

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO
AREAS DE GAS**



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS APLICADAS A UNA
TORRE DESPROPANIZADORA”**

PRESENTADO POR:

**FUENTES ALFONZO, ERICA JOSE
MORENO CASTILLO, ARGENIS JOSE**

**Monografía presentada ante la universidad de oriente como requisito
parcial para optar al título de:
INGENIERO QUIMICO**

PUERTO LA CRUZ ABRIL DE 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO
AREAS DE GAS**



**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS APLICADAS A UNA
TORRE DESPROPANIZADORA**

ASESOR ACADEMICO

Ing. Quím. ISVELIA AVENDAÑO (M.Sc)

PUERTO LA CRUZ, ABRIL DEL 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

Al Dios de Abraham, todo poderoso, quien es el dueño de la verdad y la sabiduría.

A mi Abuela **Maximina Sojo** a quien la providencia de la vida le signo el don de la constancia, perseverancia y dignidad.

A mi Abuelo **Julio Rojas**, porque reivindicar su esfuerzo, dedicación y abnegación ante las adversidades de la vida es un gesto honorable para sus descendientes.

A mi Mama Elsa Castillo y Papa Luis Beltrán Moreno, ellos representan las fuentes de inspiración para llenarme de fuerzas, amor y confianza para alcanzar mis sueños que al fin y al cavo son suyos también. Y por enseñarme el camino que recorren y transitan los que quieren dejar huellas valiosas en la vida.

A mis hermanos **Yurmaris, Dutzy, José, Robinson, Jesica y Elsa** quienes mostraron el carisma y afecto necesario en los momentos en que las dificultades parecían sobrepasar los medios. Su apoyo incondicional para lograr mis metas es un recurso invaluable.

A mí compañera sentimental **karely** por contagiarme de su Amor y dulzura característica, y llenarme de energía en los momentos difíciles. Su apoyo y compañía representan un regalo Divino.

Argenis Moreno

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a dios por haberme dado el don de vivir, llenarme de fuerzas siempre que me sentí débil y ser mi compañero fiel.

A mi padre, Hernán Fuentes, por haberme formado, por la confianza que siempre tuvo en mi, siempre estuvo seguro de que iba a lograr esta meta y eso me lleno de buenas energías y fortalezas en todo momento, sé que serías una de las personas en sentirte feliz de este logro, y aunque no estés físicamente conmigo, eres la primera persona a quien le dedico mi título. Te amo papa.

A mi madre, Janet Alfonzo, por la dedicación y responsabilidad que siempre ha tenido conmigo, por siempre estar al pendiente de mí, y darme su apoyo todas las veces que lo he necesitado. Eres una de mis mayores motivaciones madre, te amo mucho.

A mis hermanos Joanett, Hernán y Ana María Fuentes por brindarme su apoyo y estar conmigo en los momentos que más he necesitado de ustedes, por supuesto son una gran motivación en mi vida. Los quiero mucho hermanos.

A todos mis abuelos, especialmente a Antonia Codallo, por ser como mi segunda madre y estar siempre cerca de mí, te quiero mucho abuela, deseo que dios te llene de mucha vida.

A mi novio, Odin Paraqueimo, por ser mi amigo y compañero incondicional durante casi toda mi carrera, con quien compartí incontables momentos en mi casa de estudios, te puedo considerar como mi mejor maestro, te amo mucho.

Erica Fuentes

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, Creador del cielo y de la tierra, quien me a dado aliento de vida para existir, fe para creer en lo que se sueña, constancia ante las adversidades y fuerzas de voluntad para seguir mi recorrido en la vida.

A la **Universidad de Oriente** por abrirme las puertas y permitirme formarme como un profesional integral. De estudiar en la casa mas alta será un digno recuerdo.

A mis papas **Luis Beltrán Moreno** y **Elsa castillo** por haberme ensañado luchar por lo que se quiere y haberme brindado su apoyo incondicional durante toda mi carrera. Sin ellos no hubiera podido ser realidad mis objetivos. Gracias padre, gracias madre por amarme tanto.

A los profesores de la Áreas De Grado quienes sumaron todos sus esfuerzos físico y mental para compartir con nosotros todo su aprendizaje y experiencias profesional. Y muy especialmente a la profesora **Isvelia Avendaño**, quien con su forma particular de hacer pedagogía supo conocer nuestras debilidades y fortalezas e inducirnos a pensar como Ingenieros.

A mi muy especial Grupo de Áreas de Grado, **Erika** y **Pedro**, No puede correr con mejor suerte como participante de las Áreas que encontrarme con estas dos maravillosas personas, para mí son los mejores compañeros de grupos, nunca los olvidare y los llevare siempre en mi corazón.

A mi Compañera sentimental y también más íntima amiga, **Karelys**, su apoyo y colaboración para concretar esta meta resultaron ser determinante. Eres lo más especial que se ha cruzado en mi vida, gracias por brindarme tu Amor y Afecto.

La fuerza mora, espiritual y persistencia recibida del calor que nace de manos de mis hermanos **Yurmaris, Dutzy, José, Robinson, Jesica y Elsa** es un recurso invaluable. Su solidaridad y cooperación en mis acciones resultan ser unas de las columnas que sostiene el peso de mis compromisos.

A mis Compañeros de Luchas Estudiantiles por toda su colaboración prestada y corresponsabilidad en el compromiso.

Argenis Moreno

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por guiarme y enriquecer mis conocimientos cuando mas parecían las cosas difíciles, por darme la fortaleza y la iluminación para vencer todos los obstáculos que se presentaron durante mi carrera y blindarme ante todo acontecimiento negativo.

Agradezco a mis padres, Hernán y Janett, porque sin ellos, hubiese sido imposible mi preparación académica, siempre conté con el apoyo de ambos, padre aunque te fuiste a inicios de mi carrera se que nunca me dejaste sola, tu espíritu siempre estuvo conmigo dándome mucha fortaleza para seguir adelante. Infinitas gracias a ambos.

Agradezco a mis hermanos, Hernán, Joanett y Ana María, por motivarme y alentarme siempre para que saliera adelante con mi carrera.

A mi abuela, Antonia Codallo, por ser una inspiración en mi preparación como ingeniero.

A mi novio, Odin Paraqueimo, por la dedicación que tuviste conmigo, aclaraste incontables dudas que se me presentaban en la carrera y fuiste mi principal compañero de estudios, mil gracias mi maestro.

A mis tíos, especialmente a Ibrain y José Vicente Alfonzo, por siempre mantenerme motivada y halagarme, esto me hacía pensar “no les puedo quedar mal”.

A mis tías, especialmente a Ana Fuentes, por estar siempre pendiente de mi comodidad. Mil gracias tía.

A todos los profesores que transmitieron parte de sus conocimientos durante mi carrera en la universidad de oriente, especialmente a la profesora Isvelia Avendaño, por su forma tan particular de motivarnos a salir adelante y a la vez corregir nuestra aptitud ante el público, es usted una mujer que tiene el carácter y la humildad necesaria para manejar toda situación. Te admiro profesora.

A mis compañeros y amigos de trabajo de grado, Argenys Moreno y Pedro Castillo por su responsabilidad y excelente convivencia durante el curso de las áreas de grado, siempre los tendré presente amigos.

A ti amiga Kelly Montaguth, por todo el apoyo que me diste, siempre que necesite de ti estuviste presente y demostraste ser una amiga incondicional y una excelente persona, te quiero mucho amiga.

Érica Fuentes

RESUMEN

En el presente trabajo se mostrará la importancia de las propiedades coligativas (aumento del punto de ebullición, descenso de la presión de vapor, descenso del punto de congelación y presión osmótica) en el proceso de fraccionamiento de los líquidos del gas natural, particularmente en la etapa de despropanización, lo cual no es más que una destilación donde se permite la separación de los componentes por sus diferencias en los puntos de ebullición y presión de vapor, este proceso será explicado detalladamente tomando como patrón la despropanizadora del complejo JOSE, con la finalidad de definir los puntos en los cuales las propiedades coligativas se ven involucrados en el mismo. De igual forma se estudiará la influencia de las propiedades coligativas en la etapa de diseño de la torre despropanizadora (cálculo del diámetro, la altura, número de platos teóricos y reales, etc). Las propiedades coligativas que cobran mayor importancia en dicho proceso, son el punto de ebullición y la presión de vapor ya que mientras más alejados sean los puntos de ebullición y presión de vapor de los componentes más fácil será la separación de los mismos y viceversa. También se estudiará la forma indirecta como influye la presión osmótica en dicho proceso, específicamente en los interiores de la torre. El descenso del punto de congelación no se estudiará en este proyecto ya que el equilibrio que predomina en este proceso es el líquido- vapor. En una torre despropanizadora siempre ocurren problemas operacionales, los cuales son provocados por arrastres, vomito, inundación, aumento o disminución de la presión de operación, irregularidad en el reflujo, etc, cada uno de estos problemas afectan directamente las propiedades coligativas que se ven involucradas en este proceso, el presente trabajo mostrara las formas como se ven afectadas y las posibles soluciones para dichos problemas.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	vii
TABLA DE CONTENIDO	xi
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE TABLAS	xxi
CAPITULO I Introducción	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES	4
2.2. PROPIEDADES COLIGATIVAS.....	5
2.2.1. Propiedades Coligativas Más Comunes	6
2.2.1.1. Punto de congelación	6
2.2.1.2. Punto de ebullición	7
2.2.1.3. Presión de vapor.....	8

2.2.1.4. Presión osmótica	9
2.3. CAMBIOS DE ESTADO DE LA MATERIA.....	10
2.3.1. Cambios de estado progresivos.....	11
2.3.1.1. Sublimación progresiva.....	11
2.3.1.2. Fusión.....	11
2.3.1.3. Evaporación.....	12
2.3.2. Cambios de estado regresivos.....	12
2.3.2.1. Sublimación regresiva.....	13
2.3.2.2. Solidificación.....	13
2.3.2.3. Condensación.....	13
2.3.3. Calor latente de vaporización (ΔH_{vap}).....	13
2.3.4. Calor latente de condensación (ΔH_{cond}).....	14
2.4. DESTILACIÓN.....	15
2.4.1. Tipos de destilaciones.....	16
2.4.2. Tipos de torres de destilación	16
2.4.2.1. Torre de destilación fraccionada.....	16
2.4.2.2. Torre de destilación al vacío	17
2.4.3. Teoría de la destilación	18
2.4.4. Equipos básicos y operación de una torre fraccionadora (despropanizadora).....	19
2.4.4.1. Componentes principales de una columna despropanizadora.	19
2.4.4.2. Principios de operación de una torre despropanizadora.....	21
2.4.5. Tipos de torres	22

2.4.5.1. Torres empacadas	22
2.4.5.2. Torres de Platos	23
2.5. EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS EN EL PROCESAMIENTO DEL GAS NATURAL.....	26
2.5.1. Composición del gas natural	27
2.5.2. Líquidos del gas natural (LGN)	28
2.5.3. Gas residual	29
2.6. FRACCIONAMIENTO	29
2.7. VOLATILIDAD (EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR)	30
2.7.1 Factores que afectan la volatilidad relativa	31
2.7.2. Etapas teóricas	33
2.7.3. Etapas no ideales.....	34
2.8. SECCIONES DE UNA COLUMNA DESPROPANIZADORA.....	35
2.8.1. Alimentación.....	35
2.8.2. Despojamiento	36
2.8.3. Reflujo	36
2.8.4. Corte lateral.....	38
2.8.5. Rectificación.....	39
2.9. EQUIPOS PRINCIPALES DE UNA TORRE DESPROPANIZADORA.	40
2.9.1. Tambor de destilado	40
2.9.2. Condensadores.....	40
2.9.3. Rehervidor.....	41
2.9.4. Intercambiadores de calor.....	41

2.9.4.1. Funciones de los intercambiadores de calor.....	41
2.9.4.2. Recuperación de calor.....	42
2.9.4.3. Tipos de intercambiadores de calor.....	42
2. 10. PRINCIPIOS DE FRACCIONAMIENTO.....	44
2.11. ANORMALIDADES DEL PROCESO.....	45
2.11.1. Arrastre.....	45
2.11.2. Vomito.....	46
2.11.3. Goteo.....	46
2.11.4. Inundación.....	47
CAPITULO III DESARROLLO DEL PROYECTO.....	48
3.1. PROPIEDADES COLIGATIVAS EN LA ETAPA DE FRACCIONAMIENTO DEL NEGOCIO DEL GAS NATURAL.....	48
3.2. FUNCIONAMIENTO DE LA TORRE DESPROPANIZADORA.....	50
3.3. BASES DE DISEÑO DE UNA TORRE DESPROPANIZADORA.....	54
3.3.1. Caracterizar la alimentación, la recuperación de productos y las especificaciones de los mismos. (Calidad, flujo,).....	55
3.3.1.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño.....	55
3.3.2. Definir el componente llave liviano y el componente llave pesado.....	56
3.3.2.1. Análisis de las propiedades coligativas para definir los componentes llaves.....	57
3.3.3. Establecer la presión de la columna de acuerdo al medio enfriante del condensador.....	58

3.3.3.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño	59
3.3.4. Calcular el punto de rocío para el destilado y el punto de burbujeo para el fondo (Temperatura de tope y fondo).....	60
3.3.5. Calcular el número mínimo de platos teóricos	62
3.3.5.1. Análisis de las propiedades coligativas para el cálculo del número mínimo de platos teóricos.....	64
3.3.6. Calcular el reflujo mínimo.....	65
3.3.6.1. Análisis de las propiedades coligativas en el cálculo del reflujo mínimo.....	66
3.3.7. Determinar el punto de operación de reflujo y el número de platos teóricos.	67
3.3.7.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa de diseño	67
3.3.8. Determinar el plato de alimentación.....	68
3.3.8.1. Análisis de las propiedades coligativas para el cálculo del plato de alimentación.....	69
3.3.9. Calcular la eficiencia de la columna (o plato) y determinar el número de platos reales.....	70
3.3.9.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño.	72
3.3.10. Calcular el diámetro y altura de la torre.	72
3.3.10.1. Análisis de las propiedades coligativas para el cálculo del diámetro y altura de la torre.....	73

3.4. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS EN LOS PROBLEMAS OPERACIONALES MÁS COMUNES EN UNA TORRE DESPROPANIZADORA.....	74
3.4.1. Aplicación de las propiedades coligativas en las variables que influyen en los problemas operacionales.	74
3.4.1.1. Presión de la columna	74
3.4.1.2. Reflujo.....	75
3.4.1.3. Ubicación del plato de alimentación	77
3.4.1.4. Temperatura de la carga.....	78
3.4.2. Aplicación de las propiedades coligativas en los factores que afectan la operación de la torre despropanizadora.	79
3.4.2.1. Variación en la tasa de reflujo:	79
3.4.2.2. Variación en la condición de la alimentación	80
3.4.3. Aplicación de las propiedades coligativas en los problemas operacionales en una torre despropanizadora	82
3.4.3.1 Sobrecarga.	82
3.4.3.2 Inundación.	83
3.4.3.3 Formación de espuma	85
3.4.3.4 Arrastre	86
3.4.3.5 Vomito.....	88
3.4.3.6 Goteo	89
CAPITULO IV Discusión de resultados	92

4.1. COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS EN LA OPERACIÓN DE UNA TORRE DESPROPANIZADORA.....	92
4.1.1. Descenso del punto de congelación	92
4.1.2. Presión osmótica.....	92
4.1.3. Elevación del punto de ebullición	93
4.1.4. Descenso de la presión de vapor	94
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Comportamiento de la temperatura de ebullición con respecto al número de carbonos de los hidrocarburos [1].....	8
Figura 2.2. Comportamiento de la presión de vapor con respecto a la temperatura [1].....	9
Figura 2.3. Cambios de estado de la materia [1].....	11
Figura 2.4. Calor latente de vaporización [1].....	14
Figura 2.5. Torre de destilación fraccionada [3].	18
Figura 2.6. Torre de destilación al vacío [3].	18
Figura 2.7. Columna despropanizadora [4]	20
Figura 2.8. Operación de tope y de fondo de una columna despropanizadora [1].	22
Figura 2.9. Paso del flujo de vapor a través del área de burbujeo [2].	27
Figura 2.10. Etapa teórica en una columna de destilación [5].....	33
Figura 2.11. Condensador total (etapa real) [5].....	35
Figura 2.12. Diagrama interno de una torre de destilación [2].	40
Figura 2.13. Rehervidor [8].	41
Figura 3.1. Esquema de la torre despropanizadora JOSE.....	50
Figura 3.2. Esquema de la zona de alimentación.	51
Figura 3.3. Esquema del tope de la torre despropanizadora.	52
Figura 3.4. Esquema del fondo de la torre despropanizadora.	53

Figura 3.5. Comportamiento del equilibrio liquido-vapor en los platos de la torre.	54
Figura 3.6. Caracterización de la alimentación y corrientes de salidas.....	55
Figura 3.7. Corrientes de entrada y salida de la despropanizadora.....	57
Figura 3.8. Comportamiento de la presión de operación con respecto a la presión de vapor.	59
Figura 3.9. Temperatura de tope y fondo.....	61
Figura 3.10. Numero de platos.....	64
Figura 3.11. Comportamiento del reflujo en la torre.....	65
Figura3.12. Ingreso del reflujo a la torre despropanizadora.....	67
Figura 3.13. Plato de alimentación de la torre.....	69
Figura3.14. Funcionamiento de una campana de burbujeo.	70
Figura 3.15. Comportamiento del equilibrio liquido vapor en la torre.	71
Figura 3.16. Diámetro y altura de la torre.....	73
Figura 3.17. Vista interior de una despropanizadora.....	75
Figura 3.18 ingreso del reflujo a la despropanizadora.	76
Figura 3.19. Plato de alimentación.....	77
Figura 3.20. Alimentación en su punto de Burbujeo.....	78
Figura 3.21. Variación de la tasa de Reflujo	80
Figura 3.22. Comportamiento normal del equilibrio liquido-vapor en los internos de la torre.	81
Figura 3.23. Torre con problemas de sobrecarga.	83
Figuras 3.24. Torre con problemas de inundación.....	84
Figura 3.25. Formación de espuma en la torre despropanizadora.....	86

Figura 3.26. Torre con problemas de arrastre.....	89
Figura 3.27 Torre con problemas de vomito.	89
Figura. 3.28. Comportamiento de una despropanizadora con Goteo.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Torres Empacadas [2].	23
Tabla 2. Ventajas y desventajas de torres por bandejas [2].	24

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El negocio del gas natural en Venezuela se basa principalmente en el consumo interno el cual ha sido tan rentable que su demanda ha aumentado y por ende la producción del gas natural en los últimos años, pero no se limita únicamente a la extracción de este del subsuelo, sino, que implica una cantidad de procesos entre los que se encuentra la separación de fluidos (petróleo y gas), medición, entre otros. Luego el acondicionamiento para las impurezas presentes comúnmente en el gas, extracción de líquidos y fraccionamiento, donde se procesa el gas para separar los componentes ligeros, metano etano y propano de las fracciones más pesadas.

El proceso completo de fraccionamientos se realiza en etapas, comenzando con el retiro de líquidos más ligeros de la corriente del gas natural. Este procedimiento se lleva a cabo mediante torres de destilación conectadas de tal manera que cada una de estas representa una etapa de separación. La primera torre de separación es la torre despropanizadora.

La despropanizadora está diseñada para obtener producto propano de 98% en volumen de pureza. Además el contenido de propano en el fondo debe ser limitado. Pero estas especificaciones muchas veces pueden ser perturbadas por problemas operacionales como inundación, arrastre, vómito, etc, y se debe tener un previo conocimiento para atacar estos tipos de problemas en una torre despropanizadora. Dicha planta está conformada por

una serie de equipos con características de diseño y operación definidas. Dentro de ellas las propiedades coligativas juegan un papel muy importante a lo largo de toda la torre.

El estudio, análisis y descripción de las aplicaciones que tienen las propiedades coligativas en los procesos llevados a cabo en una torre de destilación son fundamentales para el manejo del funcionamiento y uso de las torres despropanizadoras.

El proceso de separación de una mezcla de componentes en una disolución, aprovechando sus volatilidades, sus distintos puntos de ebullición y condensación es lo que se conoce como la Destilación Fraccionada. En esta las propiedades coligativas, tales como: presión de vapor y el punto de ebullición, así como el calor latente de vaporización y el calor latente de condensación juegan un papel fundamental debido a que el punto de rocío y el punto de burbuja están directamente ligados a estos cuatro factores, especialmente a la presión de vapor, la cual depende de la cantidad de soluto en el disolvente. La separación de los componentes de una mezcla mediante la destilación fraccionada no es más que evaporar estos componentes para luego condensarlos. Durante todo este proceso se establece el contacto entre dos fases, Líquido-vapor.

No se podrá obtener una mejor comprensión del proceso de destilación, si no logramos un buen análisis de los equilibrios que existen en estas dos fases, líquido-vapor. Por lo que podemos argumentar también, que no lograremos una sólida comprensión y análisis del equilibrio líquido-vapor si no alcanzamos profundizar en la descripción de las implicaciones que tienen estas propiedades coligativas en dichos equilibrios. Obtener una buena descripción de las aplicaciones de las propiedades coligativas, así como el

análisis de cada una de sus aplicaciones en el proceso de destilación es un objetivo muy importante, debido a que ayudara a comprender y discernir con mejor facilidad el funcionamiento de una Torre de Destilación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estudiar las propiedades coligativas aplicadas en una torre despropanizadora.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Describir los principios de operación de una torre despropanizadora
2. Especificar las características de diseño de una torre fraccionadora y las aplicaciones de las propiedades coligativas en dicho diseño.
3. Describir el comportamiento de las propiedades coligativas en una torre despropanizadora con problemas operacionales y posibles soluciones de estos inconvenientes en dicha torre.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El estudio de los efectos de las propiedades coligativas aplicadas a una torre despropanizadora por ser un tema que no ha tenido la atención, como objetivo central en la investigación y documentación de los distintos autores e investigadores es poco casual encontrar antecedentes con estudios particulares sobre el tema, por lo que para la investigación y documentación de este proyecto se recurrió a la recopilación de información en autores e investigadores que estudiaban partes del tema por separado y posteriormente en nuestros análisis unifico criterios y fundamentos de cada uno de estos, transformándolos en los soportes teóricos - prácticos para el desarrollo de esta investigación.

