

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**ÁREAS ESPECIALES DE GRADO**



**“EVALUACIÓN DE LA FILOSOFÍA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE  
CONTROL DE UNA TORRE DESETANIZADORA”**

**Monografía Presentada ante la Universidad de Oriente como Requisito  
Parcial para Optar al Título de Ingeniero de Petróleo.**

**REALIZADO POR:**

**Apaez R, Rosangela**

**Lira Silva, Mariangela**

**Barcelona, Agosto de 2007**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**ÁREAS ESPECIALES DE GRADO**



**“EVALUACIÓN DE LA FILOSOFÍA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE  
CONTROL DE UNA TORRE DESETANIZADORA”**

**JURADOS:**

---

**Ing. Isvelia**

---

**Ing. Mario**

---

**Ing. José Fariñas**

---

**Ing. José Rondón**

**Barcelona, Agosto de 2007**



## **RESUMEN**

De acuerdo al Artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado: “Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”



**RESOLUCIÓN**



## **DEDICATORIA**

A mis padres, Olinda Rojas de Apáez y Víctor Apáez por todo el esfuerzo realizado y el apoyo dado en las buenas y las malas durante todos mis años como estudiantes, por estar hay cuando los necesité. A mi hermana Luzmelia que a pesar de estar lejos siempre me ayudo con lo que necesitaba.

A José Gregorio Flores Orocopey por la compañía y amistad durante los años de mi carrera, además de su amor y su apoyo en esos momentos que necesité de una palabra de aliento que me ayudara a salir de una situación poco agradable.

**Rosangela,**



A Dios Todopoderoso por darme toda una vida llena de amor, salud, sabiduría...

A mi mamá por tanto amor y a mi papa que sé que desde el cielo siempre me acompaña. A mis hermanos Sofí y Jesús, a Luís F., y de igual modo al resto de mi familia, y que este logro sirva como ejemplo de que si podemos, sabiendo aprovechar las oportunidades de la vida.

A mi princesita que viene en camino; hija este logro también es tuyo TE AMO.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS,  
EN SU LUCHA INCANSABLE POR SER ALGUIEN EN LA VIDA.

**Mariangela, Lira**



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso por haberme acompañado a lo largo de este camino y por darme Sabiduría para entender los momentos difíciles.

A la Universidad de Oriente quien me brindó la oportunidad de lograr ser un profesional y adquirir gran parte de mis conocimientos.

A mi asesor académico Ing. Isvelia Avendaño por haber compartido su valioso tiempo y sus conocimientos en la corrección y desarrollo del proyecto.

A mis padres Olinda Rojas de Apáez y Víctor Apáez por estar conmigo apoyarme y darme ánimos con sus palabras de aliento en los momentos más difíciles a lo largo de mi carrera

A mis hermanos: Luzmila del Carmen, Olinda Josefina, Maira Alejandra, Olivit Carolina, Ney José y Víctor Manuel por brindarme todo su apoyo durante el tiempo que pase cursando la carrera.

A mi prima-hermana Nancy Viera que estuvo pendiente de mí desde que comencé los estudios, animándome y apoyándome en todo.

A José Gregorio Flores Orocopey quien estuvo conmigo en todo momento cuando estudiábamos juntos y después de haber terminado sus estudios, apoyándome, explicándome y además gracias por su cariño y amor que me ha brindado desde el momento que lo conocí.

A mis amigos Wilmer Andrés Bustamante y Pedro Luis Oliveros por su cariño y ayuda en los momentos que más los necesite.

**Rosangela,**



Agradezco a DIOS por darme la vida, la inteligencia, salud, y por guiarme en su camino. A mis padres: Mariela y Jesús María, sin sus consejos, mimos y comprensión, no hubiese podido lograr lo que soy ahora. Gracias por sus bendiciones y por nunca fallarme.

A mis hermanos: Mariela Sofía y Jesús José; por ser mis mejores amigos y estar conmigo en todo momento de mi vida. Los Quiero Muchote!. A Luís Felipe; gracias por tu dedicación, por tu compañía y por llegar a mi vida en el momento justo... Te amo.

A mis abuelas: Ofelia y Dina; abuelitas gracias por consentirme y por darme ánimo a seguir adelante... Las Quiero. A todos mis tíos por su ayuda durante mi carrera: Mirna, Damisela, Felicita, Ramón, Nélide, José Jesús, Edgar, Pedro, gracias por brindarme todo su apoyo... Siempre los querré como unos padres.

A mis primos: Dinayra, José Jesús, Adriana, Sorelys, Ramón José, María Betania, José Ramón y Raymari; gracias por sus cariños y compañía.

A la Familia Agostini Moreno: Gracias por ser también mi familia y brindarme su apoyo incondicional.

Agradecida y honrada por haber pertenecido al Departamento de Petróleo de la Universidad de Oriente. Gracias a los Profesores por su incansable lucha por impartir sus conocimientos.

Agradecida estoy con todos mis compañeros de estudio que estuvieron conmigo durante toda esta lucha. Mayra, Litz y Osvelys, que comenzamos ayudándonos como hermanas desde el comienzo de nuestras carreras y que ahora por circunstancias de la vida, las distancia nos separa. A mis compañeras de áreas Marisell, Herlin y Rosángela con todo mi corazón GRACIAS.

**Mariangela,**



## **RESUMEN**

Para llevar a cabo la evaluación de la filosofía de operación del sistema de control de una torre desetanizadora, se realizó una investigación bibliográfica y de campo en la planta de extracción San Joaquín, ubicada en Anaco estado Anzoátegui. Esto permitió describir el proceso de extracción de los líquidos del gas natural, explicar el funcionamiento de una torre de destilación, definir el principio de operación de la torre desetanizadora dentro de la planta de extracción, fijar los parámetros presentes en la operación de la torre desetanizadora, establecer sus variables de control y especificar las condiciones normales, máximas y mínimas de estas en la torre desetanizadora; identificar los problemas operacionales más comunes en dichas torres y sus posibles soluciones, así como también indicar los riesgos operacionales y los sistemas de seguridad que se han diseñado para controlarlos.



## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
RESUMEN .....	ix
CONTENIDO .....	10
INTRODUCCIÓN .....	13
OBJETIVO GENERAL .....	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS: .....	14
CAPITULO II.....	15
MARCO TEÓRICO .....	15
2.1 Gas Natural .....	15
2.1.1 Tipos de Gas .....	16
2.1.2 Contenido Líquido de un Gas (GPM).....	17
2.1.3 Acondicionamiento del Gas Natural.....	17
2.1.4 Líquidos del Gas Natural (LGN), Gas Natural Licuado (GNL), y Gas Licuado del Petróleo (GLP).....	19
2.2 Etano .....	21
2.2.1 Importancia Petroquímica del Etano .....	21
2.3 Transferencia De Calor.....	23
2.3.1 Condensación.....	24
2.3.2 Vaporización.....	24
2.3.3 Equipos de transferencia de calor .....	25



---

2.4 Transporte De Fluidos .....	28
2.4.1 Bombas Centrífugas .....	28
2.4.2 Bombas de Desplazamiento Positivo .....	29
2.5 Compresión.....	30
2.5.1 Compresores Centrífugos .....	31
2.5.2 Compresores de Desplazamiento Positivo .....	33
2.6 Refrigeración .....	34
2.6.1 Efecto Joule-Thomson.....	34
2.6.2 Turboexpansores.....	35
2.7 Válvulas .....	37
2.8 Separadores.....	40
2.8.1 Proceso de Separación.....	40
2.8.2 Clasificación y Descripción de los Separadores.....	42
2.8.2.1 Separadores Verticales .....	43
2.8.2.2 Separadores Horizontales .....	44
2.8.2.3 Separadores de filtro.....	45
2.8.2.4 Separadores Centrífugos.....	46
2.9 Absorción De Gases .....	46
2.10 Destilación .....	48
2.11 Funcionamiento De La Torre De Destilación.....	49
2.12 Torres De Platos .....	52
2.13 Torres Empacadas.....	53
2.14 Sistemas De Control .....	55
2.14.1 Clasificación .....	55
2.14.2 Características de un sistema de control.....	56



---

2.14.3 Instrumentación Asociada .....	57
CAPITULO III .....	58
DESARROLLO .....	58
3.1 Descripción De La Extracción De Líquidos Del Gas Natural (Lgn) En La Planta De Extracción San Joaquín. ....	58
3.1.1 Instalaciones de Entrada .....	58
3.1.2 Deshidratación del Gas de Entrada con Trietilenglicol .....	59
3.1.3 Enfriamiento del Gas de Entrada y Válvula J-T (Joule-Thomson) de Alta Presión .....	61
3.1.4 Deshidratación con Tamices Moleculares .....	62
3.1.6 Torre Desetanizadora.....	65
3.1.7 Estabilizadora de Condensado .....	66
3.2 Principio De Operación De Una Torre Desetanizadora Dentro De Una Planta De Extracción De Los Líquidos Del Gas Natural.....	68
3.2.1 Parámetros y variables que están presentes en la operación de la torre desetanizadora. ....	71
3.3 Problemas Operacionales Más Comunes En La Torre Desetanizadora Y Posibles Soluciones.....	80
3.4 Riesgos Operacionales Y Sistemas De Seguridad Que Se Han Diseñado Para Controlarlos En La Torre Desetanizadora. ....	83
CAPITULO IV .....	85
CONCLUSIONES .....	85
RECOMENDACIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA .....	87

## INTRODUCCIÓN

El flujo que se obtiene de un yacimiento petrolífero es generalmente multifásico. La separación física de estas fases es una de las operaciones fundamentales en la producción, procesamiento y tratamiento de los crudos y gases.

El objetivo principal del proceso de separación es separar los diferentes componentes del fluido (Crudo, gas, agua, y contaminantes), con el fin de optimizar el procesamiento y comercialización de ellos (Crudo, gas).

En cualquier planta grande existen un número de corrientes de procesos que necesitan ser calentadas o enfriadas de acuerdo a los requerimientos del proceso. En este campo se refiere al funcionamiento de una Planta de Extracción de etano.

El diseño de una torre comienza con la indagatoria a fondo del fluido que se va a procesar. Del conocimiento y la seguridad que se tenga de la composición del gas natural que debe llegar a la planta dependerá la filosofía que soporte todas y cada una de las decisiones. Una vez que se conozcan los diversos componentes que integran la muestra y se tenga garantizada la producción, se podrá iniciar el análisis del proceso. De allí la importancia que tiene, a los efectos de un diseño, conocer a cabalidad la materia prima que alimentará la torre. Si esa primera parte es dudosa, en el mismo grado se habrá impactado la economía del proceso.

En la torre desetanizadora en la cual entra la mezcla de gas natural, podríamos producir metano y etano (que saldría por el tope de la primera torre) dejando el propano y los componentes más pesados para que salgan por el fondo de esa primera torre. De esta manera el metano y el etano lo podríamos vender por tuberías, para satisfacer la demanda energética de gas natural. En ese caso se requiere del tendido de las tuberías necesarias para conducir el producto.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la filosofía de operación del sistema de control de una torre desetanizadora.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

1. Describir la Extracción de los líquidos del Gas Natural (LGN).
2. Explicar el funcionamiento de una torre de destilación.
3. Definir el principio de operación de una torre desetanizadora dentro de una planta de extracción de LGN.
4. Fijar los parámetros que están presentes en la operación de una torre desetanizadora.
5. Establecer las variables de control para la torre desetanizadora.
6. Especificar las condiciones normales, máximas y mínimas de las variables de control de la torre desetanizadora en la extracción de LGN.
7. Identificar los problemas operacionales más comunes en torres de este tipo y las posibles soluciones que se proponen.
8. Indicar los riesgos y los sistemas de seguridad que se han diseñado para controlarlos.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Gas Natural

Es un gas combustible que se origina en las rocas porosas del interior de la corteza terrestre y se encuentra en acumulaciones de petróleo crudo o cerca de ellas. La manera más común en que se presenta este combustible es atrapado entre el petróleo y una capa rocosa impermeable. En condiciones de alta presión se mezcla o disuelve en aceite crudo.

El gas natural está formado por hidrocarburos que tienen un punto de ebullición muy bajo y no tienen olor específico. El metano es el principal constituyente de este combustible representando aproximadamente el 75% del gas típico. El etano puede presentarse en porcentajes superiores al 10%, y el propano por encima del 3%; pueden estar también presentes butano, pentano, hexano, heptano y octano. Otros grupos de componentes que forman el gas natural los constituyen los componentes inorgánicos que aportan normalmente menos del diez por ciento en volumen de una muestra de gas y están representados normalmente por el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), algunas veces por nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y excepcionalmente por helio ( $\text{He}$ ). Además de los compuestos anteriores también se encuentra presente agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en cantidades variables, dependiendo de las condiciones de presión y temperatura a que se encuentre el gas.

El gas natural conocido como “seco”, tiene menos de 0,013 L de gasolina/ $\text{m}^3$  (0,1gal/1000 pie<sup>3</sup>). Cuando se excede esta cantidad se le denomina “húmedo”. Los términos aplicados al gas natural “dulce” y “amargo” se emplean para denotar la ausencia y presencia de  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 2.1.1 Tipos de Gas

- ✓ Gas Seco: su composición está constituida por el 96% de metano, 2% de etano, 1% de propano, 0.5 % de iso- butano - normal butano y 0.5 iso- pentano – normal pentano. Debido a su alto contenido de componentes livianos o volátiles, los líquidos pueden condensarse solo a temperaturas bajo 0°F (procesos criogénicos), es decir que la mezcla de hidrocarburos se encuentra siempre en fase gaseosa.
  
- ✓ Gas Condensado: en la composición de la mezcla de hidrocarburos es predominante el metano en 75%, 7% etano, 4.5% propano, 3 % de iso- butano - normal butano, 2% iso- pentano – normal pentano, 2.5 % pentano, 6% heptano plus (es un gas con líquido disuelto). Presenta condensación retrógrada isotérmica en un rango de temperaturas (200°- 400°F) y presiones (3000-8000 lpc) en yacimientos, y en su camino hacia el tanque de almacenamiento el condensado sufre una fuerte reducción de presión y temperatura y penetra rápidamente en la región de dos fases, es decir se observa líquido a nivel de yacimiento y de superficie.
  
- ✓ Gas Húmedo: los gases húmedos se caracterizan por un mayor contenido de componentes intermedios y pesados que los gases secos. El término “Húmedo” proviene de que a las condiciones de separación en superficie la mezcla cae en la región de dos fases generando relaciones gas-líquido mayor que 15000 PCN. El contenido líquido del gas húmedo es menor de 30 BN/MMPCN.

### **2.1.2 Contenido Líquido de un Gas (GPM)**

También se conoce con el nombre de “Riqueza de un Gas”. Se define como el número de galones de líquido que se puede obtenerse de diez pies cúbicos normales de Gas Natural. Se expresa generalmente con las letras GPM. Es un factor muy usado y conocido principalmente en los problemas relacionados con plantas de extracción de líquido de gas natural. Debido que solo el propano y compuestos más pesados, pueden en la práctica recuperarse como líquidos, el Metano y Etano no se consideran al calcular el contenido de líquido, del Gas Natural.

### **2.1.3 Acondicionamiento del Gas Natural**

En toda industria de procesos relacionada con el gas natural es frecuente encontrar etapas de acondicionamiento, bien sea con la finalidad de recuperar un compuesto para uso comercial, o simplemente para proteger equipos aguas abajo que puedan ser afectados por la presencia de un compuesto indeseado del gas natural. En caso del agua, si no se efectúa ningún tratamiento, se tendrá, indebidamente, una alta corrosión en las líneas de transmisión y también puede haber problemas por formación de hidratos, los que pueden causar obstrucciones en las líneas, congelamiento de las válvulas y dificultades en los reguladores. Para evitar estos problemas, el gas debe ser sometido a un proceso de Deshidratación y así despojarlo del contenido de agua. Hay cuatro métodos importantes que se aplican en la deshidratación del gas: compresión, tratamientos con sustancias desecantes, adsorción y refrigeración. Una planta que elimina agua por compresión consta de un compresor de gas seguido por un sistema de enfriamiento para eliminar el vapor de agua por condensación. El tratamiento del gas con sustancias desecantes ha encontrado muchas aplicaciones en Estados Unidos. Los glicoles son los que más se utilizan para este propósito, debido a su afinidad con el agua, bajo costo, estabilidad química, bajo espumado y baja acción solvente para el gas natural. Otros agentes desecantes son: alúmina y bauxita

activada, gel de sílice, ácido sulfúrico y soluciones concentradas de cloruro de calcio o de tiocianato de sodio. Las plantas de este tipo requieren, por lo general, una torre empacada para el tratamiento a contracorriente del gas con reactivo, junto con un regenerador para el agente deshidratante. El gas puede también deshidratarse si se pasa sobre serpentines refrigerados. En general, este método es más costoso que los otros, pero cuando hay disponibilidad de vapor para operar el ciclo de refrigeración, los costos pueden reducirse.

