseño del absorbedor, puestos que la velocidad de circulación y los tiempos de residencia cambian.

La concentración de H<sub>2</sub>S en la corriente de salida es menor a 1 ppm, mientras que la del CO<sub>2</sub> es del orden del 70% de la concentración inicial.

## DESULFURIZACION CON FOSFATOS.

El proceso fué desarrollado por la Shell Development Co.} es regenerativo y se aplica para remover ácido sulfhídrico de corrientes de gas natural, gases de refinería y de hidrocarburos líquidos.

Se utiliza una solución de Fosfato de sodio acuosa a una concentración típica de 30% en peso.

La solución absorbe selectivamente el H<sub>2</sub>S aún en presencia de dióxido de carbono.

El sistema puede operar a cualquier presión en un rango de temperaturas de 37 a 93 °C.

La corriente a tratar se pone en contacto con la solución a contracorriente por medio de una torre absorbadora, que puede ser empacada o de platos, para eliminar sus componentes ácidos. Por la parte de fondos se obtiene el producto dulce y por la parte de techos la solución rica en compuestos ácidos para enviarse a la torre regeneradora.

La solución rica se alimenta al primer plato de la torre regeneradora, previo calentamiento con la corriente de fondos; la columna opera con inyección de vapor para la desorción. Por la parte superior sale el gas ácido junto con el vapor de arrastre y, por el fondo, la solución fresca que se recircula a la torre de absorción previo enfriamiento por intercambio de calor con la solución rica.

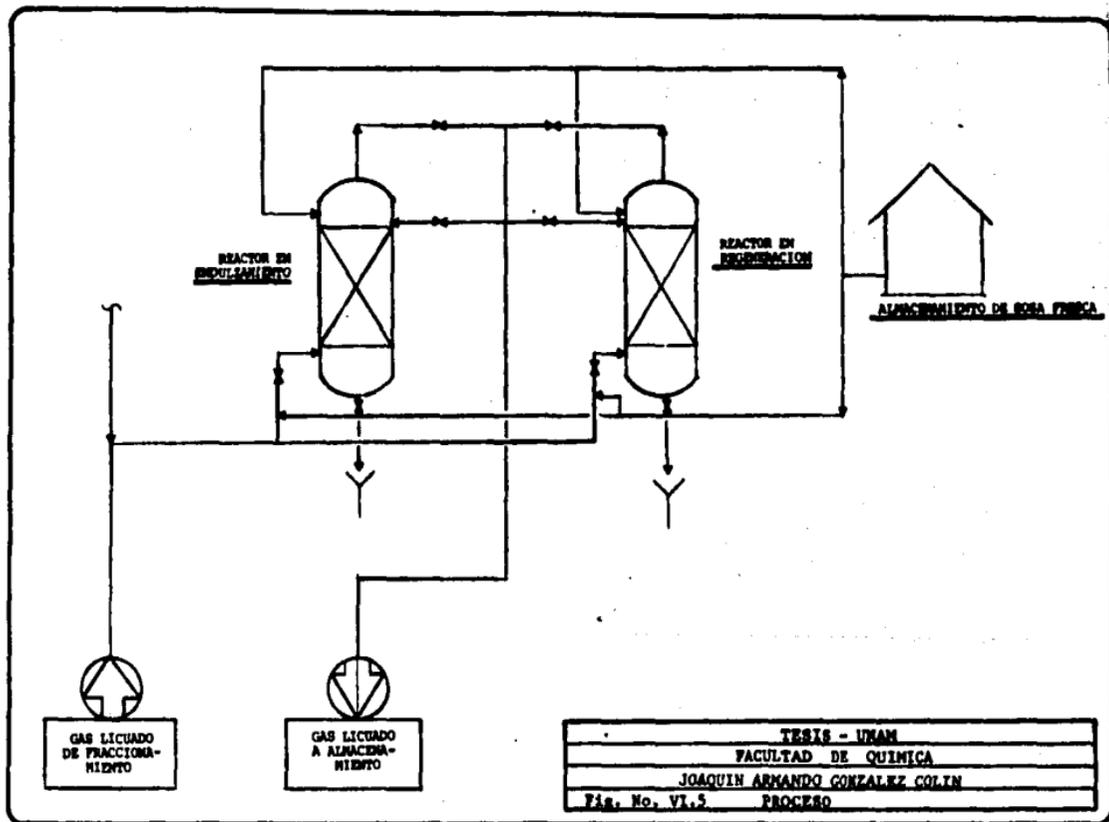
## B E N D E R .

El proceso BENDER, licenciado por la Petrolite Corp., Division Petreco, se aplica en el endulzamiento de hidrocarburos ligeros y del Gas Licuado.

Adicionalmente se eliminan mercaptanos convirtiéndolos en compuestos Disulfurosos. La concentración final de mercaptanos en la corriente tratada llega a ser del orden de 0.001 a 0.15% en peso.

El sistema es fácil de operar y no se tiene contaminación ni pérdida del producto.

La corriente a tratar se alimenta a un reactor junto con una corriente de aire. Se requiere agregar pequeñas cantidades de sosa (de 3 a 7 oBe) para controlar el PH y aumentar la vida del catalizador.

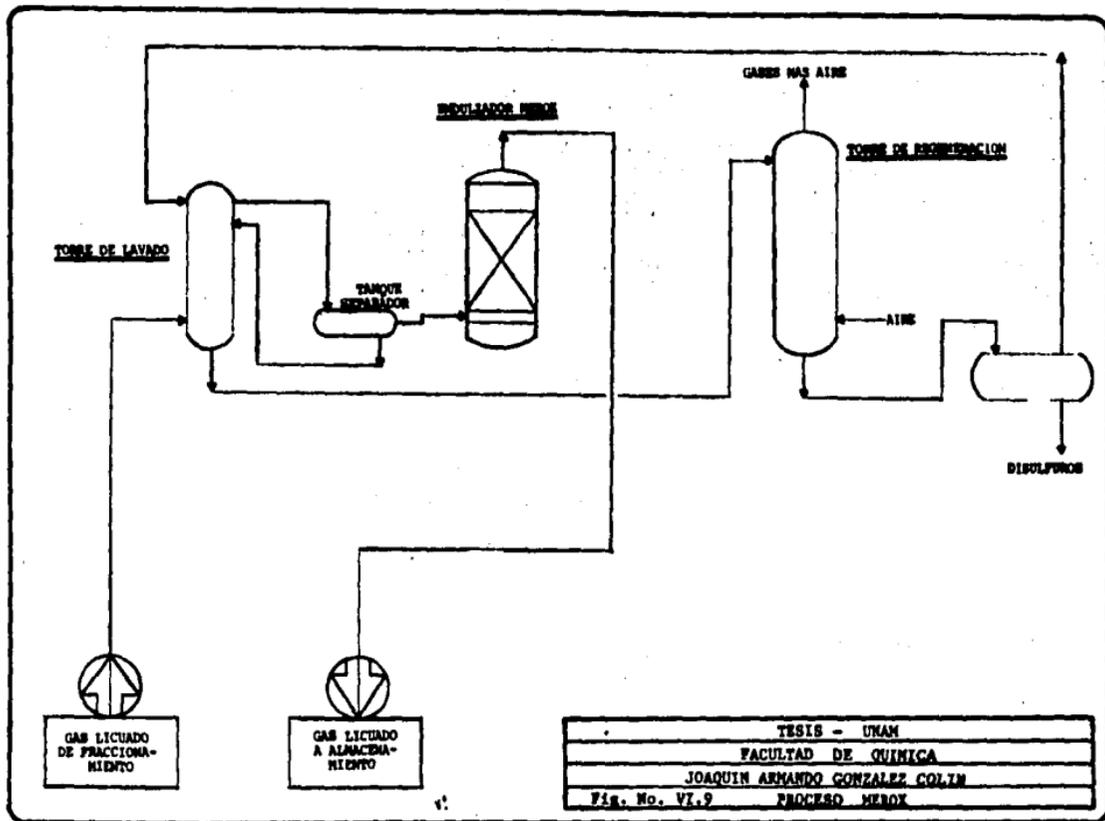


## PROCESO MEROX

El proceso MEROX, licenciado por Universal Oil Products Co., se aplica para la remoción de mercaptanos, con el subsecuente procesamiento de los mismos para convertirlos en los disulfuros correspondientes. Este sistema puede utilizarse para el endulzamiento de gasolinas ligeras, fracciones del petróleo de bajo punto de ebullición y Gas Licuado.

La corriente a tratar primero es prelevada con una solución básica para disminuir el contenido de compuestos ácidos, posteriormente se envía a un extractor donde se elimina la mayor parte de mercaptanos; de ahí pasa a un tanque de asentamiento cáustico para poder ser inyectado a la columna de endulzamiento previo mezclado con una corriente de aire, se considera que el aire ayuda a la oxidación de los mercaptanos remanentes. El producto tratado es después asentado, inhibido y llevado a almacenamiento.

Como catalizador se utilizan sales de cobalto disueltas en solución cáustica o depositadas sobre un soporte sólido. Se recomienda el uso del soporte sólido debido a que tiene un menor costo de operación.



## DUALAYER GASOLINE PROCESS

El licenciador de este proceso es la Movil Oil Corp., se aplica para la extracción de mercaptanos presentes en el Gas Licuado, gasolinas y Naftas ligeras. La corriente tratada mejora en estabilidad, olor y susceptibilidad al tetrastilo de plomo.

La principal limitante que tiene es de que la corriente a tratar se encuentre prácticamente libre de ácido sulfhídrico.

El reactivo utilizado se prepara en un tanque de asentamiento, bajo condiciones controladas, al mezclar un reactivo cáustico con sales de ácido cresílico. La fase superior, que es la que contiene el Cresilato de potasio o sodio es la solución Dualayer utilizada como solvente para el endulzamiento.

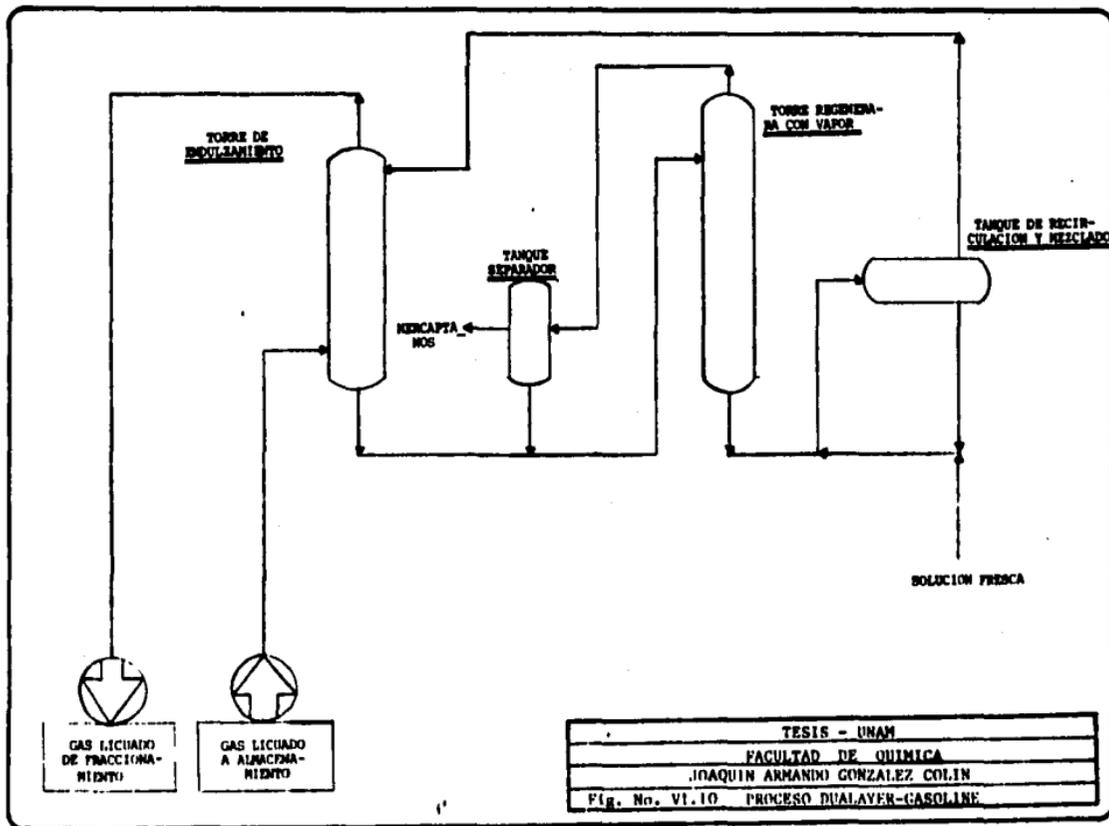
La corriente de alimentación se pone en contacto se pone en contacto con la solución (4 a 6% vol.) a 120 oF en una o más etapas; el producto efluente se lava posteriormente con agua y se envía a almacenamiento. La solución rica es diluida con agua, a 60 o 70% vol., y se manda a destilación, donde los mercaptanos, gasolinas y exceso de agua disueltos se eliminan.

El agua se recircula para dilución, la gasolina se recupera y se envía al contactor y los mercaptanos son

procesados para enviarse a límites de batería.

La solución regenerada se recircula al contactor con la previa adición de solución fresca para reestablecer las condiciones iniciales del tratamiento.

Durante el proceso se requieren del orden de 5 Kg de vapor por barril de producto tratado.



## FERROCIOANURO

El proceso con ferrocianuro se aplica para remover mercaptanos de corrientes de naftas, Gas Licuado y gasolinas naturales y sintéticas, para lo cual utiliza una solución de ferrocianuro de sodio.

Para preparar la solución se agregan pequeñas cantidades de ferrocianuro a una solución cáustica, formándose de esta forma el ferricianuro que se utilizará en las etapas de regeneración y extracción.

La corriente a tratar es prelevada con una solución cáustica para remover el ácido sulfhídrico y algunos otros ácidos que pudiesen presentarse, posteriormente se pone en contacto en una torre contactora con la solución de ferricianuro. Las características mecánicas de esta torre deben de permitir un buen mezclado de las fases, y puede incluir secciones de extracción y endulzamiento.

La operación de la torre se acondiona de tal forma que el producto este en contacto con la solución cáustica de ferrocianuro durante la etapa de extracción y con la solución cáustica de ferricianuro para el endulzamiento.

La solución agotada (conteniendo el ferrocianuro y los mercaptanos) se mezcla con la solución fresca (conteniendo ferricianuro). Los mercaptanos se convierten a disulfuros y se eliminan por medio de lavado. La solución con azufre

libre y ferrocianuro se divide en dos corrientes: una se recircula a la torre de extracción y la otra a una celda electrolítica, donde el ferrocianuro pasa a ferricianuro. Una parte de este efluente se recircula a la sección de endulzamiento en la torre, y la otra parte sirve para la oxidación de los mercaptanos.



## HIDROXIDO DE POTASIO SOLIDO

Este esquema de procesamiento se utiliza para la remoción de sulfuro de carbonilo, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, disulfuro de carbono y mercaptanos.

La corriente de alimentación se mezcla primeramente con una corriente de metanol y se pasa a través de un lecho sólido de hidróxido de potasio, quedando la corriente efluente prácticamente libre de compuestos ácidos.

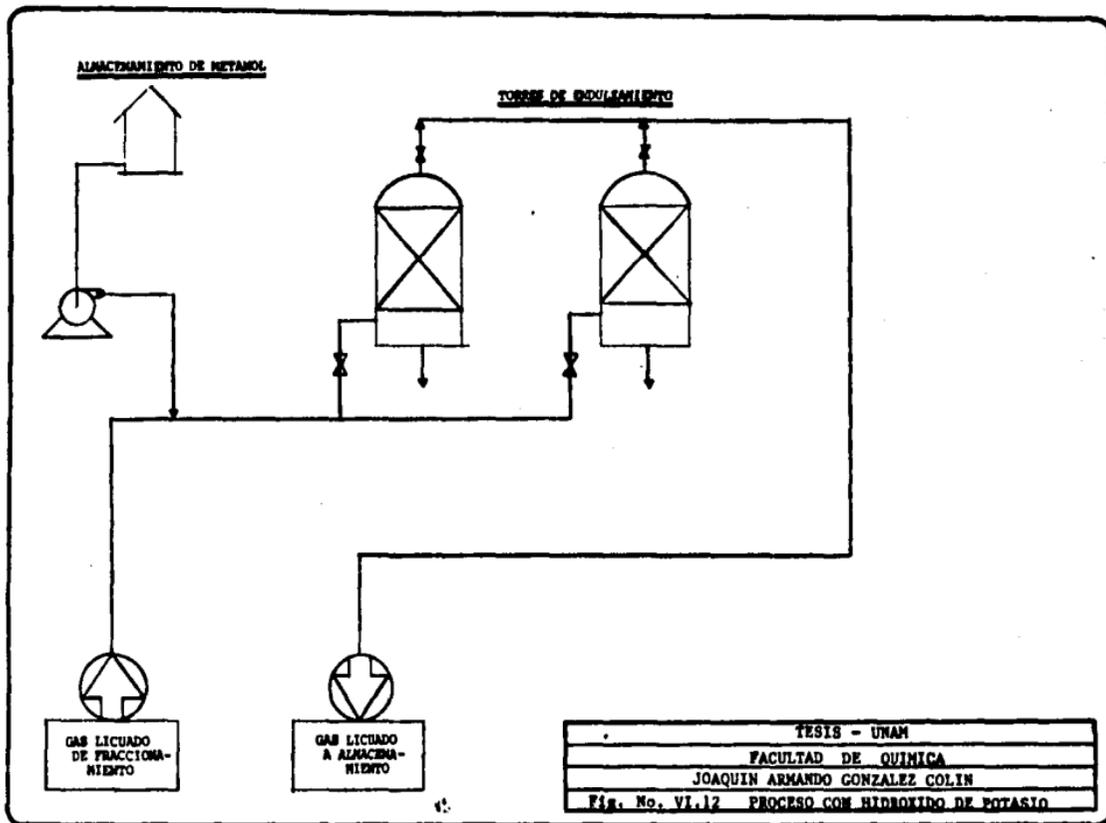
Las columnas de endulzamiento operan a una presión de 400 Psig y utilizan 0.0214 lb de KOH por BBL de Propano tratado, y 0.0143 Gal. de metanol por BBL de Propano tratado.

Las torres de endulzamiento deben de contar con un buen sistema de drenado con el fin de eliminar eficientemente los subproductos de la reacción.

Adicionalmente se deberá de cuidar el sistema de empacamiento de la torre, para evitar problemas de operación e ineficiencias del sistema.