Warren McCabe, Julian Smith y Peter Harriott (2007) [5]. Operaciones Unitarias de la Ingeniería Química. En este trabajo se desarrolla los principios fundamentales de separación física de mezclas de hidrocarburos mediante el análisis del equilibrio fase (líquido-vapor). La aplicación de modelos matemáticos para el diseño de torres de fraccionamiento, así como el estudio de los principios de funcionamiento de estas torres.

Irán Levine (2004), Físicoquímica. En el capítulo 12 de este trabajo realiza un ensayo teórico sobre las bases fundamentales de las propiedades coligativas y su relación con los equilibrios materiales y el potencial químico. Describe por separado cada una de las propiedades coligativas (Descenso

de la presión de vapor, aumento del punto de ebullición, descenso del punto de congelación y la presión osmótica) y como se afecta el equilibrio de fase y los equilibrios químicos desde con relación a la función de Gibbs y Helmholtz.

José Herrera (2004) [2], en su proyecto de grado presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui sobre la evaluación del comportamiento de la planta de fraccionamiento de LGN de ACROVEN en el complejo “JOSE” describe todo el proceso de Operación y separación de los líquidos del gas Natural , así como las características de diseño de este complejo separador. De esta planta se tomo como referencia la torre despropanizadora, la cual sirvió como planta de estudio en este trabajo de investigación sobre las propiedades coligativas.

Marcías Martínez (2002) [7], desarrollo en su trabajo sobre “El diagrama de fases, un lenguaje en la industria del gas natural” la aplicación de las envolventes de fase en el proceso de separación de los LGN, específicamente aplicadas a la despropanizadora. También describe los diez criterios básicos de diseño de una despropanizadora.

2.2. Propiedades coligativas

Se llaman propiedades coligativas aquellas propiedades de una solución que dependen únicamente de la concentración molar, es decir, de la cantidad de partículas de soluto por partículas totales, y no de la naturaleza o tipo de soluto. Están estrechamente relacionadas con la presión de vapor, que es la presión que ejerce la fase de vapor sobre la fase líquida, cuando el líquido se encuentra en un recipiente cerrado.

La presión de vapor depende del solvente y de la temperatura a la cual sea medida (a mayor temperatura, mayor presión de vapor). Se mide cuando el sistema llega al equilibrio dinámico, es decir, cuando la cantidad de moléculas de vapor que vuelven a la fase líquida es igual a las moléculas que se transforman en vapor [1].

2.2.1. Propiedades Coligativas Más Comunes

2.2.1.1. Punto de congelación

El punto de congelación de un líquido es la temperatura a la que dicho líquido se solidifica debido a una reducción de temperatura. El proceso inverso se denomina punto de fusión.

Para la mayoría de sustancias ambas temperaturas son iguales. Por ejemplo para el mercurio, cuya temperatura de fusión y de congelación es 234,32 K (-38,83 °C). Sin embargo otras sustancias como el Agar-Agar tienen distintas temperaturas para la fusión y la congelación siendo que se vuelve líquido a 85 °C y sólido a una temperatura entre 32 °C y 40 °C; a este fenómeno se le conoce como histéresis.

En el caso del agua, el punto de fusión y de congelación es el mismo: 0 °C. Esto es en presencia de núcleos de cristalización en el líquido, ya que si éstos no están presentes, el agua líquida puede enfriarse hasta -42 °C sin que se produzca la congelación en un proceso llamado súper enfriamiento[1].

Nota: Esta propiedad coligativas no será analizada en la torre despropanizadora ya que no es aplicable en la misma.

2.2.1.2. Punto de ebullición

El punto de ebullición es aquella temperatura en la cual la materia cambia de estado líquido a gaseoso, es decir ebulle. Expresado de otra manera, en un líquido, el punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión del medio que rodea al líquido. En esas condiciones se puede formar vapor en cualquier punto del líquido [1].

La temperatura de una sustancia o cuerpo depende de la energía cinética media de las moléculas. A temperaturas inferiores al punto de ebullición, sólo una pequeña fracción de las moléculas en la superficie tiene energía suficiente para romper la tensión superficial y escapar. Este incremento de energía constituye un intercambio de calor que da lugar al aumento de la entropía del sistema (tendencia al desorden de las partículas que lo componen).

El punto de ebullición depende de la masa molecular de la sustancia y del tipo de las fuerzas intermoleculares de esta sustancia. Para ello se debe determinar si la sustancia es covalente polar, covalente no polar, y determinar el tipo de enlaces (dipolo permanente - dipolo inducido o puentes de hidrógeno).

Al agregar moléculas o iones a un solvente puro la temperatura en la que éste entra en ebullición es más alto. Por ejemplo, el agua pura a presión atmosférica ebulle a 100 °C, pero si se disuelve algo en ella el punto de ebullición sube algunos grados centígrados [1].

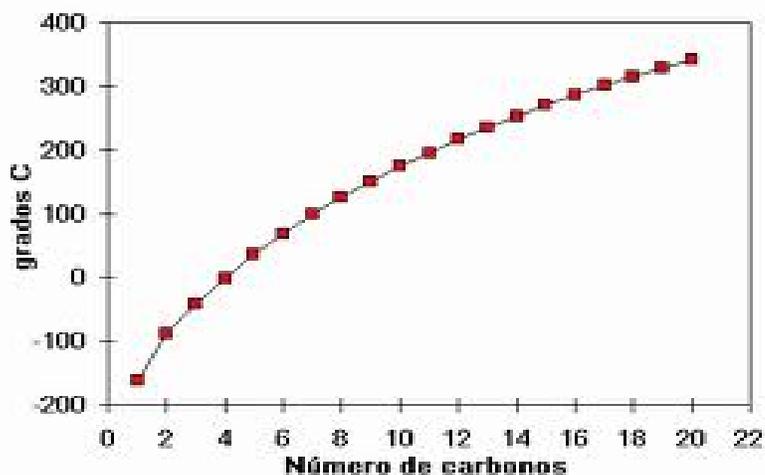


Figura 2.1 Comportamiento de la temperatura de ebullición con respecto al número de carbonos de los hidrocarburos [1].

2.2.1.3. Presión de vapor

La presión de vapor es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentra en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas. Este fenómeno también lo presentan los sólidos; cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso denominado sublimación o el proceso inverso llamado sublimación inversa) también hablamos de presión de vapor. En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de líquido saturado y vapor saturado. Esta propiedad posee una relación directamente proporcional con las fuerzas de atracción intermoleculares, debido a que cuanto mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado. El equilibrio dinámico se alcanzará más rápidamente cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el líquido y el vapor, pues así se favorece la evaporación del

líquido; del mismo modo que un charco de agua extenso pero de poca profundidad se seca más rápido que uno más pequeño pero de mayor profundidad que contenga igual cantidad de agua. Sin embargo, el equilibrio se alcanza en ambos casos para igual presión.

El factor más importante que determina el valor de la presión de saturación es la propia naturaleza del líquido, encontrándose que en general entre líquidos de naturaleza similar, la presión de vapor a una temperatura dada es tanto menor cuanto mayor es el peso molecular del líquido [1].

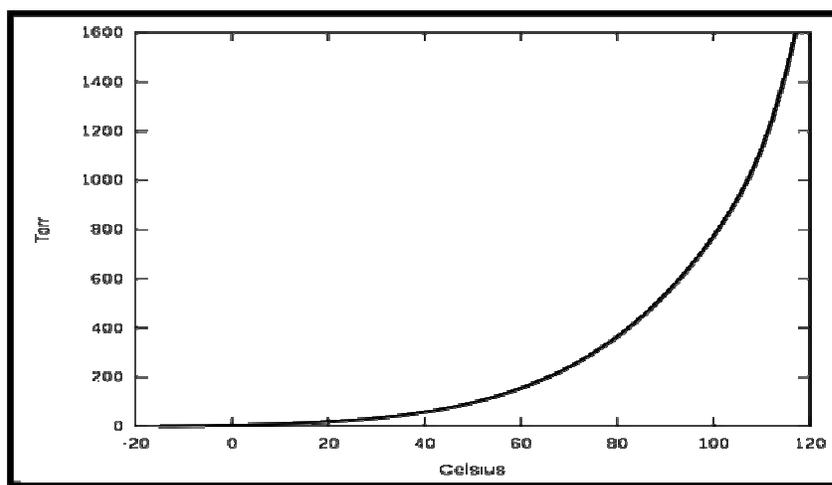


Figura 2.2. Comportamiento de la presión de vapor con respecto a la temperatura [1].

2.2.1.4. Presión osmótica

La ósmosis es la tendencia que tienen los solventes a ir desde zonas de mayor concentración hacia zonas de menor concentración de partículas. El efecto puede pensarse como una tendencia de los solventes a "diluir". Es el pasaje espontáneo de solvente desde una solución más diluida (menos

concentrada) hacia una solución menos diluida (más concentrada), cuando se hallan separadas por una membrana semipermeable:

$$\pi = MRT \quad (\text{Ec.2.1})$$

Al igual que en la ley de los gases ideales, la presión osmótica no depende de la carga de las partículas.

Observación: Se utiliza la unidad de Molaridad (M) para expresar la concentración ya que el fenómeno de ósmosis ocurre a temperatura constante (de esto se deduce que las unidades de concentración para el ascenso ebulloscópico y el descenso crioscópico estén dadas en molalidad (m), ya que este tipo de expresión no varía con la temperatura) [1].

Nota: Esta propiedad coligativa no será estudiada en la torre despropanizadora ya que no es aplicable en las misma.

2.3. CAMBIOS DE ESTADO DE LA MATERIA

La materia cambia de un estado a otro por efecto de la temperatura y la presión, ya sea aumentando o disminuyendo la energía calórica. En la naturaleza es frecuente observar que la materia cambia de un estado a otro. Tal vez el ejemplo más conocido sea el caso del agua, que se puede encontrar en forma sólida, líquida y gaseosa. Se reconocen 2 tipos de cambios de estado: Progresivos y regresivos [1].

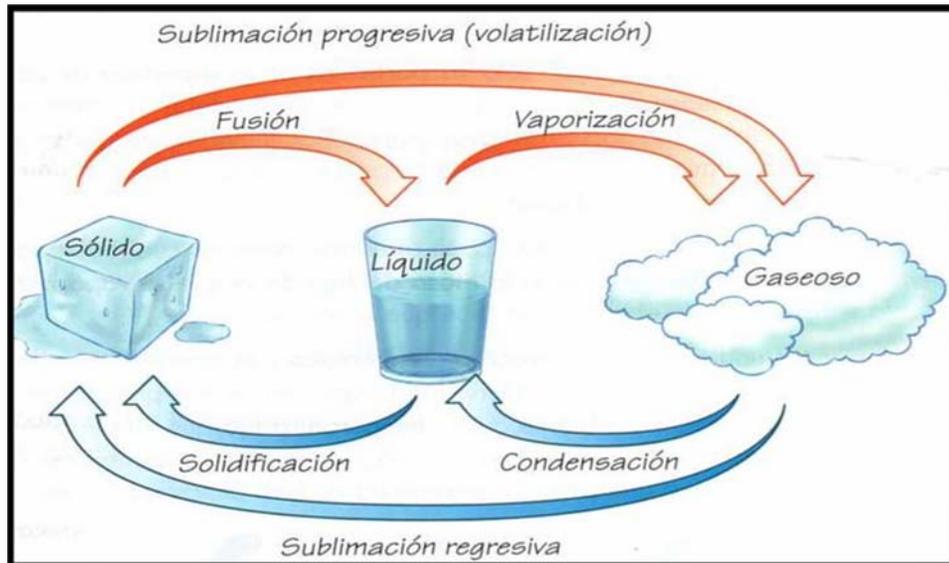


Figura 2.3. Cambios de estado de la materia [1].

2.3.1. Cambios de estado progresivos

Los cambios de estado progresivos se producen cuando se aplica calor a los cuerpos y son: sublimación progresiva, fusión y evaporación [1].

2.3.1.1. Sublimación progresiva

Este cambio se produce cuando un cuerpo pasa del estado sólido al gaseoso directamente. Ejemplo: sublimación del yodo, sublimación de la naftalina.

2.3.1.2. Fusión

Es el paso de una sustancia, del estado sólido al líquido por la acción del calor. La temperatura a la que se produce la fusión es característica de cada sustancia. Por ejemplo, la temperatura a la que ocurre

la fusión del hielo es 0°C . La temperatura constante a la que ocurre la fusión se denomina Punto de Fusión. A esta temperatura existe un equilibrio entre el estado cristalino de alta ordenación y el estado líquido más desordenado.

2.3.1.3. Evaporación

Es el paso de una sustancia desde el estado líquido al gaseoso. Este cambio de estado ocurre normalmente a la temperatura ambiente, y sin necesidad de aplicar calor. Bajo esas condiciones, sólo las partículas de la superficie del líquido pasarán al estado gaseoso, mientras que aquellas que están más abajo seguirán en el estado inicial. Sin embargo, si se aplica mayor calor, tanto las partículas de la superficie como las del interior del líquido podrán pasar al estado gaseoso. El cambio de estado así producido se llama **Ebullición**. La temperatura que cada sustancia necesita para alcanzar la ebullición es característica de cada sustancia y se denomina Punto de Ebullición. Por ejemplo, el punto de ebullición del H_2O a nivel del mar es 100°C .

Observaciones: La temperatura a la que ocurre la fusión o la ebullición de una sustancia es un valor constante, es independiente de la cantidad de sustancia y no varía aún cuando ésta continúe calentándose [1].

2.3.2. Cambios de estado regresivos

Los cambios de estado regresivos son aquellos que se producen cuando los cuerpos se enfrían. Se reconocen 3 tipos: Sublimación regresiva, solidificación y condensación. En la siguiente figura se pueden observar estos cambios [1].

2.3.2.1. Sublimación regresiva

Es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia gaseosa se vuelve sólida, sin pasar por el estado líquido.

2.3.2.2. Solidificación

Es el paso de una sustancia desde el estado líquido al sólido. Este proceso ocurre a una temperatura característica para cada sustancia denominada punto de solidificación y que coincide con su punto de fusión.

2.3.2.3. Condensación

Es el cambio de estado que se produce en una sustancia al pasar del estado gaseoso al estado líquido. La temperatura a la que ocurre esta transformación se llama punto de condensación y corresponde al punto de ebullición.

2.3.3. Calor latente de vaporización (ΔH_{vap})

El calor latente de evaporación es la cantidad de calor absorbido por una unidad de masa de un líquido para pasar del estado líquido al gaseoso. Si colocamos un líquido dentro de un recipiente abierto y comenzamos a suministrarle calor, la temperatura del líquido comenzará a elevarse de manera continua. Esta elevación de temperatura se mantendrá, hasta que el líquido entre en ebullición, a partir de ese momento, la temperatura permanecerá constante mientras exista líquido en el recipiente, y toda la energía suministrada de ahí en adelante, se utilizará para cambiar el estado de líquido a gas. Durante ese proceso de temperatura invariable,

en el recipiente coexistirán las dos fases. Esa cantidad de energía absorbida durante el proceso de evaporación de un líquido en ebullición se conoce como calor latente de evaporación.

2.3.4. Calor latente de condensación (ΔH_{cond})

El calor latente de condensación es la cantidad de energía calórica desprendida por unidad de masa de un gas, para pasar de estado gaseoso a líquido. El proceso de condensación es un cambio de fase de una sustancia del estado gaseoso (vapor) al estado líquido. Este cambio de fase genera una cierta cantidad de energía llamada "calor latente". El paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura. La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía, así el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético [1].

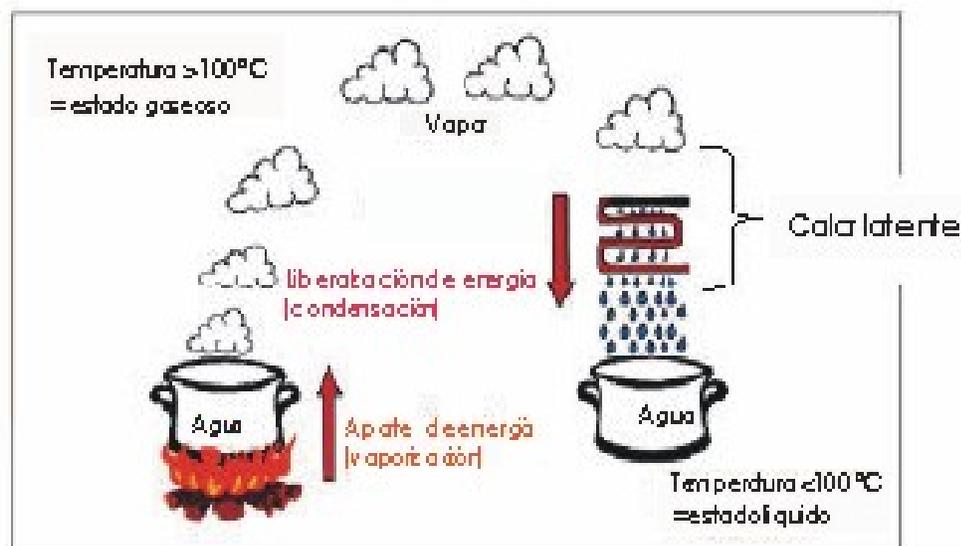


Figura 2.4. Calor latente de vaporización [1].

2.4. DESTILACIÓN

Proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. Por ejemplo, la eliminación del agua de la glicerina evaporando el agua, se llama evaporación, pero la eliminación del agua del alcohol evaporando el alcohol se llama destilación, aunque se usan mecanismos similares en ambos casos [3].

Si los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla sólo difieren ligeramente, no se puede conseguir la separación total en una destilación individual.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que una gran fracción (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor, porque el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra. Cuando la mezcla está formada por varios componentes, estos se extraen en distintos puntos a lo largo de la torre. Las torres de destilación industrial para petróleo tienen a menudo 100 placas, con al menos diez fracciones diferentes que son

extraídas en los puntos adecuados. Se han utilizado torres de más de 500 placas para separar isótopos por destilación [3].

2.4.1. Tipos de destilaciones.

De acuerdo a la presión, existen tres tipos de fraccionamiento, los cuales son:

- a) **Destilación atmosférica:** Ocurre cuando la presión de la torre oscila entre 0.4 y 5.5 atmósferas absolutas [3].
- b) **Destilación al vacío:** Es aquella que se opera por debajo de la presión atmosférica, a una presión no mayor de 3000 mmHg como presión tope de la columna.
- c) **Destilación presurizada:** Normalmente usa en el tope de la columna una presión de 80 psia ó mayor [3].

2.4.2. Tipos de torres de destilación

2.4.2.1. Torre de destilación fraccionada

La columna fraccionadora que se usa con más frecuencia es la llamada torre de burbujeo, en la que las placas están dispuestas horizontalmente, separadas unos centímetros, y los vapores ascendentes suben por unas cápsulas de burbujeo a cada placa, donde burbujean a través del líquido. Las placas están escalonadas de forma que el líquido fluye de izquierda a derecha en una placa, luego cae a la placa de abajo y allí fluye de derecha a izquierda. La interacción entre el líquido y el vapor puede ser incompleta debido a que puede producirse espuma y arrastre de forma que parte del líquido sea transportado por el vapor a la placa superior. En este caso,

pueden ser necesarias cinco placas para hacer el trabajo de cuatro placas teóricas, que realizan cuatro destilaciones. Un equivalente barato de la torre de burbujeo es la llamada columna apilada, en la que el líquido fluye hacia abajo sobre una pila de anillos de barro o trocitos de tuberías de vidrio (Figura 2.5)].

2.4.2.2. Torre de destilación al vacío

Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es evacuar parcialmente la torre. Este método es tan efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular. Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables. Se coloca la sustancia en una placa dentro de un espacio evacuado y se calienta. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayoría del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco (Figura 2.6).

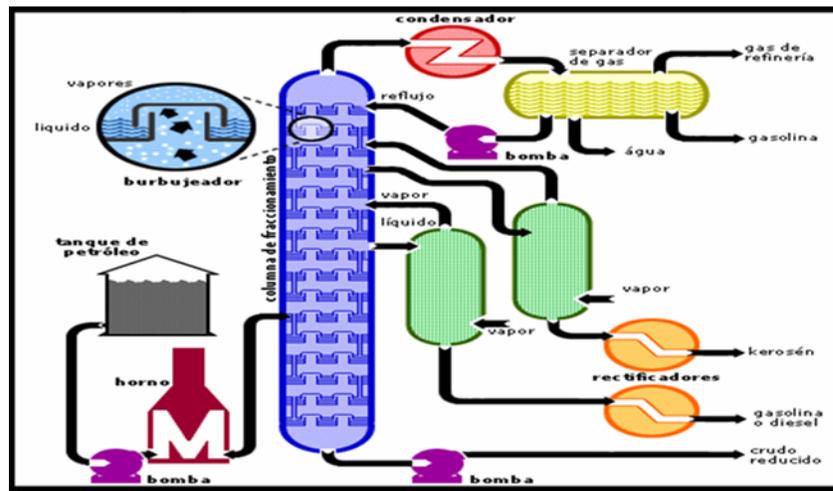


Figura 2.5. Torre de destilación fraccionada [3].

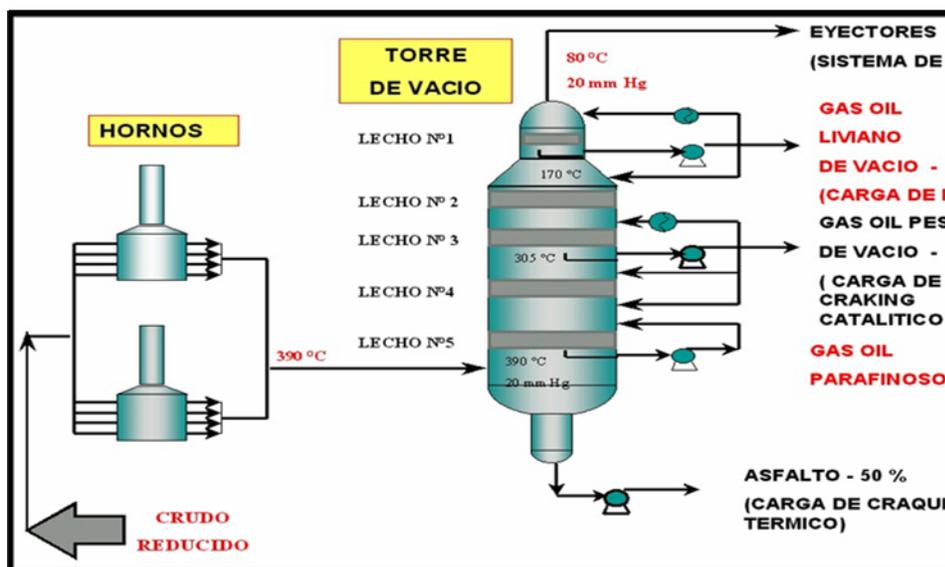


Figura 2.6. Torre de destilación al vacío [3].