La presencia de ácido sulfúrico u otros compuestos de azufre representan un problema, debido a que, causan corrosión y forman compuestos contaminantes del aire cuando se queman. Además, el olor del ácido sulfúrico es muy molesto para los clientes. La presencia de dióxido de carbono en el gas disminuye su poder calorífico, razón por la cual también es removido. La monoetanolamina es el solvente más antiguo y, probablemente, todavía el más usado para la desulfuración del gas natural. Normalmente se aplica una solución acuosa de monoetanolamina entre de 10 a 30%. Existen otros solventes utilizados en la absorción de  $H_2S$  y del  $CO_2$ , y su selectividad con estos, así como la composición de las impurezas en el gas que se procesa, determina con frecuencia la selección del solvente. Algunos de los solventes también tienen una alta afinidad con los hidrocarburos superiores, y esto es una desventaja si el gas contiene una cantidad apreciable de estos compuestos valiosos. Si se desea llevar a cabo la deshidratación y la desulfuración en forma simultánea, el gas puede lavarse con una solución de amina, agua y glicol.

Uno de los métodos comerciales usados para endulzar gas es mediante el empleo de membranas. Esta separación trabaja sobre el principio de que existen diferentes tasas de permeación a través de una membrana para diferentes gases. Los materiales utilizados para las membranas son polisulfona, poliestireno, teflón y varios hules. Este tipo de separación posee muchas ventajas sobre otros tipos de separación de gases, por ejemplo, condiciones suaves de operación, menor

consumo de energía, menor costo de capital y operación económica, tanto a tasas de flujo bajas, como altas.

El gas natural con un alto contenido de nitrógeno puede mejorarse por medio de un proceso criogénico que lleva el gas de alimentación a 4,9 MPa y lo enfría a 185 K. El gas natural se vaporiza y tanto éste, como el gas nitrógeno separado, salen del sistema vía los intercambiadores de calor en contracorriente con el gas que entra.

#### **2.1.4 Líquidos del Gas Natural (LGN), Gas Natural Licuado (GNL), y Gas Licuado del Petróleo (GLP).**

**Líquidos del Gas Natural:** Son productos originados como consecuencia del tratamiento de dicho gas y están formados por etano, propano, butano y otros hidrocarburos más pesados, que se utilizan en el mercado interno como combustible y materia prima; un 34% de la producción nacional abastece mercados internacionales, sus propiedades son las del metano líquido, modificadas ligeramente por componentes menores. Una de las propiedades que lo diferencian de los líquidos del gas del petróleo es su baja temperatura crítica, cerca de  $-73^{\circ}\text{C}$  ( $-100^{\circ}\text{F}$ ). Esto significa el gas natural no puede licuarse a temperatura ambiente por el simple aumento de la presión, como ocurre en el caso del LGP; pues, tiene que enfriarse hasta temperaturas criogénicas para lograr la licuefacción, y estar bien aislado para conservarse en estado líquido. Una gran ventaja que tienen los líquidos del gas natural es su almacenamiento y embarque, debido a que  $0,03\text{ m}^3$  ( $1\text{ pie}^3$ ) de metano líquido a  $-162^{\circ}\text{C}$  ( $-260^{\circ}\text{F}$ ) es aproximadamente igual a  $18\text{m}^3$  ( $630\text{ pie}^3$ ) de metano gaseoso.

**Gas Licuado del Petróleo:** es la mezcla de gases condensables presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de condensar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que son una mezcla de propano y butano.

Es un hidrocarburo derivado del petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina. El GLP se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos de estos vapores, necesitándose 273 litros de vapor para obtener 1 litro de gas líquido.

El GLP se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales, sin embargo, para facilitar su almacenamiento y transporte, se licúa y se maneja bajo presión para mantenerlo en este estado.

El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido, en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinerías, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea por auto tanques o recipientes portátiles, en donde el gas sale en estado de vapor para poder ser utilizado en calderas, aparatos domésticos y vehículos.

El Gas Licuado de Petróleo es un combustible de alta calidad, por lo tanto su contenido de impurezas es casi inexistente lo cual le ofrece un ambiente menos contaminado.

Por sus características posee una gran cantidad de ventajas en comparación con otros combustibles: Limpieza, gran poder calorífico, económico, fácil manejo y transporte.

**Gas Natural Licuado:** es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida. Es la mejor alternativa para establecer reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente ya sea por gasoducto o por generación de electricidad. El gas natural es transportado como líquido a presión atmosférica y a  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$  donde la licuefacción reduce en 600 veces el volumen de gas transportado.

El GNL tiene el menor impacto ambiental de todos los combustibles por su alto contenido de hidrógeno. Los derrames de GNL se disipan en el aire y no contaminan el suelo ni el agua. Como combustible vehicular, reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en un 70%, y no produce compuestos de azufre ni partículas. Para la generación eléctrica las emisiones de dióxido de azufre,  $\text{SO}_2$  prácticamente quedan eliminadas, y las emisiones de  $\text{CO}_2$  se reducen en un 40%.

Todos los sistemas de producción y transporte, así como la planta de proceso, están diseñados para evitar fugas y prevenir incendios; es el caso de los sistemas de transferencia de GNL de y hacia los barcos, envío o revaporización (o regasificación) de GNL. Hay algunas diferencias de diseño respecto a las plantas de gas, pero las consideraciones ambientales, de seguridad y de salud son las mismas o más estrictas. Los principales riesgos son su baja temperatura (riesgo criogénico) y su combustibilidad.

## **2.2 Etano**

Es un hidrocarburo saturado de fórmula  $\text{C}_2\text{H}_6$  de gravedad específica 1,048 y se le encuentra en los gases que desprenden ciertos pozos de petróleo. Es un gas incoloro, inodoro, ligeramente más denso que el aire, relativamente inactivo químicamente, poco soluble en agua, bastante soluble en alcohol, que condensa a  $-88^\circ\text{C}$ . Al desdoblarse por la acción del calor, o al quemarse incompletamente, puede dar nacimiento a dos hidrocarburos no saturados: el etileno y el acetileno. Su principal uso es como materia prima en los complejos petroquímicos, para la producción de etileno. También es usado como refrigerante, combustible y en síntesis orgánicas.

### **2.2.1 Importancia Petroquímica del Etano**

El uso del etano en la industria petroquímica es muy amplio, siendo de gran importancia la obtención del etileno a partir de este hidrocarburo. El etileno es un

gas incoloro con sabor y olor dulces característicos, es inflamable y forma una mezcla explosiva con el aire a una concentración de aproximadamente 3%.

Los estudios económicos indican que el etano y el propano son las materias primas más factible cuando se desea producir solamente etileno. El propano ha sido usado con mucha frecuencia, pero la creciente demanda de gas envasado ha reducido la cantidad disponible de este material. Además cuando se usa propano como material de carga, se forma considerable proporción de propileno en la pirólisis, junto con etileno, siendo conveniente la separación de este material para aprovecharlo en operaciones químicas. Por esta razón, el consumo de etano como materia prima para la producción de etileno se presenta como la opción más óptima, gracias a que tiene la ventaja de dar fuerte rendimiento, pues su conversión en etileno requiere sólo la deshidrogenación.

El etileno representa una fuente de materia prima en la obtención de una variedad de productos, como se muestra en la Figura 2.1. Es usado en preparaciones orgánicas, coloración de frutas, blanqueo de verduras, producción de mostaza, soldadura y cortado de metales al oxietileno, acelera el crecimiento de las plantas de semilleros, verduras y árboles frutales, en la obtención de alcoholes etílico sintético, entre otros.



## Figura 2.1 Productos petroquímicos obtenidos a partir del etileno

### 2.3 Transferencia De Calor

Hay tres tipos fundamentales de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Los tres tipos de transferencia de calor se pueden producir al mismo tiempo y es aconsejable tomar en consideración la transferencia de calor por cada uno de estos tipos en cada caso en particular.

- ✓ **Conducción:** es la transferencia de calor desde una parte del cuerpo a otra del mismo cuerpo, o bien, desde un cuerpo a otro que esté en contacto físico con él, sin desplazamiento apreciable de las partículas del cuerpo.
  
- ✓ **Convección:** es la transferencia de calor desde un punto a otro, desde un fluido, un gas o un líquido, mediante la mezcla de una porción del fluido con otra. En la convección natural, el movimiento del fluido se debe totalmente a diferencias de densidad como resultado de diferencias de temperatura;, en convección forzada, el movimiento se produce por medios mecánicos. Cuando la velocidad forzada es relativamente baja, se

debe entender que los factores de “colección libre” como las diferencias de temperatura y densidad, pueden tener una influencia importante.

- ✓ **Radiación:** es la transferencia de calor desde un cuerpo a otro, que no se encuentre en contacto con él, por medio del movimiento ondulatorio a través del espacio.

### 2.3.1 Condensación

Esta se produce cuando un vapor saturado entra en contacto con una superficie cuya temperatura está por debajo de la de saturación. Normalmente, se forma una película de condensado sobre la superficie y el espesor de ella, por unidad de extensión, aumenta al incrementarse le extensión de la superficie. Este fenómeno se conoce como condensación de tipo de película.

Otro tipo de condensación, denominado por goteo, tiene lugar cuando la pared no está humedecida uniformemente mediante el condensado, con el resultado de que este último aparezca en muchas gotitas individuales, las adyacentes se reúnen y finalmente, se forma un pequeño chorro. La fuerza de adhesión la vence la fuerza de la gravedad y el chorro fluye con rapidez hasta el fondo de la superficie, capturando y absorbiendo todas las gotitas que se encuentran en su trayectoria y dejando una superficie seca tras ella.

La condensación tipo película es más común y segura. Normalmente, la condensación por goteo se debe fomentar mediante la introducción de alguna impureza en la corriente de vapor. Se obtienen coeficientes suficientemente más altos (de 6 a 18 veces) para la condensación del vapor por goteo, pero no se dispone de métodos de diseños.

### 2.3.2 Vaporización

Se puede deber a ciertos mecanismos de transferencia de calor individualmente o en combinación. Por ejemplo, la vaporización puede tener lugar debido al calor absorbido, por radiación y convección, en la superficie de un estanque de líquido, o bien, como resultado del calor absorbido por colección natural a partir de una pared caliente bajo la superficie de separación, en cuyo caso la vaporización tiene lugar cuando el líquido sobrecalentado alcanza la superficie del estanque. También se produce vaporización a partir de películas desecantes (la inversa de la condensación) o mediante la descomposición completa y violenta de líquidos sobrecalentados por colección forzada, a presión. La ebullición que se experimenta cuando la superficie de calentamiento está rodeada por un cuerpo de fluido relativamente grande que no fluye a ninguna velocidad apreciable y se ve agitado solamente por el movimiento de las burbujas y las corrientes de convección natural, se conoce como ebullición de depósito.

La transferencia de calor por ebullición nucleada es un mecanismo importante en la vaporización de líquidos, y tiene lugar en rehervidores de circulación natural y de tipo de caldera que se utiliza habitualmente en las industrias de procesos. Se obtienen velocidades elevadas de transferencia de calor por unidad de área (flujo de calor), como resultado de la formación de burbujas en la interfase de líquido y sólido más que por los dispositivos mecánicos externos al intercambiador de calor.

### **2.3.3 Equipos de transferencia de calor**

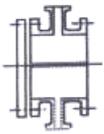
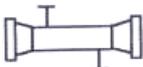
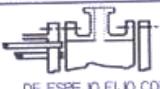
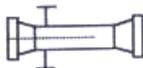
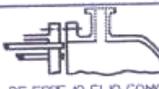
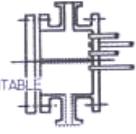
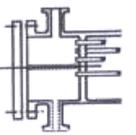
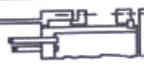
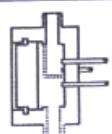
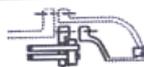
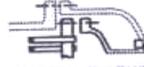
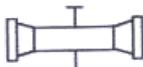
Los equipos de transferencia de calor se puede designar por el tipo (o sea, espejo fijo, cabezal empacado exterior, etc.) o por la función (enfriador, condensador, congelador, etc.); casi cualquier tipo de unidad se puede utilizar para realizar cualquiera de las funciones mencionadas e incluso todas ellas. La definición de varios equipos de transferencia de calor se refleja en las siguientes tablas:

Tabla 2.1 Definición de Diversos equipos de Transferencia de calor

EQUIPO	FUNCIÓN
CONGELADOR	Entra un fluido a una temperatura inferior a la que se puede obtener, si se utiliza solo agua como enfriador. Usa refrigerante, que puede ser amoníaco o freón.
CONDENSADOR	Condensa un vapor o una mezcla de vapores, ya sea solos o en presencia de un gas no condensable.
CONDENSADOR PARCIAL	Condensa vapores a un punto bastante elevado para proporcionar una diferencia de temperaturas suficiente para precalentar una corriente fría de fluido de proceso. Esto ahorra calor y elimina la necesidad de proporcionar un precalentador por separado (que utilice vapor o llama).
CONDENSADOR FINAL	Condensa los vapores a una temperatura final de almacenamiento de aproximadamente, 36.8°C (100°F). Utiliza el enfriamiento por agua, lo que quiere decir que el calor transferido se pierde para el proceso.
ENFRIADOR	Enfría líquidos o gases por medio de agua.
INTERCAMBIADOR	Realiza una función doble: 1.) Calienta un fluido frío por medio de 2.) Un fluido caliente, que se enfría. No se pierde ninguna parte del calor transferido.
CALENTADOR	Aplica un calor sensible a un líquido o a un gas, mediante la condensación de vapor o Dowtherm.
REHERVIDOR	Conectado a la base de una torre fraccionada, proporciona el calor de rebullición que se necesita para la destilación. El medio de calentamiento puede ser vapor o un fluido caliente proveniente del proceso.
REHERVIDOR DE TERMOSIFÓN	Se obtiene la circulación natural del medio en ebullición, al mantener una carga suficiente de líquido para asegurar la circulación.
REHERVIDOR DE CIRCULACIÓN FORZADA	Se emplea una bomba para obligar al líquido a pasar por el rehervidor.
GENERADOR DE VAPOR	Genera vapor para uso en cualquier punto de la planta, mediante la utilización de calor de alto nivel disponible en el alquitrán o en los aceites pesados.
SOBRECALENTADOR	Calienta un vapor por encima de la temperatura de saturación.
VAPORIZADOR	Un calentador que vaporiza parte del líquido.
CALDERA DE CALOR RESIDUAL	Produce vapor: es similar al generador de vapor, con la excepción de que el medio de calentamiento es un gas o un líquido caliente que se produce en una reacción química.

En las industrias de proceso, la transferencia de calor entre dos fluidos casi siempre se lleva a cabo en intercambiadores de calor, siendo más utilizado los del tipo de tubo y coraza, aun cuando se está haciendo cada vez mayor hincapié en

otros diseños. Las prácticas recomendadas para la designación de intercambiadores de calor de tubo y coraza mediante números y letras las estableció la Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA) en la sexta edición de la obra TEMA Standard, tal como se muestra en la Figura 2.2

TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS	TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR
<b>A</b>	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	<b>E</b>  CORAZA DE UN PASO	<b>L</b>  DE ESPEJO FIJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
<b>B</b>	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	<b>F</b>  CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	<b>M</b>  DE ESPEJO FIJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
<b>C</b>	 SOLO HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	<b>G</b>  DE FLUJO PARTIDO	<b>N</b>  DE ESPEJO FIJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "N"
<b>N</b>	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	<b>H</b>  DE FLUJO PARTIDO DOBLE	<b>P</b>  CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
<b>D</b>	 CERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	<b>J</b>  DE FLUJO DIVIDIDO	<b>S</b>  CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		<b>K</b>  REHERVIDOR DE CALDERA	<b>T</b>  CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		<b>X</b>  FLUJO CRUZADO	<b>U</b>  HAZ DE TUBO EN U
			<b>W</b>  ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

**Figura 2.2 Designación del tipo TEMA para intercambiadores de calor de Tubo y coraza**

## **2.4 Transporte De Fluidos**

Para transportar un fluido de un punto a otro en un ducto cerrado o en una tubería, es necesario contar con una fuerza impulsora, algunas veces, esta fuerza es la gravedad cuando hay diferencias de nivel. Por lo general, el transporte de fluidos se puede llevar mediante a cabo de ventiladores, compresores y bombas. El aumento de energía puede usarse para incrementar la velocidad, la presión o la altura del fluido. El método más corriente de comunicar energía es por medio de un desplazamiento positivo o de una acción centrífuga suministrada por fuerzas exteriores.