Las ventajas que presenta el sistema son:

- Amplio conocimiento en el diseño de torres
- Bajo costo de inversión de capital
- Facilidad de instalación
- Menores costos de operación
- Fácil acceso a la materia prima (KOH)



TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. VI.12 PROCESO CON HIDROXIDO DE POTASIO

## MALLAS MOLECULARES

El proceso de endulzamiento con Mallas Moleculares se encuentra licenciado por la Union Carbide Corp., División Linde. Se aplica en la deshidratación y remoción de dióxido de Carbono y compuestos de azufre contenidos en el Gas Natural, Gas Licuado y Líquidos del Gas Natural.

El producto obtenido queda dentro de las especificaciones para el transporte y la alimentación a plantas criogénicas y petroquímicas.

El sistema está formado por una serie de lechos fijos espaciados operando en ciclos de Adsorción y Regeneración.

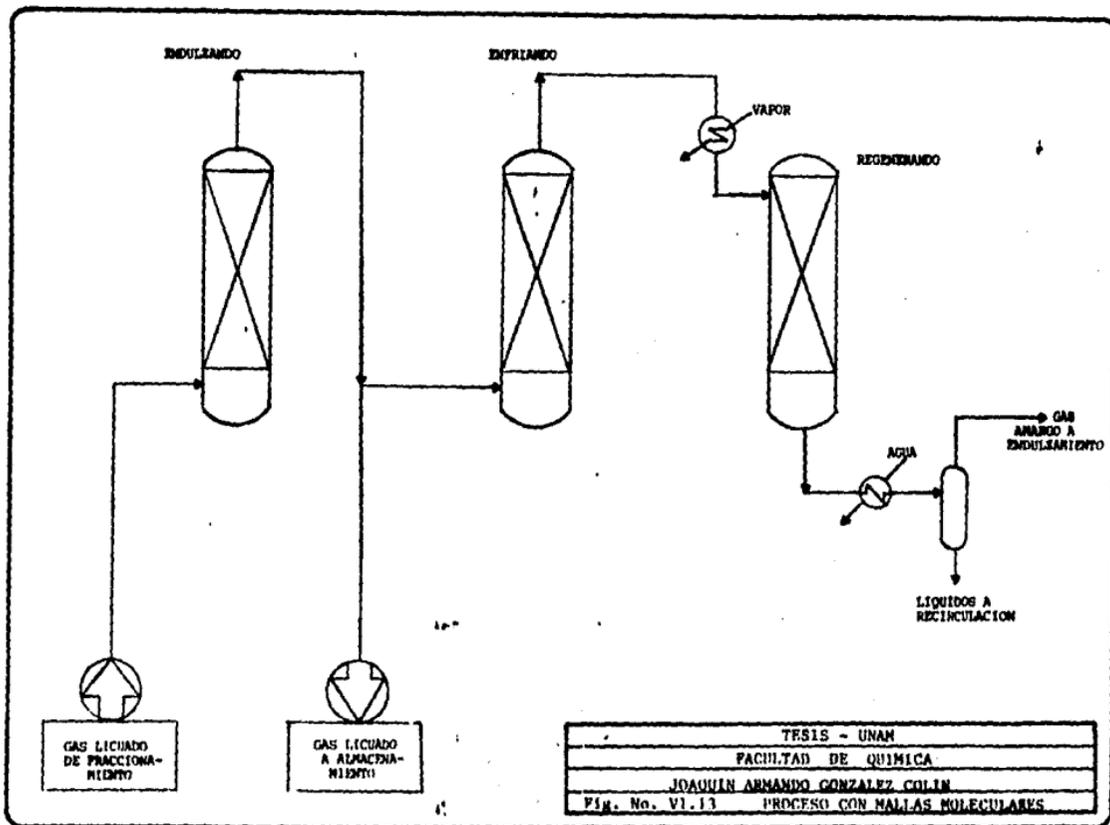
La corriente de alimentación entra directamente a la torre de adsorción, y ahí es donde se efectúa la remoción de los contaminantes, el producto efluente se manda a límites de batería.

Para la corriente de regeneración del lecho se utiliza una gas seco y limpio, que puede ser una parte de la corriente de producto tratado y calentado a 400 - 600 °F fluyendo a contracorriente al flujo normal. Al gas impuro se le separa el agua y queda a disposición para usarse como gas combustible en la misma planta.

La selección del tipo de malla depende de las impurezas que van a ser removidas. Se tiene que el tipo 4A se usa para deshidratación; el tipo 4A-LNG para la remoción del CO<sub>2</sub>; el

tipo RK-29 para el endulzamiento del Gas Licuado.

El tiempo de vida útil es de 3 a 10 años cuando se trata de endulzamiento, y de 2 a 6 años para deshidratación. Actualmente se trabaja en un proyecto de regeneración de las mallas en plantas diseñadas exclusivamente para este fin.



## RESUMEN DE LOS PROCESOS

Con el objeto de facilitar la comparación entre los procesos de endulzamiento, se muestra una tabla resumen con las características principales, Fig.No.V.x.

De los datos expuestos se observa claramente que la mayor parte, en especial los procesos que corresponden a la absorción física utilizan soluciones acuosas para el endulzamiento, creando la necesidad de deshidratar el producto. Otros procesos son selectivos para un contaminante (Mercaptanos), como el proceso MEROX, BENDER, Polisulfuro y Ferrocianuro. Selectivos para  $H_2S$  son los procesos con MDEA, ALKAZID y Fosfatos.

El resto de los procesos mostrados remueven simultáneamente los contaminantes ácidos del Gas Licuado, el que utiliza sosa cáustica tiene el inconveniente de la dificultad en la disposición de los residuos; y el Girbotol remueve solo grandes cantidades de contaminantes.

En cuanto al proceso de adsorción química solo se han reportado resultados a nivel de plantas piloto, encontrando dificultades en la disposición de subproductos.

Debido a los inconvenientes mostrados se recomienda técnicamente como el proceso más adecuado el endulzamiento con Mallas Moleculares. Conviene mencionar que para cada caso en particular se requiere realizar un análisis técnico-económico para definir el sistema más adecuado.

# PROCESOS DE ENDULZAMIENTO PARA GAS LICUADO

DE CERO	A B S O R C I O N      Q U I M I C A										A B S O R C I O N			
	NO REGENERATIVOS		R E G E N E R A T I V O S								NO REGENERATIVOS		R E G E N E R A T I V O S	
	SOBA CAUSTICA	POLISULFURO	SIRROVOL	ALHAZID	ADIP	BENCEL	MEROR	FOSFATOS	DUALAYER GASLINE PROCESS	FERROCIANURO	KOH	MALLAS MOLECULARES	PROPUESTA PRELIMINAR	
			SIEDLER CORPORATION	COV POWER GAS Y BAIKONNE ANILIN MO SCOR - FABRIK	SHELL DEVELOPMENT CO	PETROLITE CORP. PETRECO DIV	UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO		MOBIL OIL CORPORATION		LEON CO	UNION CARBIDE	UNION CARBIDE	
	REQUIERE H <sub>2</sub> S Y COMPUESTOS DE AZUFRE DEL GAS LICUADO Y MUELVAN LIBRE DE AMONIAK PARA LOS MERCAPTANOS	REQUIERE AZUFRE ELEMENTAL DEL GAS LICUADO E HIDROCARBUROS LICUADOS	REQUIERE H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> Y OTRAS IMPUREZAS PRESENTES EN CORRIENTES LICUADAS Y/O ALIADAS	REQUIERE H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub> PRESENTES EN CORRIENTES GASEOSAS Y LICUADAS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA H <sub>2</sub> S.	REMOCION DE H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub> EN FORMA PARCIAL Y LA TOTALIDAD DEL CO <sub>2</sub> PRESENTES EN GAS LICUADO Y CORRIENTES GASEOSAS	ENDULZAMIENTO DE GAS LICUADO E HIDROCARBUROS LICUADOS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	REMOCION DE MERCAPTANOS DE GASOLINAS LIQUIDAS Y GAS LICUADO. ESTE PROCESO SELECCIONA LOS MERCAPTANOS	REMOCION SELECTIVA DE H <sub>2</sub> S EN PRESENCIA DE CO <sub>2</sub> Y COMPUESTOS LICUADOS Y GASEOSOS	REMOCION DE MERCAPTANOS DEL LPG, GASOLINAS Y ALIADAS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	REMOCION DE MERCAPTANOS DE CORRIENTES DE ALIADAS, GAS LICUADO Y MUELVAN	REMOCION DE CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO, CH <sub>4</sub> Y MERCAPTANOS EN EL GAS LICUADO	REMOCION DE CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , CO, CH <sub>2</sub> , MERCAPTANOS Y AGUA DE PRODUCTOS LICUADOS Y GASEOSOS.	REMOCION DE CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , CO, CH <sub>2</sub> , MERCAPTANOS Y AGUA DE PRODUCTOS LICUADOS Y GASEOSOS.	
	SOLUCION AZUFA DE HON DEL 8-20% EN PESO. CO <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> O	SOLUCION CAUSTICA DE POLISULFUROS (H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S) O H <sub>2</sub> O	HONO O N-TRIETANOLAMINA AL 20% PESO	HONO O N-TRIETANOLAMINA AL 20% PESO	SALES DE POTASIO Y SODIO (NITROFOSFATOS) O SODIO AMINO PROPIONICO	DI ISO PROPANOLAMINA	SOLUCION AZUFA DE HON Y SODIO AL 30% Y CATALIZADOR	FORATO DE SODIO AL 30% EN PESO	SOLUCION DUALAYER (LITO DE POTRICHIL 4-8% VOL.)	FERROCIANURO DE POTASIO	KOH SOLUCION Y METANOL	MALLAS MOLECULARES (SILICO ALUMINADO O CALCIO)	MALLAS MOLECULARES (SILICO ALUMINADO O CALCIO)	
	H <sub>2</sub> S < 0.000% EN PESO ELABORACION PARCIAL DE MERCAPTANOS	BAJO CONTENIDO DE AZUFRE ELEMENTAL	COMO MINIMO H <sub>2</sub> S 4 ppm y CO <sub>2</sub> 1.000000	H <sub>2</sub> S < 0.5 ppm DEPENDIENDO DEL CO <sub>2</sub> PRESENTE.	GAS LICUADO CON CO <sub>2</sub> < 0.5 ppm ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA H <sub>2</sub> S.	PRODUCTO DULCE LIMPIO Y NO CORROSIVO, MERCAPTANOS DE 3.00 a 0.10% EN PESO Y H <sub>2</sub> S 50 ppm.	PRODUCTO DULCE LIMPIO Y NO CORROSIVO, MERCAPTANOS DE 3.00 a 0.10% EN PESO Y H <sub>2</sub> S 50 ppm.	COMPLETOS BASTIMOS DE COMPLETOS DE AZUFRE, MERCAPTANOS 0.5 ppm PESO	MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIDAD, OLOR Y SUSCEPTIBILIDAD TEL	PRODUCTO LIMPIO Y DULCE	TOTALMENTE LIBRE DE CO <sub>2</sub>	PRODUCTO DULCE Y SECO DEPURE DE LAS CORRIENTES INICIALES DE LOS CONTAMINANTES, PUEDE SER LLEVAR A NIVELES NO DETECTABLES.	PRODUCTO DULCE Y SECO DEPURE DE LAS CORRIENTES INICIALES DE LOS CONTAMINANTES, PUEDE SER LLEVAR A NIVELES NO DETECTABLES.	
	DE 50 A 100 PSIG Y 700 A 1100°F	BAJAS Y MODERADAS PRESIONES Y 1-1200°F	DE MODERADAS A ALTAS PRESIONES Y DE 670 A 1000°F	DE BAJA A ALTA PRESION	DE PRESIONES ATMOSFERICAS A 11200 PSIG Y DE 100 a 1400°F	PRESION MINIMA DE 50 PSIG	PRESION MINIMA DE 50 PSIG	PRESION EN CUALQUIER PRESION Y TEMPERATURA DE 100-1200°F	BAJAS PRESIONES Y TEMPERATURA DE 100°F	BAJAS PRESIONES Y TEMPERATURA DE 100°F	400 PSIG Y 60-110°F	DE PRESIONES MODERADAS A ALTAS Y A CUALQUIER TEMPERATURA	DE PRESIONES MODERADAS A ALTAS Y A CUALQUIER TEMPERATURA	
	CUALQUIER CAPACIDAD	CUALQUIER CAPACIDAD	DE MODERADAS A ALTAS. 240 UNIPER	DE MODERADAS A ALTAS CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTAS CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTAS DE 500 A 6000 BPD	CUALQUIER CAPACIDAD DE 40 A 14000 BPD	DE MEDIANAS A ALTAS CAPACIDADES	DE BAJAS A MEDIANAS CAPACIDADES	MEDIANAS CAPACIDADES	400 PSIG Y 60-110°F	MEDIANAS Y BAJAS CAPACIDADES 200 UNIPER	MEDIANAS Y BAJAS CAPACIDADES 200 UNIPER	
	BOMBA DE DOBLE SUCCION PARA MEZCLADO SIMPLE DE ADEPTAMIENTO "TIPO DE LAVADO"	BOMBA CENTRIFUGA DE DOBLE SUCCION TIPO DE ADEPTAMIENTO "TIPO DE LAVADO"	TIPO REGENERACION TIPO DE ADEPTAMIENTO	TIPO REGENERACION TIPO DE ADEPTAMIENTO	TIPO DE ABSORCION Y REGENERACION	TIPO DE MEZCLADO REACTOR AMBIDON DE AZUFRE	REACTOR TIPO DE EXTRACCION LIQUIDO Y REGENERACION TIPO DE ADEPTAMIENTO	TIPO DE EXTRACCION TIPO DE REGENERACION	TIPO DE CONTACTORA	TIPO DE CONTACTORA	TIPO DE EXTRACCION TIPO DE ENCALZAMIENTO CELDA ELECTROLITICA	TIPO DE ABSORCION DE LICHO FIJO	TIPO DE ABSORCION DE LICHO FIJO	
	BOMBA DE DOBLE SUCCION	BOMBA CENTRIFUGA DE DOBLE SUCCION	AGUA DE ENFRIAMIENTO VAPOR O ACEITE TERMICO	VAPOR AGUA DE ENFRIAMIENTO	VAPOR AGUA DE ENFRIAMIENTO	AIRE	AIRE	VAPOR	AGUA VAPOR SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SUBPRODUCTOS	HIDROCARBUROS PARA LAVADO	GAS DE PURGA Y REGENERACION SISTEMA DE CALENTAMIENTO	GAS DE PURGA Y REGENERACION SISTEMA DE CALENTAMIENTO		
	BAJA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES ACIDOS	BAJAS CONCENTRACIONES DE AZUFRE	ALTO CONTENIDO DE H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	DEBE ESTAR LIBRE DE H <sub>2</sub> S	DEBE ESTAR LIBRE DE H <sub>2</sub> S	DEBE ESTAR LIBRE DE H <sub>2</sub> S	BAJAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES ACIDOS	BAJAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES ACIDOS		
	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SELECTIVO PARA AZUFRE ELEMENTAL SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO	ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS SE REQUIERE UN SEGUNDO ADICIONAL DEL PRODUCTO		