2.4.3. Teoría de la destilación

En la mezcla simple de dos líquidos solubles entre sí, la volatilidad de cada uno es perturbada por la presencia del otro. En este caso, el punto de

ebullición de una mezcla al 50%, por ejemplo, estaría a mitad de camino entre los puntos de ebullición de las sustancias puras, y el grado de separación producido por una destilación individual dependería solamente de la presión de vapor, o volatilidad de los componentes separados a esa temperatura. Esta sencilla relación fue anunciada por vez primera por el químico francés François Marie Raoult (1830-1901) y se llama ley de Raoult. Esta ley sólo se aplica a mezclas de líquidos muy similares en su estructura química, como el benceno y el tolueno. En la mayoría de los casos se producen amplias desviaciones de esta ley. Si un componente sólo es ligeramente soluble en el otro, su volatilidad aumenta anormalmente.

El propano es uno de los constituyentes principales del LGN; en su estado natural se mantiene como gas incoloro, inodoro. Es más denso que el aire; su peso molecular es de 44,097 y su punto de ebullición de $-43,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $14,7\text{ pisa}$. En algunas plantas de fraccionamiento conocidas, el propano es refrigerado y presurizado para luego almacenarlo en estado líquido. Además se usa como refrigerante para enfriar todos los productos almacenados en los tanques refrigerados [3].

2.4.4. Equipos básicos y operación de una torre fraccionadora (despropanizadora)

2.4.4.1. Componentes principales de una columna despropanizadora.

Las columnas de destilación están compuestas de varias partes, cada una de las cuales es usada para transferir calor o mejorar la transferencia de masa. Una columna típica tiene varios componentes principales:

- a) **Recipiente vertical:** en donde tiene lugar la separación de los componentes líquidos.
- b) **Interiores de la columna:** tales como platos o rellenos que se utilizan para incrementar el contacto entre el líquido y el vapor.
- c) **Rehervidor o reboiler:** para vaporizar el producto de fondo.
- d) **Condensador:** para enfriar y condensar el vapor que sale por la parte superior de la columna.
- e) **Tambor de reflujo:** para recibir el vapor condensado del tope de la columna para que el líquido (reflujo) pueda reciclarse a la columna [4].

El recipiente vertical aloja los interiores de la columna y junto con el condensador y el rehervidor, constituyen una columna de destilación, el esquema siguiente representa una unidad de destilación típica con una sola alimentación y dos corrientes de productos [4].

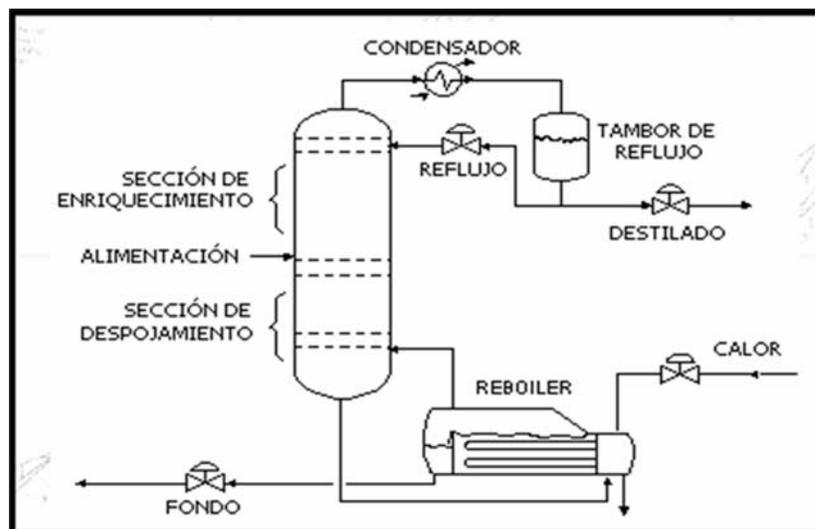


Figura 2.7. Columna despropanizadora [4]

2.4.4.2. Principios de operación de una torre despropanizadora

La mezcla líquida que se va a procesar se conoce como alimentación y se introduce generalmente en un punto situado en la parte media de la columna en un plato que se conoce como plato de alimentación. El plato de alimentación divide a la columna en una sección superior (de enriquecimiento o rectificación) y una inferior (despojamiento). La alimentación circula hacia la parte inferior de la columna donde es dirigida al rehervidor o reboiler.

Se suministra calor al rehervidor para generar vapor. La fuente de calor puede ser cualquier fluido adecuado, aunque en la mayoría de las plantas químicas se utiliza vapor de agua. En las refinerías, las fuentes de calor pueden ser corrientes de salida de otras columnas. El vapor generado en el rehervidor se introduce nuevamente en la columna en la parte inferior. El líquido que se extrae del rehervidor se llama producto de fondo o simplemente fondo, es principalmente butano con otros componentes más pesados.

El vapor se mueve hacia la parte superior de la columna, y al salir por la parte superior, es enfriado por un condensador. El líquido condensado es retenido en un recipiente denominado tambor de reflujo, parte de ese líquido es reciclado a la parte superior de la columna y se llama reflujo. El líquido condensado que se saca del sistema se llama destilado o producto de tope es prácticamente solo propano.

De esta manera hay flujos internos de vapor y líquido dentro de la columna, además de flujos externos de corrientes de alimentación y productos, entrando y saliendo de la columna [2].

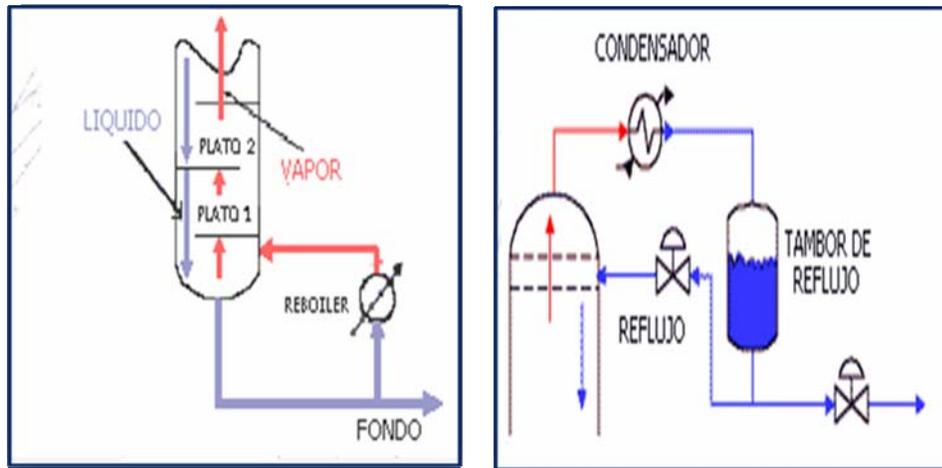


Figura 2.8. Operación de tope y de fondo de una columna despropanizadora [1]. .

2.4.5. Tipos de torres

2.4.5.1. Torres empacadas

Se recomiendan para los siguientes casos:

Operaciones al vacío: Se puede diseñar para caídas de presión pequeñas.

Para líquidos espumantes: se produce menor altura de espumas. Se reduce la retención de líquido, lo que permite manejar procesos con materiales sensibles al calor [2].

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Torres Empacadas [2].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las columnas de diámetro menor a 0.6 m tienen una mejor relación costo eficiencia.	El empaque se puede quebrar durante la instalación.
Debido a que el empaque puede estar hecho de materiales inertes, las torres empacadas son capaces de operar con sustancias muy corrosivas.	Muy costoso para altos flujos.
La caída de presión es menor que en una torre de platos.	Cuando el flujo líquido es muy baja, disminuye la eficiencia del contacto.
Son adecuadas para líquidos térmicamente sensibles.	

2.4.5.2. Torres de Platos

Existen numerosos diseños de dispositivos de fraccionamiento. En la industria, ellos se pueden clasificar en bandejas con bajante y sin bajantes.

Un plato o bandeja típica consiste en un área de burbujeo, el área de sello del bajante y el área del bajante. Usualmente, la bandeja está equipada con un rebosadero de salida en el extremo de salida de la corriente del área de burbujeo.

El líquido que desciende de la bandeja superior a través del bajante, cambia su dirección en el área del sello del bajante y entra al área de burbujeo. Aquí el líquido entra en contacto con el vapor ascendente a través de la bandeja. El rebosadero de salida sirve primariamente para mantener el nivel del líquido de la bandeja, así como para constituir o suministrar un sello al bajante. Las bandejas con bajantes se diseñan para tener una trayectoria de líquido, o dos o más trayectorias si la tasa de flujo líquido es lo

suficientemente elevada. En la siguiente figura se observan las ventajas y desventajas de este tipo de torre [2].

Tabla 2. Ventajas y desventajas de torres por bandejas [2].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La columnas de diámetro mayor a 0.6 m tienen una mejor relación costo eficiencia.	Hay una mayor caída de presión que en las columnas empacadas.
El contacto líquido-vapor de flujo cruzado en una columna de platos es más efectivo que en contracorriente en una columna empacada.	El fenómeno de espuma puede presentarse debido a la agitación del líquido por medio de vapor que fluye hacia arriba.
Se puede emplear para aplicaciones criogénicas.	
Puede manejar altos flujos con una relación costo-eficiencia baja.	

2.4.5.2.1. Tipos de platos

a) Los platos con campanas

Fueron los preferidos por parte de la industria, y aún son usadas en muchas instalaciones. Una bandeja de este tipo, diseñada apropiadamente, puede tener prácticamente una ilimitada relación de cambio ("turndown", o relación entre flujo máximo y flujo mínimo de operación), es decir, que puede ser operada hasta con flujo de vapor casi nulo, sin un significativo descenso de su funcionamiento. Se muestra una bandeja de campanas de burbujeo en operación, con una tasa de flujo de 10 % de su valor de inundación [2].

b) Las bandejas de plato perforado (tipo tamiz)

Son uno de los dispositivos más ampliamente usados en la industria. Ellas son fáciles de diseñar con el nivel actual de desarrollo del orificio, y se operan con confiabilidad para la mayoría de los campos la tasa de flujo de vapor. No hay "lagrimeo" de líquido desde la bandeja superior aún a esta tasa tan baja [2].

c) Las bandejas de válvulas

Hay varios diseños de válvulas disponibles para el usuario, de varios fabricantes. Básicamente, bandejas de válvulas son bandejas de plato perforado con válvulas móviles colocadas sobre las perforaciones. Este diseño tiene alta capacidad, amplio campo de operación y buena eficiencia de separación.

Hay también bandejas equipadas con válvulas rectangulares. La mezcla del líquido y vapor sobre la bandeja cubre una amplia gama de regímenes de flujo, desde burbujeo hasta la condición de pulverización, dependiendo de los sistemas y de las condiciones de operación.

La mayoría de las bandejas deben operarse por encima de una cierta tasa, a fin de obtener comportamiento satisfactorio. Esto es particularmente cierto con bandejas tipo tamiz; ellas comienzan el "lagrimeo" cuando la tasa de flujo de vapor está por debajo de cierto valor. Este es el "punto de lagrimeo" para una bandeja tipo tamiz, el cual es función de la geometría de la bandeja y de las propiedades físicas del sistema líquido / vapor manejado. Si la tasa de vapor se reduce aún más, la bandeja perforada "lagrimeará" todavía más y su eficiencia de separación se hará inferior.

Sin embargo, algunos experimentos han demostrado que el "lagrimeo" considerable, aún del 20 % del líquido circulado, no será necesariamente perjudicial para la eficiencia de la separación. El "lagrimeo" de bandejas perforadas puede reducirse y aún eliminarse, mediante disminución del área perforada de la bandeja; no obstante, esta disminución de área puede reducir la capacidad de la bandeja.

Hay varias maneras de aumentar la capacidad de una bandeja cuando está siendo limitada por arrastre. Una manera es disminuir la caída de presión a través de la bandeja; con una bandeja tipo tamiz, esto se puede lograr incrementando el área de los orificios. Otra manera es incrementar el área de burbujeo si el área del bajante no está restringiendo ya el diseño. Finalmente, se puede lograr una mayor capacidad aumentando el espacio entre bandejas (Figura 2.9).

2.5. EXTRACCIÓN DE LÍQUIDOS EN EL PROCESAMIENTO DEL GAS NATURAL

Este proceso se hace indispensable antes de fraccionar el gas natural, ya que permite separar la fase líquida de la fase vapor. El procesamiento de gas cubre una gran variedad de operaciones para preparar el gas para la comercialización.

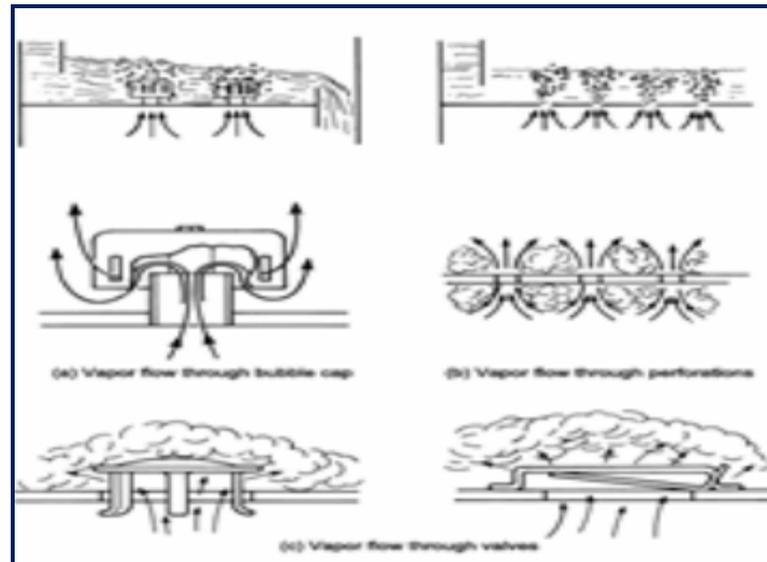


Figura 2.9. Paso del flujo de vapor a través del área de burbujeo [2].

En algunos casos, los hidrocarburos pesados son removidos para controlar el punto de rocío del gas y evitar la condensación de los líquidos en las líneas de transmisión y sistemas de combustible.

En este caso, los líquidos son un sub-producto del proceso y si existen mercados para colocarlos, se usan como combustible. De otra manera, los líquidos pueden ser estabilizados y comercializados como condensados.

2.5.1. Composición del gas natural

La composición del gas tiene el mayor impacto en la economía del recobro de etano y en la selección del proceso. En general, un gas con un alto contenido de hidrocarburos licuables produce una mayor cantidad de producto y así mayores ingresos para la instalación de procesamiento.

Los gases más ricos también requieren mayor capacidad de refrigeración, intercambiadores de calor de mayor superficie y mayor inversión para una eficiencia de recobro dada. Los gases más pobres generalmente requieren condiciones de proceso más severas (temperaturas más bajas) para alcanzar eficiencias de recobro altas [9].

Los gases son caracterizados típicamente en atención a los galones de líquidos recuperables por cada 1000 pies cúbicos de gas. Esto se denomina como "contenido de líquido". El contenido de líquido se ha usado tradicionalmente para el propano y más pesados.

La otra consideración importante en la evaluación de las opciones para el recobro de LGN es la especificación del gas residual a ventas. Las especificaciones del gas a ventas están relacionadas con el mínimo Poder Calorífico Superior (HHV) del gas, pero en algunos casos el máximo HHV puede ser considerado como especificación.

La remoción de líquidos resulta en una reducción del HHV. Esta reducción representa una pérdida en las ganancias en el gas a ventas, por lo que debe ser considerado en la economía de una planta de LGN. En general, la especificación para el gas a ventas es un HHV entre 900 – 1100 BTU/scf [9].

2.5.2. Líquidos del gas natural (LGN)

Es una mezcla compuesta por los hidrocarburos condensables presentes en la corriente de Gas Natural, el cual es separado por distintos métodos. Entre los componentes de esta mezcla están etano (la cantidad

depende si este se recobra o rechaza en los procesos de recuperación de líquidos), propano, butanos, pentanos y fracción C_6^+ [9].

2.5.3. Gas residual

También llamado Gas Metano, compuesto básicamente por metano, etano, CO_2 e inertes. Se obtiene como producto de los procesos de extracción de líquidos del gas natural o de los procesos de control de punto de rocío, y después de ser sometido a tratamiento para remover los compuestos ácidos y deshidratación para remover el agua en exceso. Dentro de las especificaciones de comercialización destacan: [9].

- ❖ Poder calorífico.
- ❖ Presión de entrega.
- ❖ Punto de rocío.
- ❖ Contenidos de compuestos azufrados.
- ❖ Contenido de CO_2 inertes.

2.6. FRACCIONAMIENTO

Es un proceso de separación física de los componentes de una mezcla líquida en dos o más productos que tienen diferentes puntos de ebullición, donde se separa inicialmente el componente de mayor volatilidad en la mezcla por medio de torres de destilación. Ocurre la mayor transferencia de masa, sin la necesidad de presencia de solventes inertes o matrices de sólidos. De igual manera es el proceso que posee el menor trabajo requerido para realizar la separación de sus componentes [3].

La destilación en general provee el más económico y mejor método para la separación de una mezcla líquida en sus componentes, excepto cuando:

- ❖ La diferencia de volatilidad de los componentes sea pequeña.
- ❖ La mezcla es altamente corrosiva o posee un alto factor de ensuciamiento
- ❖ Un componente es térmicamente inestable bajo condiciones de vacío.
- ❖ Una pequeña cantidad del componente de más alto punto de ebullición va a ser recuperada de la alimentación.

2.7. VOLATILIDAD (EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR)

Como se menciona, la separación de los componentes de una mezcla líquida está relacionada con la volatilidad de los componentes o mejor conocida como volatilidad relativa de un componente. La volatilidad relativa es una medida de la facilidad de separación entre dos o más componentes, donde por convención siempre será la relación del componente más volátil al menos volátil [1].

$$\alpha_{ij} = K_i / K_j \quad (\text{Ec.2.2})$$

Donde:

α_{ij} : Volatilidad relatividad del componente i con respecto al componente j

K_i : Constantes de equilibrio del componente i .

K_j : Constante de equilibrio del componente j .

Si la volatilidad relativa es alta, tenemos que la tendencia del componente i a vaporizarse es alta, por lo que será fácil la separación del componente de la mezcla líquida. A medida que la volatilidad relativa se acerca a la unidad, la separación de los componentes es más difícil por destilación, hasta el punto que sería imposible, cuando la volatilidad relativa es igual a la unidad.

Si $\alpha > 2.0$, no se necesitan muchas etapas teóricas en la columna de destilación para separar la mezcla.

Si $\alpha < 1.5$, se considera que es una volatilidad relativa baja y se requiere un mayor número de etapas teóricas para la separación.

Entre los ejemplos más comunes de columnas de destilación para separar mezclas líquidas con baja volatilidad relativa se tiene, la separación de la mezcla Isobutano-Propano (45 etapas teóricas) y la mezcla Propano-Propileno. La característica de estas columnas es su gran altura, debido al número de etapas que se requieren para la separación. En resumen, podemos decir que la destilación es una técnica de separación de componentes de acuerdo a su volatilidad relativa [5].

2.7.1 Factores que afectan la volatilidad relativa

Existen factores que pueden afectar la volatilidad relativa de una mezcla líquida y con ello la facilidad de separación de los componentes de la mezcla. Como se mencionó se sabe que:

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} = \phi_r \gamma_r P_r^\circ \quad (\text{Ec.2.3})$$

La presión de vapor P_r° viene dada por:

$$P_r^\circ = \frac{P_i^\circ}{P_j^\circ} \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde

ϕ_r : Coeficiente de fugacidad relativo

γ_r : Coeficiente de actividad relativo

P_r° : Presión de vapor relativa

P_i° : Presión de vapor del componente i

P_j° : Presión de vapor del componente j

Entre los factores de mayor impacto se tienen: presión, temperatura y composición [1].

- a) **Presión:** A presiones bajas, la volatilidad relativa es alta. Al aumentar la presión, la volatilidad relativa disminuye.
- b) **Temperatura:** Normalmente la volatilidad relativa disminuye cuando se incrementa la temperatura, hasta alcanzar el valor de la unidad, que es el momento cuando se alcanza el punto crítico. Esto se debe a que la presión de vapor de los componentes menos volátiles aumenta más rápidamente que los más volátiles, con el incremento de temperatura.
- c) **Composición:** El principal efecto de la composición sobre los valores de la constante de equilibrio K y la volatilidad relativa α , es el resultado del efecto de la composición sobre los coeficientes de actividad del líquido (γ).

- d) **Para desviaciones positivas de la ley de Raoult** los coeficientes de actividad presentan valores mayores a la unidad y los valores de las constantes de equilibrio son mayores a los predichos por la ley de Raoult. Por lo tanto, se tendrá una volatilidad relativa alta.
- e) **Para desviaciones negativas de la ley de Raoult** los coeficientes de actividad presentan valores menores a la unidad y los valores de las constantes de equilibrio son menores a los predichos por la ley de Raoult. Por lo tanto, se tendrá una volatilidad relativa baja.

2.7.2. Etapas teóricas

Como se mencionó, la dificultad para separar los componentes de una mezcla líquida viene dada por la volatilidad relativa de los componentes, donde a medida que la volatilidad relativa es menor, se requieren de un mayor número de etapas teóricas o de equilibrio para la separación. Por lo tanto se puede decir que una etapa teórica es el dispositivo donde se produce la separación de los componentes de una mezcla, teniéndose una mezcla líquido-vapor en equilibrio, siendo el vapor la fase más rica en el componente más volátil y la fase líquida en el componente menos volátil [5].