En casi todos los procesos, se transfiere un fluido de un recipiente o equipo a otro mediante el uso de una bomba, la cual en términos generales se describe como una máquina o dispositivo que se usa para mover un líquido incompresible. Estas juegan un papel muy importante dentro de una industria de procesos químicos, y su selección adecuada para un proceso en particular, se puede lograr mediante una evaluación de los requisitos hidráulicos del sistema de bombeo junto con el conocimiento y las características de funcionamiento de diferentes tipos de bombas. Se pueden clasificar en dos tipos generales: dinámica y desplazamiento positivo. Las bombas dinámicas, como las centrífugas, son aquellas en que se aplica energía al líquido que se bombea con un impulsor o hélice que gira en un eje. En las bombas de desplazamiento, tal como una carcasa o un cilindro, con el movimiento rotatorio de engranes, tornillos o álabes o con pistones o émbolos de movimiento alternativo.

### **2.4.1 Bombas Centrífugas**

Es la más común y funciona con los mismos principios que los compresores de este tipo, excepto que el líquido que manejan es incompresible. Sus grandes espacios libres y el hecho que no tienen piezas en donde haya rozamiento, excepto los cojinetes y sellos, les han dado la preferencia en muchas aplicaciones. Entre

algunos de los lineamientos para especificar y evaluar las bombas centrífugas se encuentran los siguientes:

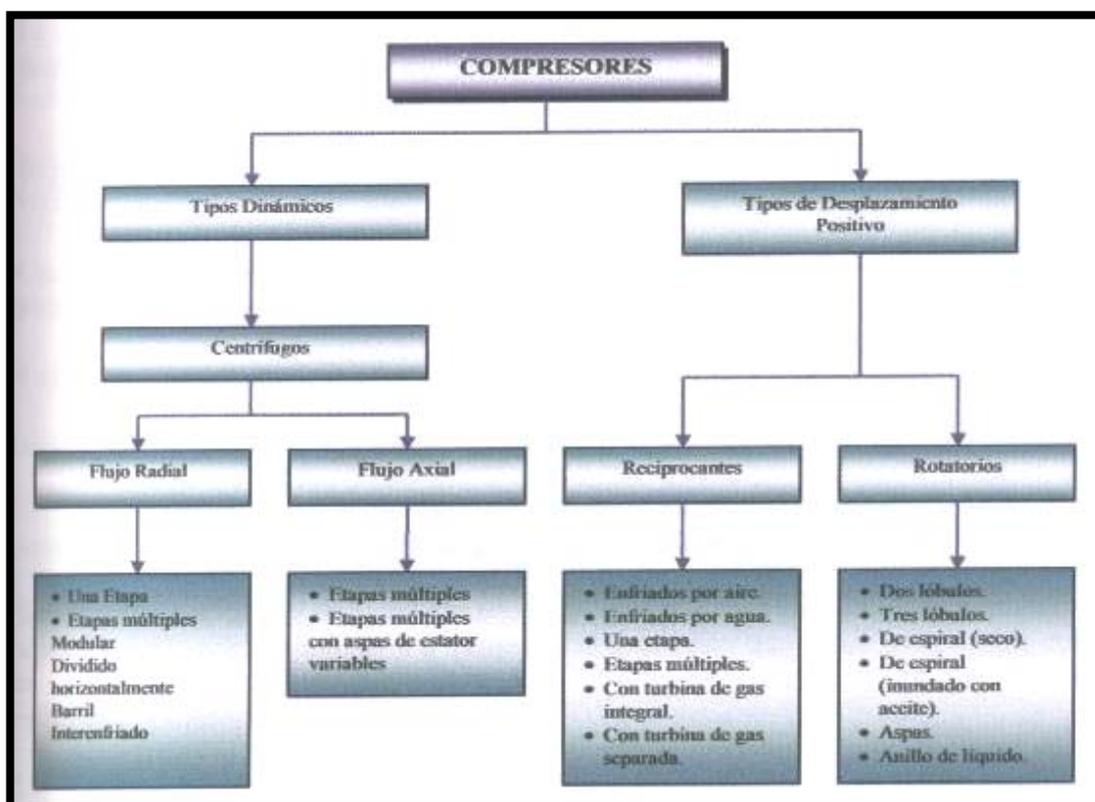
- ✓ Según sea el tamaño de la bomba, la viscosidad máxima es entre 3000 y 5000 segundos Saybolt Universales (SSU).
- ✓ Los gases no disueltos en los líquidos alteran la capacidad de las bombas centrífugas, se deben limitar a un 5% como máximo.
- ✓ Algunos procesos requieren que la bomba funcione con bajo fluido; todas las centrífugas tienen un flujo mínimo con el que su funcionamiento es satisfactorio. Si no trabajan con ese mínimo, ocurrirá sobrecalentamiento de la bomba y menor duración de los cojinetes.
- ✓ Las bombas centrífugas no son autocebantes y deben tener succión inundada o, cuando hay altura de aspiración, un dispositivo para vacío con el fin de reducir la presión en la carcasa de la bomba para que líquido pueda entrar ella por la diferencia de presión. No obstante, hay bombas centrífugas autocebantes.

#### **2.4.2 Bombas de Desplazamiento Positivo**

Estas bombas suelen ser adecuadas para aplicaciones con bajo fluido y en carga elevada, tal como se puede observar en la Figura 2.3. Para viscosidades mayores de 3000 SSU, se debe pensar primero en una bomba rotatoria. Para fluidos de alrededor de 100 gpm y con viscosidades de 100 SSU y mayores, se necesitan bombas de desplazamiento positivo. Los tipos generales para los procesos químicos son reciprocantes o rotatorias, sea éstas de engranes o de espiral. Estas bombas funcionan con los mismos principios que los compresores de desplazamiento positivo excepto que el líquido no se puede comprimir a



espirales, o desplazan un volumen fijo en cada rotación. En la Figura 2.4 se muestra una clasificación de los compresores para procesos químicos



**Figura 2.4 Tipos de Compresores para Procesos Químicos**

### 2.5.1 Compresores Centrífugos

En un compresor centrífugo se produce la presión al aumentar la velocidad del gas que pasa por impulsor y, luego, al recuperarla en forma controlada para producir el flujo y presión deseados. Estos compresores suelen ser unitarios, salvo que flujo sea muy grande o que las necesidades del proceso exijan otra cosa. Debido a altas velocidades de estos compresores, se deben tener más cuidado con el balanceo del rotor.

Cuando se evalúa un compresor centrífugo, se debe prestar mucha atención al porcentaje de aumento en la presión, desde el punto normal de funcionamiento

hasta el punto de oscilación. Este punto se define como el lugar en donde una reducción adicional en el flujo ocasionará inestabilidad en forma de flujo a pulsaciones y pueden ocurrir daños por sobrecalentamiento, falla de los cojinetes por inversión de empuje o por vibración excesiva.

Las ventajas del empleo de un compresor centrífugo son:

- ✓ En el intervalo de 2000 a 200000 pie<sup>3</sup>/min, y según sea la relación de presión, este compresor es económico por que se puede instalar una sola unidad.
- ✓ Ofrece una variación bastante amplia en el flujo con un cambio pequeño en la carga.
- ✓ La ausencia de piezas rozantes en la corriente de la compresión permite trabajar un largo tiempo entre intervalos de mantenimiento, siempre y cuando los sistemas auxiliares de aceite lubricante y aceite de sello estén correctos.
- ✓ Se puede obtener grandes volúmenes en lugar de tamaño pequeño. Esto puede ser una ventaja cuando el terreno es muy costoso.
- ✓ Cuando se genera suficiente vapor en el proceso, un compresor centrífugo será adecuado para moverlo con una turbina de conexión directa.
- ✓ Su característica es un flujo suave y libre de pulsaciones.

Las desventajas son:

- ✓ Son sensibles al peso molecular del gas que se comprime. Los cambios imprevistos en el peso molecular pueden hacer que las presiones de descarga sean muy altas o muy bajas.

- ✓ Se necesitan velocidades muy altas en las puntas para producir la presión. Con la tendencia a reducir el tamaño y aumentar el flujo, hay que tener mucho más cuidado al balancear los rotores y con los materiales empleados en componentes sometidos a grandes esfuerzos.
- ✓ Un aumento pequeño en la caída de presión en el sistema de proceso puede ocasionar reducciones muy grandes en el volumen del compresor.
- ✓ Se requiere un complicado sistema para aceite lubricante y aceite para sellos.

### **2.5.2 Compresores de Desplazamiento Positivo**

Estos compresores se pueden dividir en rotatorios y reciprocantes para las aplicaciones más comunes en un proceso. Al contrario de los centrífugos, son de capacidad constante y tienen presión de descarga variables.

Los compresores reciprocantes funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce en gas por el cilindro de las válvulas de entrada, de retiene y comprime el cilindro y salen por las válvulas de descarga. Estos compresores rara vez se emplean como unidades individuales, salvo que el proceso requiera funcionamiento intermitente. Pueden ser el tipo lubricado o sin lubricar, siendo preferible y de ser permitido por el proceso tener un compresor lubricado, debido a que las piezas durarán más. Deben tener, de preferencia motores de baja velocidad, de acoplamiento directo, en especial si son de 300 HP; suelen ser de velocidad constante.

Los compresores rotatorios son de varios tipos, entre ellos están el de tipo de soplador con lóbulos (como el diseño Roots), el tipo de espiral rotatorio SRM, el diseño de anillo de agua y de aspas deslizantes. Todos tienen el mismo tipo de curva de rendimiento que el compresor reciprocante; es decir, son de capacidad

fija de contrapresión variable. Los compresores rotatorios se presentan más para las unidades motrices de la velocidad variable, como las turbinas de vapor, que los compresores reciprocantes. Por lo general, estos compresores tienen una capacidad máxima de unos 25000 pie<sup>3</sup>/min, en los de espiral rotatoria y de lóbulos. El diseño de anillo de agua tiene la ventaja de que el gas no hace contacto con las paredes rotatorias metálicas. Los tipos más comunes de compresores rotatorios de desplazamiento positivo en la industria de procesos químicos son los de espirales y de lóbulos rotatorios, que ofrecen la ventaja de que el aire no contiene aceite, porque no hay contacto con ninguna parte en la zona de compresión. Su diseño rotatorio les da una capacidad mucho mayor que la del compresor recíprocante y sin problemas de pulsaciones.

## **2.6 Refrigeración**

La refrigeración de una corriente de gas natural, es realizada fundamentalmente con el objeto reducir notablemente su temperatura de forma que los diversos componentes que constituyen la mezcla condensen como líquidos en un mayor o menor porcentaje, de acuerdo con el nivel de temperaturas alcanzado. El enfriamiento puede llevarse a cabo por medio de una reducción súbita de la presión en la corriente de gas al someterla a una expansión a través de una válvula, proceso mejor conocido como efecto Joule-Thomson (expansión isoentálpica), o a través del uso de un turboexpansor (expansión isentrópica).

### **2.6.1 Efecto Joule-Thomson**

Este enfriamiento ocurre por expansión isoentálpica, es decir, la entalpía del gas permanece constante durante la expansión. Este tipo de expansión es aplicada cuando se pretende incrementar la recuperación de líquidos de una corriente de gas húmedo provenientes de pozos de alta presión. Esto se logra expandiendo la corriente de gas húmedo y caliente de alta presión a través de una válvula reguladora de presión simultáneamente disminuye la temperatura, lo que permite

que una fracción de los componentes de gas, en especial intermedios y pesados, condensen como líquidos.

### 2.6.2 Turboexpansores

La turboexpansión ocurre isoentrópicamente, en el caso ideal, pero en la realidad se presenta un porcentaje de pérdida de eficiencia, lo que produce una cantidad de trabajo menor que la esperada teóricamente, el turboexpansor consiste básicamente en un equipo de expansión de gas natural en el cual el trabajo producido por este es aprovechado para comprimir gas residual. Dicho equipo se encuentra ubicado en un patín o “skid” con sus sistemas de gas de sello y lubricación correspondiente. El sistema como tal está diseñado para su fácil mantenimiento u operación. El turboexpansor está constituido por tres componentes básicos:

- ✓ La carcasa de expansión con sus bridas de succión y descarga, tobera, álabes, guías, válvulas de control de flujo y válvulas controladoras de empuje.
- ✓ La sección central (Mechanical Center Section “MCS”), que es el sitio donde se encuentra la parte rotativa del equipo.
- ✓ La carcasa de compresión con sus bridas de succión y descarga tobera.

Se aplican en dos amplias categorías: de flujo axial y de flujo radial. Las de flujo axial son aquellas en la que el flujo de gas es paralelo en lo esencial al eje o árbol de la turbina. Se asemejan a las turbinas convencionales de vapor y son de una sola etapa o etapas múltiples con álabes de impulso o de reacción, o una combinación de álabes de impulso o reacción.

Las turbinas de este tipo no se utilizan normalmente para producir temperaturas bajas, pero constituyen básicamente dispositivos para recuperación de la energía y encuentra su aplicación en donde son muy elevadas la velocidad de flujo, las temperaturas de entradas, o las caídas totales de energía. Las de flujo radial son aquellas en las que el gas fluye en ángulo recto con el eje de la turbina. El flujo radial es hacia adentro o hacia fuera, pero las turbinas disponibles en el comercio son del tipo de flujo radial hacia adentro. Son de una sola etapa y tienen álabes combinados de impulso y reacción y un rotor que se asemeja al impulsor de una bomba centrífuga. El gas es lanzado a chorro en forma tangencial hacia la periferia exterior del rotor y fluye radialmente hacia dentro en el “ojo”, desde el cual se lanza en chorros hacia atrás por el ángulo de los álabes, de forma que sale del rotor sin retroceso y fluye axialmente hacia fuera.

Los turboexpansores suelen tener una eficiencia del 75 al 88% y de ordinario operan a temperatura muy bajas, con flujos moderados o reducidos, produciendo una velocidad de giro relativamente alta, e incorporando empaques eficaces en los árboles para conservar el vapor del proceso. Las limitaciones establecidas comúnmente para operar los turboexpansores son una caída de entalpía de 40 a 50 BTU/lb por etapa de expansión y una velocidad en el extremo del rotor de 1000 pie/s. los turboexpansores comerciales están disponible hasta presiones de entrada de 2500 PSIG y temperaturas de entrada de más de 1000°F (538°C). La producción permisible de líquido en la expansión del vapor varía con la presión de descarga; puede ser tan elevada por el 20% (peso) en la descarga, con tal que el turboexpansor haya sido diseñado específicamente para manejar líquidos.

Algunas ventajas inherentes en el turboexpansor son las siguientes:

- ✓ La temperatura criogénica de operación final se obtiene del turboexpansor y no se logra mediante una costosa refrigeración con bajo nivel.

- ✓ La presión de separación del producto se ajusta para dar las condiciones de equilibrio más deseables.
- ✓ Las plantas son compactas e inherentemente sencillas.
- ✓ La inversión en capital y los costos de operación son de ordinario bajos, llegando a ahorrarse hasta un 40% en relación con el método de recuperación convencional del etano.
- ✓ Las necesidades de mantenimiento son reducidas.

## 2.7 Válvulas

Es difícil imaginarse una planta de productos químicos, refinería de petróleo, planta de procesamiento de alimentos; unidad de fabricación de fármacos. Etc., sin válvulas. Conforme avanza la tecnología y aumenta la capacidad de las plantas, han aumentado el tamaño y el costo de las válvulas y cada vez es más importante el máximo cuidado en su selección. Las válvulas constituyen aproximadamente del 20 al 30% del costo de la tubería de una planta, según sea el proceso; el costo de un tipo de tamaño dado de válvulas puede variar en 100% según sea su construcción. Por tanto, la selección de válvulas es de suma importancia en los aspectos económicos, así como en la operación de plantas de proceso. El tipo de válvula dependerá de la función que deba efectuar, sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso.

Las válvulas se emplean, por lo general, para dos funciones básicas: cierre y estrangulación. Las válvulas utilizadas para aislar equipo, instrumentos y componentes de la tubería (coladores, trampas de vapor, filtros en la tubería, etc.) cuando se necesita mantenimiento se llaman válvulas de bloqueo o de cierre. Además, se utilizan en los múltiples para desviar las corrientes a diversos lugares según se desee. En esencia, cualquier válvula no está ni abierta del todo ni cerrada

del todo durante el funcionamiento de la planta se puede considerar como una válvula de bloqueo. Estas válvulas suelen ser del tamaño de la tubería y tienen un orificio más o menos del tamaño del diámetro interior del tubo.

Las válvulas de operación manual cuya finalidad es regular el flujo, la presión o ambos, se denominan válvulas de estrangulamiento. Su capacidad se determina con pruebas de flujo para una caída dada de presión a lo largo del cuerpo de la válvula y se puede obtener con los fabricantes de este tipo de válvula, mientras que la selección de su tamaño dependerá del coeficiente de flujo ( $C_v$ ).

Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicios de bloqueo son:

- ✓ **Válvulas de compuerta:** resistencia mínima al flujo de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.
- ✓ **Válvulas de macho:** cierre hermético. Debe estar abierta o cerrada del todo.
- ✓ **Válvulas de bola:** no hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastas aguadas. Cierre positivo. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.
- ✓ **Válvulas de mariposa:** su uso principal es para cierre o estrangulamiento de grandes volúmenes de gases y líquidos a bajas presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.

Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicios de estrangulamiento son:

- ✓ **Válvulas de globos:** son para uso poco frecuente. Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el sentido de flujo; produce resistencia y caídas de presión apreciable.
- ✓ **Válvula de aguja:** estas válvulas son, básicamente, válvulas de globo que tienen un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con presión es su asiento. Se puede tener estrangulamiento exacta de volúmenes pequeños por el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.
- ✓ **Válvulas en Y:** son válvulas de globos que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta. La ventaja es una menor caída de presión en esta válvula que en la de globo convencional.
- ✓ **Válvula de ángulo:** son en esencia, iguales que las válvulas de globo. La diferencia principal es que el flujo del fluido en la válvula de ángulo hace un giro de 90 grados.
- ✓ **Válvulas de mariposa:** su uso principal es para cierre y estrangulamiento de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión (desde 150 PSIG hasta el vacío). Su diseño de disco abierto, rectilíneo evita acumulación de sólidos no adherentes y produce poca caída de presión.

Las válvulas que no permiten el flujo inverso (de retención) actúan en forma automática antes los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo. Hay disponible una selección especial de tipos de válvulas para manejar pasteas aguadas, gruesa o finas. Los tipos más comunes son en ángulo, fondo plano, macho, bola y diafragma y válvulas de opresión o compresión. Están diseñadas para mínima resistencia al flujo y, con frecuencia, están revestidas con aleaciones especiales para darles resistencia a la corrosión o a la erosión.

## 2.8 Separadores

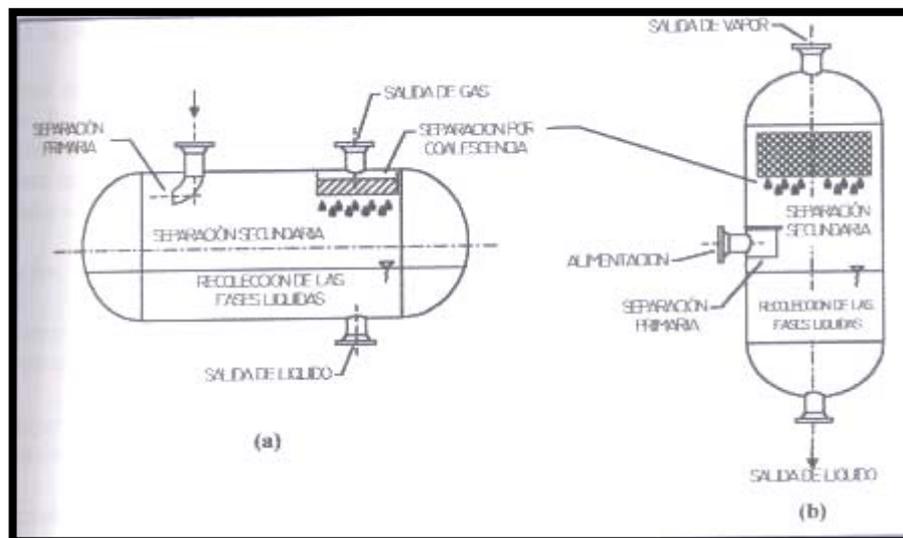
El término separador es aplicado a una gran variedad de equipos usados para separar mezclas de dos o más fases. Estas mezclas pueden estar formadas por: una fase vapor y una líquida; una fase vapor y una sólida; dos fases líquidas inmiscibles (aceite/agua); una fase vapor y dos líquidas o alguna otra combinación de las anteriores. El diseño apropiado de los separadores es de suma importancia, debido a que estos tipos de recipientes son normalmente los equipos iniciales en muchos procesos. Un diseño inadecuado puede crear un cuello de botella que reduzca la capacidad de producción de la instalación completa. En el diseño de separadores es necesario tomar en cuenta los diferentes estados en que puede encontrarse los fluidos y el efecto que sobre éstos puedan tener las diferentes fuerzas o principios físicos. Los principios fundamentales considerados para realizar la separación física del vapor; líquido o sólido son: el momentum o cantidad de movimiento, la fuerza de gravedad y la coalescencia. Toda separación puede emplearse uno o más de estos principios, pero siempre la fase de los fluidos deben ser inmiscibles y de diferentes densidades para que ocurra la separación.

### 2.8.1 Proceso de Separación.

En el caso de mezcla vapor – líquido, la mezcla de fases entra al Separador y, si existe, choca un aditamento interno ubicado en la entrada, lo cual hace que cambie el momentum de la mezcla, provocando así una separación gruesa de las fases. Seguidamente, en la sección de decantación (espacio libre) del separador, actúa la fuerza de gravedad sobre el fluido permitiendo que el líquido abandone la fase vapor y caiga en el fondo del separador (sección de acumulación de líquidos). Esta sección provee del tiempo de retención suficiente para que correspondiente, liberar el líquido de los equipos aguas abajo puedan operar satisfactoriamente y, si se ha tomado la previsión las burbujas de gas atrapadas. Para el caso de separadores que incluyan dos fases líquidas, se necesita tener un tiempo de

residencia adicional dentro del tambor, lo suficientemente alto para la decantación de una fase líquida pesada y la “flotación” de una fase líquida liviana.

Normalmente, pueden identificarse cuatro zonas principales en los separadores, tal como se muestra en la figura 2.5:



**Figura 2.5 Separadores Gas-Líquido: (a) Separador Horizontal, (b) Separador Vertical**

- ✓ **Separación Primaria:** el cambio en la cantidad de movimiento de las fases a la entrada del separador genera la separación gruesa de las fases. Esta zona incluye las boquillas de entrada y los aditamentos de la entrada, tales como deflectores o distribuidores.
- ✓ **Separación Secundaria:** durante la separación secundaria se observan zonas de fase continuas con gotas dispersas (fase discontinua), sobre la cual actúa la fuerza de gravedad. Esta fuerza se encarga de decantar hasta cierto tamaño de gotas de la fase pesada discontinua en la fase líquida continua. También produce la flotación de hasta un cierto tamaño de gotas de la fase líquida liviana (fase discontinua), en la fase pesada continua. En

esta parte del recipiente la fase liviana se mueve a una velocidad relativamente baja y con muy poca turbulencia.

- ✓ **Separación por coalescencia:** en ciertas situaciones, no es aceptable que gotas muy finas de la fase pesada discontinua sean arrastradas en la fase liviana: por es necesario que, por coalescencia, tales gotas finas alcancen un tamaño lo suficientemente grande para separase por gravedad: para lograrlo se hace necesario tener elementos como los eliminadores de niebla ó Mallas para el caso de separadores líquido-vapor, o las esponjas o platos coalescedores, en el caso de la separación líquidos-líquido.
  
- ✓ **Recolección de las fases líquidas:** las fases líquidas ya separadas requieren de un volumen de control y emergencia para operación confiable y segura de los equipos aguas abajo.

### **2.8.2 Clasificación y Descripción de los Separadores**

Los separadores pueden clasificarse, según su forma en:

- ✓ Separadores cilíndricos.
- ✓ Separadores esféricos.
- ✓ Separadores de dos barriles.

También los separadores cilíndricos pueden clasificarse según su orientación en:

- ✓ Separadores Verticales.
- ✓ Separadores Horizontales.

Otra clasificación sería de acuerdo a la manera de inducir físicamente la separación:

- ✓ Separadores por gravedad (típico separador vertical gas-líquido).
- ✓ Separadores por impacto (separadores de filtro)
- ✓ Separadores por fuerza centrífuga (separadores centrífugos).

### **2.8.2.1 Separadores Verticales**

En estos equipos, la fase pesada decanta en dirección opuesta al flujo vertical de la fase liviana. Estos separadores son normalmente empleados cuando existe una relación gas – líquido alta y/o cuando se esperan grandes variaciones en el flujo de vapor / gas.

#### **Ventajas**

- ✓ Normalmente empleados cuando la relación gas o vapor – líquido es alta y/o cuando se esperan grandes variaciones en el flujo de vapor.
- ✓ Mayor facilidad, que un tambor horizontal, para el control del nivel del líquido, y para la instalación física de la instrumentación de control, alarmas e interruptores.
- ✓ Ocupa poco espacio horizontal.
- ✓ La capacidad de separación de la fase liviana no se afecta por variaciones en el nivel de la fase pesada.
- ✓ Facilidad en remoción de sólidos acumulados.

#### **Desventajas**

- ✓ El manejo de grandes cantidades de líquidos, fuertes variaciones en la entrada de líquido, o separación líquido – líquido, obliga a tener excesivos tamaños de recipientes, cuando se selecciona esta configuración.
- ✓ Requiere mayor diámetro, que un tambor horizontal, para una capacidad dada de gas.
- ✓ Fundaciones más costosas cuando se compara con tambores horizontales equivalentes.
- ✓ Cuando hay formación de espuma, o quiere desgasificarse líquido ya recolectado, se requieren grandes volúmenes de líquido, y por lo tanto, tamaños grandes de tambores verticales.

### **2.8.2.2 Separadores Horizontales**

En estos equipos, la fase pesada decanta perpendicularmente a la dirección horizontal de flujo de la fase liviana. Normalmente son empleados cuando la relación gas – líquido es baja.

#### **Ventajas**

- ✓ Normalmente empleados cuando la relación gas o vapor – líquido es baja.
- ✓ Fundaciones más económicas que las de un tambor vertical equivalente.
- ✓ Por lo general, son más económicos.

- ✓ Requieren menor diámetro, que un tambor vertical, para una capacidad dada de gas.
- ✓ Manejan grandes cantidades de líquidos, fuertes variaciones en la entrada de líquido, o separación líquido – líquido, optimizando el volumen de operación requerido.
- ✓ Los volúmenes de retención facilitan la desgasificación de líquido y el manejo de espuma, si se forma.

#### **Desventajas**

- ✓ Variaciones de nivel de la fase pesada afectan la separación de la fase liviana.
- ✓ Ocupan mucho espacio horizontal.
- ✓ Difícil remoción de sólidos acumulados (necesidad de inclinar el recipiente o añadir internos como tuberías de lavado).

#### **2.8.2.3 Separadores de filtro**

Usan el principio de aglomeramiento de gotas de líquido en un medio filtrante por un elemento eliminador de niebla. El aglomeramiento más común y eficiente está compuesto de un medio filtrante tubular de fibra de vidrio, el cual es capaz de retener partícula de líquido hasta tamaños de submicrones.

El gas fluye dentro de la parte superior del empaque del filtro, pasa a través de los elementos y luego viaja hacia fuera por medio de los tubos. Las partículas pequeñas secas (si las hay, por arrastres de sólidos o productos de corrosión), son retenidos en los elementos filtrantes y el líquido se aglutina para formar gotas más grandes.

La eficiencia de un separador de filtro depende mayormente del diseño apropiado del empaque del filtro y que este produzca una caída de presión mínima, mientras retiene una eficiencia de extracción. Son utilizados en aplicaciones de alto flujo de gas / bajo flujo de líquido y pueden tener ambas configuraciones horizontal o vertical. Son utilizados comúnmente a la entrada de los compresores en las estaciones compresoras, como un despojador final aguas arriba de la torre contactora de glicol y en aplicaciones de gas de instrumentación / combustibles.

#### **2.8.2.4 Separadores Centrífugos**

Estos separadores ofrecen un espacio eficiente, pero son muy sensibles a la tasa de flujo y requieren una mayor caída de presión que la configuración estándar de un separador.

### **2.9 Absorción De Gases**

La absorción de gases es una operación unitaria de transferencia de masa en la cual un soluto vapor presente en la mezcla de gases es absorbido por medio de un líquido en el cual el soluto es más o menos soluble. La mezcla gaseosa consiste casi siempre de un gas inerte y el soluto.

El líquido es también casi inmisible en la fase gaseosa; esto es, su vaporización en la fase gaseosa es poco considerable. Posteriormente, el soluto se puede recuperar de la solución mediante destilación. La operación inversa, llamada separación o desorción, se utiliza cuando se quieren transferir los componentes volátiles de una mezcla líquida a un gas.

Los equipos utilizados para poner en contacto una corriente gaseosa con una líquida en forma continúa puede ser una torre empacada, rellena con material de empaque sólido regular o irregular, una columna de platos que contiene varios platos perforados o de burbuja y tapón, una torre o cámara vacía, donde se rocía el líquido, una columna de paredes húmedas o un recipiente con agitación o rocío. Por lo general, las corrientes de gas y líquidos se pasan a contracorriente a través del líquido para obtener la velocidad de absorción máxima.

En el diseño de una torre absorción por separación se incluye los tres pasos principales mencionados a continuación: En primer lugar, los datos de las relaciones de equilibrio vapor-líquido del sistema se utilizan para determinar a) la cantidad de líquido necesaria para absorber la cantidad requerida de los componentes solubles del gas, o b) la cantidad del gas necesaria para separar la cantidad requerida de los componentes volátiles de un líquido. En segundo lugar, los datos sobre la capacidad de manejo de vapor y líquido del equipo considerado se utilizan para determinar el área de la sección transversal requerida y el diámetro del equipo a través del cual van a fluir las corrientes de gas y líquido.

Por último, los datos de equilibrio y los balances de materia se utilizan para determinar el número de etapas de equilibrio (platos teóricos o unidades de transferencia) requeridas para la separación deseada. La dificultad de la separación depende del nivel de recuperación que sea más deseable económicamente. El tiempo de contacto requiere entre las corrientes que fluyen a la altura necesaria de la torre se pueden calcular si se dispone de los datos para la velocidad específica de transferencia de materia entre las fases líquidas y

gaseosas, expresadas en términos de eficiencia del plato o como la altura de una unidad de transferencia.

## **2.10 Destilación**

Es una operación que se usa para separar los componentes de una solución líquida, y depende de la distribución de estos componentes entre una fase de vapor y una fase líquida. Los componentes están presentes en las dos fases. La fase de vapor se origina de la fase líquida por vaporización en el punto de ebullición. El requisito básico para separar los componentes por destilación consiste en que la composición del vapor sea diferente de la composición del líquido con el cual esta en equilibrio en el punto de ebullición de este último. La operación de absorción difiere de la destilación en cuanto a que uno de los componentes de la absorción es esencialmente insoluble en la fase líquida.

La destilación se puede llevar a cabo en la práctica por medio de cualquiera de dos métodos principales. El primer método consiste en la producción de un vapor por ebullición de la mezcla líquida que se va a separar en una sola etapa, para recuperar y condensar los vapores. En este método no se permite que el líquido regrese al destilador de una sola etapa y se ponga en contacto con los vapores que se desprenden. El segundo método implica el retorno de una porción de condensado al destilador. Los vapores se desprenden a través de una serie de vapores o platos, y parte del condensado fluye hacia abajo a través de la serie de etapas o platos a contracorriente con respecto a los vapores. Este segundo método se llama destilación fraccionada, destilación con reflujo o rectificación.

Se utilizan varios tipos de dispositivos, como por ejemplo los empaques vaciados u ordenados y las bandejas o platos, para que las dos fases entren en contacto íntimo. Los platos se colocan uno sobre otro y se encierran con una

cubierta cilíndrica para formar una columna; los empaques también están contenidos dentro de una cubierta cilíndrica entre los platos de apoyo y soporte.

### **2.11 Funcionamiento De La Torre De Destilación.**

El objetivo general de la destilación consiste en separar los compuestos que tienen diferentes presiones de vapor a una determinada temperatura. La destilación, se refiere a la separación física de una mezcla líquida en dos o más fracciones que tienen distintos puntos de ebullición.

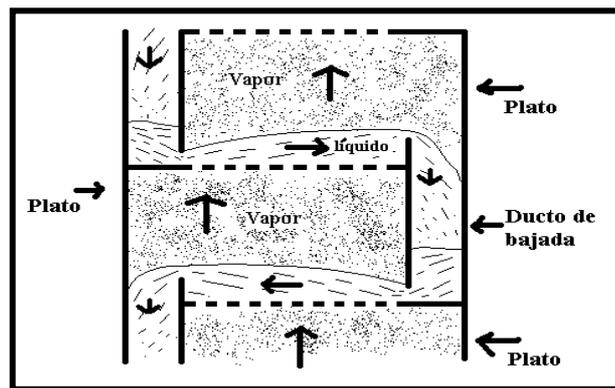
Si se calienta una mezcla líquida de dos materiales volátiles, el vapor que se separa tendrá una mayor fracción molar del material de menor punto de ebullición. Y así mismo el líquido tendrá una fracción molar mayor del material de mayor punto de ebullición. Considerando a la inversa, si se enfría un vapor caliente, el material de mayor punto de ebullición tiende a condensarse en mayor proporción que el material de menor punto de ebullición.