## PROCESOS DE ENDULZAMIENTO PARA GAS LICUADO

TIPO DE PROCESO	A B S O R C I O N Q U I M I C A										ABSORCION QUIMICA			ABSORCION FISICA		
	NO REGENERATIVOS					R E G E N E R A T I V O S					NO REGENERATIVOS			R E G E N E R A T I V O S		
	SOJA CAUSTICA	POLISULFURO	SIBROL	ALKAZID	A D I P	GENCIA	MEROR	FORFATOS	SOJA LAYER BASOLINE PROCESS	FERROCIANURO	NO H	MOULDS	MOLECULARES	PRELIMINAR		
LIQUEFICACION			SIBROL CORPORATION	COY POWER 215 V BALDWIN ANILIN AND SOON - FARRIE	SNELL DEVELOPMENT CO	PERALITE COFFEE PETROLEO DIV	UNIVERSAL OIL PRODUCTS CO		MOBIL OIL CORPORATION	LEON CO		UNION CARBIDE		UNION CARBIDE		
APLICACION	REMOVIE H <sub>2</sub> S Y COMPLETOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS Y BARRIDOS LIBRES BARRIDOS PARCIAL Y BARRIDOS	REMOVIE AZUFRE ELEMENTAL DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES	REMOVIE H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> Y OTRAS IMPUREZAS PRESENTES EN CORRIENTES LOCALIZADAS EN BARRIDOS	REMOVIE H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub> PRESENTES EN CORRIENTES GASEAS Y LIQUIDAS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA H <sub>2</sub> S	REMOCION DE H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub> EN FORMA PARCIAL Y/O TOTAL DEL GAS PRESENTE EN GAS LICUADO Y CORRIENTES GASEAS	ENDULZAMIENTO DE GAS LICUADO Y HIDROCARBUROS LIQUIDOS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	REMOCION DE MERCAPTANOS DE GAS LICUADO Y HIDROCARBUROS LIQUIDOS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	REMOCION SELECTIVA DE H <sub>2</sub> S Y COMPLETOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES	REMOCION DE MERCAPTANOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	REMOCION DE MERCAPTANOS Y COMPLETOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	REMOCION DE CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O Y MERCAPTANOS EN EL GAS LICUADO	REMOVIE H <sub>2</sub> S Y COMPLETOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES	REMOVIE H <sub>2</sub> S Y COMPLETOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES	REMOVIE H <sub>2</sub> S Y COMPLETOS DEL GAS LICUADO Y BARRIDOS PARCIALES		
REACTIVO UTILIZADO	SOLUCION ACUOSA DE NITROGENO 5-25% EN PESO, CON 0.5% DE SO <sub>2</sub>	SOLUCION ACUOSA DE POLISULFURO (10% H <sub>2</sub> S) A 15° C	NO H O FERRICUM 90% AL 25% PESO	SALES DE POTASIO Y SODIO DITETRAAMINOCETATO O DITETRA AMINO PROPIONATO	DI ISO PROPANOLAMINA	SOLUCION DE NITROGENO 5-25% EN PESO Y CALIFICACION	SOLUCION ACUOSA DE NITROGENO 5-25% EN PESO Y CALIFICACION	FORTO DE SO <sub>2</sub> AL 35% EN PESO	SOLUCION DIALCALIFORNICO DE POTASIO 4-8% EN PESO	FERRICUM 90% AL 25% EN PESO	NO H SODIO Y METANOL	SALINOS MOLECULARES (SALCO ALUMINADO DE CALCIO)	SALINOS MOLECULARES (SALCO ALUMINADO DE CALCIO)	SALINOS MOLECULARES (SALCO ALUMINADO DE CALCIO)		
CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO OBTENIDO	H <sub>2</sub> S 0.000% EN PESO BARRIDOS PARCIALES Y BARRIDOS	BAJO CONTENIDO DE AZUFRE ELEMENTAL	COMO MINIMO H <sub>2</sub> S 4 ppm CO <sub>2</sub> 1,500 ppm	H <sub>2</sub> S 0.5 ppm DEFERENTE 25 DEL CO <sub>2</sub> PRESENTE	GAS LICUADO CON CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> S 0.000% ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA H <sub>2</sub> S 0.5 ppm	PRODUCTO DULCE LIMPIO Y SIN COMPLETOS, MERCAPTANOS DE SO <sub>2</sub> 0.01% EN PESO H <sub>2</sub> S 50 ppm	COMPLETOS BASTANTES DE COMPLETOS DE AZUFRE, MERCAPTANOS Y SO <sub>2</sub> 0.01% EN PESO H <sub>2</sub> S 50 ppm	PRODUCTO LIMPIO A H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub>	REMOVICION DE LA ESTERILIDAD OLIO Y BARRIDOS PARCIALES	PRODUCTO LIMPIO Y DULCE	TOTALMENTE LIBRE DE CO <sub>2</sub>	PRODUCTO DULCE Y SIN COMPLETOS DE LAS CORRIENTES GASEAS Y LIQUIDAS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	PRODUCTO DULCE Y SIN COMPLETOS DE LAS CORRIENTES GASEAS Y LIQUIDAS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS	PRODUCTO DULCE Y SIN COMPLETOS DE LAS CORRIENTES GASEAS Y LIQUIDAS ESTE PROCESO ES SELECTIVO PARA MERCAPTANOS		
RANGO DE APLICACION	DE 50 A 400 PSIG Y 100 A 110° F	BAJAS Y MODERADAS PRESIONES Y 1-150° F	DE MODERADAS A ALTAS PRESIONES Y DE 0° A 150° F	DE BAJAS A ALTA PRESION	DE PRESIONES ATENCIONALES HASTA 1000 PSIG Y DE 100 A 140° F	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE BAJAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE BAJAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE BAJAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE BAJAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES		
CAPACIDAD DE LAS PLANTAS	CUADRADOS DE CAPACIDAD	CUADRADOS DE CAPACIDAD	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES	DE MODERADAS A ALTA Y ALTA CAPACIDADES		
EQUIPO NECESARIO	BOMBA DE DOBLE SUCCION PARA BARRIDOS PARCIALES Y BARRIDOS	BOMBA CENTRIFUGA DE DOBLE SUCCION	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES	TORNEO REACTIVO Y TORNEO DE BARRIDOS PARCIALES		
TIPO DE REACTIVO ESPECIAL	BOMBA DE DOBLE SUCCION	BOMBA CENTRIFUGA DE DOBLE SUCCION	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H	NO H		
SERVICIOS AUXILIARES	AGUA DE SERVICIO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	AGUA DE ENFRIAMIENTO VAPOR O AGUIC TERNICO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO	AGUA DE ENFRIAMIENTO		
CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTACION DEL SISTEMA	BAJA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES ACIDOS	BAJAS CONCENTRACIONES DE AZUFRE Y ACIDOS	ALTO CONTENIDO DE H <sub>2</sub> S Y CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>	ALTO CONTENIDO DE CO <sub>2</sub>		
	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SELECTIVO PARA AZUFRE ELEMENTAL SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO	SE REQUIERE UN SECCO ADICIONAL DEL PRODUCTO		

TESIS UNAM  
 FACULTAD DE QUIMICA  
 JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN  
 FIN No. 14 TABLA COMPARATIVA DE LOS PROCESOS DE ENDULZAMIENTO DE GAS LICUADO

A continuación se presenta el análisis de las ventajas y desventajas del proceso de endulzamiento con Mallas Moleculares, comparado con los otros procesos. Posteriormente se incluye el esquema y la descripción del proceso.

#### ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA DE ENDULZAMIENTO CON MALLAS MOLECULARES

##### VENTAJAS

- Completa remoción de agua, ácido sulfhídrico, sulfuro de Carbonilo, Bóxido de Carbono y Mercaptanos hasta los límites requeridos.
- No necesita postratamiento para eliminación de agua por ser de lecho seco.
- Fácil operación porque - trabaja con tiempos preestablecidos con o sin automatización
- Gran flexibilidad, acepta variaciones en cantidad de impurezas e incremento de cargas por adición de trenes en paralelo
- Mínimos requerimientos de servicios auxiliares (agua de enfriamiento y gas de regeneración)
- Amplio rango en condiciones de operación
- Facilidad de disposición de los contaminantes eliminados
- Fabricación y mano de obra nacional (excepto Mallas)
- Amplia experiencia en sistemas similares (deshidratación de gas natural en plantas criogénicas).

##### DESVENTAJAS

- Tecnología compartida
- Importación de las Mallas

## DESCRIPCION DEL ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA PLANTA DE ENDULZAMIENTO DE GAS LICUADO CON MALLAS MOLECULARES

El proceso mostrado involucra únicamente dos columnas para el endulzamiento. Una de ellas opera en la etapa de adsorción mientras que la otra se encuentra en regeneración.

### 1. Etapa de Endulzamiento.

El Gas Licuado proveniente de fraccionamiento o transporte se recibe a una presión mínima de 5 Kg/cm<sup>2</sup> man arriba de la presión de vapor máxima esperada a las condiciones máximas de temperatura. La corriente se filtra en el filtro para Gas Licuado, eliminándose contaminantes sólidos que pudieran llegar a dañar las mallas; posteriormente pasa a la torre de adsorción para alimentarse por la parte inferior; la corriente efluente de este equipo es el gas licuado ya endulzado (libre de agua, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, COS, CS<sub>2</sub> y mercaptanos) que se envía a almacenamiento o transporte.

La presión de 5 Kg/cm<sup>2</sup> man marcada se especifica como la mínima presión a la cual deberá de operarse para asegurar que el producto se mantenga líquido; estos valores se determinaron en base a criterios operacionales y considerando que las caídas de presión en el sistema son del orden de: 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> (21 Psig) para el filtro; de 2-3 Kg/cm<sup>2</sup> man (28-

43 Psig) en el lecho de absorción y de 0.1-0.5 Kg/cm<sup>2</sup> man (1.5-7 Psig) en las tuberías y accesorios.

El tiempo de operación para ésta etapa es diferente para cada caso particular ya que depende de factores de diseño y operación, como son las características de la alimentación y especificación del producto, capacidad de la planta, condiciones de operación, variaciones de flujo y concentración de compuestos ácidos, etc. Se considera que se puede utilizar un lecho de adsorción durante 8-10 horas continuas sin problemas de que la corriente producto salga de especificaciones.

## 2. Regeneración de las columnas.

La regeneración de la columna de adsorción requiere de las siguientes fases:

### 2.1 Purga o drenado de la columna.

Una vez que se agota la capacidad de endulzamiento del lecho se requiere cambiar de columna, quedando ésta completamente llena de producto, por lo que habrá que vaciarla para su regeneración. Dependiendo de la ubicación de la planta puede utilizarse para el vaciado de la columna un gas inerte, gas natural o el propio producto en fase vapor, con la única condición de que se encuentre a una presión mayor para poder desplazar al Gas Licuado dentro de la columna.

Para este trabajo se considera la utilización de gas residual a una presión de 22 Kg/cm<sup>2</sup> man (312 Psig) como mínimo.

Para el drenado de la columna se inyecta el gas residual por la parte superior, provocando que el líquido sea desplazado hacia abajo. El líquido efluente se envía a endulzamiento abriendo las válvulas correspondientes a esta operación.

Esta fase dura aproximadamente de 10 a 15 min. y debe de operarse siempre en flujo descendente (contrario al flujo de la etapa de endulzamiento).

## 2.2 Calentamiento.

La regeneración del sistema consiste en la desorción de los compuestos adsorbidos en el lecho por medio de la aplicación de calor y/o por una disminución de la presión. En el presente trabajo se propone la aplicación de calor para la regeneración de las mallas moleculares.

El gas residual se pasa a través de un evaporador-sobrecalentador, el cual opera con vapor sobrecalentado, donde se eleva la temperatura hacia unos 200-300 °C (400 - 600 °F). Posteriormente el gas caliente fluye a través del lecho a contracorriente con respecto a la etapa de adsorción; provocando con esto la desorción de los compuestos ácidos retenidos en la malla.

El tiempo que dura la operación esta en función de la temperatura del gas de desorción, el flujo manejado y la capacidad del lecho; pero puede hablarse de tiempos promedio de una o dos horas.

### 2.3 Depresurización (opcional).

Si el gas de regeneración se encuentra a una presión menor a la que se esta operando la columna habrá que depresurizar el sistema, lo cual se hace al mismo tiempo que se inicia con la etapa de calentamiento y deberá hacerse en la misma dirección al flujo del gas de calentamiento.

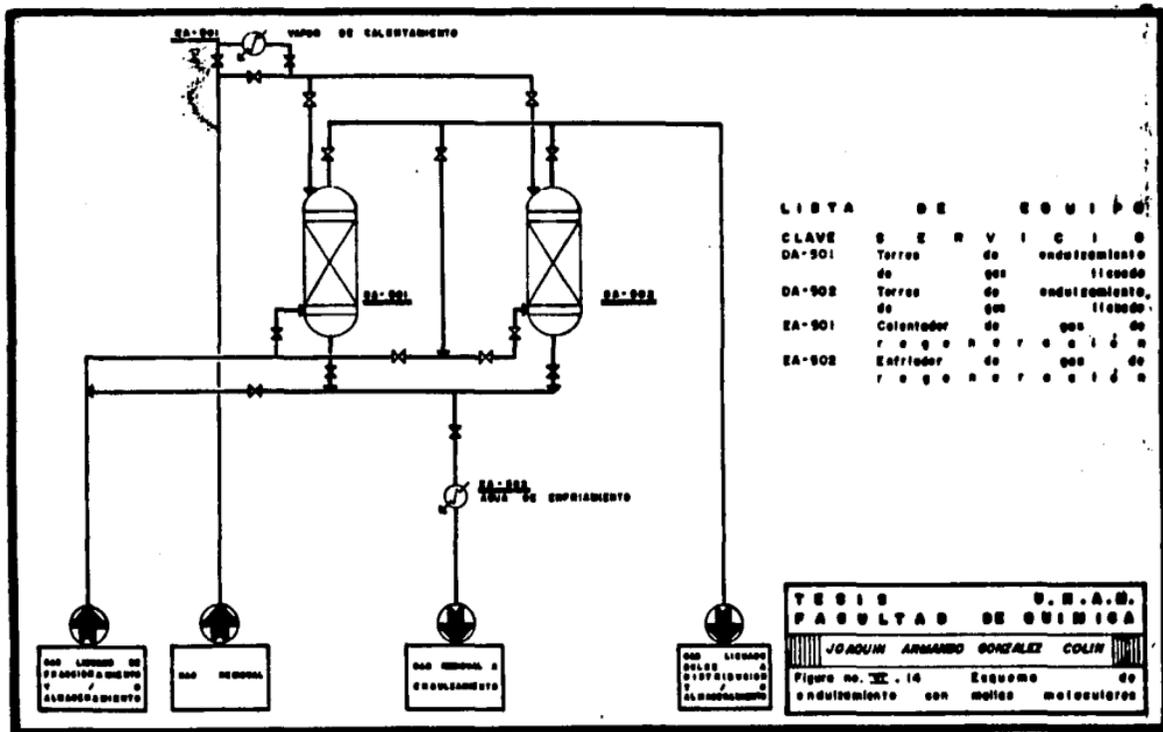
Si la depresurización es muy rápida se corre el riesgo de alterar la configuración de empaquetamiento del lecho, por lo que se recomienda una velocidad de depresurización de 50 Psi/min. o menor.

Al momento de hacer el análisis hay que considerar que durante ésta etapa el producto flashea y las líneas llegan a enfriarse sensiblemente.

### 2.4 Enfriamiento del Lecho.

Debido a que la regeneración del lecho se efectua por medio de la aplicación de Temperatura, posterior a ésta operación la columna queda a la temperatura del medio de regeneración, por lo que para poder utilizarla en el endulzamiento se requiere su enfriamiento.

Para el enfriamiento del lecho se utiliza el mismo producto dulce; por lo cual una fracción de la corriente dulce se desvía y se alimenta por la parte inferior de la columna que está siendo enfriada, lográndose así el enfriamiento del lecho. El líquido producto del enfriamiento se envía junto con el producto dulce a límites de batería.



**LISTA DE EQUIPO**

CLAVE	SERVICIO
DA-901	Torno de enducamiento de gas
DA-902	Torno de enducamiento de gas
EA-901	Calentador de gas
EA-902	Entrador de gas

**TESIS U.N.A.M. FACULTAD DE QUIMICA**

**JOSUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN**

Figura no. III. 14 Esquema de enducamiento con moltes metalicas

## ADICION DE AGENTES QUIMICOS

El gas Licuado que se recibe de producción de le deben de adicionar productos quimicos que den seguridad y protección al equipo involucrado en las siguientes etapas de manejo y utilización.

Los agentes o productos quimicos que se adicionan al Gas Licuado son:

1. Odorizantes
2. Inhibidores de Corrosión
3. Inhibidores de Hidratos

### 1. Odorizantes.

El Gas Licuado es un producto inodoro, incoloro y altamente inflamable. Por lo cual se requiere agregarle un agente quimico que le imparta cierto olor caracteristico, sin alterar sus propiedades fisicas ni quimicas, para detectar posibles fugas de producto en recipientes de almacenamiento y durante su utilización.

El código National Fire Protection Asociation (NFPA) parte 58.13 y el OSHA cap. XVII parte 1910.110 recomiendan la adición de Etilmercaptano, Tiofeno o Amilmercaptano en las siguientes proporciones mínimas:

ODORIZANTE (100% pureza)	Lb/10 000 gal. (ppm)
Etilmercaptano	1.0 (12)
Amilmercaptano	1.0 (17)
Tiofeno	1.4 (12)

Debido a las características químicas de estos productos se deben de utilizar para su manejo guantes de plástico y lentes protectores.

En caso de tener contacto directo con las sustancias se deben de lavar rápidamente las partes afectadas con agua.

Quando se desee eliminar residuos de estas compuestos, o en caso de tener un derrame o escape se puede emplear la neutralización por métodos de oxidación con soluciones de cloruro de potasio, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, persulfato de amonio o hipoclorito de sodio o potasio, y lavar con agua para eliminar los productos de la reacción. También se pueden emplear aceites especiales como el Caltex (gas s.p. 130)‡ o el Deco Marine 40‡, que adicionado con aserrín provoca que el olor desaparezca en pocos minutos.

‡ Nombres comerciales dados por fabricantes

## DOSIFICACION

Estas sustancias se almacenan en recipientes cilindricos a presión, y se inyectan a las líneas de almacenamiento o distribución por medio de bombas reciprocantes a una presión y gasto que es función del flujo manejado y la dosificación requerida.

### 2. INHIBIDOR DE CORROSION

El inhibidor de corrosión se debe suministrar con el fin de proteger las líneas de transporte o los recipientes de almacenamiento, por el efecto corrosivo de algún contaminante presente en el Gas Licuado, esto se hace solo en el caso justificar técnica y económicamente su utilización.

En la práctica se recomienda utilizar un agente químico del tipo Amina fileica en dosificaciones que van de 5 a 30 ppm, pero la cantidad adecuada se debe de determinar en campo como una función del tipo de corriente, flujo necesidades y tipo de inhibidor a utilizar.

## DOSIFICACION.

Dadas las características físicas y químicas del producto se almacenan en recipientes atmosféricos de acero al carbon. Se inyectan a la línea por medio de bombas reciprocantes en cantidades previamente determinadas.

### 3. INHIBIDOR DE HIDRATOS

Cuando el Gas Licuado se maneja a bajas temperaturas o en presencia de agua libre o humedad pudiese llegar a formar hidratos\*, los cuales pueden llegar a obstaculizar las líneas de transporte, valvulas y demas accesorios.

Normalmente se utiliza un agente químico como el Metanol o Etanol y se recomienda adicionarlo en pequeñas proporciones, de 10-30 ppm, aunque la dosis mas adecuada dependerá del contenido de agua de la corriente a tratar, por lo que se debe de determinar en campo.

#### DOSIFICACION.

El inhibidor de hidratos se almacena en tanques atmosféricos de acero al carbon, y se alimentan a las líneas por medio de una bomba recíproca que opera a las condiciones más adecuadas a cada caso.

‡ Sólidos cristalinos formados por agua e hidrocarburos.

## CAPITULO VII

### ALMACENAMIENTO DE GAS

#### L I C U A D O

Debido a que los centros de producción del Gas Licuado se concentran en el sureste del país, se tiene la problemática de que, además de producir los volúmenes adecuados, se debe de disponer del producto en el lugar y momento en que se necesite. Por tales razones se tiene la necesidad de instalar centros que sirvan como terminales para el recibo, almacenamiento y carga de los productos del gas licuado.

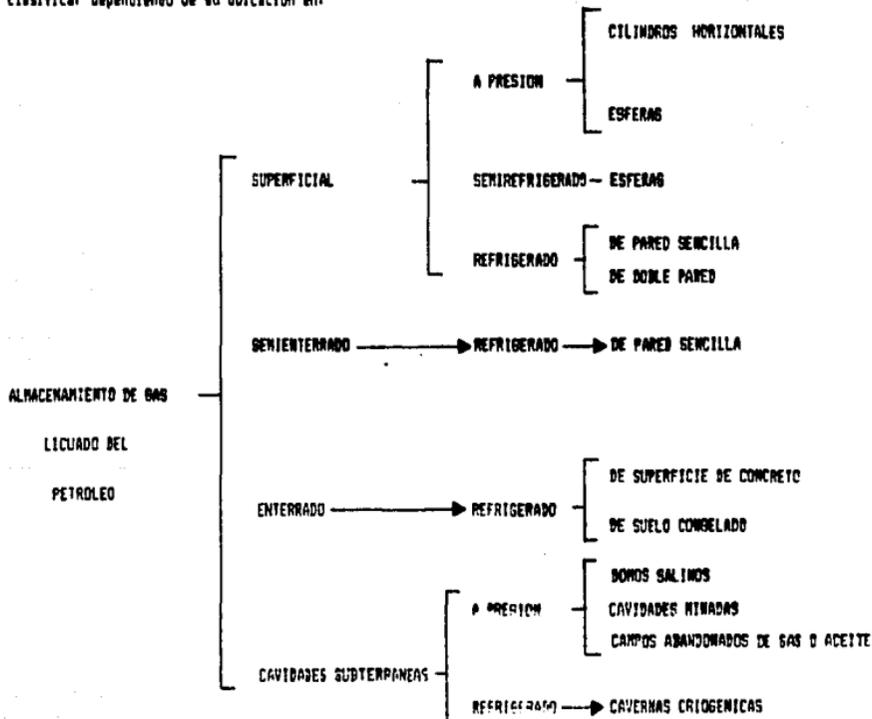
Existen actualmente grandes terminales de almacenamiento en el país, localizados en: Rosarito, B.C.; Puebla, Guadalajara, Tula, Hdgo., Pajaritos en Veracruz, y en Topolobampo, Sonora.