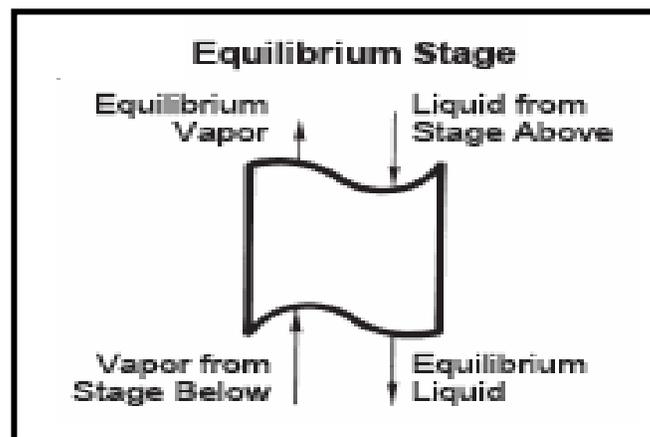


Figura 2.10. Etapa teórica en una columna de destilación [5].

Las características que presenta una etapa teórica son las siguientes:

- ❖ Opera en estado estacionario y posee un producto líquido y un producto vapor.
- ❖ Todo el líquido y vapor que entra en la etapa están en contacto íntimo y perfectamente mezclados.
- ❖ El vapor y el líquido total que salen de la etapa teórica se encuentran en equilibrio.
- ❖ En una columna de destilación un condensador parcial constituye una etapa teórica.

2.7.3. Etapas no ideales

Para el proceso de destilación de una mezcla líquida se requiere de un número determinado de etapas teóricas, en base a las cuales se calcula el número de etapas reales que se tendrán en la columna de destilación.

El número de etapas reales en una columna depende de la eficiencia del dispositivo que se está seleccionando para operar en la columna, la cual viene definida por el fabricante, y normalmente esta en el orden de 60 – 70%. Conocida la eficiencia del dispositivo se puede calcular el número de etapas o platos reales en el caso de columnas cuyo dispositivo interno de contacto son platos o la altura del empaque en el caso de columnas cuyos dispositivos internos de contacto es empaque [5].

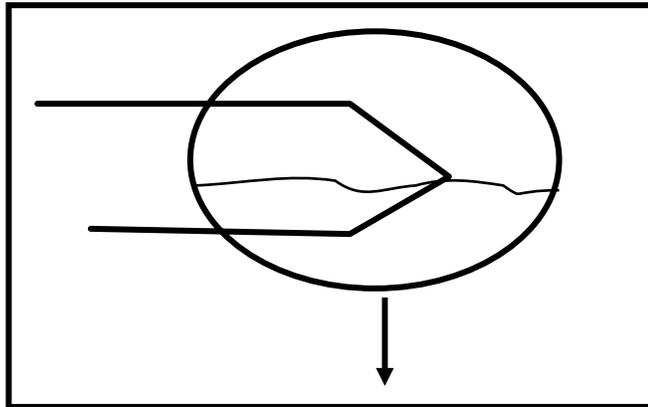


Figura 2.11. Condensador total (etapa real) [5].

2.8. SECCIONES DE UNA COLUMNA DESPROPANIZADORA

Entre las secciones de una columna, están:

2.8.1. Alimentación

La alimentación es introducida a la torre continuamente. Puede ser líquida en cuyo caso el rehervidor tendrá que evaporar las partes livianas para que suban por la torre. Puede estar completamente vaporizada, en cuyo caso el condensador enfriará y condensará las partes más pesadas para que bajen por la torre. El caso más común es de una alimentación semivaporizada. Las partes livianas estarán vaporizadas al entrar a la torre y subirán. Las partes más pesadas bajarán hacia el fondo.

A medida que las partes livianas (vapor) vayan subiendo por la torre, estarán en contacto con el líquido de cada plato. El intercambio que existe resulta en la condensación de las partes más pesadas del vapor ascendente

y la evaporación de las partes más livianas del líquido descendente. Este intercambio ocurre en cada plato, y a medida que el vapor vaya subiendo se hace cada vez más liviano. Así llega al tope de la torre donde sale hacia al condensador. La parte superior de la torre se llama sección de rectificación.

La parte líquida de la alimentación cae hacia el fondo de la torre. En su camino se encuentra con vapores que suben. El líquido es despojado de los más livianos que suben con el vapor, el cual ha dejado sus partes más pesadas con el líquido. Este, al llegar al fondo contiene las partes más pesadas de la alimentación y sale por el fondo de la torre. Esta parte inferior de la torre se llama sección de despojamiento; y la parte de la torre donde se inyecta la alimentación se llama zona de vaporización instantánea [10].

2.8.2. Despojamiento

Esta sección se encuentra ubicada por debajo del plato de alimentación de la columna. Se ponen en contacto el líquido con el vapor que asciende del fondo de la columna, separándose los componentes más livianos del líquido. Los componentes pesados o menos volátiles se concentran en una corriente de líquido que representa el producto de fondo. El vapor que asciende por los platos en la zona de despojamiento puede provenir de una inyección externa de vapor de agua al fondo de columna (destiladora de crudo) o de un rehervidor, donde el líquido parcialmente vaporizado retorna al fondo de la columna (despropanizadora) [10].

2.8.3. Reflujo

El líquido devuelto a la parte superior de la torre se denomina reflujo, mientras que el retirado como producto se denomina destilado. Este líquido

(reflujo + destilado) se obtiene condensando el vapor de hidrocarburo que sale por la parte superior de la columna, enriquecido con el componente más volátil.

El objeto de sacar el reflujo (como vapor) de la torre y volver a introducirlo como líquido frío es de enfriar la parte superior, y a veces toda la torre. El reflujo entra en contacto con los vapores ascendentes, en el plato superior, los enfría y condensa las partes más pesadas de ese vapor. Parte del reflujo se evapora, y el efecto neto es un aumento de temperatura de la parte del reflujo que como líquido baja al plato siguiente. Allí se repite el mismo proceso: sube la temperatura del líquido, se evapora más líquido y se condensa más vapor. El líquido, a medida que baja, se va haciendo más pesado y el vapor, a medida que sube, se va haciendo más liviano.

Si no hubiera reflujo, los vapores subirían desde abajo sin condensarse ni bajar temperatura, y no habría fraccionamiento. Si la cantidad de reflujo fuera muy baja se evapora antes de bajar todos los platos de la parte rectificadora de la torre (se secan los platos situados más abajo). Si hay exceso de reflujo, la temperatura de la parte superior de la torre sería muy baja, y no podría evaporar todas las partes livianas deseables. Un reflujo total significaría que no se obtiene ningún producto de tope, es decir, todo el producto obtenido se introduce nuevamente en la torre.

El vapor que se eleva en la zona de rectificación se pone en contacto con el líquido condensado que se retorna al tope de la columna, produciéndose una transferencia de masa, que permite que los componentes más pesados queden en el líquido y los componentes más livianos en el vapor.

La pureza de los productos separados depende de la relación de reflujo utilizada; mientras mayor sea la relación de reflujo, la pureza del producto separado será mayor. También en la medida en que se incremente la relación de reflujo, varía la altura de la columna, ya que se necesitan menos etapas teóricas para separar los componentes, pero su diámetro aumenta, debido a las cantidades mayores de líquido y vapor recirculados por cantidad unitaria de alimentación. Normalmente las columnas operan entre un 20 y un 30% de la relación de reflujo mínimo ($R_{\text{tope}} / R_{\text{mín}} = 1.2 - 1.3$). La relación de reflujo es el cociente entre el flujo del reflujo y el flujo del destilado.

La relación de reflujo mínimo por definición corresponde a la relación máxima que requiere un número infinito de etapas, para obtener la separación deseada [10].

2.8.4. Corte lateral

Cuando se desea, se extrae de la torre parte del líquido que cae en un cierto plato. Si se desea un producto más liviano, se extrae de un plato de la parte superior de la torre. Si el “corte” lateral se desea más pesado, se saca de un plato situado más abajo.

Cuando se saca el “corte” lateral, hay que tener cuidado de no retirar todo el líquido de ese plato. Si se hace un retiro completo, los platos de abajo se “secaran”: no habrá reflujo interno, y el fraccionamiento será pobre. En algunas torres, uno o más cortes se extraen de platos de retiro total. Estos platos no permiten que el líquido que cae a ellos baje al plato inferior. En este caso, hay que introducir un reflujo externo por debajo del plato de “retiro total” y por encima del plato inferior para que haya líquido por debajo del plato de “retiro total”. Este método nos permite un mejor control de la

temperatura del plato de retiro del producto, pudiéndose así controlar las características del producto [10].

2.8.5. Rectificación

Está ubicada por encima del plato de alimentación de la columna. En esta sección se concentran los componentes más volátiles en una corriente de vapor. Un reflujo líquido (proveniente de la condensación parcial o total del vapor de tope), condensa los componentes menos volátiles del vapor que va subiendo. La operación de rectificación consiste en hacer circular en contracorriente el vapor de una mezcla con el condensado procedente del mismo vapor, en un aparato denominado columna de rectificación.

Las partes esenciales de una columna de rectificación son: columna propiamente dicha, que es en donde se verifica el contacto íntimo entre el líquido y el vapor; el calderín, situado en la base de la columna en donde se hace hervir la mezcla a separar y el condensador de reflujo situado en la cúspide de la columna, que se encarga de suministrar el líquido descendente para su contacto con el vapor.

Para lograr el íntimo contacto entre las fases líquidas y vapor a objeto de establecer el intercambio de materia entre ambas fases, interesa que la superficie y el tiempo de contacto sean suficientes. En la práctica éste contacto se logra con dispositivos diferentes al de los platos de burbujeo que retienen el líquido a través del cual se ve obligado a pasar el vapor, y el de los cuerpos de relleno que llenan el interior de la columna verificándose el contacto entre fases sobre la superficie de éstos cuerpos de relleno. Estas secciones pueden apreciarse en la figura 2.12.

2.9. EQUIPOS PRINCIPALES DE UNA TORRE DESPROPANIZADORA.

2.9.1. Tambor de destilado

El propósito del tambor de destilado es proporcionar un flujo estable de reflujo y producto de tope. El tambor debe ser lo suficientemente grande como para absorber variaciones pequeñas en el flujo de condensación. También ayuda en la separación del vapor y del líquido y en algunos casos es usado para separar dos fases líquidas inmiscibles.

2.9.2. Condensadores

Se conoce como unidad condensadora a todo aquel intercambiador que cumple una función de disminución de temperatura, ya sea para gases, vapores y otros. La configuración de un condensador puede ser de varios tipos, es decir, de tubo y coraza, placas y superficies extendidas [2].

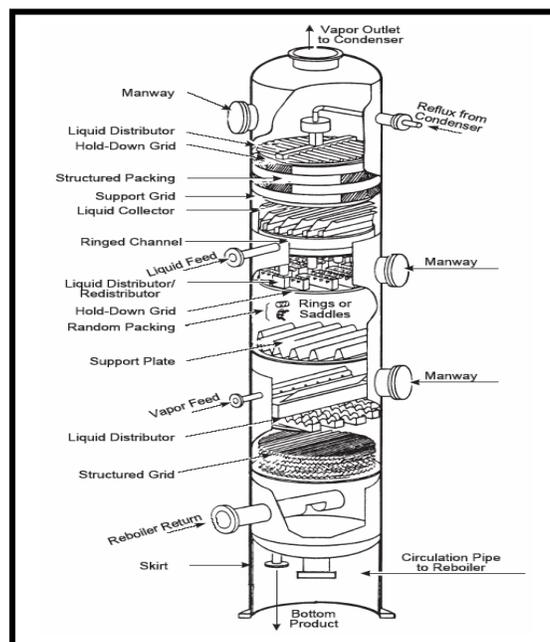


Figura 2.12. Diagrama interno de una torre de destilación [2].

2.9.3. Rehervidor

Equipo cuyo único propósito es el de vaporizar parte de los líquidos que están en el fondo de la torre produciendo vapores que fluyen desde el fondo hacia el tope, cualquier líquido que no se vaporice en el rehervidor pasa a ser producto de fondo.



Figura 2.13. Rehervidor [8].

2.9.4. Intercambiadores de calor

Es un equipo cuyo objetivo principal es la transferencia de energía térmica entre dos o más fluidos a diferentes temperaturas [8].

2.9.4.1. Funciones de los intercambiadores de calor

En un intercambiador el calor fluye, como resultado del gradiente de temperatura, desde el fluido caliente hacia el frío a través de una pared de separación, la cual se le denomina superficie o área de transferencia de calor. Si los fluidos son inmiscibles, el área física de transferencia de calor puede ser eliminada, y la interface formada entre los fluidos puede servir como área de transferencia de calor. En resumen, las funciones típicas de un intercambiador de calor en los procesos industriales son las siguientes:

2.9.4.2. Recuperación de calor

La corriente fría recupera parte del calor contenido en la corriente caliente. Es decir, calentamiento y enfriamiento de las corrientes involucradas, las cuales fluyen simultáneamente a ambos lados del área de transferencia de calor [8].

2.9.4.3. Tipos de intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar según las direcciones relativas del flujo de los fluidos calientes y frío, dando lugar a términos como fluidos paralelos, cuando ambos fluidos se mueven en la misma dirección; flujo encontrado, cuando los fluidos se mueven en paralelo pero en sentido opuesto; y flujo cruzado, cuando las direcciones de flujo son mutuamente perpendiculares.

Otra manera de clasificar los intercambiadores de calor, es mediante la estructura y uso de los mismos, como se muestra a continuación haciendo más énfasis en la descripción de los intercambiadores de calor por aire y los intercambiadores de calor de tubo y coraza [3].

a) Intercambiadores de coraza y tubo

Los intercambiadores del tipo de coraza y tubo constituyen la parte más importantes de los equipos de transferencia de calor sin combustión en las plantas de procesos químicos (aun cuando se está haciendo cada vez mayor hincapié en otros diseños).

➤ **Componentes básicos:**

Los intercambiadores de tubo y coraza están contruidos con tubos redondos montados en una coraza cilíndrica con los tubos paralelos a ella, donde un fluido fluye dentro de los tubos, mientras otro lo hace a través y a lo largo del eje del intercambiador. Este tipo de intercambiador poseen deflectores (baffles) que sirven como soporte a los haces de tubos e incrementan la transferencia de calor, siendo sus componentes principales los tubos (haces de tubos), coraza, tapa frontal, tapa de fondo, deflectores y láminas de tubos [3].

b) **Enfriadores por aire**

Ventajas:

1. Generalmente la construcción es sencilla, incluso a una presión relativamente alta y/o temperatura altas.
2. No presenta problemas de agua tales como corrosión, presencia de algas, escamas, espumas, etc.
3. En algunos casos se puede instalar estas unidades por encima de otros equipos, o sobre pasos de tuberías o pisos de edificios.
4. Excelente para reducir altos niveles de temperatura, particularmente por encima de 200°F (93 °C) [8].

Desventajas:

1. Limitación bastante alta en la temperatura de salida del fluido que se desea enfriar.

2. En caso de producirse filtraciones a la atmósfera, se pueden escapar vapores y líquidos tóxicos y /o inflamables. Esto puede crear una situación de alta inseguridad.
3. No son muy deseables para servicios de vacío debido a limitaciones en la caída de presión. Sin embargo, son usados en esa clase de servicios.
4. Se usan principalmente para el enfriamiento de líquidos o de vapores que sean condensables con cierta facilidad. Sin embargo, el uso de esos intercambiadores en el enfriamiento de gases es limitado. Esto se debe a que los coeficientes de transferencia de calor por convección son muy pequeños [8].

2. 10. PRINCIPIOS DE FRACCIONAMIENTO

Consideraciones Teóricas:

- Se usa para separar dos o más corrientes en base a la diferencia de las volatilidades o puntos de ebullición (punto de burbujeo).
- La volatilidad relativa de dos componentes determina la dificultad de su separación; mientras más cercanos estén los puntos de burbujeo más difícil es la separación.
- El componente más volátil es aquel con menor punto de burbujeo y el menos volátil tiene mayor punto de burbujeo.
- El principio de separación consiste en crear un gradiente de temperatura mediante la adición de calor por el fondo y el retiro de calor por el tope.
- Cuando la alimentación está formada por dos o más componentes, estos se distribuyen en cantidades apreciables hacia el fondo y tope en base a su volatilidad y punto de ebullición.

- Cuando se fracciona un sistema de dos componentes, el más liviano se denomina llave liviano y el más pesado llave pesado.
- Si se fracciona un sistema multicomponente, pueden haber más de dos componentes distribuidos; en este caso, los componentes llave serán los que demuestren mayor cambio en la composición entre el tope y el fondo.
- Una columna de fraccionamiento está dividida en dos secciones respecto al plato de alimentación: zona de rectificación o enriquecimiento (tope) y zona de despojamiento (fondo). En la zona de despojamiento, los platos tienen mayor cantidad de líquido que de vapor mientras que en la zona de rectificación ocurre lo contrario [5].

2.11. ANORMALIDADES DEL PROCESO

El uso de platos y dispositivos tales como válvulas, copas de burbujeo, empaques, etc., propicia una buena rectificación; pero, al mismo tiempo, esos dispositivos funcionan como restricciones al flujo de vapores y líquidos. En el caso de flujos excesivos de vapores o líquidos, el tráfico de materiales sufre una sobrecarga y las funciones generales de la torre se alteran. Por eso es conveniente mantener en observación los efectos de cambios recientes de las variables de operación [6].

2.11.1. Arrastre

Un arrastre grave puede ser el comienzo de una inundación. Normalmente, sobre la superficie del líquido en un plato, existe un gran volumen de gotas arrastradas por la velocidad de los vapores en ascenso.

Altas cargas de vapores aumentan las velocidades de estos, produciéndose un exceso en el arrastre de líquido que irá a contaminar el plato superior con partículas pesadas. El fraccionamiento se ve afectado pues el proceso de rectificación se anula. Es posible normalizar la situación bajando la temperatura de la carga, la tasa de alimentación del vapor despojado [5].

2.11.2. Vomito

Consiste en la inundación del plato de tope y, en casos más severos, también de los platos inferiores. Puede resultar por un exceso de reflujo de tope, del cual una gran parte regresa por la línea de vapores de cabecera como líquido en oleadas. Deben dirigirse acciones para bajar temperaturas y para disminuir las tasas de reflujo a tope.

Por ejemplo, aumentando el reflujo intermedio, bajar tasas y/o temperatura de la carga y tratar de mantener o subir levemente la presión [7].

2.11.3. Goteo

Cuando el flujo de vapor es bajo, existe una capacidad limitada para sustentar el líquido en la bandeja; la columna hidrostática vence la energía de los vapores y comienza un goteo rápido que puede llegar a secar el nivel de la bandeja si estas condiciones se mantienen.

La manera de controlar o corregir el goteo es mantener o retornar las condiciones operacionales de la torre dentro de las especificaciones del proceso establecido en el diseño [7].

2.11.4. Inundación

Por altas cargas de líquido o de vapores, uno o más platos pueden llenarse completamente de líquido o espuma. El tubo o los tubos de rebose no pueden desalojar efectivamente el torrente de líquido, particularmente si hay dificultades en el flujo de vapores y formaciones de contrapresiones entre los platos.

Las condiciones pueden normalizarse si se baja controladamente la carga, temperatura, vapor despojador, reflujos, y extrayendo más productos laterales, etc. La presión, como variable, puede intervenir en última instancia, y en todo caso sería para aumentar la, buscando disminuir el volumen y la velocidad de los vapores [5].

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se presentan las herramientas necesarias que se utilizaron, así como también la estrategia empleada para cumplir con los objetivos propuestos para el estudio de las propiedades coligativas presentes en una torre despropanizadora.

3.1. PROPIEDADES COLIGATIVAS EN LA ETAPA DE FRACCIONAMIENTO DEL NEGOCIO DEL GAS NATURAL.

En el fraccionamiento del LGN la torre despropanizadora juega un rol muy importante ya que es la primera etapa de separación. Para obtener la mayor cantidad de propano y el rendimiento óptimo de este sistema es necesario realizar una evaluación al régimen de control y operación de la torre despropanizadora, con el fin de entender la filosofía de la misma y establecer la condición óptima de los parámetros de control real. Para esto se realizó una descripción de los principios operacionales de la torre y características de diseño para determinar los parámetros de control, problemas operacionales y dar posibles soluciones a los problemas que se presenten y así garantizar las especificaciones de los productos que se desean obtener.

La despropanizadora a tratar es una columna de 50 platos, posee un condensador de tope enfriado por aire; también cuenta con un rehervidor de tipo termosifón horizontal de tubo y coraza. El calor al equipo es suministrado

por el sistema de aceite caliente. La alimentación a la despropanizadora viene desde el calentador de alimentación de la planta que luego de ser calentado obtiene la temperatura requerida para que una cierta porción del líquido entre vaporizado a la torre. En arranque, la presencia de agua (diferente al agua removida en el filtro coalescedor) debe ser removida en el acumulador de tope de la despropanizadora.

En el diseño de una torre despropanizadora es necesario apreciar muchos parámetros técnicos y operacionales de manera tal que se puedan obtener productos con las especificaciones requeridas. Las condiciones operacionales tales como presión, temperatura, caudal de alimentación, así como el dimensionamiento de la torre, los costos de los internos son variables indispensables para un diseñador de plantas de procesos.

La implicación de las propiedades coligativas (presión de vapor, temperatura de ebullición) en el diseño de una torre despropanizadora resulta ser de mucho interés en el campo de diseño, esto debido a que el proceso de fraccionamiento se produce a partir de que se genera el equilibrio líquido-vapor de los componentes de las sustancias que intervienen en la composición de la mezcla y este equilibrio es el producto del control y manipulación de la presión de vapor y de la temperatura de ebullición en los componentes que forman la mezcla.

Para tener un mejor enfoque en el estudio de las propiedades coligativas en la torre despropanizadora dividiremos la torre en 4 secciones o zonas: la zona de enriquecimiento, la zona de despojamiento, la zona de alimentación y el condensador y el rehervido.