El objetivo de la destilación es separar, mediante vaporización, una mezcla líquida de sustancias volátiles miscibles en sus componentes individuales, o bien, en algunos casos, en grupos de componentes. La destilación se puede realizar en la práctica siguiendo dos métodos fundamentales.

El primero se basa en la producción de un vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar, procediendo posteriormente a la condensación del vapor sin que nada del líquido retorne al rehervidor y se ponga en contacto con el vapor. El segundo método se basa en el retorno de parte del condensado al destilador, en condiciones tales que el líquido que desciende se pone en contacto con el vapor que va hacia el condensador. Estos dos métodos pueden ser llevados a cabo en forma continua o discontinua. En este trabajo se tomarán en cuenta los métodos continuos y los que utilizan retornos de líquidos por ser los procesos mas utilizados por la industria. Una columna de destilación

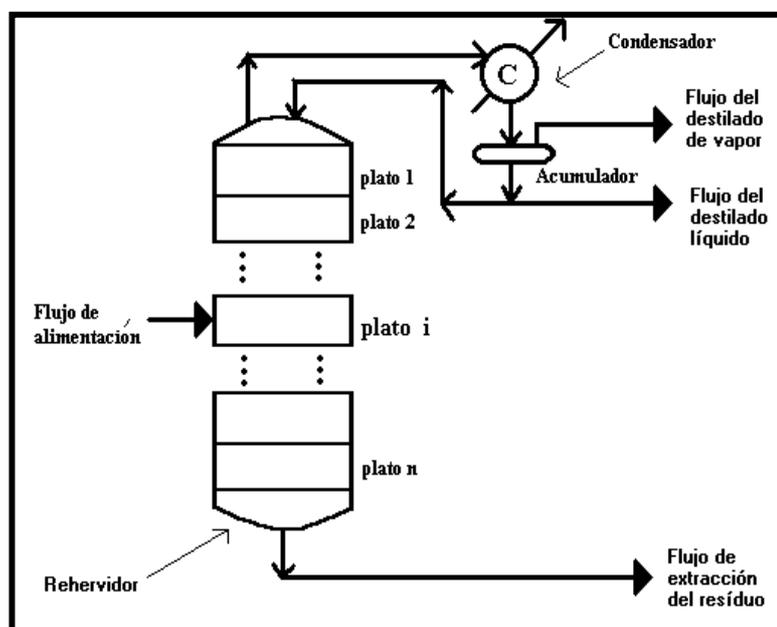
consiste en un recipiente vertical con suficiente altura para que en su espacio interior hagan contacto las corrientes de vapor y el líquido con el propósito de que se efectúe una transferencia de masa entre las dos fases. Si bien el contacto de las dos fases en general se lleva a cabo mediante una serie de platos.

En condiciones normales de operación, una cierta cantidad de líquido se aloja en cada plato y existen dispositivos internos (empaques, válvulas o cachuchas) para que los vapores ascendentes pasen a través del líquido y hagan contacto con él. El líquido descendiente fluye del plato superior a través de un ducto de bajada, pasando al siguiente plato inferior como se muestra en la figura 2.6.



**Figura 2.6 Interior de una columna equipada con platos perforados.**

En la figura 2.7 se muestra un esquema de una columna de destilación binaria típica (2 componentes en la mezcla). El flujo de alimentación entra en el plato  $i$  por medio de un conducto. El líquido empieza a deslizarse de platos superiores a inferiores dentro de la columna.



**Figura 2.7 Esquema de una columna de destilación de n platos, un condensador y un rehervidor.**

Esta a su vez contiene un flujo de vapor en contra de la dirección del líquido teniendo así una transferencia de materia dando como resultado la evaporación del componente más ligero y la condensación del componente más pesado. Esta transferencia se efectúa en cada plato, obteniendo así dos mezclas con diferentes puntos de ebullición en la parte inicial y final de la torre de enfriamiento. El flujo de vapor que atraviesa la torre de destilación es producido por el calentamiento de la mezcla que se encuentra en el plato del fondo (plato n) por medio de un intercambiador de calor (rehervidor). Este flujo llega al plato del tope (plato #1) pasando directamente por un condensador obteniendo la mezcla en forma líquida. Esta mezcla tendrá que tener menor punto de ebullición que la mezcla que salga en el último plato. A estas mezclas se les conoce como mezcla ligera (destilado) y mezcla pesada (residuo) respectivamente. Como se muestra en la figura 2.7 el condensado de los vapores pasa a un tambor de destilado o acumulador. Este depósito tiene como se observa 2 salidas. Una salida para extraer el destilado de vapor y otra para el destilado líquido. Si no existe la salida de vapor, entonces se

dice que el condensador es total. De la salida líquida una parte o la totalidad del líquido contenido en el acumulador se hacen retornar a la torre (reflujo) para así ayudar a corregir y aumentar la fracción molar de los productos que se extraen de la torre. Estos flujos serán controlados por válvulas o en su mayoría por dispositivos mecánicos manejados por un simple controlador, En la actualidad se han construido columnas de destilación de 35 cm hasta 103 metros de altura, éstas últimas llegan a alcanzar hasta 3 metros de diámetro. Las presiones regulares de trabajo alcanzan cifras que varían de 0.02 atm hasta 35 atm correspondientemente.

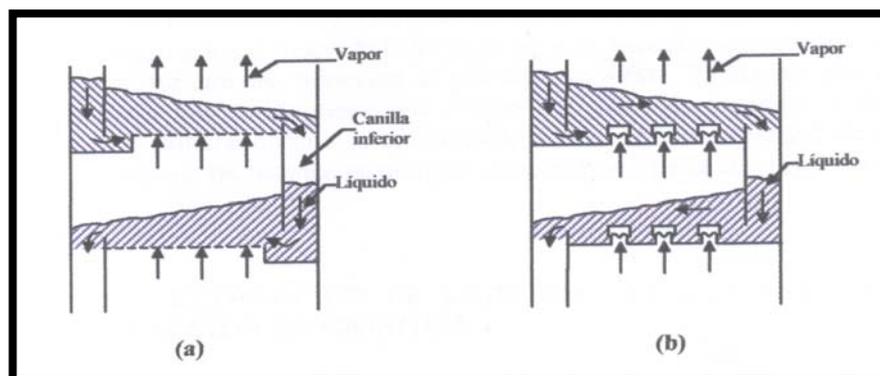
## 2.12 Torres De Platos

Entre los diversos tipos de platos se encuentran:

- ✓ **Platos perforados.** En este, el vapor burbujea hacia arriba por los hoyos sencillos del plato a través del líquido que fluye. Los hoyos tienen tamaño que fluctúan entre los 3 y los 12mm de diámetro, y es el de 5mm un tamaño común. El área de vapor de los hoyos varían entre el 5 y 15% del área del plato. El líquido se conserva sobre la superficie del plato, y no puede fluir de nuevo hacia abajo por los hoyos porque se lo impide la energía cinética del gas o vapor. La profundidad del líquido sobre el plato se mantiene por medio de un vertedero de salida con sobreflujo. El líquido de sobreflujo fluye por la canilla inferior hacia el siguiente plato, tal como se muestra en la figura 2.6. En absorción de gas y en la destilación de utiliza esencialmente el mismo tipo de platos perforados.
  
- ✓ **Platos de Válvulas.** Es una modificación del plato perforado que consiste en aberturas en el plato y una cubierta de válvulas con movimientos vertical para cada abertura, que proporciona un área abierta variable; está debe su variabilidad al flujo de vapor que inhibe la fuga del líquido por la abertura a bajas tasas de vapor. Por lo tanto, este tipo de platos opera a un

intervalo mayor de tasas de flujo que el plato perforado, con un costo solo un 20% mayor que el del plato perforado. En la actualidad, el plato de válvula se utiliza cada vez más.

- ✓ **Platos de Capuchones.** Tal como se muestra en la figura 2.8, el vapor o gas se eleva a través de las aberturas del plato hacia el interior de los capuchones. Después el gas fluye por las ranuras de la periferia de cada tapa y las burbujas fluyen hacia arriba por el líquido que fluye, tal como se muestra en la figura 2.8. se han usado por más de 100 años, pero desde el año de 1950 generalmente se han reemplazado por platos perforados o de válvulas, ya que su costo es casi el doble que el de los platos perforados.

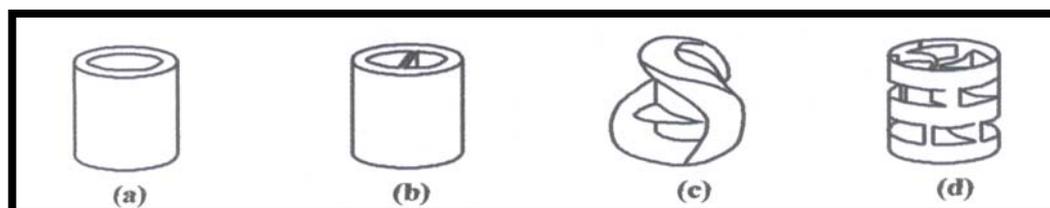


**Figura 2.8 Dispositivos para platos de contacto: (a) Detalle de una Torre de Platos perforados, (b) Detalle de una Torre de Platos de Capuchones.**

### 2.13 Torres Empacadas

Las torres empacadas se usan para el contacto continuo a contracorriente de un gas y un líquido en la absorción y también para el contacto de un vapor y un líquido en la destilación.

Se han desarrollado muchos tipos diferentes de rellenos para torres y hoy en día existen varias clases comunes. En la figura 2.9 se muestra los tipos de empaque más usuales, que se simplemente se introducen en la torre sin ningún orden. Estos empaques y otros rellenos comunes se pueden obtener comercialmente en tamaños de 3mm hasta unos 75mm. La mayoría de los empaques para torres están construidos con materiales inertes y económicos tales como arcillas, porcelanas o grafitos. La característica de un buen empaque es la de tener una gran proporción de espacios vacíos entre el orden del 60 y 31 90%.



**Figura 2.9** Empaques de Torres más usuales: (a) Anillo de Raschig, (b) Anillo de Lessing, (c) Sillas de Berl, (d) Anillo de Pall.

El relleno permite que volúmenes relativamente grandes del líquido pasen a contracorriente con respecto al gas que fluye a través de las aberturas, con caída de presión del gas relativamente bajas. También se usan rellenos de formas geométricas que pueden apilar y con tamaños aproximadamente 75mm. El relleno se aplica verticalmente, y se forman canales abiertos que corren de manera ininterrumpidas a través del lecho del empaque.

En una torre empacada con cierto tipo y tamaño de relleno y con un flujo conocido de líquido, existe un límite máximo para la velocidad del flujo de gas, llamado velocidad de inundación.

La torre no puede operar con una velocidad de gas superior a esta. En la operación real de una torre, la velocidad del gas se mantiene por debajo del punto

de inundación. Entonces, la velocidad gaseosa económica óptima se aproxima a la mitad de la velocidad de inundación. Esta velocidad depende de un balance económico entre el costo de la energía y los costos fijos del equipo.

## 2.14 Sistemas De Control

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado.

### 2.14.1 Clasificación

**Según su comportamiento, los sistemas de control se pueden clasificar en:**

- ✓ **Sistema de control de lazo abierto**: Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada, y da como resultado una señal de salida independiente. Estos sistemas se caracterizan por:
  - Sencillos y de fácil concepto.
  - Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
  - La salida no se compara con la entrada.
  - Afectado por la perturbaciones.
  - La precisión depende de la previa calibración del sistema.
  
- ✓ **Sistema de control de lazo cerrado**: Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Sus características son:
  - Complejos, pero amplios de parámetros.
  - La salida se compara con la entrada y la afecta para el control del sistema.

- Estos sistemas se caracterizan por su propiedad de retroalimentación.

#### 2.14.2 Características de un sistema de control

- ✓ **Señal de corriente de entrada:** Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- ✓ **Señal de corriente de salida:** Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
- ✓ **Variable Manipulada:** Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada.
- ✓ **Variable Controlada:** Es el elemento que se desea controlar.
- ✓ **Conversión:** Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
- ✓ **Variaciones externas:** Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
- ✓ **Fuente de energía:** Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
- ✓ **Retroalimentación:** La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables del sistema. Dependiendo de la acción

correctiva que tome el sistema, éste puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.

### **2.14.3 Instrumentación Asociada**

Según su función los instrumentos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ✓ Por la variable que controlan:
  - Instrumentos de Presión.
  - Instrumentos de Nivel.
  - Instrumentos de Flujo.
  - Instrumentos de Temperatura.
  - Instrumentos de Velocidad.
  - Instrumentos de pH.
  
- ✓ Por la energía que utilizan:
  - Instrumentos Mecánicos.
  - Instrumentos Neumáticos.
  - Instrumentos Hidráulicos.
  - Instrumentos Eléctricos/ Electrónicos.
  
- ✓ Por su función:
  - Instrumentos Indicadores.
  - Instrumentos Registradores.
  - Instrumentos Controladores.

## **CAPITULO III DESARROLLO**

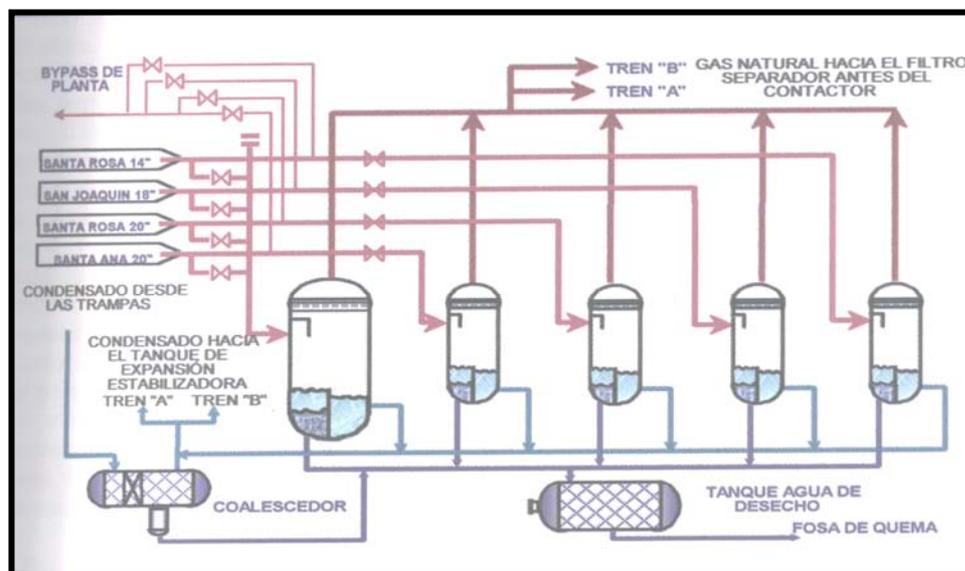
### **3.1 Descripción De La Extracción De Líquidos Del Gas Natural (Lgn) En La Planta De Extracción San Joaquín.**

La alimentación a la planta consiste de una combinación de cuatro líneas de gas natural provenientes de las áreas de Santa Rosa, San Joaquín, Santa Ana y el Toco. En las instalaciones de extracción se procesa un caudal nominal de 1000MMPCND. La planta está constituida por trenes idénticos, cada uno dimensionado para procesar el 50% de la alimentación, con instalaciones de entrada y áreas de servicios comunes. La planta es capaz de operar ya sea en la modalidad de rechazo de etano como en la modalidad de recuperación de etano.

#### **3.1.1 Instalaciones de Entrada**

El gas de entrada es recibido en los separadores de líquido ubicados fuera de los límites de la planta. A continuación el gas entra a flujo controlado a cinco depuradores en paralelo, como se muestra en la Figura 3.1, para separar cualquier líquido que se haya arrastrado desde los separadores de líquidos. Estos depuradores son: depurador de entrada a San Joaquín (línea de 18”), depurador de entrada a Santa Rosa (línea de 14”), depurador de entrada el Toco/Santa Ana (línea de 20”), depurador de entrada a Santa Rosa (línea de 20”); y el común que es la unión de todas las líneas; ellos operan a 985 PSIG y 110°F, y son separadores de tres fases, que permiten separar toda el agua libre contenida en los gases y drenarlas a través de las botas a un sistema abierto. El vapor que sale de estos depuradores se combinan en el cabezal común de 30” de diámetro interno (DI), y luego se divide para dirigirse a los dos trenes. El caudal que pasa por cada tren está determinado por la velocidad de los compresores de gas residual. El líquido separado pasa a través del coalescedor de condensado de entrada para extraer toda el agua, y luego se combinan con los líquidos (si es que existen) que

salen de los depuradores de entrada y se dividen antes de entrar a los dos trenes para ser estabilizados.