En este capítulo se tratarán los siguientes aspectos:

- Sistemas de Almacenamiento y aspectos de selección Técnico-Económicos
- Principales Parámetros de Diseño
- Esquemas de flujo de los sistemas de almacenamiento, y su descripción

VII.1. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y ASPECTOS DE SELECCION  
TECNICO-ECONOMICOS.

Los diferentes sistemas de almacenamiento se pueden  
clasificar dependiendo de su ubicación en:



### VII.1.1. ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL.

#### 1.1 Almacenamiento Superficial a Presión.

Se prefiere y recomienda utilizar almacenamiento a presión cuando la capacidad del sistema sea baja (inferior a los 12-700 m<sup>3</sup>). El rango de presiones a la que puede llegar a operar el recipiente estará en función del espesor y tamaño de la coraza que se requiera.

Se tienen dos diferentes tipos de recipientes que trabajan a presión (Fig.No.VII.1):

##### 1.1.1 Tanques horizontales de cabezas elípticas.

Estos tanques se conocen comúnmente con el término de "salchichas", son relativamente fáciles de construir y transportar, y no necesitan de alguna soporteria especial para su instalación y montaje.

El rango de capacidades más económica se encuentra entre los 80 m<sup>3</sup> (500 BBL) y los 950 m<sup>3</sup> (6 000 BBL).

##### 1.1.2 Tanques Esféricos.

Comparado con otros tipos de recipientes, la esfera ofrece un mínimo de área superficial por un máximo de volumen almacenado, por lo que asegura una economía máxima en el uso de los materiales de construcción. Aunado a esto, presentan la propiedad de que entre mayor es el tamaño de la esfera la relación superficie/unidad de volumen es menor.

Por esta razón la temperatura del líquido almacenado en una esfera de gran capacidad cambia más lentamente que en un pequeño tanque y, por lo tanto, la presión de operación se mantiene más fácilmente por debajo de la presión de calibración de las válvulas de alivio a recuperación de vapores.

La Presión de Diseño, Temperatura del producto y Diámetro de la esfera se reflejan en la elección del material, de tal forma que cada caso en particular deberá estudiarse individualmente. Usualmente, se usan aceros con altas características a la Tensión y Punto de Cedencia con el fin de reducir el espesor de la pared y el costo del recipiente.

Debido a las características geométricas de estos recipientes, normalmente se fabrican en el mismo lugar en el que van a ser instalados.

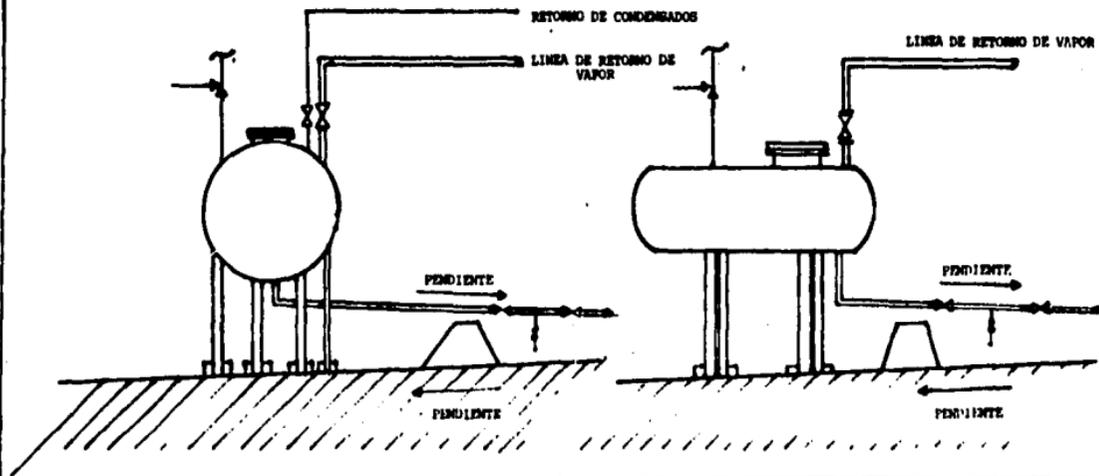
El rango de capacidades más económico para este sistema está entre los 950 m<sup>3</sup> (6 000 BBL) y los 12 700 m<sup>3</sup> (80 000 BBL).

Las ventajas que presentan ambos tipos de recipientes son:

- Amplio conocimiento para el diseño y fabricación a nivel nacional.
- Su operación es relativamente sencilla.
- Son económicos para el rango de capacidad indicados.

ESFERAS A PRESION

RECIPIENTES CILINDRICOS HORIZONTALES  
A PRESION



- 154 -

TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. VII.1 ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL A PRESION

Mientras que las desventajas que tienen son:

- Gran peligrosidad en casos fortuitos de fuego, sabotaje y/o accidentes.
- Requieren de una área relativamente grande para su instalación.

El código ASME Secc. II recomienda que el material para la construcción de ambos tipos de recipientes sea de acero al carbón SA-515.

Como regla general se ha visto que el propano se almacena en tanques cilíndricos horizontales de cabezas esféricas, mientras que el butano se almacena en tanques esféricos.

#### VII.1.2. ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL SEMIREFRIGERADO

Los recipientes para el almacenamiento semirefrigerado son esféricos. El rango de capacidad más económico para su aplicación es básicamente el mismo que para las esferas que trabajan a presión, pero tienen la ventaja de que las dimensiones del recipiente disminuyen en un factor de 2 a 6 el cual depende de las condiciones de presión y temperatura a que se trabajen.

Aun con que la operación de estos sistemas implican una mayor complejidad y costo, con respecto a las esferas que operan a presión, su aplicación es económica en aquellos casos donde el espacio es limitado y costoso y el impacto ecológico es importante.

### VII.1.3. ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL REFRIGERADO.

El almacenamiento refrigerado superficial se utiliza normalmente en terminales marítimas o en grandes centros de producción y/o consumo.

El sistema es económico para capacidades de almacenamiento entre los 10 000 m<sup>3</sup> (63 000 BBL) y los 100 000 m<sup>3</sup> (680 000 BBL).

Estos recipientes operan a presiones cerca de la atmosférica hasta unos 0.17 Kg/cm<sup>2</sup> (2.5 Psig) y a la temperatura necesaria para que el producto se mantenga líquido, que corresponde a un valor cerca del punto normal de ebullición; se ha observado que un valor adecuado es de -46 oC (-51 oF) para Propano y de -5 oC (23 oF) para Butano.

Se conocen dos diferentes tipos de recipientes para este servicio:

1. Tanques verticales de pared sencilla
2. Tanques verticales de doble pared

La elección de uno o de otro dependerá de factores técnicos y económicos.

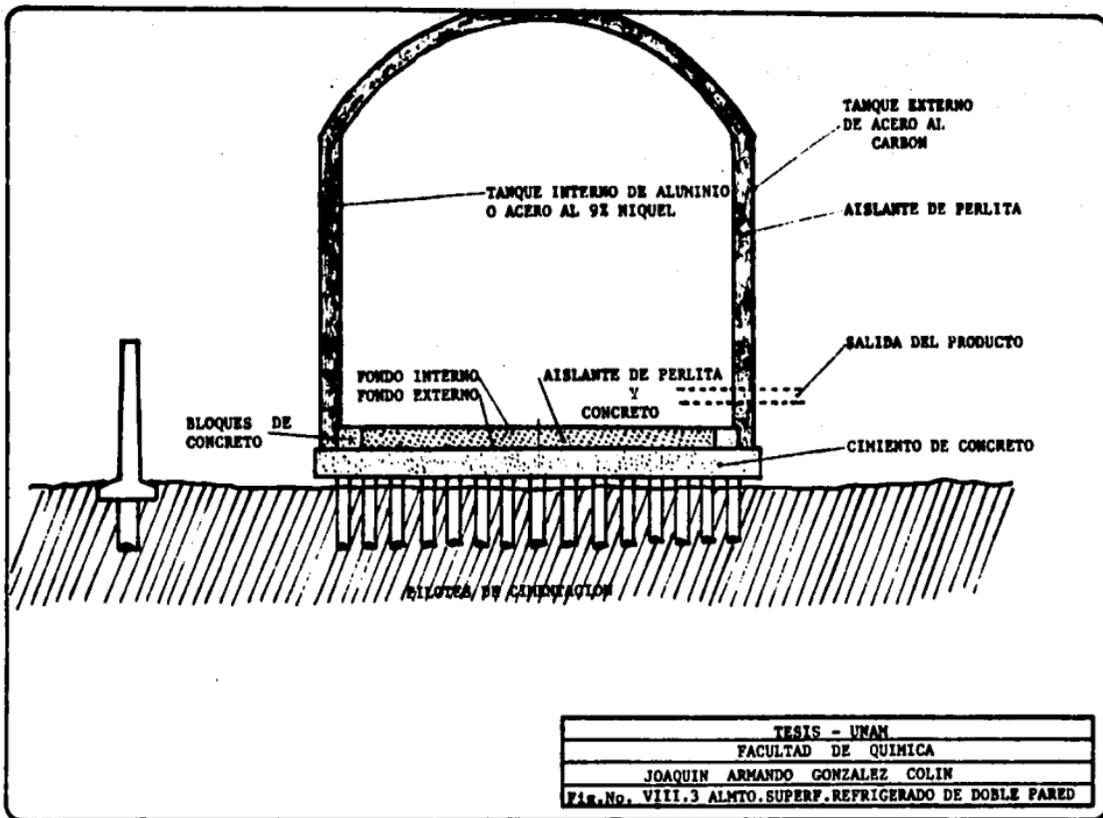
### 1.3.1 Tanques verticales de pared sencilla. Fig.No.VII.2

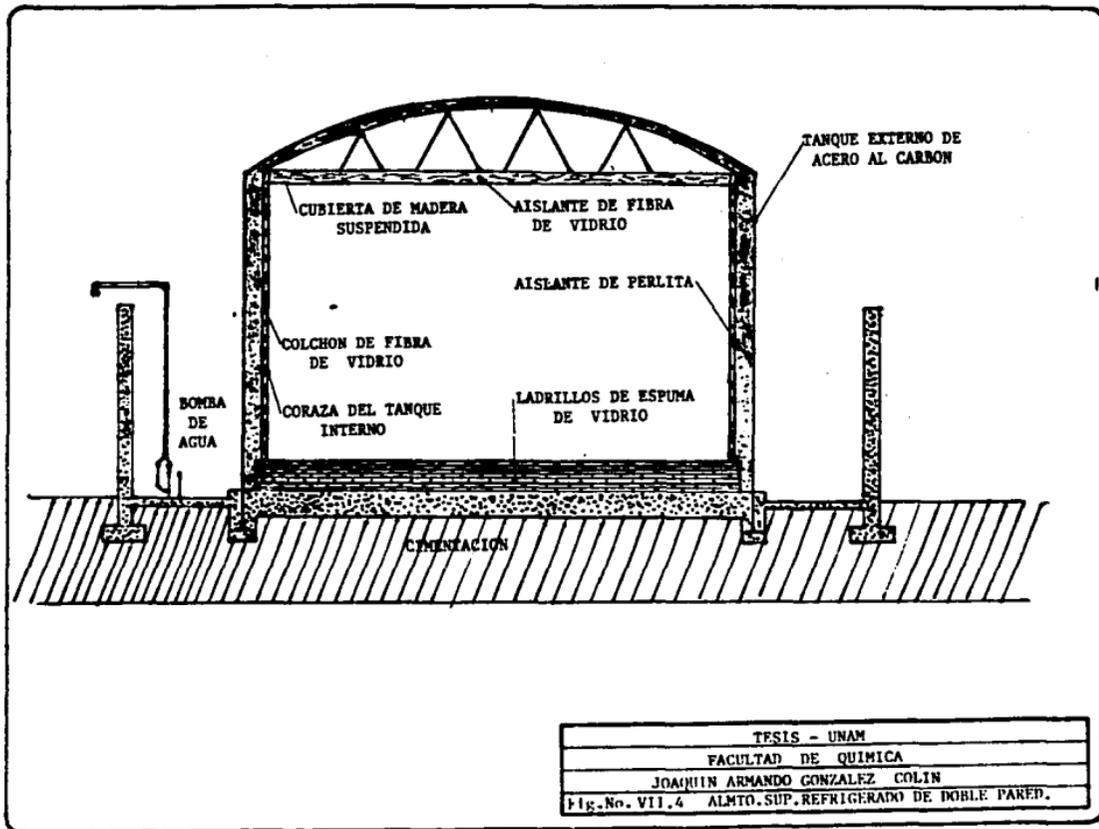
El tanque de pared simple consiste de un contenedor para el líquido reforzado por la parte exterior con acero estructural, el cual va desde el techo hasta la parte inferior del tanque.

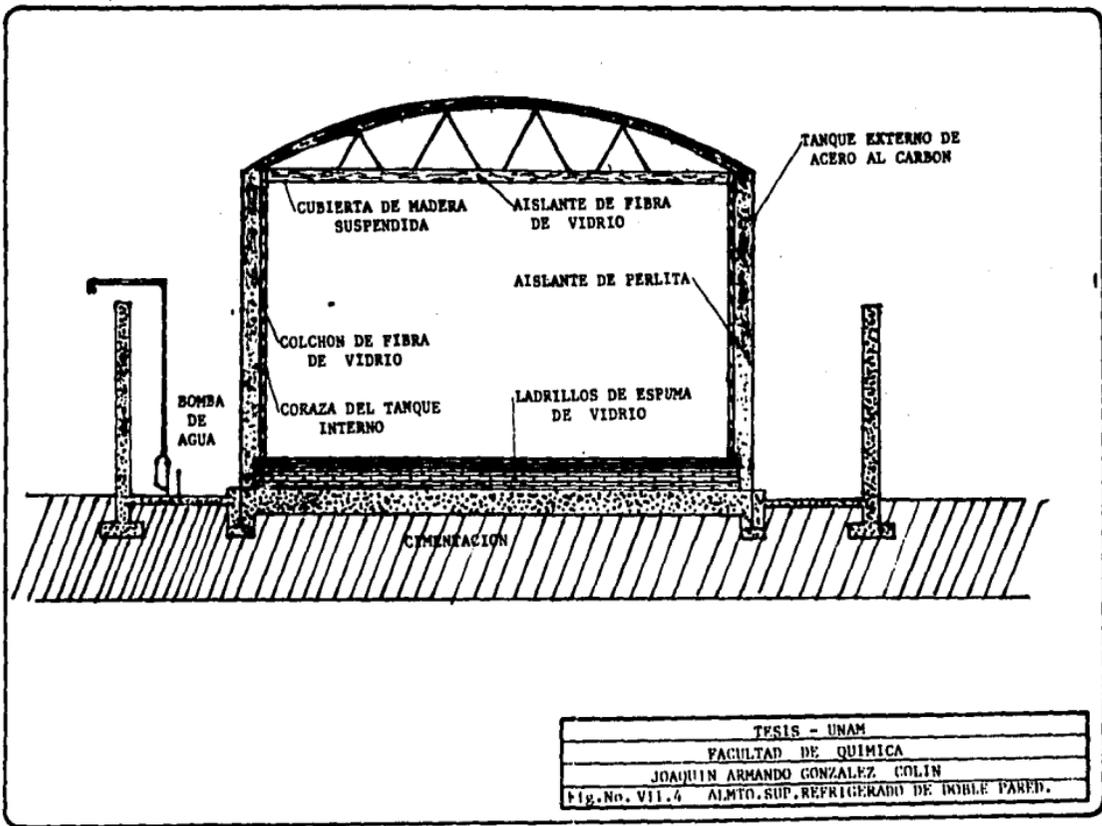
Todo el recipiente debe de estar recubierto por el exterior con aislante térmico para evitar la entrada de calor desde el medio ambiente.

### 1.3.2 Tanque de doble pared. Fig.No.VII.3

Los tanques de almacenamiento de pared doble están formados por un recipiente interno que contenga al líquido a almacenar, posteriormente lleva una cubierta que va desde la parte superior del techo hasta el fondo del tanque y todo este se recubre por material aislante.







TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig.No. VII.4 ALMTO.SUP.REFRIGERADO DE DOBLE PARED.

### 1.3.3 Materiales de Construcción.

Los materiales utilizados para la construcción de los recipientes que estarán en contacto directo con el líquido a almacenar deben de resistir las bajas temperaturas del proceso, lo cual redunda en que deben de tener una buena resistencia al impacto a estas condiciones.

Los materiales que se recomiendan para el servicio son el acero A516 grado 65 y 70, el A537 clase 1 y 2 y el A573 grado 65 o 70; o un material equivalente.

### 1.3.4 Materiales Aislantes Térmicos.

#### 1.3.4.1 Para el sistema de aislamiento del fondo del tanque.

El sistema que más se recomienda es el que consiste de bloques de espuma de vidrio con intercapas y acabados de fieltro, con un recubrimiento de arena seca sobre las caras externas del bloque. Posteriormente, y como último acabado se le adiciona una barrera impermeable que evite la transferencia de vapor hacia el interior del material; esta barrera normalmente es de un material denominado Zero-Para (Maylar-Aluminio-Maylar) o similar.

Existen otros tipos de sistemas que pueden utilizarse con el mismo fin pero no han sido igual de satisfactorios, ya que presentan problemas de escurrimientos cuando se

someten a cargas fuertes; o son difícil de curar y/o no se encuentran disponibles en el mercado. Un ejemplo típico es un sistema que utiliza la llamada "All-weathercrete" para la fabricación de los bloques de aislamiento, y que no es otra cosa que una mezcla de asfalto-perlita en variadas proporciones.