3.2. FUNCIONAMIENTO DE LA TORRE DESPROPANIZADORA

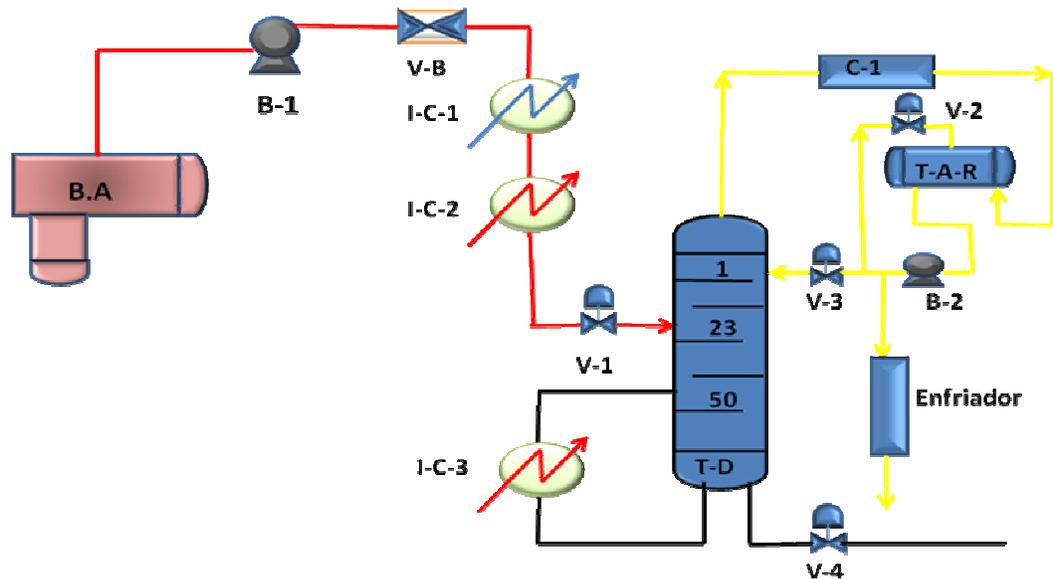


Figura 3.1. Esquema de la torre despropanizadora JOSE.

Los líquidos del gas natural (LGN) que provienen de las plantas de extracción llegan a la planta de fraccionamiento de propano donde son recolectados en las balsas de almacenamiento que se encargan de garantizar una continua alimentación a la torre despropanizadora (T.D). La alimentación es bombeada desde las balsas (B.A) hasta los intercambiadores de calor (I-C-1) y (I-C-2), donde es precalentada y parcialmente vaporizada antes de su ingreso en la bandeja 23 de la torre, la cual determina la zona de enriquecimiento (que se encuentra por encima de dicho plato) y la zona de agotamiento de la torre (localizada por debajo del mismo). La línea de alimentación contiene una válvula que se encarga de regular el flujo de entrada a la columna despropanizadora, el cual ingresa a la temperatura y presión requerida (186 °F y 286 Psig, respectivamente) con un flujo de 68,58

MMCFSD, según condiciones de diseño. La finalidad del precalentamiento por medio de los intercambiadores de calor es lograr un ahorro energético por parte del rehervidor, y por tanto, garantizar que volatilicen los productos de menor punto de ebullición rápidamente dentro de la torre. Como la alimentación ingresa ligeramente vaporizada, los vapores ascienden hacia la zona de enriquecimiento y los líquidos descenden hacia la zona de agotamiento.

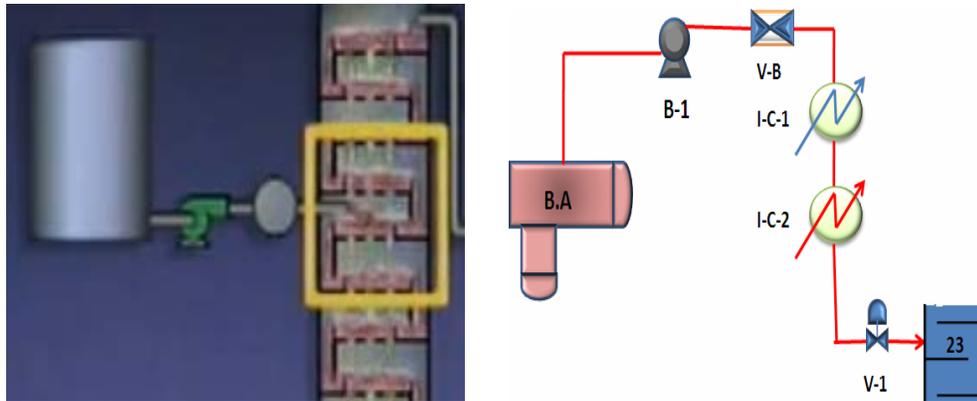


Figura 3.2. Esquema de la zona de alimentación.

La despropanizadora opera a una presión de tope de 255 psig. Los vapores de tope salen a una temperatura de 129°F y 255 psig como vapor saturado, se envían a través de una línea de flujo al condensador de reflujo de la despropanizadora. La tubería de entrada de este enfriador por aire está configurada simétricamente con el fin de asegurar la distribución uniforme del flujo entre sus 12 celdas. Un cabezal recoge de estas celdas el condensado a 124 °F y envía el producto propano al acumulador de reflujo donde una parte es devuelta a la torre como corriente de reflujo y el resto pasa a través de un enfriador de producto propano, algunos vapores de tope se desviarán al condensador a través de un desvío de gas caliente en forma controlada para mantener una presión constante de operación de 245 psig en el

acumulador. Se ha provisto de una bota con válvula manual para drenar cualquier agua que quedase.

Los productos provenientes de los trenes de fraccionamiento pasan por un sistema que les retira calor y luego van hacia el área de almacenamiento.

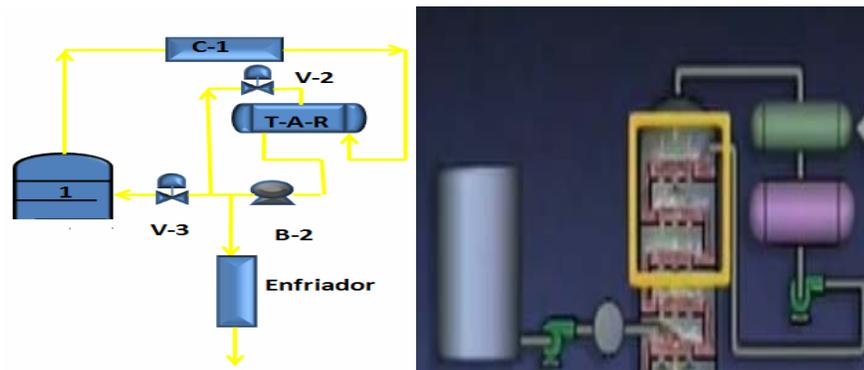


Figura 3.3. Esquema del tope de la torre despropanizadora.

Las bomba de reflujo de la despropanizadora succionan del acumulador; enviando así el producto a tratamiento. Esta relación de reflujo ($R = L / D = 2.26$) es la cantidad de reflujo por la cantidad unitaria de destilado que sale del proceso como producto, y nos permite rectificar el nivel de pureza de la corriente de salida, esta reajustada por la temperatura del plato numero 17. La línea de recirculación por reflujo mínimo al acumulador a través de las válvulas, situadas en las descarga de las bombas (ver figura 4.3), lo protege de la sobrepresión debido a una condición de descarga bloqueada.

El fondo de la torre despropanizadora fluye por circulación natural al rehervidor (I-C-3), el cual es un intercambiador de calor tipo termosifón horizontal de tubos y coraza, donde se vaporiza aproximadamente el (35 a 45) % del liquido, retornando a la torre todo el vapor, la temperatura en el

rehervidor es de 256 °F y presión de 274 psia. El aceite para calentamiento entra al rehervidor a 490 °F por el lado de los tubos y su flujo está controlado a través del intercambiador. Los líquidos que llegan al rehervidor son recalentados hasta lograr la vaporización de los componentes más volátiles, mientras los componentes con mayor punto de ebullición permanecen en el fondo y son obtenidos como productos pesados (mayormente butanos), que luego son enviados a la torre desbutanizadora.

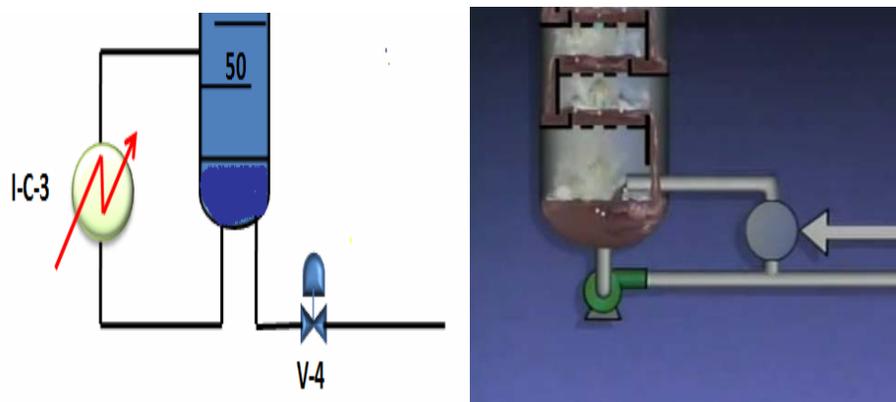


Figura 3.4. Esquema del fondo de la torre despropanizadora.

La columna está conformada por 50 bandejas que se utilizan para incrementar el contacto entre el líquido y el vapor. Por el tope de la torre (específicamente en el plato número uno) ingresa una corriente líquida subenfriada llamada reflujo, la cual va desplazándose y descendiendo plato a plato, permitiendo así condensar los componentes con mayor punto de ebullición que el propano (vaporizados desde el rehervidor), y que volatilicen los componentes livianos que lleva la corriente líquida (reflujo), este contacto líquido vapor ocurre a lo largo de toda la torre. La separación en la torre se determina por la temperatura en la bandeja 32. Una temperatura más baja en la bandeja aumentara la pureza del fondo. El diseño permite obtener un

propano de 98% v/v. además, el contenido de propano en el fondo debe limitarse a 0,55% v/v.

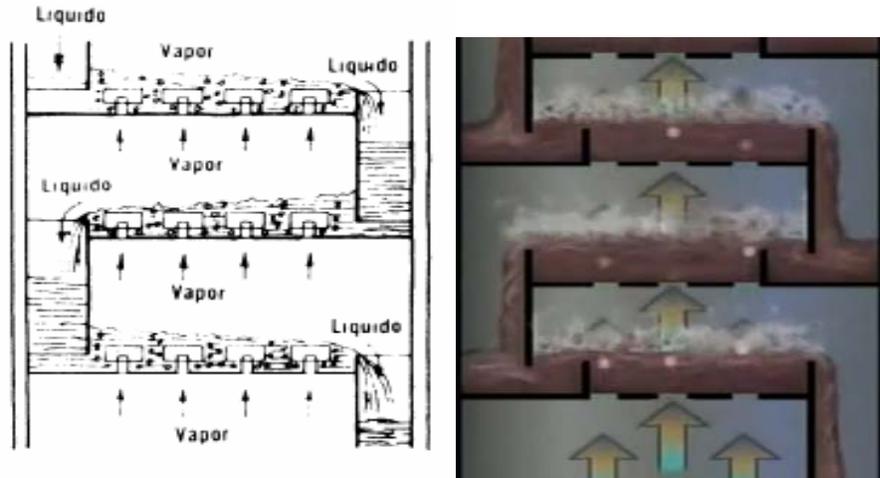


Figura 3.5. Comportamiento del equilibrio liquido-vapor en los platos de la torre.

3.3. BASES DE DISEÑO DE UNA TORRE DESPROPANIZADORA

NOTA. La presión osmótica y el punto de congelación a pesar de ser unas propiedades coligativas, no serán resaltadas en diseño de la torre despropanizadora, ya que el equilibrio que determina este proceso, es el liquido-vapor, y por tanto estas propiedades no son aplicables en este proceso.

3.3.1. Caracterizar la alimentación, la recuperación de productos y las especificaciones de los mismos. (Calidad, flujo,).

La calidad, flujos y recobro determinan la cantidad de productos a separar, los parámetros fundamentales para el balance de masa, de energía y el dimensionamiento de la torre; la temperatura permite determinar el grado de vaporización y por ende el grado de energía. La calidad y los flujos se obtienen haciendo un balance de materia en la torre.

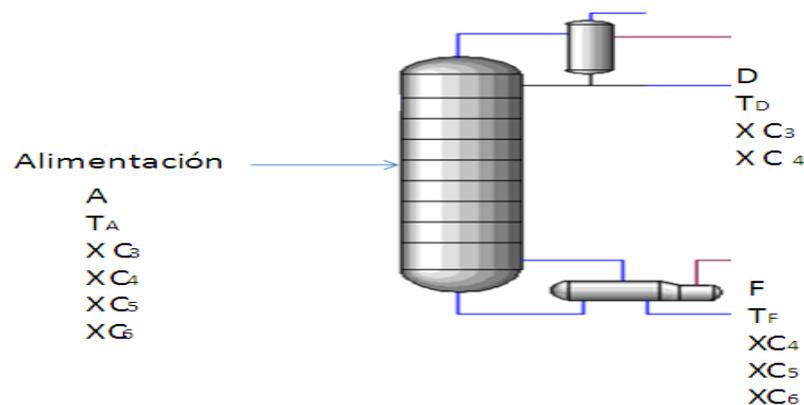


Figura 3.6. Caracterización de la alimentación y corrientes de salidas.

3.3.1.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño

La temperatura y la composición de la mezcla son unas de las variables de mayor importancia para definir la aplicación de las propiedades coligativas. Si la mezcla no se precalienta antes de ingresar a la torre, ella ingresara completamente en estado líquido por tanto no habrá cambio de fases ni presión de vapor en este punto del proceso. La composición de la mezcla también es muy importante ya que mientras más cercanos sean los puntos de ebullición de los componentes, mas difícil será la separación de los mismos. Ya que se requieren de mas etapas teóricas para su separación. Por ejemplo un 10% de variación en la composición de propano aumentado a

un despropanizador, requiere de 1 a 2 platos adicionales o aumento de 33% de la razón de reflujo, sería necesario bajar la rata de alimentación a la torre hasta darle flexibilidad de manejo a la columna.

De la misma manera, el aumento de compuestos con bajo punto de ebullición y alta presión de vapor en la alimentación conlleva a afectar la capacidad de condensación y la presión de la torre, por lo que en algunos casos es necesario colocar antes una torre estabilizadora para controlar la presión de vapor de la mezcla y asegurar así la pureza del producto.

En esta etapa del diseño la presión de vapor, el punto de ebullición y el calor latente de vaporización, juegan un papel muy importante, ya que la mezcla líquida al pasar por el proceso de precalentamiento es parcialmente vaporizada, los compuestos que tienen menor punto de ebullición y mayor presión de vapor son los que vaporizan parcialmente en esta etapa del proceso, al ocurrir un cambio de fase líquido a vapor está presente el calor latente de vaporización.

3.3.2. Definir el componente llave liviano y el componente llave pesado

Luego que se han caracterizado los productos podemos determinar estos dos componentes. El componente llave liviano será el más volátil, El componente llave pasado es el menos volátil.

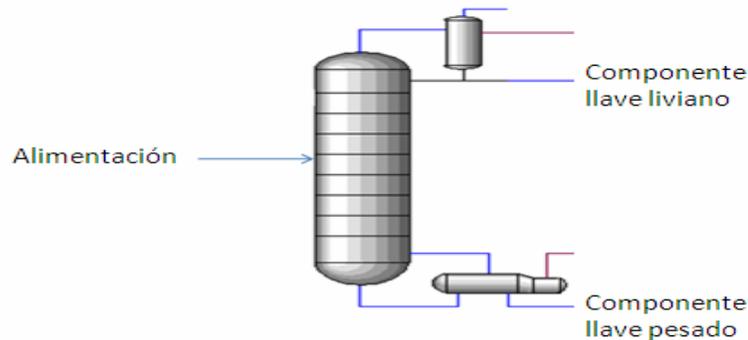


Figura 3.7. Corrientes de entrada y salida de la despropanizadora.

3.3.2.1. Análisis de las propiedades coligativas para definir los componentes llaves

Para conocer los componentes llaves, es necesario que conozcamos los puntos de ebullición de los componentes de la mezcla, ya que el componente llave liviano será el que presente menor punto de ebullición y mayor presión de vapor, por evaporarse con más facilidad que los demás componentes, es decir, es el que tiene la capacidad de desplazarse con mayor facilidad al tope de la columna destiladora.. Para el diseño de una torre de destilación el componente llave liviano es aquel que se desea en menor fracción de composición por el fondo. De la misma manera el componente llave pesado es aquel cuya fracción se encuentra en menor porcentaje por el tope. La volatilidad, está relacionada directamente con la presión de vapor de los componentes, es así como a mayor volatilidad de un componente, mayor será la presión de vapor de este. Si la volatilidad de una sustancia disminuye o es muy baja la presión de vapor también lo será.

$$\alpha_{Dci, clk} = \frac{KDi}{KDIk} \quad (\text{Ec.3.1})$$

La ecuación de volatilidad de cualquier componente para los cálculos de diseño de una torre fraccionadora, está determinada por la relación entre constante de equilibrio del componente con volatilidad desconocida (i) y la constante de equilibrio del componente clave pesado (k).

3.3.3. Establecer la presión de la columna de acuerdo al medio enfriante del condensador.

La temperatura de tope de la columna depende de la presión de operación de la misma, la cual a su vez, depende del medio de enfriamiento disponible para condensar el reflujo. La mayoría de las columnas son diseñadas para usar agua como medio de enfriamiento en el condensador, a temperaturas que varían entre 90 y 115 °F.

También se usa aire como medio de enfriamiento en el cual se estima la temperatura a la salida del condensador entre 110 y 130 °F; en algunos casos como en la desetanizadora, se usa un sistema semirefrigerado como medio enfriante, a temperaturas de 30 a 40 °F.

Un condensador total, condensa todos los vapores del plato del tope para generar una producción completamente líquida. En este caso la presión en el acumulador se obtiene haciendo un cálculo de punto de burbuja. Si se utiliza un condensador parcial se condensa solo lo necesario para el reflujo, un cálculo de punto de rocío dará la presión del acumulador.

La presión de la columna será igual a la presión del acumulador más la caída de presión a través del condensador y la línea de vapores de tope, generalmente en el orden de 5 a 15 psi.

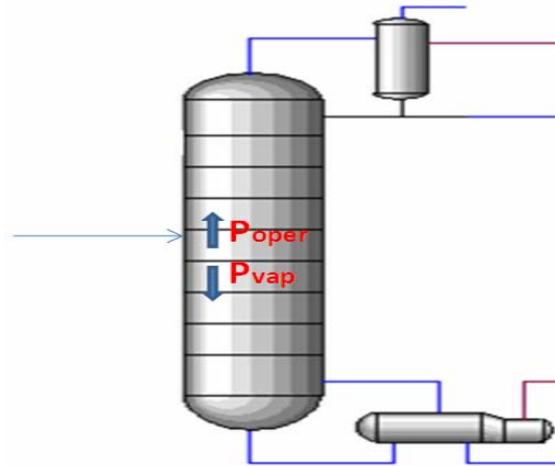


Figura 3.8. Comportamiento de la presión de operación con respecto a la presión de vapor.

3.3.3.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño

La presión de la columna es recomendado que sea lo suficientemente baja. Para que no influya en el descenso de la presión de vapor y el aumento del punto de ebullición de los componentes, ya que un aumento de presión conlleva a una disminución de la volatilización de los componentes que conforman la mezcla y por tanto se tardara más en alcanzar la separación de los mismos. Los casos en los cuales es conveniente un aumento de presión son aquellos en donde hay problemas de capacidad en el condensador y el rehervidor por tanto es conveniente controlar la torre de esta forma, para que los componentes demoren más en volatilizar y no se sobrecarguen los equipos.

La presión en la columna no debe ser excesivamente baja, ya que de este modo se vaporizaran muchos componentes con puntos de ebullición

altos que nos son convenientes obtener por el tope y por tanto contaminaran el destilado. Tampoco puede ser muy alta ya que condensaran productos con puntos de ebullición bajo que no son convenientes obtener como producto de fondo.

3.3.4. Calcular el punto de rocío para el destilado y el punto de burbujeo para el fondo (Temperatura de tope y fondo).

El vapor que sale del plato del tope tiene la misma composición del producto del tope cuando se utiliza un condensador total. Esto no es verdad cuando se utiliza un condensador parcial, en ese caso el cálculo de punto de rocío en los vapores del plato de tope, dará la temperatura del fluido que sale del tope de la columna.

De la misma manera la temperatura del fondo de la torre se obtiene del cálculo del punto de burbujeo del producto del fondo. A través de la torre podemos estimar una caída de presión entre 5 y 10 psi desde el fondo hasta el tope.

La condición óptima para la operación de una columna se obtiene cuando la alimentación entra a su punto de burbuja, entonces la temperatura de alimentación de la columna deberá corresponder con la temperatura de burbujeo a la presión de la columna.

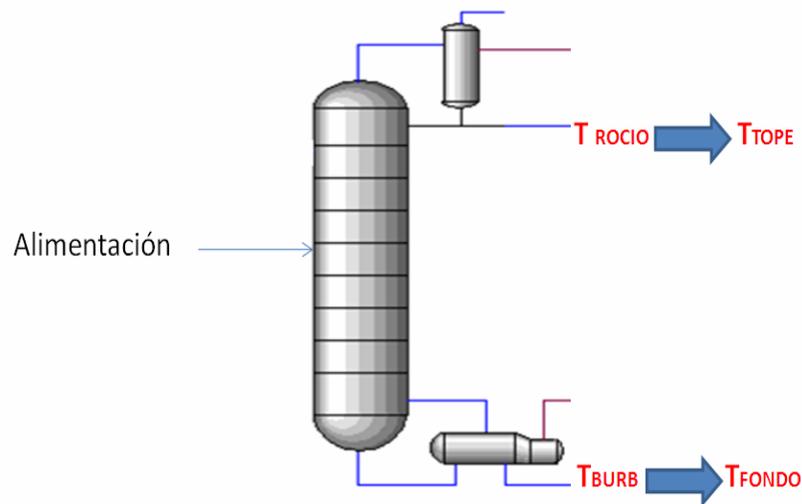


Figura 3.9. Temperatura de tope y fondo.