**Figura 3.1 Sistema de Separación del Gas de Entrada**

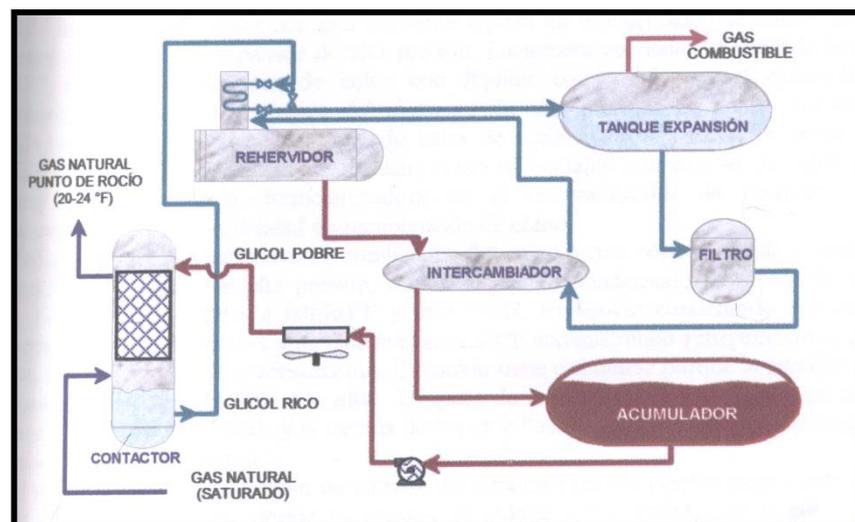
### 3.1.2 Deshidratación del Gas de Entrada con Trietilenglicol

Tal como se muestra en la Figura 3.2, el gas que sale de los depuradores de entrada a la planta tiene un caudal de 500 MMPCND por tren y se combina con una corriente de vapor de 3,5 (8,1) MMPCND que viene del depurador de descarga del compresor de tope de la estabilizadora. La corriente combinada pasa a través de los filtros/separadores de alta eficiencia (Filtros/separadores de Gas de Entrada) operando en paralelo a fin de extraer pequeñas partículas de líquidos y sólidos. A continuación el gas entra por el fondo del contactor TEG de alta temperatura, donde se deshidrata hasta un contenido de agua correspondiente a un punto de rocío de 26°F a 980 PSIG. El contactor TEG de alta temperatura (110°F) opera a 980 PSIG y contiene un relleno estructurado.

La solución de TEG pobre de 99,1% en peso de pureza, entra por el tope del contactor a razón de 131 (132) GPM, y fluye hacia abajo por la columna. La solución de TEG rica (alto contenido de agua) que sale del contactor se regenera

en un rehervidor a fuego directo a una temperatura de 375 °F a 400 °F. Además se inyecta un gas de despojo (“Striping Gas”) para reducir el punto de ebullición del TEG, lo cual puede utilizarse para lograr concentraciones más altas de TEG y obtener un punto de rocío más bajo en el gas.

Así mismo se provee una línea de desvío desde la salida del contactor de alta temperatura hasta el cabezal de descarga del gas residual, de tal manera que se pueda enviar gas deshidratado al gasoducto cuando la plata no se encuentre en operación. La presión del gasoducto debe reducirse de 15-25 PSIG por debajo de la presión de operación del contactor para permitir el flujo de gas hacia el gasoducto.



**Figura 3.2 Sistema de Deshidratación del Gas de Entrada con Trietilenglicol**

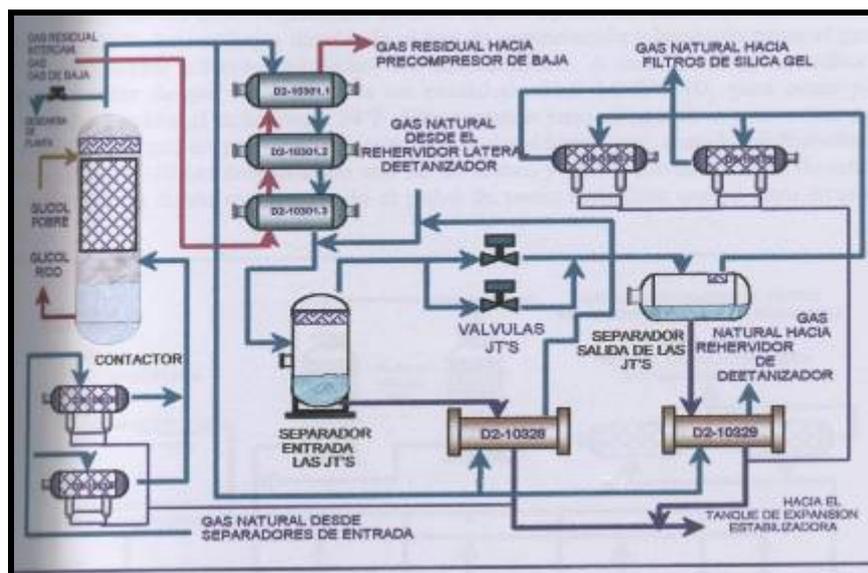
### **3.1.3 Enfriamiento del Gas de Entrada y Válvula J-T (Joule-Thomson) de Alta Presión**

El gas deshidratado que sale del contactor TEG se divide en cuatro corrientes que se enfrían hasta 64(46) °F en cuatro intercambiadores de calor que operan en paralelo, como se muestra en la Figura 3.3. Una corriente se enfría hasta 63(42) °F intercambiando calor con el gas residual frío en el intercambiador de gas caliente/gas de alta presión. Otra corriente se enfría hasta 64(44) °F intercambiando calor con una corriente líquida en el calentador de condensado del separador de entrada del expansor de alta presión. La tercera corriente se enfría hasta los 55(44) °F mediante intercambiador de calor con líquido condensado del separador de salida del expansor de alta presión. La cuarta corriente es enfriada hasta los 64(58) °F proporcionando calor al rehervidor lateral de la desetanizadora para la modalidad de rechazo de etano.

Todas las corrientes se vuelven a combinar y fluyen en forma conjunta hacia el separador de entrada a la válvula Joule-Thomson de alta presión, donde el líquido condensado se separa de la fase vapor. Este separador opera a 64(46) °F y 960 PSIG. El líquido condensado sale de este separador bajo control de nivel y se calienta hasta 90°F suministrando refrigeración al gas de entrada, según se mencionó anteriormente. El líquido debe calentarse porque la parafina puede disolverse mejor a temperaturas más altas. Después de este calentamiento, la presión de esta corriente se reduce a 410 PSIG, y la mezcla de vapor y líquido resultante se envía al tanque de alimentación a la estabilizadora.

El vapor que sale del separador de entrada pasa a través de la válvula J-T de alta presión, donde su presión se reduce a 760 PSIG, con la disminución de su temperatura hasta 51(33) °F. La corriente de dos fases que sale de la válvula J-T entra al separador de salida de alta presión. Este separador opera a 51(33) °F y 850 PSIG. El líquido que sale del separador se calienta hasta 85°F suministrando refrigeración al gas de entrada, según se ha mencionado anteriormente. A

continuación la corriente líquida entra al tanque de alimentación a la estabilizadora. El vapor que sale de la misma se dirige hacia la unidad de deshidratación con Tamices Moleculares.



**Figura 3.3 Sistema de Enfriamiento del Gas de Entrada y válvulas JT`S de alta presión**

### 3.1.4 Deshidratación con Tamices Moleculares

El gas que sale del separador de salida de la válvula J-T de alta presión pasa a través de dos filtros separadores de alta eficiencia a efecto de extraer pequeñas partículas de líquidos y sólidos. Después de filtrado, el gas pasa por dos filtros de Gel de Sílice, como se muestra en la figura 3.4. Estos dos lechos se han agregado al proceso como una medida de precaución a fin de extraer la parafina contenida en el gas. A continuación el gas fluye a través de un sistema de deshidratación donde el contenido de agua se reduce hasta menos de un 0,1 ppm en volumen. El sistema consiste de cuatro corrientes de adsorción, tres de ellas están en operación, mientras que la cuarta se está regenerando. El ciclo de secado de adsorción de cada lecho es de 24 horas y el de regeneración tarda 8 horas.

A efecto de regenerar el tamiz molecular, se utilizan 11 MMPCND (14,8 MMPCND como máximo) de gas residual seco proveniente del compresor de gas residual, y se calienta hasta 600°F en un horno de fuego directo. A continuación el gas fluye hacia arriba a través del lecho extrayendo el agua adsorbida. El gas caliente que sale del lecho se enfría hasta 120°F en el enfriador del gas regeneración. La mayor parte del agua extraída del lecho se condensa en el enfriador y se separa de la corriente gaseosa en el depurador de gas de regeneración. El gas frío que sale de este separador se envía hasta el sistema de gas combustible.

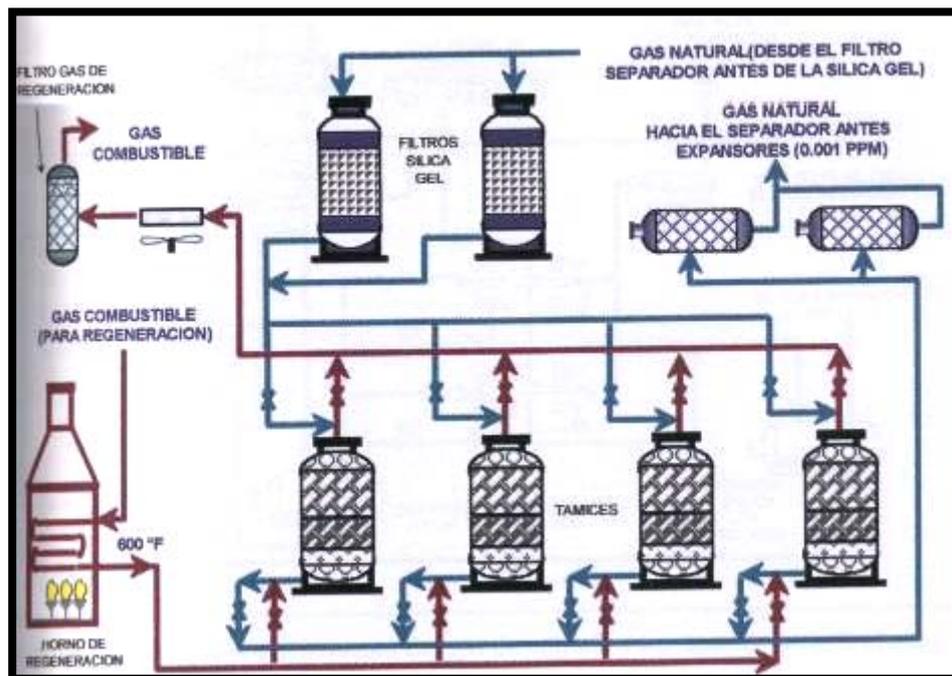
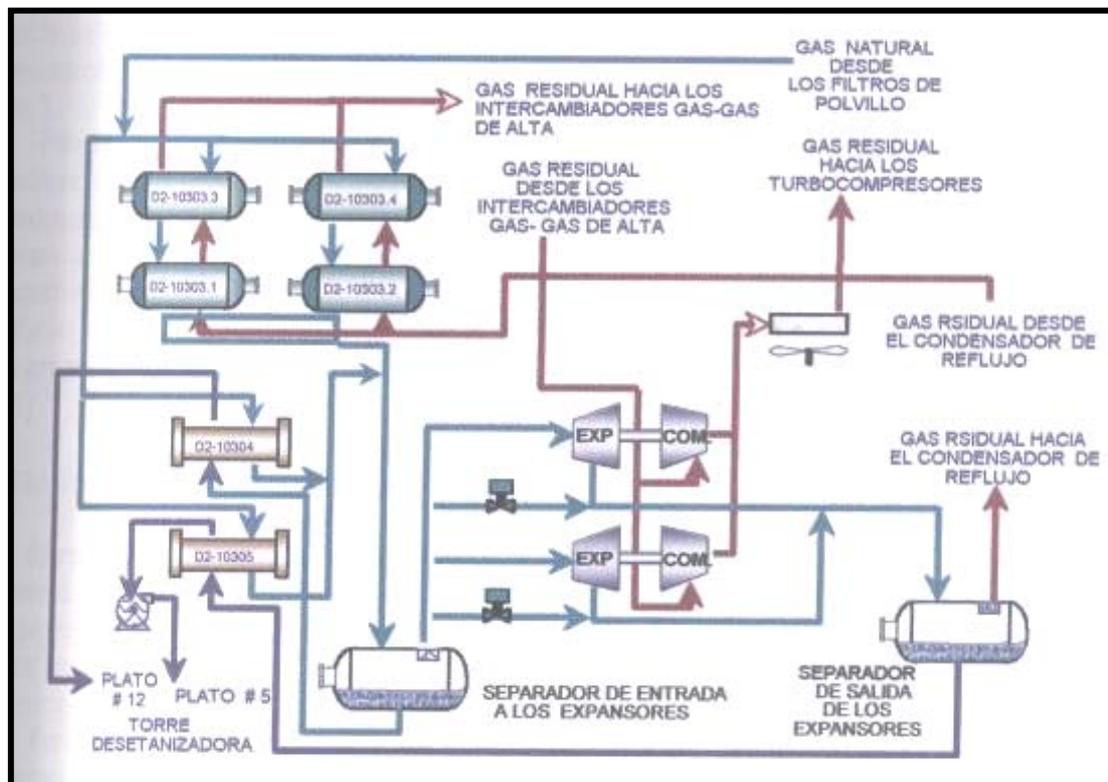


Figura 3.4 Sistema de Tamices Moleculares

### **3.1.5 Enfriamiento del Gas de Entrada y Expansores de Baja Presión**

Para la modalidad de rechazo de etano, el gas proveniente del área de deshidratación con tamices moleculares se enfría hasta  $-27^{\circ}\text{F}$  en un tren de intercambiadores de calor que operan en paralelo, como se muestra en la figura 3.5. Una corriente es enfriada a  $-16^{\circ}\text{F}$  mediante el intercambio de calor con el gas residual frío en el intercambiador de gas frío/gas de baja presión. La segunda corriente se enfría hasta  $-44^{\circ}\text{F}$  intercambiando calor con una corriente de líquido en el precalentador de alta presión de la alimentación de la desetanizadora. La tercera corriente es enfriada hasta  $-58^{\circ}\text{F}$  intercambiando calor con una corriente de líquido condensado que se separa de la fase de vapor en el separador de entrada del expansor de baja presión. Este separador opera a  $-29^{\circ}\text{F}$  y 800 PSIG. El líquido que sale del separador pasa por una válvula de control de nivel, donde su presión se reduce hasta la presión de operación de la desetanizadora de 190 PSIG. A continuación esta corriente se calienta hasta  $-70^{\circ}\text{F}$  suministrando refrigeración al gas deshidratado, tal como se mencionó anteriormente, y entra a la desetanizadora en su plato N° 12 a  $25^{\circ}\text{F}$ .



**Figura 3.5 Sistema de Enfriamiento del Gas de Entrada y expansores de baja presión**

### 3.1.6 Torre Desetanizadora

La desetanizadora opera a 200 PSIG y contiene 28 platos de válvulas. La columna tiene rehervidor lateral y un rehervidor de fondo. El calor para el rehervidor lateral se provee con una corriente parcial del gas de entrada, según se mencionó anteriormente. El calor para el rehervidor de fondo se provee con un gas residual proveniente de la descarga del compresor de gas residual. Como se muestra en la figura 2.6.

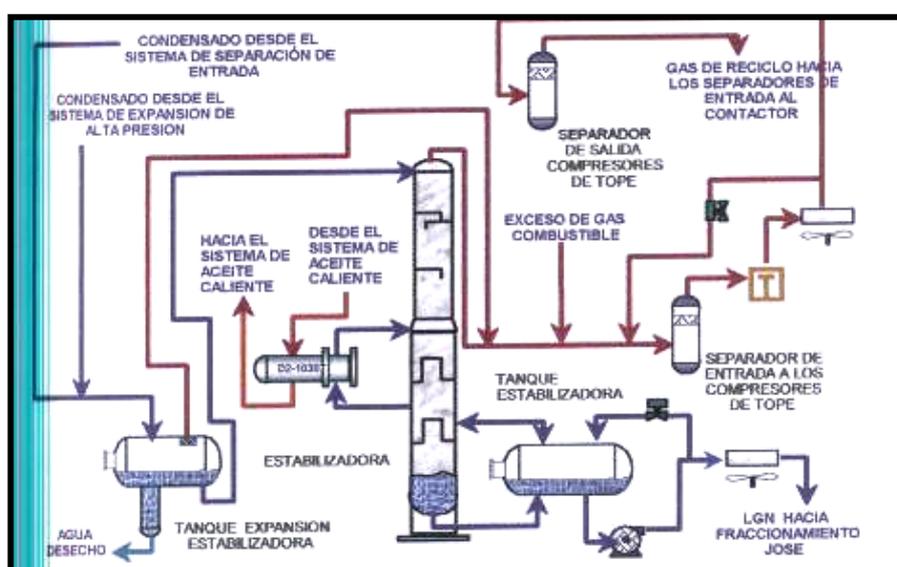
Para la modalidad de rechazo de etano, el reflujo necesario para la operación de la columna se obtiene con un condensador parcial. El vapor frío que sale del



del sistema. El vapor que sale de este tanque se envía al depurador de succión del compresor de tope de la estabilizadora, mientras que el líquido se alimenta al tope de la columna estabilizadora.