#### 1.3.4.2 Aislante para las paredes del recipiente.

El material aislante que normalmente se utiliza para esta zona del recipiente es la espuma de poliuretano espreada. Una vez que se efectúa la construcción y pruebas hidráulicas del tanque, toda la zona exterior se prepara con esmaltes específicos para la aplicación del aislante, el cual se esprea en capas de 60 a 100 mm de espesor en etapas que van de los 12 a los 25 mm. Una vez que se llega a tener el espesor total requerido se le coloca una barrera de protección para la transferencia de vapor, que también puede ser Zero-Perm o similar; finalmente se protege con un revestimiento de hule butílico e Hypolon.

Se tienen también otros materiales con el mismo fin, como son la espuma de estireno, espuma de uretano o espuma de vidrio, los cuales se tienden sobre las paredes externas del recipiente, se embeben con mastique y se cubren con una coraza de metal lisa o corrugada.

Los principales problemas que presentan estos sistemas es de que son muy susceptibles a las fracturas externas, además de que la humedad penetra con mucha facilidad.

Aún con que estos sistemas se pueden aplicar a ambos tipos de recipientes (de pared sencilla y doble pared) en últimas fechas se ha visto la tendencia de utilizar perlita como aislante en los tanques de doble pared y aumentando el espesor a 600-800 mm se obtienen resultados similares.

#### VII.1.2. ALMACENAMIENTO SEMIENTERRADO.

Los sistemas para el almacenamiento semienterrado anteceden a los sistemas enterrados. Originalmente se crearon para el almacenamiento de líquidos criogénicos, pero hoy en día se reporta que en los Estados Unidos y Japón se utilizan para el almacenamiento del Gas Licuado.

Se fabrican de pared sencilla de concreto para operar a condiciones atmosféricas de presión y temperaturas cercanas al punto de ebullición del producto, por lo que también requieren de sistemas de licuefacción.

El mantenimiento y la operación del sistema son básicamente los mismos que para el almacenamiento superficial refrigerado.

Con respecto a los sistemas de almacenamiento enterrado tiene la ventaja de no requerir de formaciones geológicas específicas y, aún más se sugiere que su origen se debe a la

resolución de problemas de cimentación, especialmente en zonas sísmicas.

Al parecer no cuenta con ventajas adicionales sobre los otros sistemas, debido a que la tecnología y los materiales para la fabricación no son del dominio nacional y se tienen los mismos problemas de ecología, incendios, sabotajes, etc.

#### VII.1.3. ALMACENAMIENTO ENTERRADO.

El almacenamiento del Gas Licuado en tanques enterrados se efectúa en condiciones de presión igual o cercana a la atmosférica y a la temperatura correspondiente para mantener al producto en estado líquido, es decir en forma refrigerada, por lo que además requiere de sistemas auxiliares de refrigeración y licuefacción de vapores.

El sistema es económico para capacidades superiores a los 9 500 m<sup>3</sup> (60 000 BBL) y no se reporta el valor para la máxima capacidad económica, aunque el recipiente más grande de que se tiene conocimiento es de 111 000 m<sup>3</sup> (700 000 BBL).

Se conocen dos diferentes tipos de contenedores enterrados:

1. El recipiente de pared de concreto (Fig.No.VII.4) y,

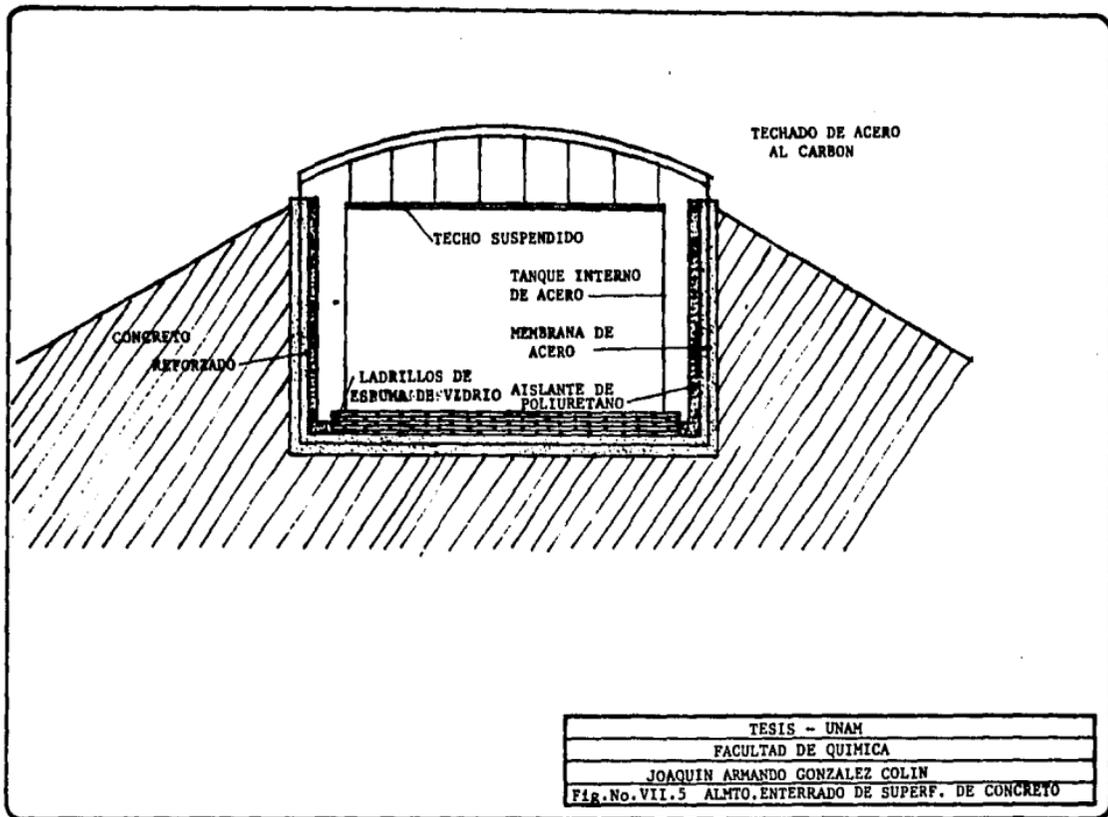
2. El recipiente de pared de concreto y suelo congelado (Fig.No.VII.5).

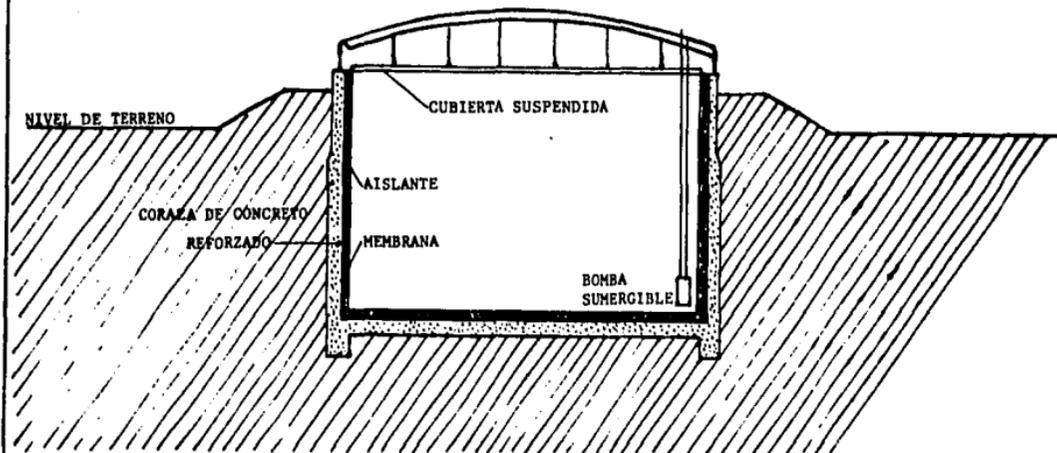
La diferencia primordial entre ambos recipientes consiste en que el primero esta provisto de una capa de material aislante localizada entre el piso del tanque y la cimentación, mientras que el segundo no por lo que se le debe de proveer de un sistema de calentamiento para evitar el congelamiento y fractura del suelo y la cimentación.

Este tipo de almacenamiento aprovecha al máximo las propiedades aislantes del suelo haciendo que los espesores para el aislante disminuyan en un 60 - 70 % con respecto al requerido para los tanques de almacenamiento refrigerado superficial.

Los recipientes estan hechos con estructuras de una sola pieza. Por el lado exterior las paredes se recubren con una capa de acero resistente a las bajas temperaturas (como los descritos en el inciso 1.3.3), y se refuerzan con alambre y concreto preesforzado. Por el lado interior se le coloca una capa de aislante de características similares a las ya descritas. La base es igualmente de concreto preesforzado y se sitúa sobre una serie de soportes especialmente diseñados para eliminar la humedad acumulada.

El recipiente de suelo congelado tiene la limitación de la geología del lugar, ya que el suelo deberá ser acuífero, con capas alternadas de arena gruesa y fina, grava





TESIS - UNAM
FACULTAD DE QUIMICA
JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ COLIN
Fig. No. VII.6 ALMTO. ENTERRADO DE SUELO CONGELADO.

con piedras de regular tamaño, arcilla arenosa y capas de arcilla impermeable.

Ambos sistemas proporcionan gran integridad de almacenamiento, puesto que se encuentran prácticamente libres de sabotaje y acciones fortuitas, poseen un alto factor de protección sísmica y el impacto visual al medio ambiente es mínimo.

Actualmente no se cuenta en el país con la tecnología ni experiencia en la operación y/o diseño de este tipo de almacenamiento.

#### VII.1.4. ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES SUBTERRANEAS.

El Almacenamiento de líquidos en cavidades subterráneas, basado en una patente alemana de los años 30s, se ha desarrollado considerablemente en Europa, EUA y Canada a partir de la segunda guerra mundial.

Se considera que resulta económica la construcción de este sistema para capacidades arriba de los 9 500 m<sup>3</sup> (60 000 BBL), aunque en algunos países su uso es tan común que se han implementado para volúmenes de hasta los 2 700 m<sup>3</sup> (17 000 BBL).

La mayor parte del costo total es fijo e independiente

del tamaño de la cavidad, por lo que el costo del sistema por unidad de volumen almacenado disminuye al aumentar la capacidad.

Hasta ahora es el medio de almacenamiento más seguro que se conoce, debido a que se encuentra completamente libre de influencias externas, siendo los dispositivos de seguridad básicamente los mismos que para los pozos convencionales de la industria del petróleo.

El área requerida es mínima, ya que superficialmente solo se encuentran los cuartos de control, bombas, oficinas, instalaciones de carga y descarga, etc. al igual que para los otros sistemas. Todo esto resulta en que todo el terreno queda practicamente libre y en las mismas condiciones ecológicas pudiéndose utilizar para el cultivo, la ganadería, etc.

Las cavidades operan a presión y a la temperatura del medio únicamente, ya que la operación en condiciones de refrigeración presentan problemas por fractura de la cavidad y dificultad para conservar la temperatura.

El equipo para la operación y mantenimiento del sistema es básicamente el mismo que para los otros tipos de almacenamiento, solo que se debe de considerar equipo adicional de intercambio térmico para calentar el producto cuando se reciba refrigerado.

Los dos principales factores que se deben considerar para elegir el depósito son:

- Que sea químicamente inerte con el producto
- Que sea completamente estanco y estable, en forma natural o artificial.

#### 4.1 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES MINADAS EN DOMOS SALINAS (Fig.No.VII.6)

El almacenamiento de Gas Licuado en Dómos Salinos es factible gracias a las características físicas y químicas de las grandes masas salinas del subsuelo.

La creación de la cavidad se efectúa por medio de lixiviación con agua; el agua disuelve la sal del yacimiento dándole, al mismo tiempo, ciertas características geométricas, por lo que cada cavidad será lixiviada a ritmos preestablecidos y controlados.

Un factor importante a considerar en la elección del sistema es la disponibilidad de grandes volúmenes de agua fresca, ya que se requieren de 8 a 10 veces el volumen de la cavidad por crear. Además se debe de contar con depósitos para la salmuera formada.

Para efectuar la lixiviación se necesita contar con un sistema de tres tubos concéntricos, con el fin de contar con un ducto para la inyección del agua, uno para la extracción de la salmuera producida y un volúmen disponible para el aceite de sellos. El agua se inyecta por el tubo interno, la salmuera se extrae por el anular formado entre la tubería externa y media y, el aceite de sello se encontrará por el anular formado por las tuberías media y externa. Con esta forma de lixiviar se origina una gran disolución en la parte más baja de la cavidad teniéndose, al final de la lixiviación que la caverna tiene una forma como de cono invertido.

El principal problema que se tiene en este sistema es el de encontrar la forma más económica y de menor impacto ecológico para desechar la salmuera producida en la disolución del domo.

Para la explotación de la cavidad, ésta deberá de encontrarse siempre llena, bien sea con producto y/o con

- ‡ El aceite de sello consiste en mantener un sello de líquido en la parte superior de la cavidad para controlar su crecimiento y geometría en ésta zona. Se utiliza gasóleo como aceite de sello.

salmuera, por lo que se requieren de depósitos para el almacenamiento de salmuera para cuando la cavidad se encuentre completamente llena de producto y poder inyectarla en la etapa de vaciado.

Debido a que durante la explotación de la cavidad se utiliza salmuera no saturada como fluido de desplazamiento, la cavidad sufre una disolución adicional en cada movimiento de vaciado que se efectúe, por lo que el volumen de ésta se va incrementando en todo lo largo de su vida, llegandose a tener al final una capacidad de aproximadamente el doble de la inicial y la forma estable de un cilindro.

#### 4.2 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES MINADAS EN ROCA.

Para efectuar la realización de depósitos de almacenamiento en cavidades minadas, el primer aspecto a considerar es la existencia de una capa de terreno en la que sea posible crear la cavidad. Para este fin, conviene realizar un estudio geológico zonal, completado por la exploración de la zona seleccionada y un estudio hidrogeológico del macizo. Lo cual dará la seguridad que la

roca del subsuelo es químicamente inerte y compatible con el producto a almacenar.

El siguiente paso es el estudio estructural de la forma de la caverna, la cual deberá garantizar su estabilidad. En este aspecto solo se permite colocar cierto tipo de refuerzos, como hormigón, concreto y/o algún otro material en zonas de inestabilidad persistente.

Otro punto a considerar es la estanqueidad hidráulica del depósito, en este las paredes no están revestidas y la capa freática, situada encima del depósito, se mantiene natural o artificialmente a un nivel hidrostático superior al potencial de presión del producto, asegurándose así que no escape hacia la roca. Este aspecto nos indica que la ubicación de la cavidad deberá ser a cierta profundidad, misma que se determina por la naturaleza y presión del producto almacenado, así como el entorno hidrogeológico del medio. De esta forma, para almacenar butano se requiere de una profundidad del orden de los 60 a 80 mts., y para uno de propano de 100 a 120 mts.

La selección de la técnica de acceso depende del costo y plazo para la obra. Prevalecen dos técnicas generales: 1. Acceso por pozos de gran diámetro y, 2. Acceso por túnel, que permite usar máquinas más poderosas y material rodante para la evacuación de escombros.

Una vez realizada la galería de almacenamiento, se

excava un pozo desde o hacia la superficie que permita el paso de equipo de explotación hacia el interior de la galería y la instalación del aparejo de tuberías de explotación.

Para realizar la prueba de estanqueidad se inyecta aire o gas inerte a una presión superior a los límites normales de utilización, y una posterior expulsión del fluido con agua.

## VII.2. PRINCIPALES PARAMETROS DE DISEÑO.

### 2.1 Presión y Temperatura de Operación.

Como ya se indicó el almacenamiento de los Gases Licuados del Petróleo se realiza en forma líquida por lo que, para lograr esto se deben de ajustar las variables presión y temperatura, obteniéndose las siguientes alternativas:

- Temperatura ambiente y presiones moderadas (menor o igual a 18 Kg/cm<sup>2</sup> man.)
- Presión atmosférica y bajas temperaturas (no menores a -45 oC).
- Una combinación de los dos parámetros.

La selección de las condiciones de operación más económicas para el sistema dependerá finalmente de los resultados de un análisis técnico-económico, en donde se deberán de considerar los siguientes aspectos:

1. En caso de almacenar a temperatura ambiente el recipiente deberá operar a una presión mínima equivalente a su presión de vapor a la máxima temperatura esperada, más una sobrepresión que asegure el estado líquido del producto. Para propano y butano comerciales se recomienda que la

presión de operación que se debe de considerar para diseño sea de 16.6 Kg/cm<sup>2</sup> man (237 Psig) y 7 Kg/cm<sup>2</sup> man (100 Psig) a 37.8 oC (100 oF) respectivamente.

2. Si se almacena a presión atmosférica la temperatura de operación máxima requerida es de -44 oC (-47 oF) para propano comercial y de -4 oC (25 oF) para butano comercial.

## 2.2. Presión y Temperatura de Diseño

### 2.2.1 Presión.

La presión de diseño de recipientes refrigerados para Gas Licuado deberá de ser como mínimo del 100% de la presión de vapor del producto a la máxima temperatura de operación, según marca el API 610.

Para los recipientes que operan a presión, el código ASME en la Secc. VIII, Div. 1, recomienda como mínimo una presión de diseño del 20% arriba de la presión de vapor del producto a 37.8 oC (100 oF).

### 2.2.2 Temperatura

El criterio para definir la Temperatura a la cual deberán ser diseñados los recipientes para Gas Licuado será función de la aplicación particular, pudiéndose resumir en

dos clases principales:

1. Cuando la temperatura máxima de operación se encuentre entre los  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) y los  $340\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $644\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).

Para este caso la Temperatura de Diseño será la máxima temperatura que pueda presentarse durante el proceso más un sobrediseño de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2. Cuando la Temperatura de operación sea inferior a  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La Temperatura de Diseño será la temperatura mínima esperada.