3.3.4.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño

Para calcular la temperatura de tope se debe determinar el punto de rocío del vapor que sale del tope ya que el vapor que sale por esta zona tiene la misma composición del producto de tope. Generalmente los cálculos de la temperatura de rocío y punto de burbuja en el tope y fondo de la torre se realizan por métodos iterativos (método flash). Las condiciones en las que se establece el equilibrio líquido-vapor en las etapas de la columna determinan las temperaturas y presión a la cual se trabaja, es por ello que los cálculos de estas variables en el diseño de una torre van a depender mucho de las constantes de equilibrio y composiciones ($\sum K_i X_i$) de los componentes que intervienen en las secciones de la torre. En lo que respecta al tope de la torre la temperatura para el inicio de la iteración va a depender del medio enfriante del condensador. En este cálculo las propiedades coligativas no aplican.

El líquido que sale del fondo de la torre, tiene la misma composición que el producto de fondo de la torre, entonces haciendo un cálculo del punto de ebullición de este producto podemos obtener la temperatura en el fondo de la torre. Al disminuir la presión de burbuja en el fondo de la torre aumenta la presión de vapor y se vaporizan rápidamente el componente clave liviano. Por otro lado si disminuye la temperatura de ebullición volatiliza rápidamente el componente clave liviano. Si la presión en la columna es muy baja de modo que la presión de vapor supere a esta, puede existir una tendencia a vaporizar mucho el componente clave pesado contaminando así los productos de tope. De igual manera si la presión de la columna es muy alta, por encima de la presión de vapor de la mezcla de fondo, el componente clave liviano condensaría contaminando los productos de fondo.

$\sum K_i \cdot X_i = 1$, la sustancia se encuentra en equilibrio y termina el proceso iterativo, la variable asumida es el valor correcto.

K_i = es la constante de equilibrio, se determina con graficas.

X_i = Concentración del componente.

3.3.5. Calcular el número mínimo de platos teóricos

Para una separación dada el número mínimo de platos se obtiene cuando la columna opera a reflujo infinito. Para el cálculo de platos y relación de reflujo existen métodos rigurosos (largos, por computación) como lo son Fenske- Underwood y Satgeto State, para aplicar estos métodos se requieren simuladores como Hysis y Pro II, estos métodos se aplican específicamente a mezclas multicomponentes, también existen métodos cortos como McCabe-Thiele, para mezclas binarias, estos métodos los podemos realizar manualmente.

Para el cálculo del número mínimo de platos teóricos en forma rigurosa, se aplica el método de fensker , aquí se relacionan las fracciones molares de los componentes claves livianos y claves pesados en el tope y fondo de las torres, así como las volatilidades de estos en la alimentación, el destilado y en la corriente de fondo. Se realiza un cálculo (plato a plato) de equilibrio de punto de rocío del tope hacia el fondo, de punto de burbujeo del fondo hacia el tope, y de la relación de reflujo, de tal forma que en el plato donde estos cálculos coincidan, se define el número de platos mínimos requeridos.

Para el cálculo del número mínimo de etapas fensker:

$$N_{min} = \frac{\ln \left[\frac{\left(\frac{XDc3}{XWc3} \right) / \left(\frac{XDic4}{Xwic4} \right)}{Inac3, ic4} \right]}{\ln \alpha_{3, ic4}} - 1 \quad (\text{Ec.3.2})$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\alpha_{Dc3, ic4} * \alpha_{Fc3, ic4} * \alpha_{Wc3, ic4}} \quad (\text{Ec.3.3})$$

$$\alpha_{Dc3, ic4} = \frac{KDc3}{KDic4} = \quad (\text{Ec.3.4})$$

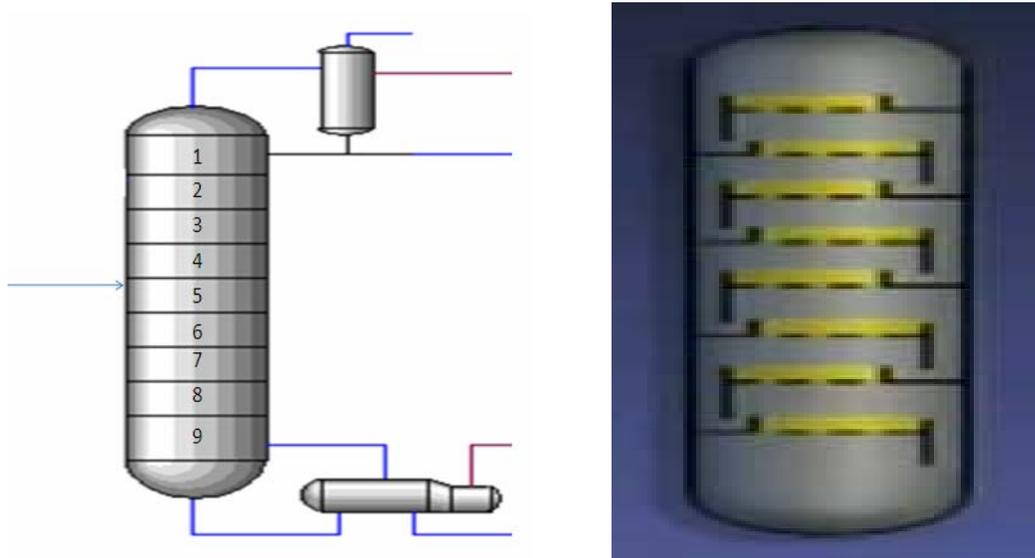


Figura 3.10. Numero de platos.

3.3.5.1. Análisis de las propiedades coligativas para el cálculo del número mínimo de platos teóricos

El número de platos teóricos, es dependiente de los puntos de ebullición y presión de vapor de los componentes de la mezcla, ya que mientras más cercanos sean los puntos de ebullición de los componentes de la mezcla y menor sea la presión de vapor de los mismos mayor será el numero de platos, por ser más difícil la separación, un numero alto de platos permite una mejoría en la separación de los componentes de la mezcla ya que aumenta el contacto entre el liquido y el vapor. Mientras más alejados sean los puntos de ebullición de los componentes y mayor sea la presión de vapor de los mismos más fácil será la separación y por tanto se requieren de menos platos teóricos.

3.3.6. Calcular el reflujo mínimo.

El reflujo es la razón entre el volumen de fluido revertido a la torre, dividido por el volumen de fluido que entra o sale del fraccionador. Para el cálculo de reflujo mínimo se utiliza la relación de Underwood, dentro de los métodos cortos, lo cual ocurre al tener un número infinito de platos:

$$\sum \frac{\alpha_i - d_i}{\alpha_i - \theta} = Rm + D \quad \text{Ec. De Underwood} \quad (\text{Ec.3.5})$$

Donde θ es una constante que debe ser determinada según la

ecuación: $\sum \frac{\alpha_i - x_i}{\alpha_i - \theta} = 0$ mediante un proceso iterativo.

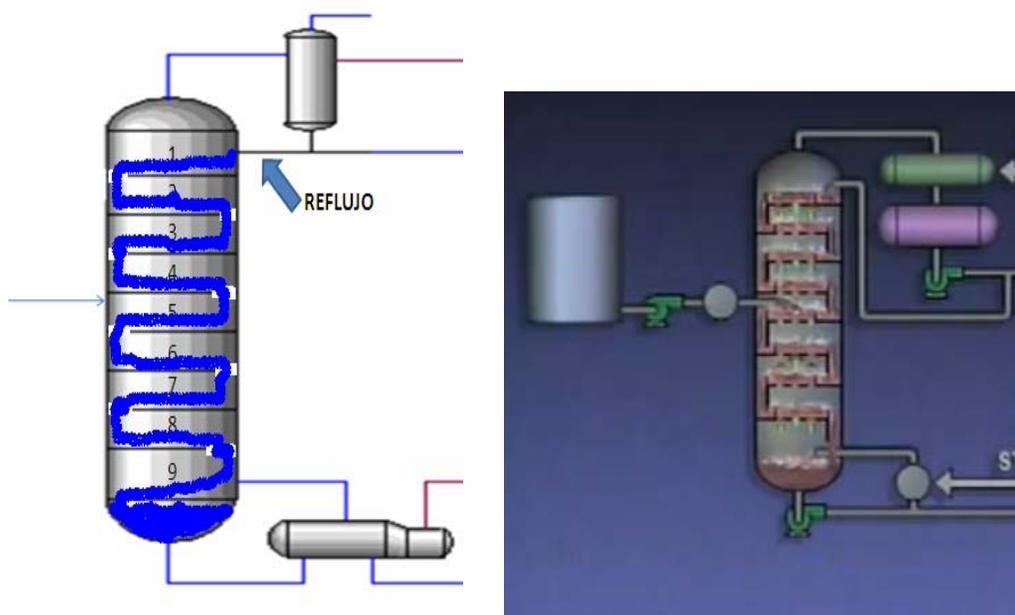


Figura 3.11. Comportamiento del reflujo en la torre.

3.3.6.1. Análisis de las propiedades coligativas en el cálculo del reflujo mínimo

El reflujo mínimo es dependiente de las presiones de vapor de los componentes, del punto de ebullición y del calor latente de vaporización y condensación. Ya que es la variable del proceso que define el equilibrio líquido- vapor a lo largo de toda la torre. La mayor eficiencia en los platos se obtiene para columnas despropanizadoras cargadas entre 85 y 98% del punto de inundación, debajo del 75 % de esta capacidad las eficiencias caen violentamente.

Cuando la torre despropanizadora opera a una rata máxima cualquier oleaje en el reflujo puede causar inundación en los platos del tope y la torre deja de fraccionar. Cuando la torre esta en equilibrio y tiene especificaciones de tope y de fondo al aumentar la temperatura del fondo, se debe aumentar el reflujo para evitar contaminación del producto de tope; caso contrario al bajar la temperatura del fondo se debe cortar el reflujo para evitar contaminación en el producto de fondo ya que existen menos vapores para despojamiento.

El reflujo es el protagonista principal del equilibrio líquido-vapor que existe en cada plato de la torre, este ingresa por el plato superior de la torre en forma de líquido subenfriado con la finalidad de condensar los componentes pesados que lleva la corriente gaseosa y de vaporizar los de menor punto de ebullición que contenga el reflujo, Al igual que permite que los componentes con mayor presión de vapor puedan llegar al tope de la torre con una pureza de propano cercana al 98%. Esta variable permite el constante cambio de calor latente de vaporización y de condensación que ocurre en cada plato.

3.3.7. Determinar el punto de operación de reflujo y el número de platos teóricos.

Al obtener el número mínimo de platos y el reflujo mínimo, se usa la correlación de Gilliland (ver figura 9. anexos), para determinar el número de platos teóricos y el reflujo de operación de la grafica de Gilliland suponiendo un valor de N (número de platos). Se obtiene el reflujo correspondiente y se elaborara la grafica de Reflujo Vs número de platos. Con esta grafica se selecciona un punto de operación usualmente $\text{Reflujo}=1,3$ Reflujo mínimo y/o numero de platos igual a dos veces el numero de platos mínimos. Pero la selección depende de los costos de operación Vs los costos de instalación, alta razón de reflujo significan altos costos de operación.

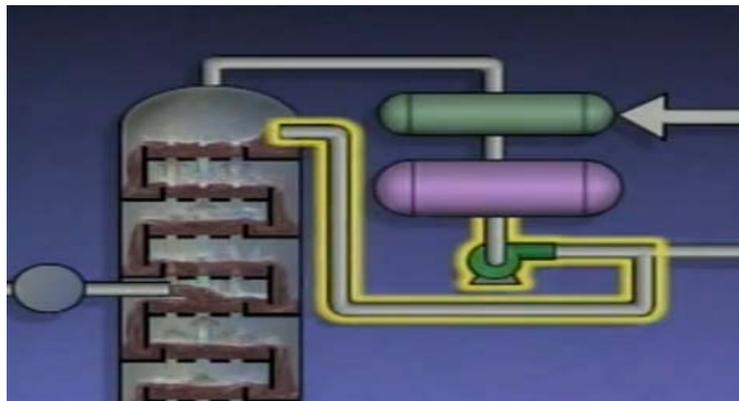


Figura3.12. Ingreso del reflujo a la torre despropanizadora

3.3.7.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa de diseño

Los interiores de la torre despropanizadora son básicamente los platos, los cuales permiten el incremento del contacto entre el líquido y el vapor, a lo largo de la torre ocurren constantes cambios de fases de líquido a vapor y de vapor a líquido (calores latentes de vaporización y de condensación

respectivamente) El reflujo entra en contacto con los vapores ascendentes, en el plato superior, los enfría y condensa las partes más pesadas de ese vapor. Parte del reflujo se evapora, y el efecto neto es un aumento de temperatura de la parte del reflujo que como líquido baja al plato siguiente. Los compuestos con menor punto de ebullición y los de mayor presión de vapor salen por el tope, mientras los de mayor punto de ebullición y menor presión de vapor salen por el fondo.

3.3.8. Determinar el plato de alimentación.

Kirkbride, propuso un método aproximado para calcular el número de etapas teóricas arriba y abajo de la alimentación que se puede utilizar para estimar la ubicación de la etapa de alimentación. Esta relación empírica es como sigue:

$$\log \frac{N_e}{N_s} = 0.206 \log \left[\frac{(X_{HF})_W (X_{LD})^2}{(X_{LF})_D (X_{HD})^2} \right] \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

N_e = Es el número de etapas teóricas arriba del plato de alimentación.

N_s = Es el número de etapas teóricas por debajo del plato de alimentación.

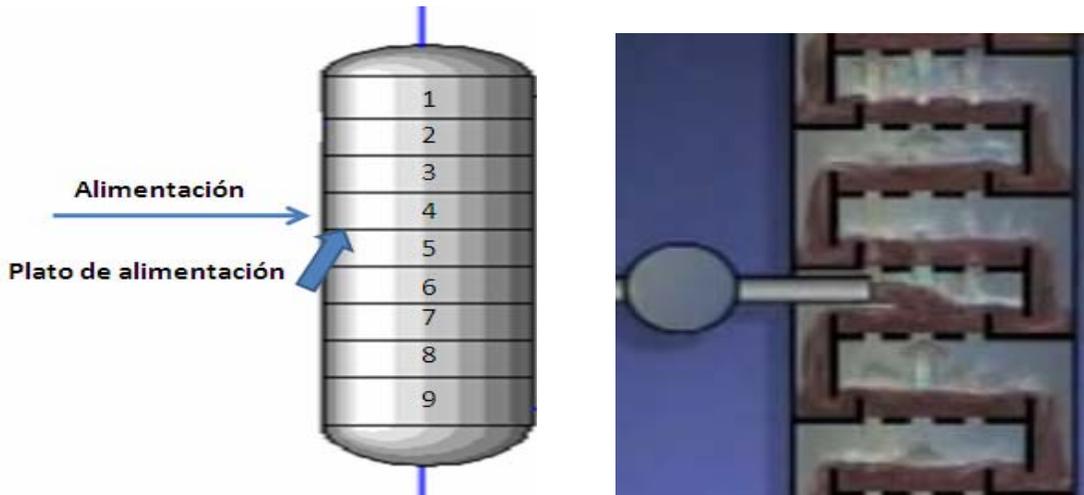


Figura 3.13. Plato de alimentación de la torre.

3.3.8.1. Análisis de las propiedades coligativas para el cálculo del plato de alimentación.

Un bajo porcentaje del componente con menor punto de ebullición en la alimentación, el cual debe producirse por el tope con gran pureza requiere bajar el plato de alimentación para aumentar la zona de rectificación.

Por ejemplo en un separador de propano donde no se requiere mucho Isopropano en el fondo se puede corregir subiendo el plato de carga y disminuir la razón de reflujo.

Ya que la mezcla ingresa a la despropanizadora previamente precalentada, los componentes con menor punto de ebullición se volatilizan, y se desplazan hasta el tope de la despropanizadora, los componentes con baja presión de vapor se desplazan hasta el fondo de la torre.

3.3.9. Calcular la eficiencia de la columna (o plato) y determinar el número de platos reales.

Cuando se habla de eficiencia en torres se definen dos tipos, eficiencia global y eficiencia local o eficiencia de Murphree.

La eficiencia global E_o se calcula por medio de la relación entre el número de platos ideales y el número de platos reales.

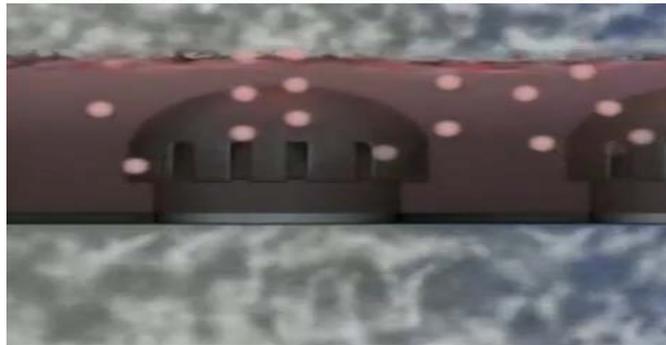


Figura3.14. Funcionamiento de una campana de burbujeo.

$$E_o = \frac{\text{Nro. platos teóricos}}{\text{Nro. platos reales}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Y la eficiencia local (o sea Murphree) E' se define como:

$$E' = \frac{Y_n - Y_{n+1}}{Y_{n*} - Y_{n+1}} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

En donde:

Y_n = Concentración real de la fase de vapor que sale del plato n .

Y_n^* = Concentración de vapor en equilibrio en el líquido de acuerdo a las condiciones teóricas en el plato N.

Y_{n+1} = Concentración real de vapor que entra al plato N.

De tal forma que:

$$E_o = \frac{\log\left(\left(1 + E\left(\frac{MV}{L} - 1\right)\right)\right)}{\log\left(\frac{MV}{L}\right)} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Donde:

M = Es la pendiente de la curva de equilibrio.

L/V = Es la pendiente de la línea de operación.

Luego de conocida la eficiencia de la torre se calcula el número de platos reales por un simple despeje de la ecuación Ec. 3.6.

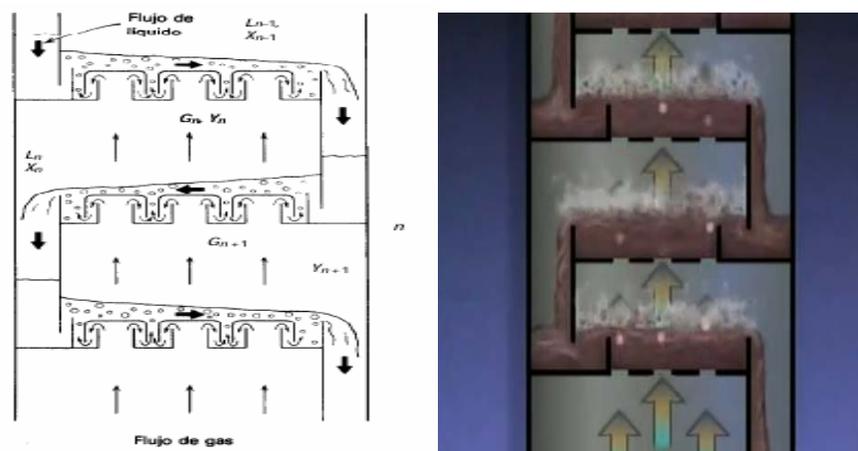


Figura 3.15. Comportamiento del equilibrio líquido vapor en la torre.

3.3.9.1. Análisis de las propiedades coligativas en esta etapa del diseño.

El punto de ebullición y la presión de vapor de los componentes de la mezcla influyen en la eficiencia de la torre, ya que mientras mayor sea el punto de ebullición y mientras sea menor la presión de vapor de los componentes de la mezcla, menor será la eficiencia de los platos, porque es más difícil que volatilicen los componentes y sería más difícil alcanzar el equilibrio líquido vapor en los platos de la torre; de igual forma cuando los componentes tienen puntos de ebullición muy cercanos la eficiencia disminuye, ya que la cantidad de platos que deben conformar la columna es bastante grande y por tanto es más difícil mantener el equilibrio líquido vapor a lo largo de toda la torre, muchas veces los componentes de la mezcla tienen puntos de ebullición tan cercanos que no es posible su separación por destilación.

3.3.10. Calcular el diámetro y altura de la torre.

Para determinar la altura de la torre se debe conocer el número de platos, ya que la altura de la torre se determina con el producto del número de platos por el espaciamiento que hay entre los mismos, el diámetro de la torre está en función de la altura de la torre, el flujo volumétrico del vapor y la velocidad máxima del flujo de vapor en la torre.

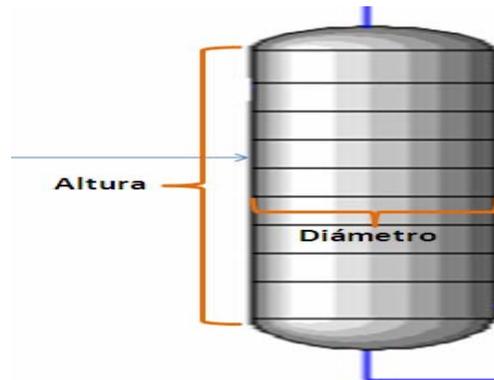


Figura 3.16. Diámetro y altura de la torre.

3.3.10.1. Análisis de las propiedades coligativas para el cálculo del diámetro y altura de la torre

El cálculo de la altura y diámetro de la torre, son dependientes de la cercanía de los puntos de ebullición y de las presiones de vapor de los componentes que conforman la mezcla que ingresara a la despropanizadora. Mientras más cercanos sean los puntos de ebullición y más bajas sean las presiones de vapor de los componentes que conforman la mezcla, más alta será la torre debido a que se necesita mayor numero de platos para mejorar la eficiencia de la torre y por ende más ancho debe ser su diámetro para que se cumplan las condiciones de esbeltez de la misma y se permita un mejor contacto entre el líquido y el vapor. Si los componentes de la mezcla tienen puntos de ebullición alejados y la presión de vapor es alta, entonces se podrá construir una torre con menor número de platos y por tanto con una menor altura y un diámetro más pequeño, es decir, la altura y diámetro dependen directamente del número de platos necesarios en la torre.

3.4. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS EN LOS PROBLEMAS OPERACIONALES MÁS COMUNES EN UNA TORRE DESPROPANIZADORA.