La estabilizadora opera a 389 PSIG y contiene 21 platos de válvulas. El calor para el rehervidor se provee de un sistema de aceite para calentamiento. Las temperaturas altas de operación de esta estabilizadora ayudarán a mantener la parafina (cera) disuelta en el condensado al mismo tiempo que permitirá extraer toda el agua que entra con la alimentación enviándola a la corriente de vapor del tope. No se dispone información sobre la cantidad o naturaleza de la posible cera, y por lo tanto se deberán utilizar datos de operación para evitar su separación. Toda el agua que entra se separará en el tope de la columna siempre y cuando la temperatura de tope se mantenga por encima de 65°F.

El fondo de la estabilizadora se provee un tanque pulmón (tanque de almacenamiento) con un tiempo de residencia de 30 minutos. El líquido acumulado en este tanque se bombea con las bombas de fondo de estabilizadora, y a continuación se enfría hasta 120 °F antes de mezclarse con LGN recuperado de la desetanizadora.



**Figura 3.7 Sistema de Estabilización y reciclo**

### **3.2 Principio De Operación De Una Torre Desetanizadora Dentro De Una Planta De Extracción De Los Líquidos Del Gas Natural.**

La esencia de la torre desetanizadora es similar a una torre de destilación, cuyo objetivo principal es separar los componentes pesados (LGN) del etano (componente liviano en mayor proporción).

En esta torre se introducen dos alimentaciones a condiciones de líquido sub-enfriado por el tope; una en el plato 5 a una temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{F}$  aproximadamente, proveniente del separador de alta presión a la entrada de los expansores, y la otra en el plato 12 a  $25\text{ }^{\circ}\text{F}$  aproximadamente, proveniente del separador de salida de baja presión de los expansores.

La torre opera a 195 psig en el tope y en el fondo a 200 psig. La zona de rectificación o enriquecimiento está comprendida entre los platos 1 y 12, siendo esta la sección más ancha de la torre; la zona de agotamiento está comprendida entre los platos 13 y 28, siendo esta la sección más delgada de la torre.

Esta diferencia de diámetros se debe a que las alimentaciones entran completamente líquidas y no requiere una profunda rectificación para evaporar el contenido de etano presente.

El líquido entra en la parte superior de la torre y fluye de forma descendente por gravedad a través de cada plato y de un conducto, al plato inferior. Los medios que permiten calentar el fondo de la torre y proporcionar la fase gas que hará evaporar el etano presente son, los rehervidores lateral y de fondo. En el caso del lateral, por medio de un plato de retiro de líquido parcial (plato 16), se extrae líquido de la torre e intercambia calor con los gases provenientes de la torre contactora de glicol, retornando a la torre desetanizadora en el plato 17 a una temperatura mayor y en dos fases. En el caso del rehervidor de fondo, éste le proporciona la mayor cantidad de energía a la torre realizando la misma función

del lateral, pero esta vez el plato de retiro es el 28, el retorno es el fondo de la torre y el medio de intercambio de calor es gas residual proveniente de la propia planta.

El gas pasa hacia arriba, a través de las válvulas en el plato; entonces burbujea a través del líquido y por la diferencia de temperatura de ambos fluidos ocurre lo que se llama rectificación, que no es más que la entrega mutua de energía entre ambos fluidos permitiendo que el vapor caliente evapore componentes livianos que trae el líquidos más frío y a su vez éste haga condensar los componentes pesados que pudieron evaporarse con los más livianos del vapor más caliente.

El efecto global es un contacto mutuo a contracorriente entre el gas y el líquido, aunque cada plato se caracteriza por el flujo transversal de los dos. Cada plato en la torre es una etapa, puesto que sobre el plato se ponen los fluidos en contacto íntimo, ocurre la difusión interfacial y los fluidos se separan.

El número de platos teóricos o etapas en el equilibrio en una columna o torre depende de lo complicado de la separación que se va a llevar a cabo y sólo está determinado por el balance de materia y la constante de equilibrio.

Los líquidos fríos que descienden desde el tope de la torre se unen con los calientes que retornan de los rehervidores y caen en el fondo de la torre, para luego almacenarse en el tanque pulmón de la torre con la finalidad de: ecualizar presiones en el fondo de la torre, retornar a la misma los vapores que se generar al enfriarse esos líquidos que se van almacenando y bombear los líquidos para combinarse con los provenientes de la estabilizadora y del otro tren y enviar a Jose.

Por el tope de la torre sale el gas rectificado frío y es pasado a un condensador con la finalidad de enfriarlos a temperaturas criogénicas (-117 °F) usando como medio refrigerante gas del separador de salida del expansor, y de

esta manera, condensar los componentes pesados que pudieron arrastrarse con el vapor en ascenso por la torre. Una vez condensado los componentes pesados (propano y algunas veces butano) son enviados a un tanque acumulador de reflujo para posteriormente ser bombeados de retorno a la torre en el plato 1 y devolverle a la misma la corriente líquida fría que complementa el principio de rectificación dentro de la torre. El gas que no condensa (el etano) sale del condensador de tope y se utiliza en el proceso de intercambio de calor para la extracción de los LGN en la planta y a su vez es enviado a compresión como gas residual.

**3.2.1 Parámetros y variables que están presentes en la operación de la torre desetanizadora.**

<b>Variables de proceso</b>	<b>Parámetros de control</b>
<b>Temperatura de la alimentación de entrada a la torre desetanizadora por el plato 5</b>	<b>-40 °F</b>
<b>Temperatura de la alimentación de entrada a la torre desetanizadora por el plato 12</b>	<b>25°F</b>
<b>Temperatura de reflujo proveniente del condensador de tope de la torre desetanizadora</b>	<b>-70 °F</b>
<b>Nivel de líquido en el acumulador de reflujo de la torre desetanizadora</b>	<b>2' – 8' que representan un 43.8% de su volumen total</b>
<b>Caudal mínimo que pasa por las bombas de reflujo de la torre desetanizadora</b>	<b>300 GPM</b>
<b>Temperatura del líquido a la salida del rehervidor lateral y fondo de la torre desetanizadora</b>	<b>67°F y 134°F</b>
<b>Relación etano/propano = <math>C_2/C_3</math> del producto de fondo de la torre desetanizadora</b>	<b>0.016</b>
<b>Nivel de líquido del tanque pulmón de fondo de la torre desetanizadora</b>	<b>4' – 9'' que representa un 54.8% de su volumen total</b>
<b>Presión de operación de la torre desetanizadora</b>	<b>195 psig de tope y 200 psig de fondo</b>
<b>Caudal de Alimentación de la Torre Desetanizadora por el plato N° 5</b>	<b>432,2 GPM</b>
<b>Caudal de Alimentación de la Torre Desetanizadora por el plato N° 12</b>	<b>1118 GPM</b>
<b>Caudal de Reflujo que entra a la Torre Desetanizadora</b>	<b>590 GPM</b>

Variables de procesos	Parámetros de control
Caudal de Líquidos del Gas Natural que debe Producir la Torre Desetanizadora	687 GPM

### 1.- Temperatura de la Alimentación a la torre en el plato 5

La temperatura de la alimentación por el plato # 5 de la Torre Desetanizadora es -40 °F; la cual es controlada por un intercambiador de calor liquido-gas ubicado a la salida de la bomba, esta es controlada por un controlador de temperatura (TC) que manda una señal a la válvula permitiendo que se abra o cierre pasando más o menos gas de intercambio y así obtener la temperatura deseada.

### 2.- Temperatura de la Alimentación a la torre en el plato 12

La temperatura de la alimentación por el plato # 12 de la Torre Desetanizadora es 25 °F; la cual es controlada por un intercambiador de calor liquido-gas ubicado a la salida del separador de alta presión de la entrada de los turbo expansores, esta es controlada y registrada por un controlador (TRC) que manda una señal a la válvula permitiendo que se abra o cierre pasando mas o menos gas de intercambio y así obtener la temperatura deseada.

### 3. Temperatura de reflujo proveniente del condensador de tope de la torre desetanizadora.

Por el tope de la torre desetanizadora sale etano (gas liviano) con trazas de componentes pesados (propano y algunas veces butanos) a una temperatura de -45°F, los cuales pueden ser recuperados mediante la rectificación con el reflujo a

la torre. Este gas es pasado por el condensador de tope de la desetanizadora, en el cual se le baja la temperatura hasta  $-117^{\circ}\text{F}$  y posteriormente enviado al tanque acumulador, cuya temperatura de operación es  $-70^{\circ}\text{F}$ , para elevar este parámetro (desde  $-117$  a  $-70^{\circ}\text{F}$ ) se emplea una válvula de control de temperatura (TV) que desvía parte del gas que sale del tope de la torre desetanizadora antes de entrar al condensador de tope, y lo circula alrededor del mismo hasta combinarlo con la línea de salida del líquido del condensador, la mezcla va al acumulador de reflujo y es recirculado al plato 1 (tope) de la torre desetanizadora.

Si la temperatura del reflujo es muy baja a la entrada de la torre desetanizadora esto trae como consecuencia que el etano ( $\text{C}_2$ ) condense al fondo de la torre y se tendría un producto de fondo fuera de especificación; es decir, con alta relación etano/propano ( $\text{C}_2/\text{C}_3$ ) no deseado.

Si la temperatura del reflujo es muy alta a la entrada de la torre desetanizadora, trae como consecuencia que el propano y los butanos líquidos contenidos en los platos se evaporen, ya que el reflujo entraría en forma de vapor también (no como líquido) saliendo estos por el tope de la torre desetanizadora y no se realice una recuperación térmica para la rectificación.

#### **4. Nivel de líquido en el acumulador de reflujo de la torre desetanizadora.**

La mezcla del líquido condensado con el gas de tope, provenientes del condensador de tope de la torre desetanizadora, entra en el tanque acumulador de reflujo del desetanizador donde se recolectan los líquidos, en el cual, se controlan sus niveles de líquido (LC) a  $2' - 8''$  lo que se traduce al 43.8% de su nivel total, necesarios para que las bombas de reflujo puedan recircular la cantidad de fluido requerido por el tope de la torre desetanizadora; donde los niveles que se controlan son:

Alto nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LAH), bajo nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LAL), excesivamente alto nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LSDH) y excesivo bajo nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LSDL).

Si el nivel es excesivamente bajo entre 1'-0" (LSDL) en el acumulador de reflujo del desetanizador traería consecuencias como: parada de las bombas de reflujo del desetanizador. Controlándose de la siguiente manera: aumentando el caudal de gas que pasa por el condensador de tope, cerrando la válvula impidiendo el desvío del gas por el by-pass, dando como resultado un aumento del líquido en el tanque.

Si el nivel es excesivamente alto 4'-7" (LSDH) en el acumulador de reflujo del desetanizador traería consecuencias como: parada de los expansores de baja presión, controlándose de la siguiente manera: desviando el gas del condensadora de tope por el by-pass evitando que siga condensándose el líquido, disminuyendo así el nivel del tanque.

En caso de nivel alto o bajo de los líquidos en el acumulador de reflujo del desetanizador se activa una alarma en la sala de control, cabe destacar que todo el sistema operativo esta automatizado.

#### **5. Caudal mínimo que pasa por las bombas de reflujo de la torre desetanizadora.**

La corriente de líquido que sale del tanque acumulador de reflujo de la torre desetanizadora entra a las bombas de reflujo del desetanizador, el cual es controlado por un BY-PASS de caudal mínimo (FV) a 300 gpm provenientes de dichas bombas de reflujo en dirección hacia el acumulador, que se provee para encender las bombas y éstas trabajen con el caudal necesario para hacer una mejor rectificación de los productos de tope que salen de la torre desetanizadora, cabe

destacar que cuando las bombas están operando el BY-PASS de caudal mínimo se encuentra cerrado.

#### **6. Temperatura del líquido a la salida del rehervidor lateral y fondo de la torre desetanizadora.**

La torre desetanizadora presenta 28 platos o bandejas de válvulas de doble paso en la que se encuentran dos bandejas de retiro de líquido las cuales son las bandejas 16 y 28 de dicha torre.

De la bandeja 16 de la torre desetanizadora sale una corriente de líquido a una temperatura de 60°F y se dirige hacia el rehervidor lateral permitiendo que la temperatura del líquido aumente a 67°F; la cual es controlada por una válvula (TV) que regula el gas de intercambio que pasa por el lado de tubo del rehervidor lateral, de la desetanizadora logrando la temperatura deseada en el fluido que luego es regresado a la torre desetanizadora por la bandeja 17.

De la bandeja 28 de la torre desetanizadora sale una corriente de líquido a una temperatura de 121°F y se dirige hacia el rehervidor de fondo de la desetanizadora, permitiendo que la temperatura del líquido aumente a 134°F; la cual es controlada por dos válvulas de control (TV), que regulan el caudal de gas residual de intercambio a través del lado del tubo del rehervidor de fondo de la torre desetanizadora, logrando así la temperatura deseada en el fluido, que luego es regresado a la torre en la parte inferior de la columna por debajo de la bandeja 28, permitiendo que el etano que cae hacia el fondo de la torre se separe del líquido y asciendan al tope de la torre.

### **7. Relación etano/propano ( $C_2/C_3$ ) del producto de fondo de la torre desetanizadora.**

El líquido que sale del fondo de la torre desetanizadora es controlado por un cromatógrafo (AC) para que la relación (etano /propano) sea igual o menor a 0.016; esto es para garantizar que el producto de fondo de la torre contenga la cantidad mínima de etano permitida.

Si la relación  $C_2/C_3$  es muy alta esto quiere decir que en el fondo hay mucha cantidad de etano, dando como resultado un producto de fondo fuera de especificaciones.

Si la relación  $C_2/C_3$  es muy baja esto no afecta al producto de fondo de la torre desetanizadora ya que a menor valor se obtiene un mejor producto de fondo.

### **8. Nivel de líquido del tanque pulmón de fondo de la torre desetanizadora.**

Los líquidos que caen en el fondo de la torre desetanizadora son llevados al tanque pulmón de fondo de la misma, en el cual se ecualizan la presión del tanque con la del fondo de dicha torre. El tanque pulmón del desetanizador está dimensionado para proporcionar aproximadamente 15 minutos de tiempo de residencia y un nivel de 4'-9'' (LC), que representa el 54.8% del nivel total para que las bombas de fondo del desetanizador puedan tener una mejor operación, el control de nivel envía una señal a la válvula que se encuentra la salida del intercambiador gas-líquido.

Alto nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LAH), bajo nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LAL), excesivamente alto nivel de líquido en

el acumulador de reflujo (LSDH) y excesivo bajo nivel de líquido en el acumulador de reflujo (LSDL).

Si el nivel es excesivamente bajo entre 1'-6" (LSDL) en el tanque pulmón de fondo del desatanizador traería como consecuencia parada de las bombas de fondo del desatanizador. Controlándose de la siguiente manera: se cierra la válvula que se encuentra a la salida del intercambiador gas-líquido, donde en la tubería se presurizada línea de flujo, luego se abre la válvula que se encuentra a la salida de la bombas de fondo devolviendo el líquido al tanque pulmón y de esta incrementa su nivel.

Si el nivel es excesivamente alto 4'-7" (LSDH) en el acumulador de reflujo de el desatanizador traería consecuencias como: parada de los expansores de baja presión, controlándose de la siguiente manera: desviando el gas del condensadora de tope por el by-pass evitando que siga condensándose el líquido, disminuyendo así el nivel del tanque y el nivel de líquido en la torre desatanizadora si es muy bajo se controla disminuyendo la corriente de gas residual en el rehervidor de fondo por medio de una válvula que tiene un controlador de fluido (fc) y a su vez controlando la temperatura en el plato 24 para mantener el perfil de temperatura de la torre.

El producto líquido que sale a 134°F es bombeado y pasado por un sistema de enfriamiento, que divide la corriente en dos para mejor pérdida de temperatura, una división es pasada por enfriadores de aire y la otra por un intercambiador de calor donde su temperatura de salida es controlada por una válvula (TC), que regula el paso de gas residual de intercambio para que se logre la temperatura deseada de 120°F, y así unirse con el líquido que viene de la torre estabilizadora de condensado y los líquidos del otro tren y enviarlos por el poliducto vía JOSE.

## **9. Presión de operación de la torre desatanizadora.**

El control de la presión de operación de toda la columna de la torre desetanizadora es de suma importancia ya que, una variación de los valores permitidos (197 psig en el tope y 200 psig en el fondo), afectaría al proceso de rectificación y recobro de líquidos del gas natural.

La presión de operación es una variable de control indirecta, es decir, la torre no posee controladores que la regulen, esto se hace mediante los flujos de entrada y salida de la torre, bien sea de la alimentación como en el reflujo que son bombeados, lo que se monitorea es el cabezal respectivo de cada bomba y la salida de los tanques mediante válvulas (LC) ,de modo que la diferencia entre la presión interna y la de entrada no sea tan grande para evitar una separación flash dentro de la torre.

Las presiones de operación no deben exceder la presión crítica del producto, la columna deberá operar por debajo de esta presión a fin de posibilitar la coexistencia de las fases líquido-vapor que permitan efectuar la separación deseada.

#### **10. Caudal de reflujo a la entrada de la torre desetanizadora.**

La torre desetanizadora está diseñada para operar con un caudal de entrada de reflujo fijada. El cual permite tener una mejor rectificación de los productos obtenidos por dicha torre.

Este caudal debe ser 590 GPM o más cercano a este y es regulado por un controlador de flujo (FC), el cual envía una señal a la válvula, ubicada en la línea de salida del fluido de la bomba de reflujo del desetanizador, y evitar un aumento o disminución del perfil de temperatura de la torre desetanizadora, trayendo como consecuencia una mala rectificación de los productos que salen por el tope y fondo de la torre.

Una vez controlado este parámetro se tendrá como resultado un líquido del gas natural por el fondo de dicha torre, que cumple con todas las especificaciones requeridas por el cliente.

#### **11. Caudal de alimentación de la torre desetanizadora por el plato número 5 de la misma.**

El caudal que debe entrar como alimentación de la torre desetanizadora por el plato número 5 es de 432,2 gpm; el cual proviene del separador de baja presión a la salida del turbo expansor, este líquido es bombeado y pasado a través del intercambiador de baja presión para luego ser enviado a la torre; este caudal se controla mediante el nivel de líquido del separador, por medio de una válvula (LC) ubicada a salida de la bomba, la cual indica mediante una señal cuando el nivel es muy alto o muy bajo, si esto ocurre, se la aumenta o se les disminuye la carga de gas a los expansores de baja presión.

#### **12. Caudal de alimentación de la torre desetanizadora por el plato número 12 de la misma.**

El caudal que debe entrar como alimentación a la torre desetanizadora por el plato número 12 es 1118 gpm; proviene del separador de alta presión a la entrada del turbo expansor, este caudal se controla por una válvula de control de nivel (LC) que a su vez le reduce la presión de 800 psig hasta 190 psig a la cual opera la torre desetanizadora, por medio de una señal que indica si el nivel esta muy alto o muy bajo; si esto ocurre se le debe aumentar o disminuir la carga de gas de intercambio al intercambiador gas-gas ubicado a la salida de los tamices moleculares.

#### **13. Caudal de liquido del gas natural que debe salir de la torre desetanizadora.**

Los líquidos del gas natural que deben salir del fondo de la torre desetanizadora tienen que cumplir con todas las especificaciones requeridas por el cliente, una de estas es el caudal de líquido del gas natural enviado por el poliducto vía Jose.

El caudal debe ser de 687 gpm o muy cercano a este; el cual no es controlado directamente por ningún controlador. El líquido pasa por un intercambiador de calor donde se le controla la temperatura de 134 F a 120 F por una válvula que impide el paso de Gas que viene del contactor de TEG, una vez controlada la temperatura, se mezcla el líquido proveniente de la Desetanizadora con el de la estabilizadora de líquido (84 gpm) para ser bombeado aproximadamente 771 gpm de Líquido del Gas natural de cada tren.

### **3.3 Problemas Operacionales Más Comunes En La Torre Desetanizadora Y Posibles Soluciones.**

**Presurización de la torre:** Es producida por dos razones muy bien definidas: La primera es que la alimentación que entra por el plato número 12 esté a condiciones de presión muy por encima de lo que requiere la torre, es decir, que la válvula que controla el nivel de líquido en el tanque separador a la entrada de los turbo expansores, no está estrangulando el líquido que pasa a través de ella y además al pasar al intercambiador se evapora parcialmente llegando a la torre como una mezcla bifásica, en vez de llegar como líquido sub-enfriado. Este aumento de presión en la torre afecta la entrada de la alimentación en el plato 5, ya que ésta proviene del separador de salida de los expansores de baja presión la cual, a pesar del cabezal de la bomba que la envía a la torre no lograría vencer la fuerza que ejerce la presión interna con respecto a la presión que trae la alimentación y simplemente no entraría a la torre.

Como posible solución a este efecto sería, cerrar parcialmente la válvula para que no envíe más líquido al intercambiador y luego a la torre y de esta manera la presión cae al igual que la temperatura sin que se evapore el líquido.

La segunda razón por la cual ocurre la presurización de la torre es que se dañe el compresor de gas residual, ya que produciría un efecto en cascada desde la torre hacia los equipos ubicados antes de ella, es decir, por una parte los gases que salen del tanque acumulador de reflujo se acumularían en el mismo, devolviendo a la torre mezcla bifásica dañando las bombas de reflujo, además de la no existencia de rectificación dentro de la torre y el incremento de presión dentro de la misma; por otra parte, el gas residual que sale de los compresores se acumularía dentro de estos afectando su potencia y por consiguiente el funcionamiento del expansor asociados a ellos, trayendo como consecuencia menos producción de líquido que va al separador de baja presión y a su vez alimenta a la torre en el plato número 5.

Como posible solución para este caso es reemplazar el compresor, mientras esto se lleva a cabo, se debe bajar la carga a los expansores y a su vez se debe disminuir la cantidad de líquido que va de alimentación al plato 12, de esta manera la cantidad de vapor que sale por el tope de la torre será menor aunque esto afecte sobremanera la rectificación de los líquidos del gas natural, pero esto no sería por tiempo prolongado ya que, a parte de las pérdidas que trae como consecuencia el reemplazo del compresor dañado, esto debe ser llevado a cabo de manera rápida y continua hasta resolver el problema, aunado a esto no todas las medidas deben ser llevadas a cabo al mismo tiempo sino una a la vez y observar los resultados.

**Relación etano-propano ( $C_2/C_3$ ):** Al igual que los problemas de presurización, aquí también se pueden destacar dos razones muy definidas por las cuales la relación  $C_2/C_3$  pueda estar fuera de especificación en el fondo de la torre. Uno de esos problemas es: que por el tope salga mucha cantidad de

propano, esto se debe a que se está manejando poco líquido dentro de la torre, provocando que el vapor proveniente de los rehervidores evapore mayores cantidades de propano y butanos hacia el tope de la torre, quedando el fondo de la misma con menor cantidad de propano; la otra razón es que por el fondo salga mucha cantidad de etano, esto indica que se está manejando mucho líquido dentro de la torre o que los rehervidores lateral y de fondo no están suministrando la suficiente energía para evaporar el etano y este cae al fondo de la torre con los pesados, trayendo como consecuencia una relación alta, igual que en el caso anterior.

Como posible solución, para el primer caso es aumentar los flujos tanto de alimentación como de reflujo para evitar pobreza de líquido dentro de la torre y monitorearlos constantemente, para que en el momento en que la situación se normalice llevarlos de nuevo a sus valores especificados, eso implica incrementar un poco la carga a los expansores, así como también incrementar el gas de intercambio en el intercambiador de calor que está ubicado antes del separador de alta y así producir más líquido. En el caso de los rehervidores, se le debe aumentar el flujo de gas utilizado para el intercambio de calor y de esta manera calentar más los líquidos que se extraen de la torre, para luego ser retornados a rectificar. Cabe destacar que algunas veces cuando el producto no sale bajo especificación y las variables están bien controladas, el problema puede estar dentro de la torre, es decir que es posible un daño mecánico por caída de platos y por ello no ocurrió la transferencia de masa entre los líquidos y el vapor, es decir no se cumplió el tiempo de residencia o de contacto íntimo necesario.

**Inundación de la torre:** este efecto es provocado por el exceso de líquidos que se manejan dentro de la torre. Cada plato tiene capacidad de manejar cierta cantidad de líquido y al rebasarlo, pasa a un rebosadero y el líquido se dirige al plato inferior mediante bajantes, este nivel de líquido que puede manejar cada plato se debe a que el vapor pueda penetrar a través de él para rectificarlo.

Si el nivel de líquido es muy alto a consecuencia de alto reflujo y altos flujos de alimentación, el vapor no podrá rectificar el líquido pasando a través de las válvulas del plato, no se producirá el burbujeo para la transferencia de masa y todo lo que se va a manejar en la torre serán líquidos, y aunque haya zonas donde el nivel de líquido sea menos alto, el gas penetra ocurriendo lloriqueo (gotas de líquido que caen por las válvulas cuando el gas las levanta), y a su vez contacto líquido-vapor localizado.

La posible solución es disminuir los flujos de entrada a la torre, bajándole carga a los expansores y cerrando poco a poco las válvulas de control de flujos al tanque acumulador de reflujo y al separador que alimenta el plato 12 de la torre, en lo que la situación se normalice, se lleva el sistema de nuevo a sus especificaciones de flujo.

### **3.4 Riesgos Operacionales Y Sistemas De Seguridad Que Se Han Diseñado Para Controlarlos En La Torre Desetanizadora.**

#### **✓ Daño Mecánico: Platos Caídos.**

Como expuesto anteriormente en los problemas operacionales al dañarse el compresor de gas residual, la presión que retorna a la torre es tan alta que produce una fuerza de empuje descendente que provoca la ruptura o desprendimiento de los platos o bandejas dispuesto dentro de la torre y dañando por completo el proceso y extracción de los líquidos del gas natural observados en el vapor de reflujo del etano-propano.

A fin de evitar esta daño grave se le realiza mantenimiento preventivo a las válvulas que operan a altas presione o que encargan de controlar los fluidos que se envían a la torre.

#### **✓ Pérdida de la relación $C_2/C_3$ .**

El parámetro de control que determina la rentabilidad o el fracaso de la extracción del LGN es la relación  $C_2/C_3$ , ya que además de cuidar el mantenimiento y el buen funcionamiento de la torre desetanizadora y sus equipos asociados, también hay que velar que el producto sea enviado dentro de especificación marcada o fijada por el cliente que lo va a recibir. Si se le envía mucha cantidad de etano junto con los líquidos a la planta de fraccionamiento JOSE, cuando este sea almacenado en un tanque refrigerado lo ara en fase gas, provocando la explosión inmediata de dicho tanque y provocaría un estado de emergencia tal que toda la planta de JOSE podría volar de la misma forma. Para evitar esto se deben manejar de manera exhaustiva todas las variables de operación y parámetros fijados.

✓ **Pérdida de los sellos hidráulicos de las bombas:**

Cada bomba esta diseñada para operar con cierto gpm de líquido y enviarlos a la torre o a los equipos a su alrededor, esto es lo que se llama sello hidráulico, lo cual debe garantizar el buen funcionamiento del objetivo final a realizar. Si esta condición normal de las bombas no se cumple sino que esta por encima o muy por debajo se producirán perturbaciones no deseadas en el sistema y seria el punto de inicio de algún otro riesgo o problema operacional, como por ejemplo fuga y fuego en el fondo de la torre, ya que al perderse el sello hidráulico de la bomba, puede ocurrir derrame o escape de gas, lo cual se convierte en un peligro latente para el ambiente y para los seres humanos, ya que cualquier chispa o exposición de algún otro agente ocasiona incendio. Para evitar esto, los tanques están provistos de detectores de fuga de gas y de llama, que a la mínima emisión o al producirse la llama envía una señal a la sala de control y para ello se le debe dar mantenimiento preventivo a las bombas y cuidar que operen a su potencia permitida.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES**

1. Los sistemas de control de las variables de procesos presentes en la Torre Desetanizadora son de suma importancia ya que permiten una mejor calidad en la producción de líquidos del Gas Natural.
2. La deshidratación que sufre el gas de interés antes de llegar a la zona de expansión, evita la formación de hidratos en el proceso que puede afectar el funcionamiento adecuado de la planta.
3. El pre-enfriamiento que sufre el gas de entrada antes de llegar a la zona de expansión ayuda a la recuperación de líquido.
4. El aumento de temperatura que sufre la alimentación de entrada a la torre por los platos N°5 y 12 es para evitar la sobre-condensación de los componentes livianos al fondo de la torre.
5. El rehervidor lateral y de fondo ayudan a mantener el perfil de temperatura en la Torre Desetanizadora.

## RECOMENDACIONES

1. Controlar los caudales de la Alimentación en la Torre Desetanzadora.
2. Mantener los Niveles de líquido adecuados tanto en el Tanque de Reflujo como en el Tanque Pulmón para evitar problemas de parada de las bombas.
3. Mantener el perfil de Temperatura de la Torre para evitar problemas con la relación C2/C3 del producto de fondo de la Torre Desetanzadora.
4. Prestar atención a cualquier alarma en la sala de control para evitar problemas mayores como excesivo nivel alto o bajo de líquido en los Tanques Pulmón y de Reflujo de la Torre Desetanzadora.
5. Evitar parada de los compresores de gas residual y así prevenir presurización del tope de la Torre Desetanzadora.
6. Asegurar una buena deshidratación del gas de entrada a la planta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Paruta, Emilio. “Establecimiento de las condiciones de proceso para el máximo recobro de etano en la planta de Extracción San Joaquín”. Tesis de Grado (2001).
2. Treybal, Robert. “Operaciones de Transferencia de Masa”. Segunda Edición. México (1997).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y**

**ASCENSO:**

TÍTULO	EVALUACIÓN DE LA FILOSOFIA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA TORRE DESETANIZADORA
SUBTÍTULO	

**AUTOR (ES):**

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
APAEZ ROJAS. ROSANGELA.	CVLAC:13.052.067 E MAIL:rosangelaapaez@gmail.com
LIRA SILVA. MARIANGELA.	CVLAC:15.192.113 E MAIL:lirasma@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:** DESTILACION, OPERACIÓN, SISTEMA DE CONTROL, DESETANIZADORA

---

---

---

---

---

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y**

### **ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERIA DE PETROLEO

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

Para llevar a cabo la evaluación de la filosofía de operación del sistema de control de una torre desetanizadora, se realizó una investigación bibliográfica y de campo en la planta de extracción San Joaquín, ubicada en Anaco estado Anzoátegui. Esto permitió describir el proceso de extracción de los líquidos del gas natural, explicar el funcionamiento de una torre de destilación, definir el principio de operación de la torre desetanizadora dentro de la planta de extracción, fijar los parámetros presentes en la operación de la torre desetanizadora, establecer sus variables de control y especificar las condiciones normales, máximas y mínimas de estas en la torre desetanizadora; identificar los problemas operacionales más comunes en dichas torres y sus posibles soluciones, así como también indicar los riesgos operacionales y los sistemas de seguridad que se han diseñado para controlarlos.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
ISVELIA C. AVENDAÑO P	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
JOSE J, RONDON G.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
JOSE G. FARÍÑAS G.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
MARIO F. BRIONES C.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2007	08	03
AÑO	MES	DÍA

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y**

**ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. TORRE DESETANIZADORA.DOC	APLICACIÓN/MS WORD

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G  
H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r  
s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO: INGENIERO PETRÓLEO

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO: PRE-GRADO

ÁREA DE ESTUDIO: DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD DE ORIENTE- NUCLEO DE ANZOATEGUI

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

DE ACUERDO AL **ARTÍCULO 44** DEL REGLAMENTO DE TRABAJO  
DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE: \_\_\_\_\_

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE  
LA **UNIVERSIDAD DE ORIENTE** Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A  
OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO  
RESPECTIVO, QUIEN LE PARTICIPARÁ AL  
CONSEJO \_\_\_\_\_  
UNIVERSITARIO” \_\_\_\_\_

**Apaez R., Rosangela.**

**Lira Silva, Mariangela**

**Jurado**

**Jurado**

**Ing. José J. Rondón G.**

**Ing. José G. Fariñas G.**

**Asesor**

**Jurado**

**Ing. Isvelia C. Avendaño P.**

**Ing. Mario C. Briones P.**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**

---