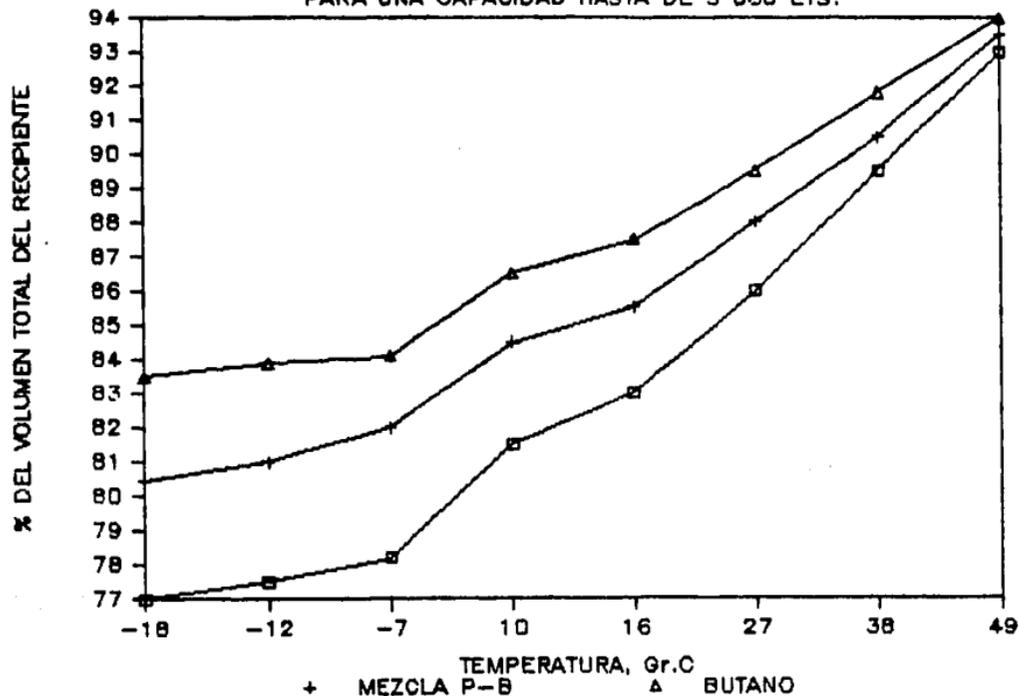
### 2.3. VOLUMEN MAXIMO DE LLENADO.

Debido a que el líquido a almacenar (LPG) presenta dentro de sus propiedades una elevada presión de vapor, el máximo volumen al cual deben de llenarse los contenedores que operan a presión deberá ser de tal forma que permita el alojamiento de los vapores desprendidos durante la operación.

En la actualidad no existen reglamentaciones que determinen este parámetro.

El National Fire Protection Association (NFPA) sección 58 recomienda para el volumen máximo de llenado sea de acuerdo a la gráfica No.VII.1.

# MAXIMO NIVEL DE LLENADO EN RECIPIENTES PARA UNA CAPACIDAD HASTA DE 5 000 LTS.



### VII.3. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE ALMACENAMIENTO

#### 3.1 ALMACENAMIENTO A PRESION EN RECIPIENTES ESFERICOS Y CILINDRICOS. (Fig.No.VII.8).

##### 3.1.1 Etapa de llenado.

Para el llenado del sistema se recomienda que cuando se tengan más de un solo tanque por llenar, la operación sea uno a uno, con el fin de mantener un simple control de la operación.

Al llegar a la estación se reduce la presión del producto hasta 12.6 Kg/cm<sup>2</sup> man. (180 Psig) con las valvulas reguladoras de presión localizadas a la entrada. A estas condiciones se alimenta al recipiente que va a ser llenado por la parte de arriba y en forma de esprayado.

En todos los recipientes se cuenta con interruptores y alarmas de alto nivel de tal forma que, cuando el liquido llega a un cierto nivel de llenado el interruptor de alarma dará una señal en el tablero de control para que el operador abra la valvula correspondiente al llenado de otro tanque. Cuando se llega a su nivel máximo el interruptor de nivel automático actuará cerrando la valvula y el producto fluirá hacia el otro recipiente.

La operación se repite hasta completar el llenado de todo el sistema.

### 3.1.2 Etapa de vaciado.

El vaciado o descarga de los recipientes se efectua por medio de bombas de trasiego tipo centrifugas adecuadas para el servicio, las cuales toman el producto por la parte de abajo de los tanques, le elevan la presión a 15.1 Kg/cm<sup>2</sup> man (215 Psig) y, previa medición, lo envia a los carrotanques o remolques p. distribución.

Los recipientes cuentan con interruptores y alaromas por bajo nivel. Cuando se llega a tener un bajo nivel se acciona la alarma del tablero y el operador debera de abrir la valvula de descarga de otro tanque, ya que cuando se llega al nivel mínimo la valvula cerrará en forma automática y si no se tiene liquido en el cabezal de descarga la bomba dejará de funcionar.

### 3.1.3 LLENADO Y VACIADO SIMULTANEO.

El sistema podrá descargar y cargar producto en forma simultánea siempre y cuando la operación se efectúe en tanques independientes. Esto no implica que no pueda hacerse en el mismo recipiente, pero pudierán llegar a presentarse múltiples problemas debido a que la generación de vapor a estas condiciones es mayor que cuando se opera en forma separada.

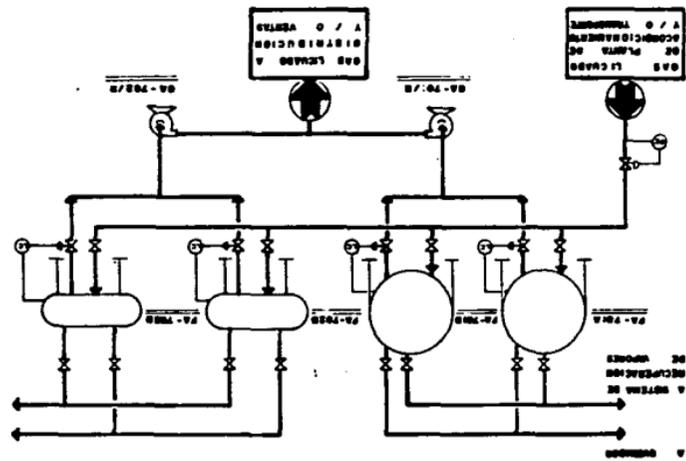
### 3.1.4 SISTEMA DE RECUPERACION DE VAPORES.

El sistema de recuperación de vapores consiste en tomar los vapores producidos en alguna de las operaciones anteriores o por efectos térmicos y enviarlos hacia un compresor recíprocante accionado por un motor eléctrico, el cual se accionará por un interruptor de alta presión, para comprimirlos hasta 15.1 Kg/cm<sup>2</sup> man. (215 Psig) y 48 oC (118 oF), de donde se descargan hacia un cambiador de calor que enfría y condensa al gas, utilizando como medio de enfriamiento al agua. Posteriormente pasa hacia un acumulador de condensados para separar los incondensables, enviándose hacia el sistema de desfogue. El Gas Licuado ya condensado se expande y alimenta a los recipientes de almacenamiento a control de nivel (12.6 Kg/cm<sup>2</sup> man.).

FIG. 10  
S. A. M.  
FABRIL DE QUÍMICA  
JOSUÉ ARMANDO GONZÁLEZ COLIN  
Plano de  
Dimensionamiento de tuberías y presión

LISTA DE EQUIPO  
CLAVE S E R V I C I O  
PA-702M Estero de desaguadero  
PA-702M Tanque de  
GA-701M Bomba de  
GA-702M Bomba de  
Llave de control  
de  
de  
de

A. OCEANO  
B. SISTEMA DE  
RECUPERACION  
DE AGUAS



A. OCEANO  
B. SISTEMA DE  
RECUPERACION  
DE AGUAS

### 3.2 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

Debido a que el esquema para el sistema de almacenamiento refrigerado cambia en función del producto, se describen dos tipos diferentes. El sistema de almacenamiento refrigerado para Propano Comercial y el sistema para almacenamiento refrigerado para Butano Comercial. El sistema de almacenamiento para mezclas quedará comprendido entre estos dos extremos y estará definido por las bases de diseño correspondientes.

#### 3.2.1. Almacenamiento Refrigerado Para

##### Propano Comercial. Fig.No.VII.9

##### 3.2.1.1 Llenado del Sistema.

El Propano Comercial proveniente de producción y/o transporte se recibe en L.B. a una presión mínima de 18 Kg/cm<sup>2</sup> man (256 Psig) y se expande en el tanque de flasheo hasta una presión de 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> man. (50 Psig), Parte del líquido que sale de este tanque, previa expansión a presión atmosférica, se manda al tanque de almacenamiento de producto y la otra parte se desvía al serpentín del tanque de succión de compresores, para vaporizar el posible líquido arrastrado, y previa expansión a presión atmosférica, se envía al tanque de almacenamiento. Las condiciones de almacenamiento en el tanque son 0.07 Kg/cm<sup>2</sup>man. (1.0 Psig) y -44 oC (-47 oF).

El vapor efluente del tanque de flasheo se envía a la

segunda etapa del compresor de llenado de Propano.

Los vapores producidos cuando se está llenando el tanque de almacenamiento (formación de vapores por expansión de la alimentación, por expansión en la línea de retorno del serpentín del tanque de succión de compresores, por absorción de calor en el tanque, por desplazamiento por el líquido que entra y generados por la bomba de recirculación) se envían al tanque de succión de compresores donde se vaporiza el posible líquido arrastrado mediante un serpentín colocado en el fondo del recipiente. El vapor de este tanque se envía a la primera etapa de compresión del compresor de llenado de Propano donde se eleva su presión hasta 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> man (50 Psig), para entrar a la segunda etapa de compresión se mezcla con el vapor producido en el tanque de flasheo de Propano y la corriente total se comprime hasta 20.8 Kg/cm<sup>2</sup> man (296 Psig) y 83 oC (182 oF) aprox.

La corriente que sale del compresor se envía al Condensador de llenado de Propano y posteriormente al Acumulador de llenado de Propano, a 20.1 Kg/cm<sup>2</sup> man (286Psig) y 40.6 oC (105 oF). Con objeto de cumplir con la especificación del producto, el vapor separado en este tanque se manda a quemador mediante un control de presión y el líquido se expande hasta 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> man (50 Psig) para alimentarse al tanque de flasheo de Propano a -10.3 oC (13 oF). En este tanque se mezcla con la corriente de

alimentación obteniéndose una temperatura de mezcla de  $-6.6$  °C (20 °F).

### 3.2.1.2 Vaciado del Sistema.

El Propano almacenado en el Tanque de Almacenamiento a Presión atmosférica y  $-44$  °C ( $-47$  °F), se vacía mediante bombas de descarga adecuadas al servicio.

Los vapores producidos por esta operación una parte llena el volumen desalojado por el propano líquido y la otra se envía al tanque de succión de compresores, donde se vaporiza el posible líquido arrastrado mediante un serpentín colocado en el fondo del recipiente. El vapor de este tanque se envía a la primera etapa de compresión del Compresor de refrigeración de Propano donde se eleva su presión hasta  $3.5$  Kg/cm<sup>2</sup> man (50 Psig), para entrar a la segunda etapa de compresión se mezcla con el vapor producido en el Separador de Interfases y la corriente total se comprime hasta  $20.8$  Kg/cm<sup>2</sup> man (296 Psig) y  $87$  °C (188 °F).

La corriente que sale del Compresor se envía al Condensador de Refrigeración a  $20.1$  Kg/cm<sup>2</sup> man (286 Psig) y  $40.6$  °C (105 °F). Con objeto de cumplir con la especificación del producto, el vapor separado en este tanque se manda a quemador mediante un control de presión y el líquido se expande hasta  $3.5$  Kg/cm<sup>2</sup> man (50 Psig) para alimentarse al Separador de Interfases a  $-12.3$  °C (10 °F).

El vapor efluente del Separador de Interfases se manda a la segunda etapa de compresión del Compresor de Refrigeración y el líquido se envía al serpentín del Tanque de Succión de Compresor y previa expansión a presión atmosférica se manda al Tanque de Almacenamiento.

#### 3.2.1.3 Operación simultánea.

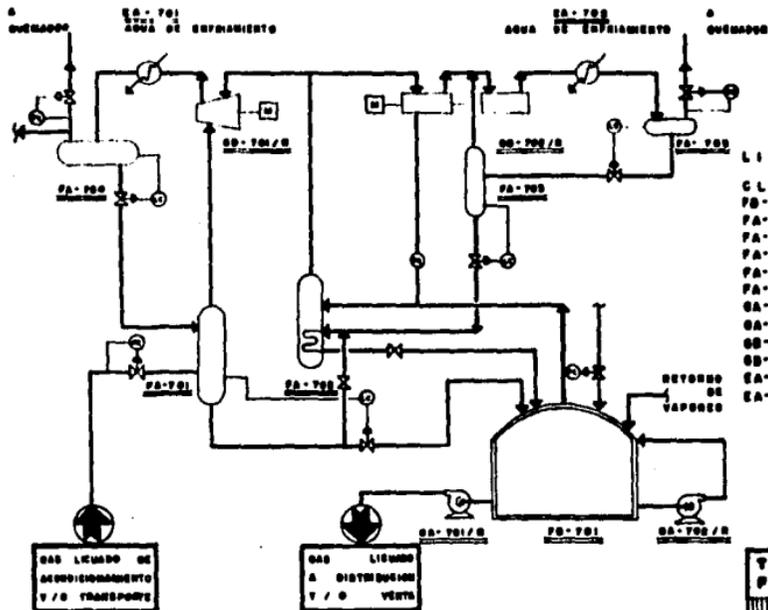
El llenado y vaciado del Tanque de almacenamiento puede hacerse en forma simultánea, con la diferencia de que los compresores y todo el sistema deberán de manejar una mayor cantidad de vapores.

#### 3.2.1.4 Refrigeración de Propano

Cuando no se tiene cargando ni vaciando producto la velocidad de formación de vapores es mucho menor que en cualquiera de las otras operaciones ya que solo se producen por absorción de calor y por la recirculación del producto. La compresión y condensación de estos vapores es similar a la etapa de vaciado, en donde solo se opera el compresor recíprocante en operación intermitente y es para mantener la temperatura del medio.

#### 3.2.1.5 Sistema de Recirculación.

En la tres operaciones descritas anteriormente, se prevé la estratificación de temperaturas en el Tanque de



LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO
FA-701	Tanque de almacenamiento refrigerado
FA-702	Tanque de almacenamiento
FA-703	Tanque de succión de compresores
FA-704	Tanque de succión de licheos
FA-705	Tanque acumulador de condensados
FA-706	Tanque acumulador de condensados
SA-701/R	Bomba de descarga / relave
SA-702/R	Bomba de recirculación / relave
SA-703/R	Compresor de licheos / relave
SA-704/R	Compresor de refrigeración / relave
EA-701	Condensador de proceso
EA-702	Condensador de proceso

TESIS U. N. A. M.  
 FACULTAD DE QUIMICA  
 JOAQUIN ARMANDO GONZALEZ SOLIN  
 Figura no. III. 9  
 Almacenamiento refrigerado para proceso

Almacenamiento, mediante la recirculación de una corriente de propano utilizando bombas de recirculación.

### 3.2.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BUTANO. Fig.VII.10

#### 3.2.2.1 Operación de Llenado.

El Butano líquido proveniente de producción y/o transporte se recibe de L.B. a 7 Kg/cm<sup>2</sup> man (100 Psig) se expande hasta presión atmosférica, para ser enviado al Tanque de Almacenamiento de Butano. Las condiciones de Almacenamiento en el Tanque son 0.07 Kg/cm<sup>2</sup> man (1.0 Psig) y -3.7 °C (25 °F).

Los vapores producidos cuando se esta llenando el tanque (formación de vapores por expansión de la alimentación, por absorción de calor del tanque, por desplazamiento por el líquido que entra y generados por la bomba de recirculación) se envían al Tanque de Succión de Compresores y de ahí al Compresor de butano donde se comprimen hasta una presión de 4.3 Kg/cm<sup>2</sup> man (61 Psig) y 51 °C (124 °F).

La corriente que sale del Compresor se envía al Condensador y posteriormente al Tanque Acumulador, a 3.6 Kg/cm<sup>2</sup> man (51 Psig) y 40.6 °C (105 °F).

La corriente efluente del Tanque Acumulador se envía al serpentín que sirve como medio de calentamiento en el Tanque

de Succión del Compresor y de ahí previa expansión atmosférica, se retorna al Tanque de Almacenamiento.

### 3.2.2.2 Operación de Vaciado.

El Butano almacenado a presión atmosférica y  $-3.2$  oC se vacía mediante bombas de descarga adecuadas al servicio.

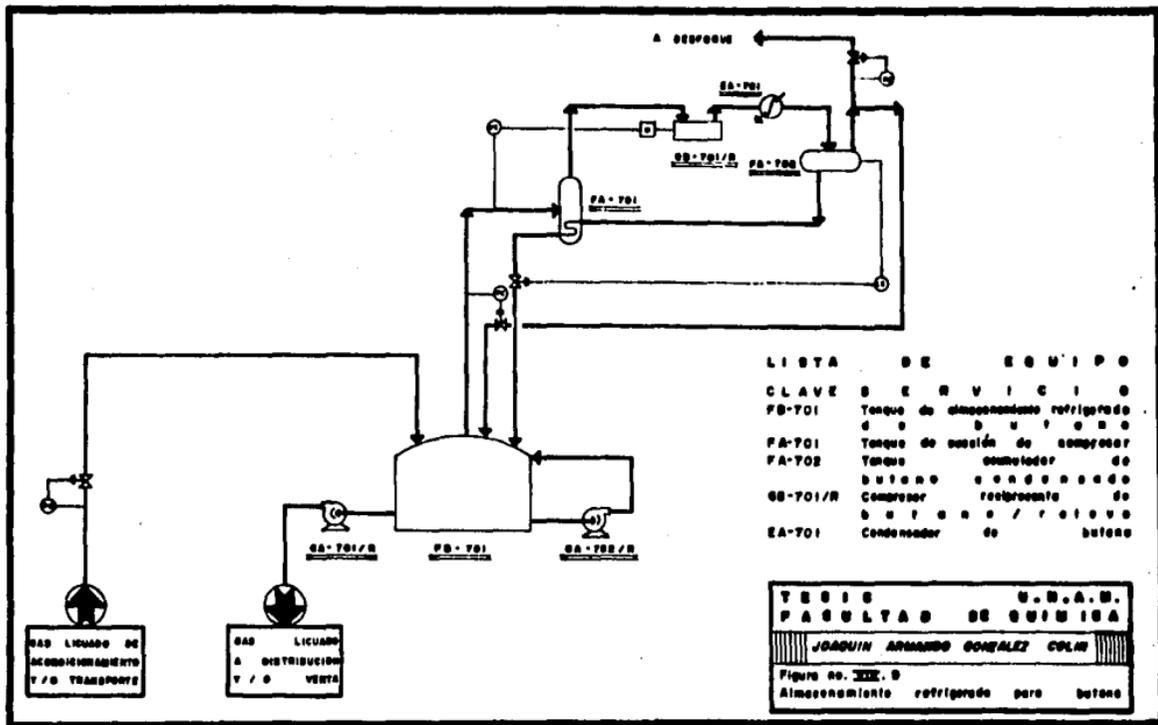
Los vapores producidos durante la operación una parte llena el volumen desalojado por el Butano líquido y la otra se envía al Tanque de Succión de Compresores y de ahí a los compresores de Butano, que durante esta operación trabajará a solo una parte de su capacidad normal.

La corriente que sale del Compresor a  $4.3$  Kg/cm<sup>2</sup> man ( $61$  Psig) y  $51$  oC ( $123$  oF) se envía al Condensador y posteriormente al Tanque Acumulador a  $3.6$  Kg/cm<sup>2</sup> man ( $51$  Psig) y  $40.6$  oC ( $105$  oF).

La corriente efluente del Tanque Acumulador se envía al serpentín que sirve como medio de calentamiento en el tanque de succión y de ahí, previa expansión hasta presión atmosférica se retorna al Tanque de Almacenamiento.

### 3.2.2.3 Operación de Llenado y Vaciado Simultáneo.

Se puede cargar y descargar un tanque de almacenamiento refrigerado siempre y cuando los vapores generados durante la operación puedan ser manejados por el equipo de Compresión.



#### **3.2.2.4 Refrigeración del Producto.**

Si no se está cargando ni vaciando producto la velocidad de formación de vapores es mínima y el equipo entrará en operación solo cuando el volumen forzado sea importante.

Durante esta etapa el Compresor opera intermitentemente y solo es para mantener la temperatura del sistema.

#### **3.2.2.5 Sistema de Recirculación.**

En las tres operaciones descritas en los puntos anteriores se prevé la estratificación de temperaturas en el Tanque de Almacenamiento mediante la recirculación de una corriente de Butano utilizando bombas de recirculación.

### **3.3 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES MINADAS**

#### **DOMOS SALINOS**

##### **3.3.1 Llenado de las Cavidades.**

El almacenamiento de Gas Licuado se lleva a cabo por medio de bombas de inyección de producto, que proporcionarán una presión de descarga suficiente para permitir la entrada de los hidrocarburos a la cavidad venciendo las pérdidas por fricción en las tuberías superficiales, en el aparejo de tuberías y para desplazar la columna de salmuera que se encuentra dentro de la cavidad.

En la línea de alimentación a la cavidad se contará con un totalizador y válvula de control de flujo, para tener un control eficiente de los movimientos de producto y así, indirectamente seguir el crecimiento de las nixas con el tiempo como función del número de operaciones y flujos manejados.

Antes de entrar a la cavidad, debe de controlarse la presión en la línea de alimentación de hidrocarburos, a fin de evitar que la presión en la zapata cementada sobrepase su valor límite, arriba del cual la zapata, que constituye el punto más débil de la cavidad, podría sufrir fracturamiento.

El Gas Licuado a control de presión entra a la cavidad por el anular formado por el tubo exterior y el medio del aparejo de tuberías; esto ocasiona que la salmuera salga por el tubo interno del aparejo, cuyo extremo inferior estará siempre a la mayor profundidad permitida, alrededor de dos metros de la cima de insolubles. La salmuera saldrá de la cavidad a una presión suficiente para llegar a la cuenca de almacenamiento de salmuera.

### 3.3.2 Vaciado de la Cavidad.

Para llevar a cabo el vaciado de la cavidad la salmuera que se encuentra en la cuenca de almacenamiento será utilizada para desplazar los diversos tipos de Gas Licuado que su pueden contener en la cavidad.

La salmuera de la cuenca será enviada a las cavidades utilizando bombas de inyección de salmuera, en donde la presión requerida dependerá de la columna a desplazar de los diferentes tipos de Gas Licuado, de la caída de presión como una función del flujo a manejar y de la presión de recepción en el lugar a donde va a enviarse el producto.

La salmuera entra a la cavidad por medio del tubo interno del aparato de tuberías, cuyo extremo se encontrará siempre por debajo de la zona de interfase Hidrocarburo-salmuera. A medida que la salmuera va entrando a la cavidad provoca el desplazamiento del producto almacenado permitiendo la salida de éste hacia el exterior.

A la salida de la cavidad se instala una válvula de control de flujo con la finalidad de cumplir con las condiciones de integración en el lugar de recepción del producto.

## C A P I T U L O   V I I I .

### SISTEMAS DE TRANSPORTE DE GAS LICUADO

Para transportar el Gas Licuado del punto de producción al consumidor se cuenta con los siguientes sistemas:

1. POLIDUCTO
2. REMOLQUE
3. CARROTANQUE
4. AUTOTANQUE
5. BUQUETANQUE
6. CILINDROS PORTATILES

#### 1. POLIDUCTO.

Para el transporte por tubería es necesario contar con ductos de comunicación entre un punto y otro, además de contar con estaciones de bombeo, distribuidas a lo largo de la tubería, para que el gas licuado llegue a su destino final.

La velocidad máxima de transporte en el ducto se recomienda que sea de 12 ft/seg.

Los componentes de tubería serán diseñados para resistir la máxima presión diferencial entre las presiones externas e internas a la cual este expuesto.

El máximo espaciamiento entre válvulas de bloqueo en la línea principal en zonas industriales, comerciales y residenciales debe ser de 12 Km.

Es recomendable operar a control remoto las válvulas de bloqueo para permitir el aislamiento de tramos en la

## 2. REMOLQUES Y CARROTANQUES

Estos sistemas de transporte son necesarios para efectuar el suministro de Gas Licuado desde la agencia de ventas de PEMEX hasta las instalaciones del concesionario para su distribución final.

El remolque, es un recipiente cilindrico horizontal, montado en una estructura con llantas equipado con dispositivos para ser remolcado por un tractor de trailer. El carrotanque tambien es un recipiente cilindrico horizontal, pero montado en una estructura con ruedas de ferrocarril para ser remolcado por una locomotora.

Ambos tiene capacidades nominales de 40.000 y 45.000 litros de agua y que se llenan con gas licuado a un 90% de su capacidad total.

Para el llenado, se envia el gas licuado cuantificado hacia el remolque o carrótanque mediante llenaderas. El Gas Licuado penetra dentro del recipiente por un tubo hasta llegar a la parte superior de este, donde por medio de un codo se hace chocar el fluido en la pared del tanque, provocando con esto un esreado y la condensación de parte de los vapores contenidos dentro de él. El recipiente debe contar con indicador rotatorio de nivel, además de manómetro y valvula de seguridad por

expansión térmica.

El vaciado de estos dos sistemas se hace por Desplazamiento. Es decir, cuando el remolque o carrotanque se van a descargar se le introducen vapores a presión, de los tanques de almacenamiento, por medio de un compresor, con lo que se desplaza el producto contenido en el recipiente para enviarlo a almacenamiento.

Se recomienda que el material de construcción de los recipientes sea acero al carbon SA-515, de acuerdo al código ASME sec.VIII, o en acero nacional A612 A y B. Y deberán ser contruidos según norma oficial mexicana NOM-12-1 y código ASME sec. VIII, Div. I.

El máximo Voldmen de llenado para los contenedores es de 88% cuando se almacene propano comercial con peso especifico de 0.496-.503 y del 94% cuando se almacene butano comercial con peso especifico de 0.593-0.6 a 15.6 Gr.Cent.

Se recomienda que al tanque se le aplique, externamente un recubrimiento anticorrosivo y terminado con esmalte automotivo.

Las valvulas de relevo serán del tipo convencional y se diseñará por expansión térmica. Se recomienda que la contrapresión sea menor al 10% de la presión de relevo. La presión de ajuste se recomienda sea ligeramente menor a la presión de diseño del contenedor. La temperatura de relevo será ligeramente mayor que la temperatura normal de operación del líquido.

### 3. AUTOTANQUES.

El transporte por autotanque se efectua desde el concesionario hasta el consumidor.

El autotanque, es un recipiente cilindrico horizontal, montado en una estructura encima de un camión, con capacidades de 11.200, 12.500 y 17.000 litros de agua y que se llenan de gas licuado a un 90% de su capacidad total.

El llenado del autotanque se hace por medio de una llenadera de manera similar al llenado de los sistemas anteriores.

Para el vaciado, se conecta al tanque estacionario del consumidor y por medio de una bomba montada en el autotanque, se bombea el gas licuado.

El autotanque, al igual que los casos anteriores, debe contar con indicador rotatorio de nivel, manómetro y valvula de seguridad por expansión térmica.

Se recomienda que los materiales de construcción sea el mismo que para los carrotanques y remolques.

El máximo volúmen de llenado será del 68% cuando se almacena propano comercial con peso específico de 0.496-.503, y del 94% cuando se almacena butano comercial con peso específico de 0.593-0.6 a 15.6 Gr. Cént.

La bomba de descarga de la unidad deberá ser

centrifuga horizontal, simple etapa e impulsor cerrado, y deberá estar conforma al estándar API-610.

Las valvulas de seguridad se diseñan de la misma forma que los casos anteriores.

#### 4. BUQUETANQUES.

Los buquetanques reciben el gas licuado de de una estación de almacenamiento refrigerado de PEMEX, y hacen el traslado desde una estación marítima a otra, ya sea nacional o extranjera.

El fin de transportar por buquetanque, al igual que por tubería, es el de enviar gran cantidad de producto a una instalación de la cual se hará la distribución final.

El llenado de los buquetanques se hace por medio de las bombas de la estación marítima; el buquetanque regresa los vapores, contenidos en el y producidos durante el llenado.

Durante el traslado del Gas Licuado, se cuenta con un sistema de recuperación de vapores consistente en un sistema de refrigeración que utiliza el mismo producto como medio de enfriamiento.

El vaciado del sistema se hace por medio de bombas de la misma forma en que se hizo el llenado.

### 5. CILINDROS PORTATILES.

Este sistema de transporte es uno de los mas comunes para el suministro del Gas Licuado desde los concesionarios a los consumidores. El tipo de instalación requerido para su utilización es uno de los mas económicos.

El llenado de los cilindros portátiles se efectua por medio de mangueras, que se conectan al cilindro y por medio de una bascula se cuantifica la cantidad de producto cargado. al marcar la bascula el peso deseado actua un interruptor que corta el suministro.

Las capacidades que se conocen son de 10, 20, 30 y 45 Kg de Gas Licuado, de acuerdo con la norma Oficial Mexicana NOM-B-42.

El material de construcción será de lamina comercial de acuerdo con la misma norma. La soldadura de la sección cilindrica y casquetes será del tipo arco eléctrico sumergido o protegido con procedimiento automatico; la brida será del mismo tipo pero el procedimiento podrá ser manual, automatico o semiautomatico. Al terminar con los procedimientos de soldadura los recipientes se deben someter a relevado e esfuerzos.

Deberán contar con valvulas de carga y descarga. donde el material debe tener una resistencia a la torsión de 296 Kg/cm y deberá ser hermética al someterse a una presión de 0 a 21 Kg/cm<sup>2</sup> durante 60 segundos como mínimo, conservando sus características de funcionamiento al someterla a 2.000 ciclos continuos de cerrado y abierto.

**C A P I T U L O    I X**

**ASPECTOS GENERALES DE SEGURIDAD EN PLANTAS  
DE GAS LICUADO.**

El objetivo de esta sección es presentar la información disponible y actualizada referente a los sistemas de seguridad aplicable a las plantas de procesamiento de gas licuado, a las plantas de almacenamiento e instalaciones auxiliares.

Estas instalaciones deben contar con un sistema de agua contra incendio integrado por bombas, tuberías, hidrantes monitores fijos, mangueras, etc.; así como, con un sistema de detección y alarma contra incendio que incluya detectores de gas combustible, gas tóxico, flama ultravioleta de calor, alarmas manuales visibles y audibles y un tablero de seguridad.

Se debe de proveer de una protección contra incendio adecuada; el grado de tal protección, debe de estar determinado por la evaluación del tipo de instalación, análisis de las condiciones locales, riesgos dentro de la instalación, etc.

Los incendios ocasionados por el gas licuado, no deben ser extinguidos hasta que la fuente de suministro de este sea cerrada, desviada o consumida; en cualquier caso el agua contra incendio solo servirá para enfriar las paredes de recipientes, tuberías, estructuras, etc., y evitar un posible colapso de las mismas.

En la actualidad todavía no existe un agente extinguidor con las características adecuadas para sofocar un incendio ocasionado por gas licuado.

## 1. EXTINTORES

### 1.1. UBICACION

La ubicación real de los extintores contra incendio se realiza a través de una inspección física del área a proteger. En general, los lugares se seleccionan de acuerdo a:

- Proveer una distribución uniforme
- Proveer un acceso fácil
- Relativamente libre de bloqueo
- Cerca de pasillos normales de paso
- Cerca de entradas y salidas
- Estar libre de daño físico potencial
- Ser rápidamente visibles

La distancia entre extinguidores se ve afectada por divisiones entre oficinas, columnas, obstáculos, mobiliario, cierros de puertas, pasillos, materiales etc., por lo cual se recomienda una distancia no mayor de 22.8 m, en espacios libres.

### 1.2. LOCALIZACION

Los extintores manuales deben de colocarse en los siguientes sitios:

- a) Almacén

- b) Casa de Compresores
- c) Cuarto de control
- d) Cuarto de control de motores
- e) Oficinas
- f) Talleres

## 2. RED CONTRAINCENDIO

La red de agua contra incendio debe de ser perimetral, y debe de diseñarse considerando el riesgo potencial mayor.

La velocidad máxima de diseño para el agua contra incendio dentro de la tubería será de 6.09 m/seg (20 pies/seg), tomándose como parámetro promedio una velocidad entre los 4.57 y 5.48 m/seg (15-18 pies/seg).

Las tuberías utilizadas para este servicio, se deben de diseñar para resistir una presión de trabajo no menor de 12.30 Kg/cm<sup>2</sup> (175 Psi), y una temperatura mínima del agua de 44 Gr. Cent.

Deberá de contar con válvulas distribuidas adecuadamente, de tal manera que, en caso de una emergencia mayor, se pueda concentrar la mayor cantidad de agua en el lugar de la demanda.

La red contra incendio, puede ser enterrada o aérea, de acuerdo al criterio del diseñador y a las necesidades específicas de la planta.

### 3. HIDRANTES.

Los hidrantes deben situarse a espacios de 30 a 50 metros; en las áreas de tanques o talleres, a espacios de unos 100 metros aproximadamente.

La cantidad y espaciamiento de los hidrantes no se limita a lo especificado en el párrafo anterior; un análisis a fondo de los posibles efectos de sombra ocasionados por la geometría del cuerpo o estructura a proteger, los posibles obstáculos que puedan interferir al maniobrar las mangueras y la demanda de agua calculada, puede dar como resultado una cantidad mayor de hidrantes, así como un espaciamiento menor entre los mismos.

Los hidrantes deben de localizarse en las siguientes áreas:

- Áreas de oficina
- Áreas de cuarto de control
- Áreas de sistemas diesel y generador de emergencia

#### 4. HIDRANTES-MONITORES

Se deben de instalar hidrantes-monitores en todas las areas de la planta, y su cantidad y localización se debe decidir en cada caso, según las necesidades particulares.

El espaciamiento se determinará por lo anterior y por el patron de operación de las boquillas y su alcance.

Los hidrantes monitores se colocarán sobre plataformas elevadas, protegidos con barandal, cindo sea necesario, para ampliar el area de cobertura y protección. Las escaleras de acceso, deben situarse hacia el lado menos expuesto a un posible incendio. La valvula de bloque debe de quedar cerca del nivel de piso a una altura que facilite su operación.

Los hidrantes monitores, deben de colocarse en las siguientes areas:

- Casa de compresores
- Condensador y acumuladores de gas licuado
- Esferas de almacenamiento
- Tanques de almacenamiento

### 5. BOMBAS CONTRA INCENDIO

Se deben de instalar dos bombas contra incendio en cada instalacion de gas licuado. Cada una debe de ser suficiente para cubrir el gasto de agua requerido, de acuerdo con el mayor riesgo.

Para la selección de este equipo, se debe considerar como presión mínima 7 Kg/cm<sup>2</sup> en el hidrante, monitor o manguera mas alejado.

El sistema de alimentación de corriente electrica de éstas bombas, debe ser independiente del sistema eléctrico general de la planta.

### 6. BOMBAS REFORZADORAS (JOCKEY).

Estas deben de instalarse en la descarga de las bombas contra incendio principales. Deben de proveer una presión de descarga suficiente para mantener la presión requerida por la red de contra incendio.

Las bombas reforzadoras se deben de diseñar para reemplazar la cantidad permisible de fugas de agua que se esperen se presente en 10 minutos, o 3.8 Lt/min; de los valores anteriores, se toma el que sea mayor.

## 7. AGUA CONTRAINCENDIO

La fuente primaria de abastecimiento de agua contraincendio, debe tener capacidad suficiente para asegurar un suministro continuo. Por esta razón, es recomendable que dicha fuente sea capaz de suministrar 150% del gasto total necesario, para satisfacer el riesgo mayor de la instalación, durante un periodo de 8 horas, como mínimo.

La fuente secundaria, debe ser capaz de mantener el gasto necesario en caso de incendio. En general, la capacidad de almacenamiento dependerá de la extensión, localización y peligrosidad del área a proteger. En lugares donde no se tengan líquidos inflamables o materiales combustibles que produzcan fuego persistente, la capacidad de almacenamiento debe ser suficiente, para que la bomba funcione 30 minutos sin interrupción con el gasto máximo previsible. Para áreas de instalaciones industriales y su almacenamiento de productos inflamables, la capacidad de almacenamiento de agua contraincendio, debe ser suficiente para que la bomba o bombas funcionen durante un periodo de 5 horas, de acuerdo con el gasto máximo previsible.

El agua, no debe emplearse para alimentar otras líneas, que no sean las de la red contraincendio.

Para el cálculo de la cantidad de agua requerida, se deben considerar las siguientes densidades de aplicación:

a) 20.4 lpm/m<sup>2</sup>, para tanques de almacenamiento y bombas que

manejen líquidos inflamables.

b) 4.1 lpm/m<sup>2</sup>, para miembros estructurales horizontales, para las faldas de los tanques y para la paredes inferiores de camas de tuberías que superen los seis niveles.

c) 10.2 lpm/m<sup>2</sup>, para miembros estructurales de aceros verticales, para una cama de tubería sencilla, y para transformadores.

d) 8.2 lpm/m<sup>2</sup>, para la parte superior de dos, tres, cuatro y cinco niveles de cama de tubería.

e) 6.1 lpm/m<sup>2</sup>, para las partes inferiores de las camas de tubería mencionadas en el inciso d).

f) 12.2 lpm/m<sup>2</sup>, para charolas que contienen cables eléctricos, y que estén expuestos a un derrame o al fuego.

## B. AISLAMIENTO

El equipo, estructuras o recipientes, que se espere vayan a estar expuestos a un incendio, debe protegerse con material cuyas características sean:

a) Aislantes al fuego y,

b) Retardante al fuego

Este, debe ser capaz de mantener la temperatura por debajo de los 343 Gr.Cent., durante un periodo de 50 minutos, cuando está aplicado a tanques, recipientes y equipo; cuando se utiliza en soportes estructurales metálicos, debe controlar la temperatura por abajo de 454 Gr.Cent., durante dos horas cuando menos. Asimismo el aislamiento debe ser resistente al desgaste, a la corrosión y al impacto del agua contra incendio en chorro directo, de las mangueras o monitores.

#### 9. DETECTORES AUTOMATICOS.

El arreglo del equipo de detección automática requiere de cuidadosa ingeniería.

Se debe tener cuidado muy especial en la selección y el ajuste del equipo de detección para asegurar una operación adecuada, y resguardarlo en contra de accionamientos prematuros del sistema, en condiciones de fluctuación normal

El equipo de detección instalado en exteriores, o en la presencia de vapores y atmósferas corrosivas, se debe de proteger de la corrosión con materiales de construcción o con recubrimientos protectores adecuados, aplicados por el fabricante del equipo.

Adicionalmente requiere de protección contra

la intemperie, ya sea con cubiertas u otra protección adecuada. Se debe proteger de daños mecánicos también.

La localización de los detectores, se debe basar en datos obtenidos de experiencias en campo, pruebas, análisis de ingeniería, recomendaciones del fabricante, y estar certificados, y reconocidos por un laboratorio internacional. En suya la localización debe tomar en consideración la naturaleza del riesgo que se va a proteger, la velocidad del aire, las variaciones de temperatura, número y altura de los niveles estructurales, y otras condiciones variables, donde se requiere de un juicio de personal de diseño experimentado, para la aplicación de los detectores en las zonas donde se necesiten.

En ausencia de las recomendaciones de localización y espaciamiento, se pueden aplicar las siguientes reglas:

**a) Instalaciones exteriores**

1. Pueden instalarse a espacios marcadamente reducidos en comparación con aquellas pruebas que se hagan y muestren que hayan sido satisfactorias para detectores instalados en interiores.

2. Los detectores pueden instalarse en el perímetro del riesgo y dentro del área encerrada por el perímetro definido por los detectores. En la vertical del riesgo, pueden ubicarse a una distancia mínima de 30.48 cm.

b) Estructuras abiertas

1. Se pueden localizar de manera similar a aquellos usados en exteriores.
2. Abajo de pisos sólidos o techos los detectores, excepto para el perímetro, pueden instalarse al igual que para exteriores.

La localización de los detectores de gas combustible, debe tomar en cuenta los patrones de flujo de una descarga o relevo potencial de gas, las características físicas del gas relevado y el medio ambiente circundante. Se deben localizar detectores a distancias cortas para gases que sean mas pesados que el aire, como el Gas Licuado, y distancias mayores para gases mas ligeros que el aire.

Se deben localizar en lugares libres de vibración y lejos de descargas de agua, y otros líquidos o atmósferas químicas que puedan contaminar al elemento detector.

Los detectores de flama ultravioleta-infrarrojo, de humo y, los detectores de calor se pueden incluir como una protección adicional; esto dependerá del criterio del diseñador y de las necesidades particulares de la planta.

## 10. ALARMAS.

Las alarmas manuales, se deben distribuir

adecuadamente en todas las áreas de la planta o instalaciones de almacenamiento, su cantidad y localización se debe decidir en cada caso.

Para instalaciones exteriores, se debe poner una alarma manual cada 300 m<sup>2</sup>, o bien 60 m una de la otra, colocadas a una altura máxima de 1.50 m del piso.

Las alarmas visibles (luces de estado), se deben de colocar adecuadamente en todas las áreas de la planta que lo requieran. Las cuales deben de cumplir con el código de colores siguiente:

VERDE	CONDICION NORMAL
ROJO	FUEGO (HUMO,CALOR)
AMBAR	GAS COMBUSTIBLE
AZUL	GAS TOXICO

Las alarmas visibles, se deben colocar en lugares libres de cualquier interferencia, y a una altura que se puedan observar fácilmente. De preferencia se ubicaran en la parte exterior de las puertas de acceso o en el perímetro de áreas peligrosas.

Las alarmas visibles giratorias de alta intensidad, se deben de implementar en zonas de alto índice de ruido, o cuando las características y distribución del equipo así lo demanden.

Las alarmas audibles, se deben localizar en todas las áreas de la planta que se requieran, en especial, en lugares donde se reúna el personal.

Las alarmas audibles emiten diferentes tonos, de acuerdo al tipo de siniestro que se está desarrollando, como se indica a continuación:

FUEGO	SONIDO CONTINUO TIPO SIRENA
ABANDONO DE INSTALACION	SONIDO INTERMITENTE CON TOQUES CORTOS SECUENCIALES
GAS COMBUSTIBLE O TOXICO	SONIDO INTERMITENTE CON UN TOQUE CORTO Y LARGO EN FORMA SECUENCIAL

#### 11. TABLERO DE SEGURIDAD

Toda planta o instalación debe contar con un tablero de seguridad para recibir, procesar y registrar la información capturada por los dispositivos de seguridad.

El edificio o porción donde se ubiquen los tableros de control de seguridad, deben estar provistos de:

- a) Sistema de protección contraincendio automático a base de gas halon de preferencia o bióxido de carbono; así como de extintores portátiles.
- b) Sistema automático de detección de humo y fuego
- c) Sistema de unidades de luz de emergencia

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos a través de este estudio, representan un esfuerzo por establecer la Normalización y los métodos de Obtención, Acondicionamiento y Almacenamiento de Gas Licuado, utilizando criterios analíticos adaptados a las condiciones particulares del país. Asimismo no intenta suprimir el trabajo existente, sino que más bien tiende a auxiliar y conciliar una sola fuente de información y consulta.

Las especificaciones mostradas y recomendadas constituyen un marco de referencia que permite Normalizar el producto pasando tendencias de calidad internacionales con criterios generales basados en Códigos y Estándares mundiales.

Las técnicas presentadas para la obtención del producto, son función de los requerimientos particulares por lo cual resultan ser variadas y con objetivos diversos sin embargo, si enfocamos la atención a obtener una máxima recuperación de productos como una recomendación y, en base a diversos estudios,

se puede decir que el proceso que mejor se apega es el e Turbo-Expansión. Reto es a que, como ya se mostró, ofrace el mayor nivel de recuperación de GAS LICUADO a partir de corrientes de Gas Natural.

De los diversos procesos considerados para el acondicionamiento del Gas Licuado, y a fin de que cumpla estrictamente con las especificaciones indicadas, se recomienda la utilización de Mallas Moleculares, debido a que elimina simultáneamente compuestos de azufre y agua. No requiere de un postratamiento por ser de lecho seco; es de gran flexibilidad porque acepta variaciones importantes en la cantidad de impurezas; puede trabajar dentro de un amplio rango de condiciones de operación y es de fabricación y mano de obra nacional, y por otras razones (ya expuestas anteriormente) se encuentra ventajosamente por encima de los otros procesos.

En el aspecto de almacenamiento, se mostraron los diferentes sistemas para el almacenamiento del producto a Presión, en forma Refrigerada y en Cavidades Subterráneas. No puede decirse cual pudiera ser la elección del mejor sistema debido a que todos son adecuados cuando se aplican bajo las condiciones mostradas, y se tendrían que conocer las necesidades específicas para cada caso.

**CAPITULO IX.**

**BIBLIOGRAFIA.**

1. AN INTRODUCTION TO LIQUEFIED PETROLEUM GASES, API 05
2. BASIC DATA AND CONVERSION CALCULATIONS FOR USE IN THE MEASUREMENT OF REFRIGERATED HYDROCARBON LIQUIDS. JOURNAL DE L'INSTITUT DE PETROLEUM, VOL 58, No. 56, 1 DE MAYO DE 1972 PP 133-137.
3. ADVANCEMENTS IN SEALING ETHYLENE AND OTHER LPG PUMPS, ADAMS, W.V., HYDROCARBON PROCESSING, ENERO DE 1982, PP 126-130.
4. LIQUEFIED GAS HANDLING PRINCIPLES ON SHIPS AND IN TERMINALS, MCGUIRE AND WHITE.
5. HANDBOOK BUTANE-PROPANE GASES, DENNY, LYNN Y LUXON, LESTER, CHILTON COMPANY, 4a ED., LOS ANG. CAL., EUA.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL (ASTM), 1979, 1980, 1981, 1982, 1983 Y 1985.
7. LPG RECOVERY, PETROLEUM SOCIETY OF CIM, KOWALCHUK ARTHUR.
8. APLICATION OF JOULE-THOMSON PLANTS FOR LP-GAS RECOVERY, PROCEEDINGS DE THE 40a. ANUAL CONVENTION.
9. HYDROCARBON RECOVERY WITH ACTIVED CARBON, ENNEKING, J.C., CARBON PRODUCTS DIVISION, UNION CARBIDE CORPORATION.
10. TECNOLOGIA DE PLANTAS CRIOGENICAS IMP, SUBDIRECCION DE PROYECTOS DE PLANTAS INDUSTRIALES, 1984, IMP.

11. ASSOCIATED GAS TREATMENT ON SITE, MOINS, GEORGE., SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS.
12. ASSOCIATED GAS UTILIZATION WITH LIQUIDS RECOVERY, HILL, R.S., OFFSHORE PRODUCTION SYSTEMS.
13. PROCESSING OF ASSOCIATED GAS ON PRODUCTION FIELDS FAR FROM THE MAJOR CONSUMPTION CENTER, MARCHAL, ARNOLD, OIL AND INTERBASE, NO.23, JUNIO DE 1985.
14. LPG RECOVERY FACILITIES MAJOR FEATURE OF WATERTON PROCESSING PLANT, OILWEEK ENERO 16 DE 1978, NATURAL GAS REPORT.
15. ETHANE AND LPG RECOVERY IN LNG PLANTS, HYDROCARBON PROCESSING, ABRIL 1970, YEMPLE, W.
16. DESIGN CONSIDERATIONS AN START-UP PROBLEM IN THE WASSON PLANT LOW TEMPERATURE PROCESS, PROCEEDINGS OF 49th ANNUAL CONVENTION, RYBURN, JHON.
17. OFFSHORE LIQUEFACTION OF ASSOCIATED GAS A SUITABLE PROCESS FOR THE NORTH SEA, OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, KENNETT, ALAN.
18. ACONDICIONAMIENTO Y TRATAMIENTO DE GAS EN GASODUCTOS TRONCALES, FERRARI RAOUL, A., GAS DEL ESTADO.
19. SEPARACION APROPIADA DE LA TELA METALICA PARA UNA MAYOR EFICIENCIA DE LOS FILTROS, CAPRELL, JHON., INDUSTRIA INTERNACIONAL, VOL. 12, NO. 1.

20. FILTROS DE AIRE. GUIA DE MANTENIMIENTO Y APLICACION, SACHEDINA, ANBAR, CONTINENTAL FILTER CORPORATION, INDUSTRIA INTERNACIONAL, VOL. 12, NO. 1, PP 7-15.
21. HOW TO SPECIFY FILTERS, DOLLINGER LEWIS, HYDROCARBON PROCESSING, OCTUBRE 1967, PP 88-92.
22. METERIN LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG), TECHNICAL BULLETIN, BROOKS INSTRUMENT DIV. EMERSON ELECTRIC CO.
23. LES MARCHES DES GPL A L'EXPORTATION, MARTINE GENDRE, COMITE PROFESSIONNEL DU BUTANE ET DU PROPANE
24. LE MARCHE INTERNATIONAL DES GPL, JACUES JEANINE, L'INDUSTRIE DU PETROLE, NO. 533, JUNIO DE 1984.
25. PRODUCTION AND UTILIZATION OF NATURAL GAS IN MEXICO:- PAST, PRESENT AND FUTURE, LOPEZ MORA, CARLOS, PROCEEDINGS OF THE 61st ANNUAL CONVENTION, MARZO 15 DE 1982.
26. DATA SOURCES AND REPORTING OF INTERNATIONAL NATURAL GAS LIQUIDS STATISTICS, LALLEY FRANK, PROCEEDINGS OF THE 62nd ANNUAL CONVENTION.
27. SOLIDS PROCESSES FOR GAS SWEETENING, MADDOX R.N., Y BURNS M.D., THE OIL AND GAS JOURNAL JUNE 17, 1968.
28. REPRINT, HYDROCARBON PROCESSING, ABRIL DE 1984.
29. SWITCH TO MDEA RAISES CAPACITY, DAVIET G.R., BEST PAPERS FROM NEPA. API AND GPA HYDROCARBON PROCESSING, MAYO DE 1984.

30. ECONOMIC FACTORS IN CRYOGENIC GAS PROCESSING, CRAWFORD, D.B., THE OIL AND GAS JOURNAL, MAYO 5 DE 1969.
31. HOW TO CHOOSE A TREATING PROCESS. THE OIL AND GAS JOURNAL, AGOSTO 14 DE 1967, PP 131-133.
32. THREE WAYS TO SWEETEN GAS, THE OIL AND GAS JOURNAL. SEP.10 DE 1962.
33. ALTERNATIVAS AL TRATAMIENTO DE GASES AGRIOS, I&C. CONGRESO LATIIONAMERICANO DE GASES AGRIOS
34. PROCEEDINGS OF THE GAS CONDITIONING CONFERENCE. CONI-NUED ENGINEERING EDUCATION, UNIVERSIDAD DE OKLAHOMA, 1975.
35. HOW GAS COMPOSITION AFFECTS TREATING PROCESS SELECTING, HYDROCARBON PROCESSING, JULIO DE 1966, VOL.45, NO.7.
36. RECOVER H<sub>2</sub>S SELECTIVELY FROM SOUR GAS STREAMS, HYDROCA-  
BON PROCESSING, NOV.1977.
37. GAS TREATING: THE SNPA PROCESS, HYDROCARBON PROCESSING, OCTUBRE DE 1967, VOL 46, NO.10.
38. SELECTIVE ABSORPTION OF HYDROGEN SULFIDE FROM GAS STREAMS, INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY, NOV. 1950, VOL.42, NO.11.
39. PERFORMANCE OF GAS PURIFICATION SYSTEMS UTILIZING DEA SOLUTIONS.GAS CONDITIONING CONFERENCIA 1975.
40. PROCESS CONSIDERATIONS IN SELECTING AMINES, POLASEK J.

41. TODAY'S PROCESSES FOR GAS PURIFICATION, CHEMICAL ENGINEERING JUNIO 15, 1959.
42. ENGINEERING DATA BOOK, GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION, 1976.
43. APLICACION DE LOS TAMICES MOLECULARES, RAMIREZ FRANK, UNION CARBIDE.
44. ADSORPTION SYSTEMS, PARTE II: DESIGN BY MASS-TRANSFER. PARTE III: EQUIPMENT DESIGN Y PARTE III: ADSORBENT REGENERATION, LUKCHIS M.G., UNION CARBIDE CORPORATION
45. MOLECULAR SIEVES PERFORM WELL IN SWEETING LIGHT-HYDROCARBON LIQUIDS, CLARK EDWARD, LINDE MOLECULAR SIEVES
46. NON-HYDROCARBON MATERIALS DATA SHEETS, UNION CARBIDE MOLECULAR SIEVES.
47. PRODUCTION, TRANSPORTATION AND STORAGE OF LIQUEFIED HYDROCARBONS, WANSINK, D.H.N., SHELL INTERNACIONAL PETROLEUM.
48. RATIONALISATION OF STORAGE SPHERES, GHOSH, G.C., CHEMICAL ENGINEERING WORLD, VOL. X, NO.11, NOV. 1975.
49. KBB UNDERGROUND STORAGE, KAVERNEN BAW-UND BEIBIERSGUMBIT.
50. LP-GAS DISASTER NOVEMBER 1984 MEXICO CITY, FUENTE DE LA JOSE, 65a. ANNUAL GPA CONVENTION.

51. CONSTRUCTION. WELDED TANKS FOR LIQUEFIED GASES. METAL CONSTRUCTION AND BRITISH WELDING JOURNAL, RILEY G.E., FEBRERO DE 1974.
52. EL PETROLEO REFINO Y TRATAMIENTO QUIMICO, INSTITUTO FRANCÉS DEL PETROLEO.
53. PROPANE TANK FAILURE MECHANISMS.
54. EQUIPMENT DESIGN HANDBOOK. NO.4 PRESSURE VESSELS AND STORAGE TANK, EVANS FRANK.
55. REFRIGERATED LP-GAS TANKER OPERATION, RABE WALTER, PROCEEDINGS OF 53rd ANNUAL CONVENTION.
56. SAFETY AUDIT OF REFRIGERATED LIQUEFIED GASES FACILITIES, FEELY F.J.
57. DESIGN AND CONSTRUCTION OF LP-GAS, CONSTRUCTION OF LP-GAS INSTALATIONS AT MARINE AND PIPELINE TERMINAL, API STANDARD 2510.
58. DIARIO OFICIAL SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, 21 MAYO 1985, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-X-5-1985, RECIPIENTES PORTATILES PARA CONTENER GAS LP.
59. METHODS UNDERGROUND LPG STORAGE, KBB.
60. TECHNICAL AND ECONOMIC INDICES INVOLVED IN THE STORAGE OF LIQUEFIED GASES, BUCHAREST, REVISTIE DE CHIMIE, VOL.21, NO.10, OCT. 1970.
61. TECNOLOGIA DE ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO, KBB.

62. MASS STORAGE OF LIQUEFIED PETROLEUM GASES IN THE USA,  
13a. CONGRESS MUNDIAL DE GAS, LONDON 176 INTERNATIONAL  
GAS UNION.
63. RESPONSE OF SPHERICAL CARGO TANKS FOR LIQUEFIED NATURAL  
GAS TO LARGE SUPPORT DEFORMATION, ARMAND J.L., INSI. DE  
RECHERCHES DE LA CONSTRUCTION NAVALE, PARIS.
64. DESIGN AND OPERATION OF REFRIGERATED LP-GAS, TERMINALS  
AND REQ. FOR NEW TERMINALS, REID R., GAS PROCESSORS  
ASSOCIATION.
65. UNDERGROUND STORAGE OF LIQUEFIED GAS AT LOW TEMPERATURE,  
BOULANGER A., GEDSIQK.
66. STATE-OF-THE-ART ASSESSMENT OF REFRIGERATED LIQUEFIED GAS  
STORAGE SYSTEMS USING FLAT BOTTOM TANKS, ZICK L.P.,  
BRIDGE & IRON COMPANY, USA.
67. SELECTION OF STEEL QUALITIES FOR LOW TEMPERATURE USE,  
CHARLEUX J., BUREAU VERITAS EBANOE.