3.4.1. Aplicación de las propiedades coligativas en las variables que influyen en los problemas operacionales.

3.4.1.1. Presión de la columna

La presión en la columna afecta el grado de separación al cambiar la presión de vapor de la mezcla, a mayor presión en la columna menor será la presión de vapor de la mezcla y por tanto más difícil la separación, ya que los componentes livianos demoran mas en alcanzar su punto de ebullición y volatilizar, se debe operar a la menor presión posible, para aumentar la presión de vapor y gastar menos energía en la separación. Si la capacidad de la columna está limitada por el área del condensador, un aumento de la presión aumentara la diferencia de temperatura disponible en el condensador, si la capacidad de la columna está limitada por la carga calorífica, un aumento en presión de la columna aumentara la capacidad de la columna.

La contaminación del producto del tope se controla más efectivamente aumentando la presión de la tasa de reflujo. Ya que de este modo se evita que componentes con mayor punto de ebullición lleguen al tope.

La contaminación del producto de fondo se controla con una disminución de presión de la tasa de alimentación, ya que de este modo se evita que componentes de bajo punto de ebullición salgan con el producto de fondo.

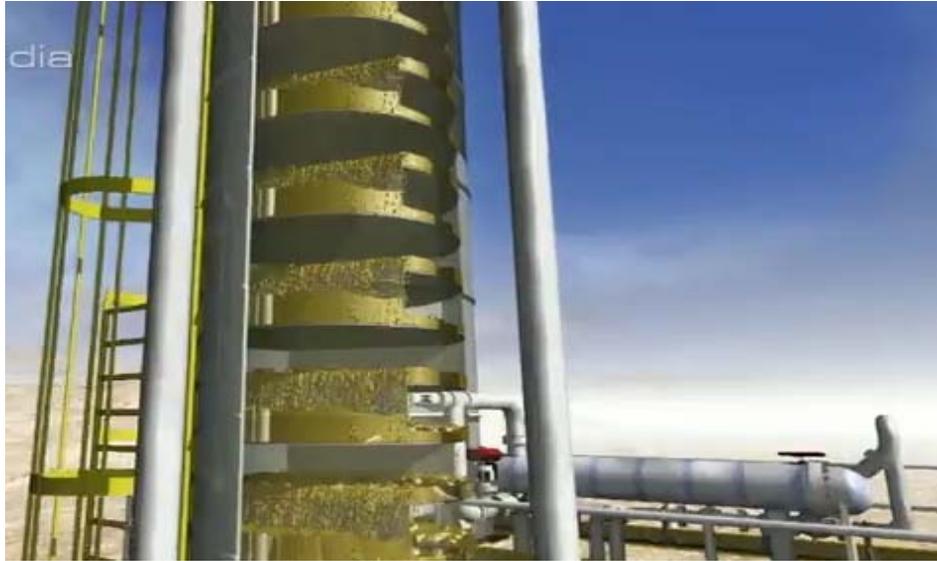


Figura 3.17. Vista interior de una despropanizadora

3.4.1.2. Reflujo

La cantidad de reflujo afecta la calidad del producto y la capacidad de la columna ya que aumenta el grado de separación y la carga calórica de la columna lo cual afecta la eficiencia del plato. El reflujo a medida que baja, va arrastrando con él los compuestos de mayor punto de ebullición de la mezcla y el vapor a medida que sube, se va desprendiendo de los compuestos pesados y llega al tope de la torre con los compuestos de menor punto de ebullición y mayor presión de vapor. Es decir, el reflujo disminuye la presión de vapor de los componentes pesados de la mezcla hasta condensarlos, ya que es un líquido sub- enfriado, permitiendo así que lleguen los componentes con menor punto de ebullición al tope.

Si no hubiera reflujo, los vapores subirían desde abajo sin condensarse ni bajar temperatura, y no habría fraccionamiento. Si la cantidad

de reflujo fuera muy baja se evapora antes de bajar todos los platos de la parte rectificadora de la torre (se secan los platos situados más abajo). Si hay exceso de reflujo, la temperatura de la parte superior de la torre sería muy baja, y no podría evaporar todas las partes livianas deseables. Un reflujo total significaría que no se obtiene ningún producto de tope, es decir, todo el producto obtenido se introduce nuevamente en la torre.

La temperatura del reflujo afecta el reflujo interno. Un reflujo subenfriado requiere mayor cantidad de energía para vaporizar, sin embargo, en casos donde se tenga limitaciones de bombeo de reflujo el reflujo subenfriado aumenta el reflujo interno. Excesivo reflujo produce inundación y por ende mala separación en los platos. Para cambios en la composición de alimentación no apreciables se recomienda mantener la razón de reflujo constante o aumentar al máximo un 15% de la razón mínima de operación y hacer los ajustes en el rehervidor.

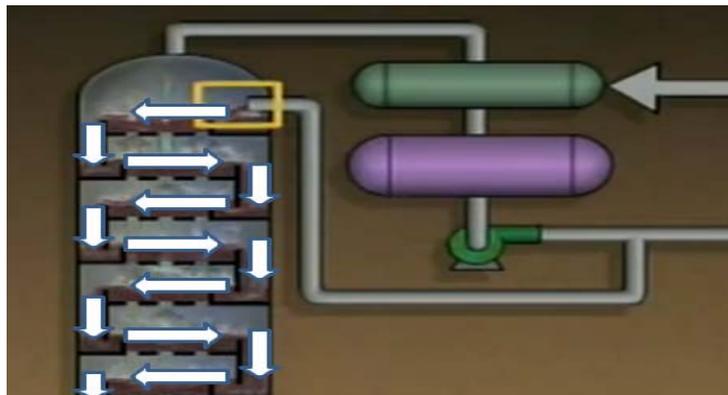


Figura 3.18 ingreso del reflujo a la despropanizadora.

3.4.1.3. Ubicación del plato de alimentación

La ubicación del plato de alimentación es muy dependiente del punto de ebullición y de la presión de vapor de los componentes de la mezcla. Ya que mientras mayor sea la presión de vapor y menor sea el punto de ebullición del componente que se quiere obtener por el tope de la torre, el plato de alimentación es recomendable que se coloque en los platos superiores, siempre y cuando los componentes que acompañan al componente llave liviano tengan puntos de ebullición alejados de este, para así evitar contaminación por el tope. Cuando el componente que se quiere obtener por el destilado tiene alto punto de ebullición y baja volatilidad, se recomienda que el plato de alimentación se ubique más hacia los platos inferiores, porque de este modo puede recibir más calor y existe una transferencia de calor plato a plato, que permita obtener por el tope de un destilado con las especificaciones requeridas. Si mezcla ingresa vaporizada a la torre con un bajo porcentaje del componente liviano en la alimentación, el cual debe producirse por el tope con gran pureza se requiere bajar el plato de alimentación para aumentar la zona de rectificación. Si la mezcla tiene un alto porcentaje de producto liviano entonces el plato de alimentación, podrá colocarse en platos superiores para aumentar la zona de agotamiento.

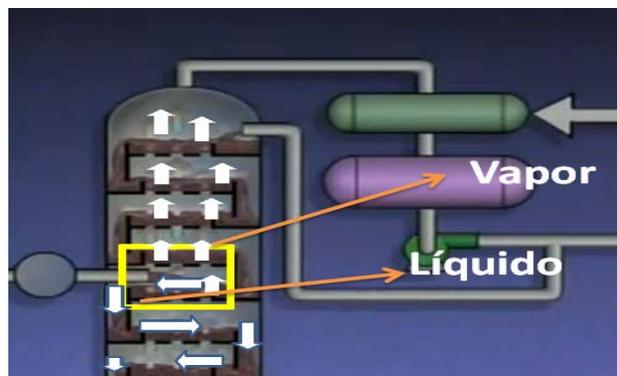


Figura 3.19. Plato de alimentación

3.4.1.4. Temperatura de la carga

Normalmente es económico que la alimentación entre a su punto de ebullición por cuanto requiere menos carga el rehervidor, ya que los componentes que han alcanzado su presión de vapor durante este precalentamiento se desplazan hacia el tope de la despropanizadora, descendiendo hacia el rehervidor solo los componentes con mayor punto de ebullición que hasta ahora no se han volatilizado, sin embargo debe evaluarse económicamente el efecto de llevarlas a su punto de burbujeo o agregar más calor en el rehervidor cuando la carga entra subenfriada.

Por limitaciones de la capacidad de la columna y del condensador conviene introducir la carga por debajo su punto de ebullición, ya que se disminuye la presión de vapor de los componentes en la zona de burbujeo (rehervidor).

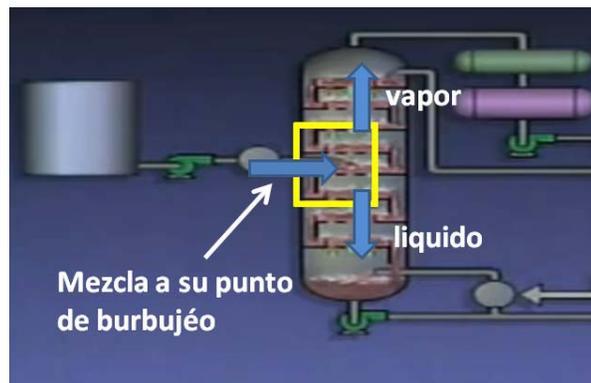


Figura 3.20. Alimentación en su punto de Burbujeo

3.4.2. Aplicación de las propiedades coligativas en los factores que afectan la operación de la torre despropanizadora.

3.4.2.1. Variación en la rata de reflujo:

El reflujo es una de las variables de mayor importancia en la torre despropanizadora, ya que define el equilibrio liquido-vapor que ocurre en cada plato de la torre, este debe ser controlado ya que un bajo contenido de reflujo, ocasiona un arrastre que conlleva a la sequedad de los platos inferiores y una inundación en los platos superiores. Por el contrario, una alta rata de reflujo ocasiona una inundación inmediata en la torre.

Cuando la torre despropanizadora opera a una rata máxima cualquier oleaje en el reflujo puede causar inundación en los platos del tope y la torre deja de fraccionar. Cuando la torre está en equilibrio y tiene especificaciones de tope y de fondo al aumentar la temperatura del fondo, se debe aumentar el reflujo para evitar que componentes con alto punto de ebullición salgan por el producto de tope; caso contrario al bajar la temperatura del fondo se debe cortar el reflujo para evitar que componentes con bajo punto de ebullición salgan en el producto de fondo ya que disminuye la presión de vapor del gas para despojamiento.

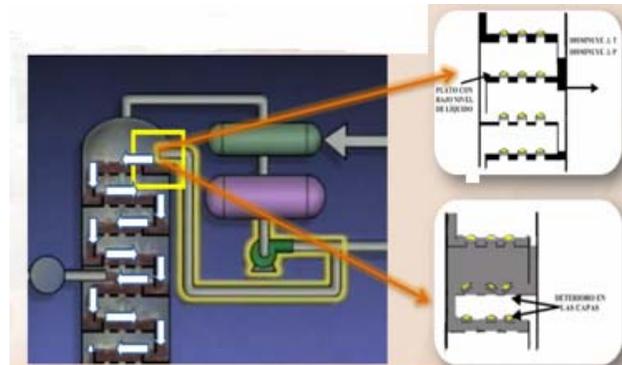


Figura 3.21. Variación de la tasa de Reflujo

3.4.2.2. Variación en la condición de la alimentación

En condiciones extremas la variación de la composición de diseño puede reducir la capacidad de la planta, o aun más hacer físicamente imposible producir los productos en especificación.

Por ejemplo un 10% de variación en la composición de propano aumentado a un despropanizador , requiere de 1 a 2 platos adicionales o aumento de 33% de la razón de reflujo, sería necesario bajar la rata de alimentación a la torre hasta darle flexibilidad de manejo a la columna.

De la misma manera, el aumento de componentes con bajo punto de ebullición en la torre conlleva a afectar la capacidad de condensación y la presión de la torre, por lo que en algunos casos es necesario colocar antes una torre estabilizadora para asegurar la pureza del producto.

Idealmente la alimentación a la columna entra en el punto de ebullición y parcialmente vaporizada, no es deseable vaporizar más del 50% de los vapores que salen por el tope de la columna.

El precalentamiento de la alimentación es particularmente usado como medio de recuperación de energía con productos calientes para ser alimentados en frío.

Obviamente el efecto de cambio en el contenido calórico de la alimentación se compensa con mayor condensación en el tope o menor consumo de calor en el rehervidor, ya que con el suministro de calor de la mezcla de alimentación se logra un aumento de la presión de vapor de la misma.

El incremento o no de calor a la alimentación depende de su composición con respecto al diseño, cuando existe ineficiencia en el rehervidor, el aumento de calor en la carga es recomendable compensarlo por aumento de reflujo.

Para ineficiencia en el condensador, se reduce el precalentamiento de la alimentación y el calor necesario es añadido por el rehervidor, permitiendo realizar el fraccionamiento hasta corregir el problema.

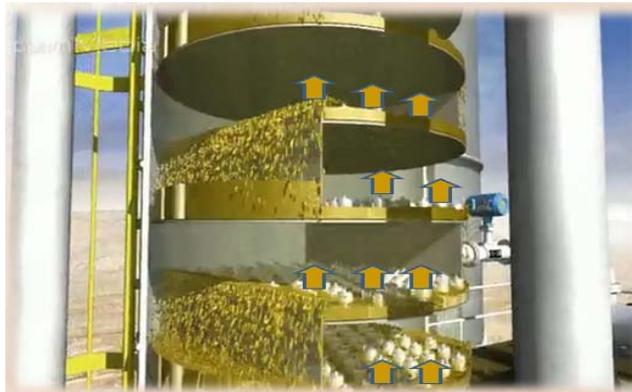


Figura 3.22. Comportamiento normal del equilibrio líquido-vapor en los internos de la torre.

3.4.3. Aplicación de las propiedades coligativas en los problemas operacionales en una torre despropanizadora

3.4.3.1 Sobrecarga.

Ocurre sobrecarga de la torre cuando el flujo de líquido que baja y la cantidad de vapor que sube, son lo suficientemente altos para ocasionar “inundación”. A medida que estas proporciones aumentan la caída de presión a través de cada bandeja también lo hacen, haciendo subir el nivel de líquido en el tubo de rebose.

El nivel del líquido del tubo de rebose puede subir porque:

- ❖ La velocidad del vapor aumenta, ocasionando así una mayor caída de presión a través de los casquetes y en consecuencia mayor contrapresión del tubo de rebose.
- ❖ El líquido que fluye hacia abajo aumenta, haciendo que el nivel del líquido sea mayor en cada bajante y la caída de presión sea más alta por el tubo de rebose.

Cuando el nivel del líquido llega al tope del tubo de rebose (debido a sobrecarga de líquido y/o vapor) la bandeja empieza a inundarse.

Cuando hay sobrecarga en la torre por exceso de líquido, el equilibrio líquido vapor se ve completamente afectado y por tanto el producto de tope y fondo resultan contaminados, ya que la presión de vapor del gas ascendente disminuye su energía, y no puede atravesar el flujo de gas, obteniéndose por el tope fracciones altas de componentes con altos puntos de ebullición y por el fondo fracciones altas de componentes con bajos puntos de ebullición.

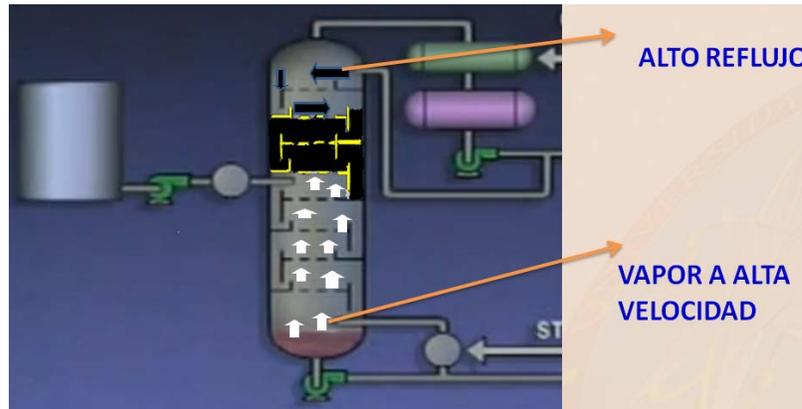
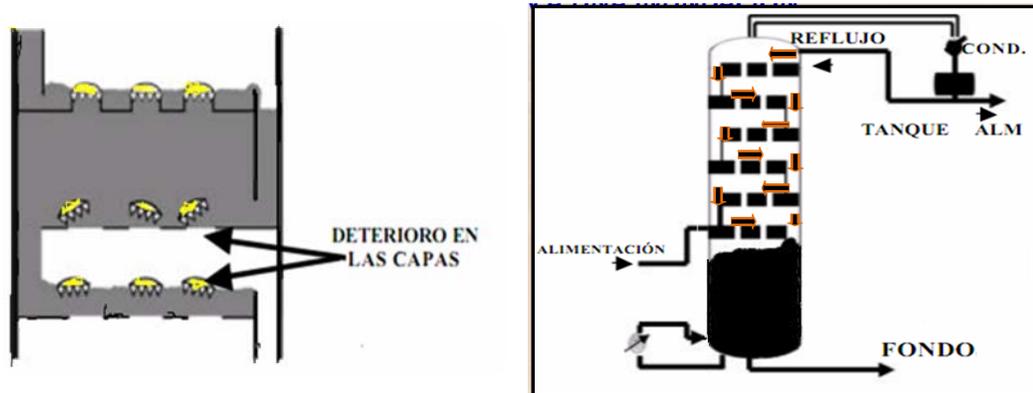


Figura 3.23. Torre con problemas de sobrecarga.

3.4.3.2 Inundación.

Cuando hay problemas de inundación en la torre la misma deja de fraccionar ya que el exceso de líquido en el plato dificulta el paso del vapor hacia el plato superior, y por tanto se quedan retenidos en el líquido una gran cantidad de componentes con bajo punto de ebullición que deben salir por el tope de la torre, todo esto conlleva a una disminución de la presión de vapor de la mezcla gaseosa que asciende por la torre.

La inundación es una condición inestable que implica una acumulación excesiva de líquido dentro de la torre. La altura de líquido en el bajante y en los platos aumenta hasta llenar toda la torre de líquido. La acumulación de líquido es asociado generalmente, por uno de los siguientes mecanismos: inundación por arrastre (régimen “spray” o “froth”), llenado excesivo del bajante y estancamiento excesivo de líquido por estrangulamiento del bajante (downcomer choke).



Figuras 3.24. Torre con problemas de inundación.

La inundación es causada por exceso de líquido y/o vapores dentro de la torre. Ocurre cuando las velocidades del vapor y/o el líquido son tan grandes que la caída de presión del gas es superior a la carga neta de gravedad del líquido, que de esta forma es arrastrado hacia arriba en la columna. Las proporciones de flujo que causan inundación pueden ser muy altas, bien porque la capacidad diseñada de la bandeja de burbujeo ha sido separada o porque mecánicamente la bandeja no está funcionando debidamente, las fallas mecánicas más corrientes que causan la inundación son:

- ❖ Deposición de costras, especialmente entre el tubo de salida y los casquetes de burbujeo.
- ❖ Obstrucciones en los tubos de rebose, tal como casquetes de burbujeo que pudieran haberse soltado de una bandeja y se haya introducido en él.
- ❖ Falla mecánica, como una bandeja o parte de una bandeja que se haya caído a la bandeja de abajo.

- ❖ Concentración de agua en las bandejas, especialmente donde las temperaturas del tope y del fondo de la torre son tales, que la eliminación de agua del flujo de producto es impedida.

La inundación de la torre se controla reduciendo la carga de líquido y vapor en la torre. Esto generalmente se efectúa bajando la proporción del reflujo, extrayendo el exceso de líquido con los productos de tope y de fondo, y finalmente, reajustando la proporción de reflujo para lograr un estado de funcionamiento estable. En algunos casos puede ser conveniente reducir la producción de las cargas y la temperatura. Para evitar inundación por cualquiera de estos casos es importante una elección de platos adecuados y un espaciamiento óptimo.

3.4.3.3 Formación de espuma

Una alta caída de presión o una segregación insuficiente del vapor en el bajante, causa un aumento de espuma en el bajante y eventualmente la inundación del plato. Esto puede ocurrir a cualquier tipo de líquido en el espacio libre del bajante, el área del bajante, o el espaciamiento previsto entre platos es inadecuado.

Si se forma un nivel de espuma elevado, el líquido es arrastrado por el gas hasta la etapa siguiente y las eficacias de separación disminuyen. Por otra parte, la espuma puede también arrastrar vapor hacia la etapa inferior. En casos extremos, los tubos de bajada del líquido se pueden llenar totalmente de espuma y provocar inundación de una forma análoga a lo que ocurre en columnas de relleno. Por otra parte las columnas de platos pueden inundarse aun cuando no se forme espuma si las caídas de presión o las velocidades del flujo del líquido son suficientemente grandes para que el

nivel de líquido sobrepase el espaciado entre los platos, dando lugar al retroceso del líquido en los tubos de descenso.

Una alta presión de vapor en el flujo de gas con una alta velocidad del mismo, conlleva a una brusca caída de presión, ocasionando que el vapor al entrar en contacto con el líquido forme una masa de burbujas que luego se convertirán en espuma, y de este modo es más fácil que ocurra arrastre de líquido a los platos superiores inmediatos lo que conllevará a una contaminación del destilado, al obtenerse componentes de alto peso molecular por el mismo.

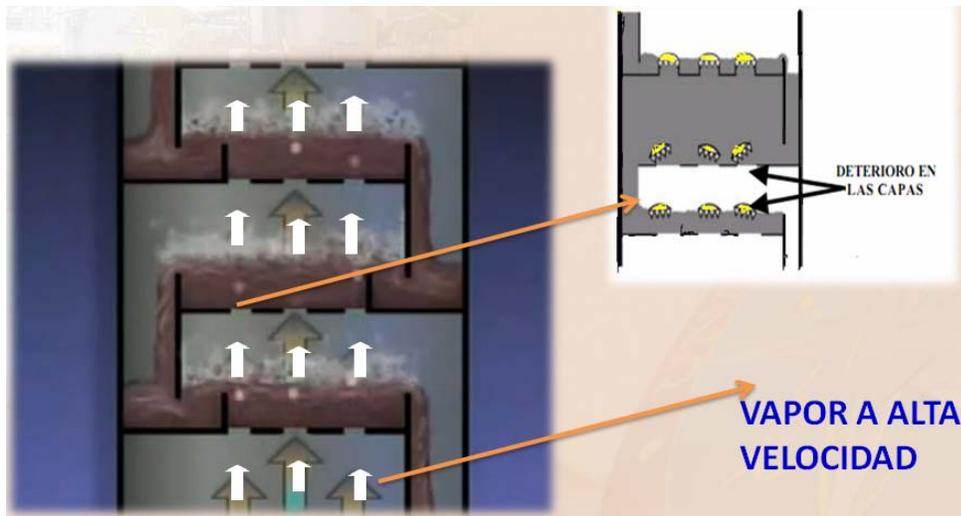


Figura 3.25. Formación de espuma en la torre despropanizadora.

3.4.3.4 Arrastre

El fenómeno opuesto al goteo es el arrastre, el cual consiste en que el vapor en su ascenso se lleva parte del líquido hacia el piso superior, con lo cual se disminuye el rendimiento de la unidad de destilación. Esto es causado por una excesiva velocidad del vapor a través de los orificios de los

platos para una carga de líquido relativamente baja. La alta velocidad a través de los orificios es acusada por una carga de vapor alta y/o bajo porcentaje de área abierta en el plato. Cuando el arrastre de líquido es moderado el fenómeno se denomina "Blowing", pues lo que se arrastra es una niebla de líquido. Pero cuando el caudal del vapor que pasa a través de las perforaciones es elevado se forma un cono de vapor que arrastra el líquido sin lograr el contacto entre las dos fases. En este momento el fenómeno se denomina "Coning".

Un arrastre grave puede ser el comienzo de una inundación, normalmente sobre la superficie del líquido en un plato, existe un gran volumen de gotitas arrastradas por la velocidad de los vapores en ascenso. Altas cargas de vapores aumentan las velocidades de estos, produciéndose un exceso en el arrastre del líquido que irá a contaminar el plato superior con partículas pesadas. El arrastre se debe con frecuencia a un tamaño inadecuado de los tubos de descenso del líquido o del espaciado entre los platos.

En el arrastre de gotas a bajos flujos de líquido, los platos operan en régimen de rocío, donde casi todo el líquido sobre el plato está en forma de gotas de líquido. A medida que la velocidad de vapor y la presión de vapor del flujo gaseoso se incrementa, se alcanza una condición donde la mayor parte de estas gotas son arrastradas hacia el plato de arriba, el líquido se acumula en el plato superior en vez de subir al plato de abajo, lo que conlleva a una inundación en los platos superiores, es decir, ascienden al tope productos con altos puntos de ebullición y baja presión de vapor que no son convenientes obtener como destilado.

Para el arrastre de espuma, a diferencia de la anterior ocurre arrastre porque el vapor lleva una excesiva velocidad y una alta presión de vapor a través del área libre de la torre, lo que ocasiona arrastre y formación de espuma en el plato superior, Cuando el espaciado entre platos es pequeño, el frente de espuma llega hasta el plato superior, al llegar espuma al plato superior el arrastre aumenta rápidamente, causando acumulación de líquido en este (inundación). De igual forma que el arrastre de gotas, ocasiona una contaminación del producto de tope, ya que se escapan fracciones significativas de componentes con alto punto de ebullición por dicha corriente.

3.4.3.5 Vomito

Consiste en la inundación del plato de tope, y en casos más severos, también de los inmediatos inferiores. Puede resultar por un exceso de reflujo de tope, del cual una gran parte regresa por la línea de vapores de cabecera como líquido con oleadas.

El vomito provoca un descenso de la presión de vapor del flujo de gas ya que es un exceso de reflujo para la cantidad de vapor que asciende, lo cual ocasiona que no haya un contacto íntimo entre el líquido y el vapor, esto le impide al vapor ascender con fluidez, razón por la cual se ven afectados tanto el producto de tope como de fondo escapándose así el componente liviano (menor punto de ebullición) por el fondo y viceversa.

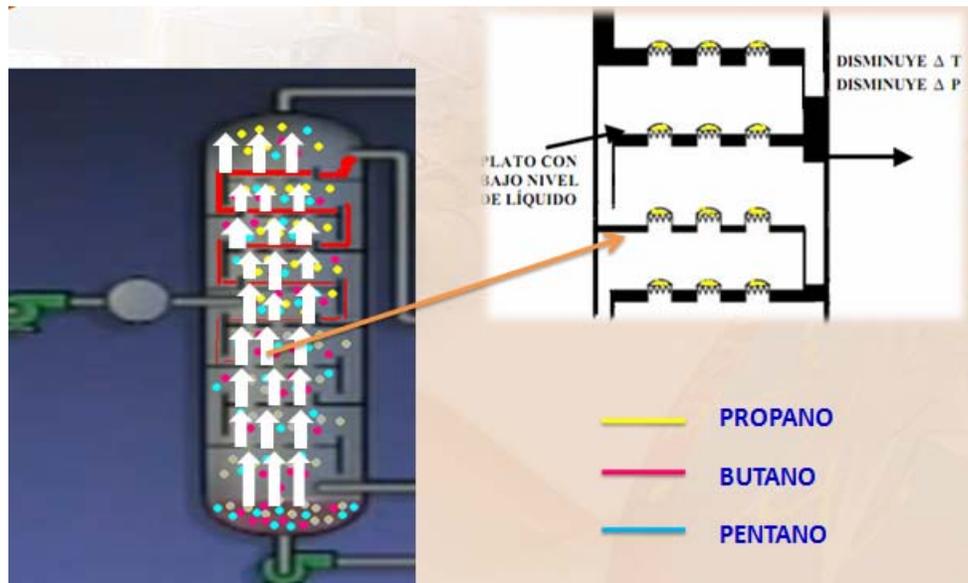


Figura 3.26. Torre con problemas de arrastre.

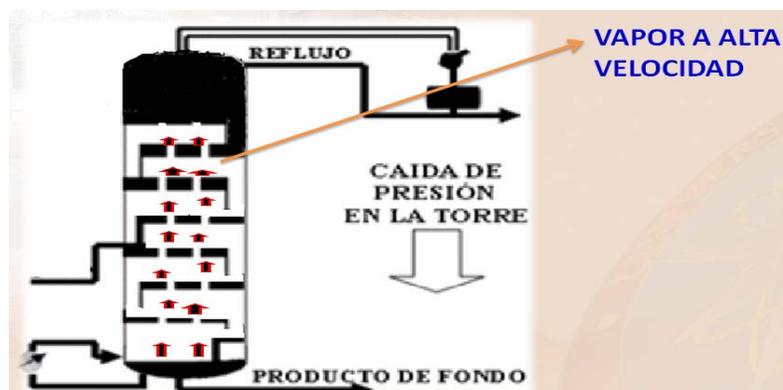


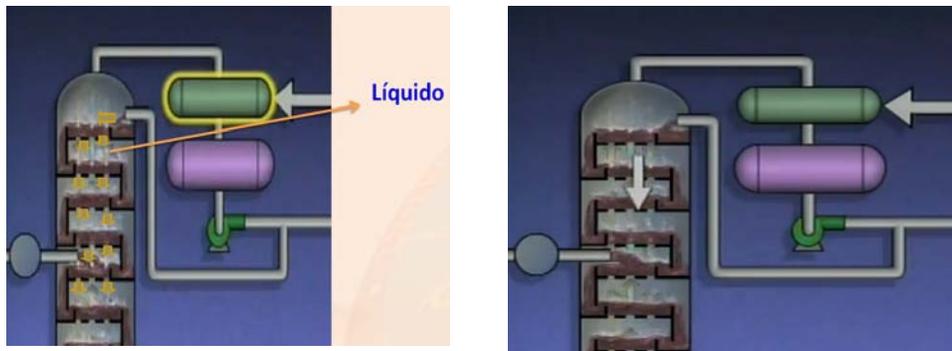
Figura 3.27 Torre con problemas de vomito.

3.4.3.6 Goteo

A bajas velocidades de vapor, la caída de presión a través del plato seco es insuficiente para soportar el cabezal de líquido sobre el plato y parte del líquido comienza a fluir intermitentemente a través de las perforaciones. El punto en el cual comienza el paso de líquido hacia abajo a través de los

orificios del plato, se llama punto de lloriqueo (weep point) o lloriqueo (dumping). Si el flujo de vapor sigue disminuyendo, más líquido pasa a través de las perforaciones y ocurre lloriqueo continuo, es decir, al fluir todo el líquido por las perforaciones y nada por el vertedero es lo que se denomina lluvia (raining). Para la mayoría de los diseños, el límite operacional se alcanza cuando el lloriqueo fraccional alcanza sobrepasa el 20 %. Para sistemas con altas relaciones de líquido, una pequeña cantidad de líquido pasando a través de los orificios no reducirá considerablemente la eficiencia del plato.

Muchos platos solo cuentan con la presión del gas para mantener el líquido sobre el plato, cuando los flujos de vapores son bajos, existe una capacidad limitada para sustentar el líquido en la bandeja, la columna hidrostática vence la energía de los vapores y comienza un goteo rápido que puede llegar a secar el nivel de la bandeja, si estas condiciones se mantienen. Este caso extremo recibe el nombre de vaciamiento.



Figuras. 3.28. Comportamiento de una despropanizadora con Goteo

Cuando la presión de vapor que ejerce el gas sobre el líquido es menor, provoca que gotas de líquido del plato superior se escapen por los orificios del plato, lo cual trae como consecuencia una contaminación del producto de

fondo, ya que el líquido descendente lleva componentes con bajo punto de ebullición. Para un funcionamiento aceptable del plato, la presión de vapor del gas debe ser mayor a la presión que ejerce el líquido, para que el mismo pueda mantenerse en la superficie del plato.

Cuando la presión de vapor que ejerce el gas sobre el líquido es menor, provoca que gotas de líquido del plato superior se escapen por los orificios del plato, lo cual trae como consecuencia una contaminación del producto de fondo, ya que el líquido descendente lleva componentes con bajo punto de ebullición. Para un funcionamiento aceptable del plato, la presión de vapor del gas debe ser mayor a la presión que ejerce el líquido, para que el mismo pueda mantenerse en la superficie del plato.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS EN LA OPERACIÓN DE UNA TORRE DESPROPANIZADORA.

4.1.1. Descenso del punto de congelación

En el estudio de las propiedades coligativas en una torre despropanizadora no es aplicable la disminución del punto de congelación, ya que el equilibrio que prevalece en la torre es el liquido-vapor y en ningún momento ocurre congelación en este proceso.

4.1.2. Presión osmótica

La presión osmótica se puede decir que influye indirectamente en la torre despropanizadora, ya que en cada plato se desplaza el reflujo, el cual actúa como una membrana semipermeable, que permite solo el paso de los componentes livianos (en su gran mayoría propano, considerado como solvente) donde se tiene como finalidad obtener por el tope un porcentaje aproximado de 98% del mismo. Los componentes que se quedan retenidos (en este caso butano, iso-butano, pentano, etc.) actúan como solutos. Una alta presión de operación, un alto reflujo, y deficiencia en el rehervidor disminuyen la presión osmótica, ya que el flujo de gas propano (solvente) y otros livianos que lo acompañan en pequeñas fracciones tardan mucho más en ejercer la energía necesaria para atravesar la membrana semipermeable

(reflujo). Caso contrario si la presión de operación es baja, el reflujo es bajo, y existe una alta eficiencia en el rehervidor, ocasionarían aumento en la presión osmótica ya que el solvente (propano) alcanzaría una alta energía para atravesar el reflujo (membrana semipermeable en este caso).

Los problemas operacionales que afectan la presión osmótica son principalmente el arrastre y la inundación, el arrastre ocasiona que parte del soluto (butano, pentano, etc) sobrepasen la membrana semipermeable (reflujo), ocasionando así contaminación en el tope de la columna, la inundación provoca disminución de la presión osmótica ya que el flujo de gas que arrastra al solvente (propano), no puede atravesar el flujo líquido y por ende tampoco el plato, ya que este se encuentra completamente lleno de reflujo (la concentración del soluto es mayor que la del disolvente).

4.1.3. Elevación del punto de ebullición

La elevación del punto de ebullición es la propiedad coligativa que determina el proceso de despropanización, ya que define que tan fácil o difícil será la separación de los componentes de la mezcla de hidrocarburos. Cuando la mezcla tiene un alto punto de ebullición será más compleja su separación ya que se requiere de mayor energía en el rehervidor y en la alimentación para así lograr que los componentes volatilicen, en una torre despropanizadora el punto de ebullición de la mezcla se eleva si hay una presión de operación muy elevada, porque se condensan el propano y los componentes livianos que lo acompañan, si hay deficiencia en el rehervidor ya que el calor suministrado sería insuficiente para alcanzar el punto de ebullición todo el propano presente en el flujo líquido, y cuando hay exceso

de reflujo ya que condensaría gran parte de los componentes livianos que lleva la mezcla gaseosa.

Los problemas operacionales que provocan elevación del punto de ebullición son la inundación, el goteo y el vomito. En presencia de platos inundados en la torre se dificulta la interacción del líquido sub enfriado con el vapor caliente, complicando así que los componentes livianos que lleva el flujo líquido alcancen su punto de ebullición, el goteo también ocasiona aumento del punto de ebullición de la mezcla, ya que el constante lloisqueo aumenta la cantidad de líquido en los platos inferiores donde se presenta dicho problema, por el exceso de líquido descendente se rompe el equilibrio líquido-vapor en la torre y la mezcla líquida demora más en alcanzar su punto de ebullición. El vomito disminuye el punto de ebullición en los platos superiores de la torre ya que estos se encuentran cargados de líquido y el vapor caliente no puede tener el contacto necesario con el mismo, ocasionando así que los componentes livianos que arrastra la mezcla líquida se les haga difícil alcanzar su punto de ebullición.

4.1.4. Descenso de la presión de vapor

La disminución de la presión de vapor en una torre despropanizadora se ve afectada principalmente cuando hay una presión de operación alta con respecto a las condiciones que se requieren en la torre, esto impide que los componentes livianos (en este caso el propano) se escapen de la fase líquida en forma de vapor ya que un aumento de presión aumenta la condensación de los productos, por tanto aumentaría el grado de separación del propano, de los demás componentes. Cuando hay exceso de reflujo también disminuye la presión de vapor de los componentes, ya que este líquido sub enfriado en una rata relativamente alta es capaz de impedir que

todo el propano presente en la mezcla líquida alcance su presión de vapor. Un bajo rendimiento por parte del rehervidor también disminuye la presión de vapor de los componentes livianos ya que el parte del propano se queda retenido en la fase líquida presente en el fondo de la torre por falta de energía calórica. Hay mayor descenso de la presión de vapor en los platos inferiores de la torre, porque en estos se encuentran componentes de alto punto de ebullición.

Los problemas operacionales predominantes en el descenso de la presión de vapor son la inundación, ya que por el exceso de líquido presente en el plato no puede vaporizar en su totalidad el propano; el goteo también reduce la presión de vapor en los platos inferiores donde ocurre el problema, porque el líquido que desciende por los orificios del plato tiene una temperatura menor a la correspondiente en dichos platos y por tanto el propano demora más en vaporizar y por ende en alcanzar su presión de vapor y el vomito provoca un exceso de reflujo en el tope de la torre el cual provoca que disminuya bruscamente la presión de vapor en esta zona de la torre, hasta el extremo incluso de que se arrastre líquido hacia el condensador, ocasionando así problemas graves en el mismo, ya que este se encuentra en condiciones de recibir solo vapor.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La cercanía del punto de ebullición de los componentes de la mezcla a separar, define la cantidad de platos necesarios en la torre, y por tanto el diámetro y altura de la misma.
2. Los componentes con menor punto de ebullición y mayor presión de vapor, saldrán por el tope de la torre, mientras los de mayor punto de ebullición y menor presión de vapor saldrán por el fondo de la despropanizadora.
3. La presión de vapor es la encargada de mantener el equilibrio líquido-vapor en los platos de la torre.
4. El punto de congelación y la presión osmótica a pesar de ser propiedades coligativas no son aplicadas en el proceso de destilación.
5. El arrastre en la torre despropanizadora ocasiona inundación en los platos superiores inmediatos al problema, mientras el goteo y el vomito ocasionan inundación en los platos inferiores inmediatos al problema e incluso al fondo de la torre.
6. velocidades muy altas en el vapor ocasionan el arrastre, velocidades muy bajas en el mismo ocasionan el goteo.

7. El problema más común en una torre despropanizadora es la inundación.
8. El reflujo disminuye la presión de vapor de los componentes con mayor punto de ebullición hasta condensarlos, permitiendo así que lleguen al tope los componentes de menor punto de ebullición.
9. En las torres despropanizadoras el enfriamiento por aire es el más usado por su bajo costo.

RECOMENDACIONES

1. La presión de operación de la columna debe ser baja para que no disminuya la presión de vapor de los componentes livianos.
2. Los orificios de los platos no deben ser muy grandes para impedir el goteo, ni muy pequeños para evitar la formación de espumas.
3. Es recomendable que la alimentación a la torre ingrese a su punto de ebullición por cuanto se requiere de menos carga en el rehervidor y por tanto mayor ahorro energético.
4. Los flujos de líquido y de vapor no deben superar los establecidos para el diseño de la torre para evitar así problemas de sobrecarga.
5. El reflujo no debe ser tan elevado para que el fenómeno de presión osmótica se lleve a cabo sin inconvenientes y por ende los componentes livianos puedan alcanzar su presión de vapor.

6. El rendimiento del rehervidor debe ser adecuado para que los componentes livianos (propano) de la mezcla alcancen con facilidad su presión de vapor.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Chang. Raymond, **“Química General”**, editorial Mc Graw Hill, 7º Edición, (2001).

[2]. Herrera M. Jose M, **“Evaluación Del Comportamiento De la Planta De Fraccionamiento de LGN De Acroven través de variaciones en las condiciones de calidad de la alimentación”**, Tesis de Grado, Departamento De Ingeniería Química, Universidad De Oriente, Núcleo De Anzoátegui, Venezuela, 2004.

[3]. J. Sánchez/ A. Itriago. **“Curso de Ingeniería de Gas (Fraccionamiento del Gas Natural) ”**, Puerto la Cruz (febrero 1988).

[4]. L. Guapache R., **“Evaluación del comportamiento del sistema Desbutanizadora- separadora de Butanos, durante la puesta en servicio del tren “A” de la planta de fraccionamiento y despacho Jose”**, Tesis de Grado, escuela de Ingeniería Química, UDO, Puerto la Cruz (Febrero 2005).

[5]. Mc Cabe. Warren, Smith. Julian C, Harriot. Peter, **“Operaciones Unitarias En Ingeniería Química”**, Séptima Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, (2007).

[6]. M. Ydrogo L., **“Evaluación de consecuencias de riesgos en el área de Almacenamiento de José”**, Tesis de grado, escuela de Ingeniería Química, UDO, Puerto la Cruz (Junio 1990).

[7].M. Martínez, **“El Diagrama De Fase, Un Lenguaje En La Industria Del Gas Natural”**, primera jornada de gas (jornagas), Mérida, (2003).

[8]. Manual de Operaciones Volumen I, **“Proyecto Criogénico de Oriente Venezuela área de almacenamiento y refrigerio”**, (Septiembre 1984).

[9]. Monografías.com, **“Hidrocarburos, gas Natural”**, [www.Monografías.com/ trabajos 11/ vepeme/ vepeme.shtml](http://www.Monografías.com/trabajos11/vepeme/vepeme.shtml) –53-15(2005).

[10]. V. González M., **“Desarrollo de un esquema de control para una fraccionadora de gasolina”**, Tesis de Grado, escuela de Ingeniería Química, UDO, Puerto la Cruz **(Septiembre 1990)**.

[11]. Wikipedia.com.org.
www.es.wikipedia.com.org/wiki/propano **(2005)**.

“Propano”,

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS EN UNA TORRE DESPROPANIZADORA
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Fuentes A., Erica J.	CVLAC: 18.099.195 E MAIL:
Moreno C., Argenis J.	CVLAC: 15.051.349 E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Despropanizadora

Propiedades

Coligativas

Estudio

Problemas

Operacionales

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se mostrará la importancia de las propiedades coligativas (aumento del punto de ebullición, descenso de la presión de vapor, descenso del punto de congelación y presión osmótica) en el proceso de fraccionamiento de los líquidos del gas natural, particularmente en la etapa de despropanización, lo cual no es más que una destilación donde se permite la separación de los componentes por sus diferencias en los puntos de ebullición y presión de vapor, este proceso será explicado detalladamente tomando como patrón la despropanizadora del complejo JOSE, con la finalidad de definir los puntos en los cuales las propiedades coligativas se ven involucrados en el mismo. De igual forma se estudiará la influencia de las propiedades coligativas en la etapa de diseño de la torre despropanizadora (cálculo del diámetro, la altura, número de platos teóricos y reales, etc). Las propiedades coligativas que cobran mayor importancia en dicho proceso, son el punto de ebullición y la presión de vapor ya que mientras más alejados sean los puntos de ebullición y presión de vapor de los componentes más fácil será la separación de los mismos y viceversa. También se estudiará la forma indirecta como influye la presión osmótica en dicho proceso, específicamente en los interiores de la torre. El descenso del punto de congelación no se estudiará en este proyecto ya que el equilibrio que predomina en este proceso es el líquido- vapor. En una torre despropanizadora siempre ocurren problemas operacionales, los cuales son provocados por arrastres, vomito, inundación, aumento o disminución de la presión de operación, irregularidad en el reflujo, etc, cada uno de estos problemas afectan directamente las propiedades coligativas que se ven involucradas en este proceso, el presente trabajo mostrara las formas como se ven afectadas y las posibles soluciones para dichos problemas.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Avendaño, Isvelia	ROL	CA	AS(X)	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	04	15
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Estudio.Coligativas.Despropanizadora.doc	Application/ msword

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 Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario para su autorización”

Fuentes A., Erica J.

AUTOR

Moreno C., Argenis J.

AUTOR

Ing. Isvelia Avendaño

TUTOR/ JURADO

Ing. Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS