

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



**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA COLUMNA DE  
DESTILACIÓN EMPLEADA PARA LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA  
METANOL-AGUA**

Realizado por:  
**Chacón Rigual, Carlos Enrique.**  
**Gil Duran, Jorge Antonio.**

Trabajo de Grado Presentado ante la Ilustre Universidad de Oriente como  
Requisito Parcial para Optar al Título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Barcelona, Septiembre del 2010.

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



**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA COLUMNA DE  
DESTILACIÓN EMPLEADA PARA LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA  
METANOL-AGUA**

---

**Ing. Nelson Ferreira. (M.Sc.)**

**Asesor Académico**

Barcelona, Septiembre del 2010.

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



**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA COLUMNA DE  
DESTILACIÓN EMPLEADA PARA LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA  
METANOL-AGUA**

EL JURADO CALIFICADOR HACE CONSTAR QUE ASIGNÓ A ESTA TESIS LA CALIFICACIÓN DE:

---

**Ing. Nelson Ferreira. (M.Sc.)**  
Asesor Académico  
Jurado Principal

---

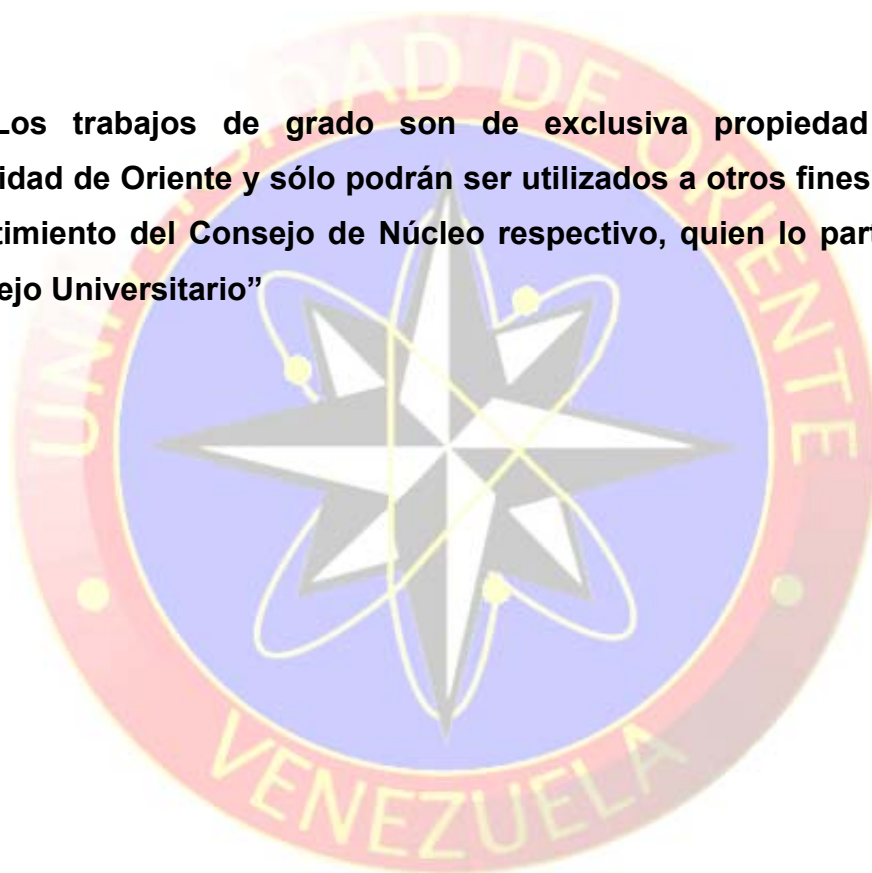
**Ing. José Cermeño (M.Sc.)**  
Jurado Principal

Barcelona, Septiembre del 2010.

## RESOLUCIÓN

De acuerdo con el **ARTÍCULO 41** del Reglamento de Trabajos de Grado:

**“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”**



## DEDICATORIA

*Primero que todo le dedico este trabajo a dios que es a quien me encomiendo día a día y que gracias a él tengo salud y mi familia también y he podido cumplir con todas mis metas trazadas.*

*Segundo a las personas que no están hoy con nosotros que han sido ejemplos para mí y parte importante en mi vida, mi abuelo Yrbenal Rigual siempre fuiste más que un abuelo un padre un amigo una persona que siempre quiso lo mejor para mí y me enseñó la importancia de prepararse de tener una educación valores y la importancia que tiene la familia. A mis abuelos paternos Carlos chacón y abuela Josefina también es para ellos. A mi abuelita teresa que se me fue hace poco siempre fuiste un ejemplo de valentía que a pesar de tu enfermedad siempre echaste para adelante. A mi abuelita María Pía que aunque no te conocí tu nombre significa mucho para mí. A Rubén Dorta hermano gracias por tus consejos siempre supiste que lo iba a lograr.*

*A mi abuela querida Carmen María te amo eres lo más bello que existe en el mundo eres el amor de mi vida gracias por tus cariños tus regaños tus consejos por esa sonrisa que tienes que me alegra la vida, por estar siempre allí a mi lado, por darme cariño siempre por educarme, por ser mi amiga, por escucharme, porque eres mi más grande tesoro gracias por enseñarme tanto. Nunca voy a poder agradecerte tantas cosas que has hecho por mí.*

*A mis padres Carlos Enrique e Ibelises que me han enseñado que con sacrificio y amor uno puede lograr lo que se proponga en la vida que nunca es tarde para cumplir con tus metas que el tiempo de dios es perfecto, que todo tiene su porque gracias por darme la vida y por darme una educación por tenerme paciencia por ser mis amigos por enseñarme que hay que vivir y valorar quien te valora y que la familia es lo primero mama te amo eres mi amor especial mi mejor amiga mi ángel de la guarda mi muñeca este logro es tuyo es que siempre soñábamos con este día cuando me dijeran oficialmente ingeniero siempre estuviste conmigo en todo momento eres mi gran apoyo la luz de mi vida mama es una sola siempre lo entendí y me toco la mas especial de mundo si volvería a nacer volvería a nacer de ti , se que te has esforzado por nosotros igual*

*mí papa gordo te amo gracias por ser la persona tan especial que eres.*

*A la luz de mis ojos mi hermano Yrbenal José príncipe eres mi vida mi orgullo esto es tuyo también por tí luchó cada día papa eres todo un caballero gracias por estar allí tú también eres mi ídolo más que un hermano eres mi mejor amigo y como si fueras mi hijo también yo se que pronto lo lograras también hijo.*

*A mí tía preciosa Lanebry que mas que mi tía eres mi hermana mayor y mi mama a la vez, gracias por siempre apoyarme en todo por darme tanto cariño y tantos ejemplos a la vez gracias por ser tan especial gracias por enseñarme como superar obstáculos por reírte de mis chistes por regañarme cuando has tenido que hacerlo por ser mi alcahueta preferida por escucharme por llorar conmigo también por estar en cada momento importante de mi vida aquí estoy por tí también. A mí tío Carlos García gracias por ser parte de mi vida por enseñarme también el valor que tiene la familia tu pareja y tus hijos gracias por ser mi pana te quiero mucho. A mis tíos Arquímedes, nene, Juan. son los mejores tíos del mundo gracias por enseñarme a ser la persona que soy tengo parte de cada uno de ustedes en mí gracias por ser ejemplos a seguir padres*



*ejemplares y por enseñarme cuánto vale ganarse las cosas y cuanto significa la palabra cariño . A mis tías Beatriz, Julieta, Yorle, Vivina, Juan Carlos, Carlos Andrés gracias por creer en mí siempre. A mi madrina preciosa saró te amo madrina gracias por ser tu por luchar cada día por vivir y por darme tanto cariño te adoro igual a ti mi hermanita Andrea te quiero muchísimo. A mis primos le doy gracias a dios por bendecirme con ustedes a mis tres pequeños mi hijo Carlos Eduardo Alejandro y Nalito los adoro, a Juancho papa se que puedes lograrlo te quiero full, a Santiago, Fabiana, Carmery, Adarqui y a mi Shelsea TQM prima udistas los dos, Álvaro, Arquímedes, Glor, Bibe, Lane mis chicas las quiero mucho a mi negra Flaquis Dayana te adoro mi negra. A mis primas y primos de ccs en especial a Yorlene y a la Chiqui un abrazote.*

*A mi novia preciosa que es un ejemplo a seguir porque se cuanto te ha costado ser profesional también por ser la mujer más amorosa y hermosa del mundo gracias por amarme tanto y valorarme gracias por ayudarme a cumplir con este logro porque estuviste conmigo en esta última etapa de mi carrera gracias por entenderme y por quererme así tal cual soy a tu familia por darte la vida para así poder tenerte a mi lado tanto que te soñé se que vendrán más logros que celebraremos juntos te amo.*

*A mis compañeros de clases profesores en todos los niveles muchas gracias, a mi amigos que gracias a dios son muchísimos dios me ha dado la dicha de tener muchos amigos de verdad le doy gracias de nuevo a mis padres por enseñarme cuánto vale la amistad, esto también es suyo porque siempre me apoyaron y estuvieron conmigo en las buenas y en las malas y creyeron en mí gracias especiales a mi amigo y colega Francisco Sifontes hermano te quiero full sin tí no hubiese podido cumplir con esto siempre creíste en mí y me ayudaste siempre que te necesite compadre gracias, a Walter Silva que se comió las verdes y las maduras conmigo hermano gracias por ser tan especial a Vanessa hermana te adoro a mi otra hermana Desiree mi negra lo logramos a Larry gracias por ser superman, Alejandro hermano estas lejos pero estas siempre, a papashu yo se que puedes a yetza a yole a Fernando hermano tqm, a Ruth, Rilimar, Maria Jose, Yanais, Melly, Peinado, Armí, Jean Carlos, Paola, Jorge, Amin, Cristine, Mailis, a mi ahijado Morgan, Eliana, Ana Carolina, Carlitos, José Acosta gracias hermano, a mi china, a Lara a pilita a Luisiana a dió a Luisito a pankí, Manuel, Alberto, Daisy, Colombia, Jean Romel, el Chino, Gabriel y el Moro. A mis compañeros de las áreas y amigos también a Caro Bayeh por ser un ejemplo a seguir gracias mujer maravilla, Wilmarith, Roselyn, Ramón, Diamar lo logramos*

*amí, Ines, Zully, Dani Suniaga, Ramón, Jorge, Andrés, Geovanny Rocca hermano siempre estuviste a mi lado gracias se le quiere, a mi combo alegría gracias por ser parte de mi vida Juan, Jean Feliz, Maryenis, Mimo, Rox, Caro, Anyelith, mi pana Galindo, Kja, Manuel, Pao, Shay si me falta alguien excúseme los adoro. A mis compadres John y Luisfer gracias a ustedes también por darme su amistad y siempre estar allí lo quiero bastante. A Yoselyn gracias mi corazón también por apoyarme, a mi gente de cumana y no menos importante a mi gorda bella María Celeste, a mi Catira Romina las adoro gracias por demostrarme también que la amistad verdadera existe y por dejarme entrar a sus vidas; Rosmar, Rosana, Miguel, Sergio, Álvaro, la Cachis, Mache y a Hendaílys gracias muchachos .*

*Chacón, Carlos*

## DEDICATORIA

*En primer lugar todo este logro es gracias a Dios por darme salud, sabiduría, paciencia y la fuerza durante la carrera; por dame los padres, hermanos y demás familiares y amigos, que cada uno de ellos me han dado y enseñado en algún momento algo valioso para crecer como persona y profesional.*

*A mis padres Jorge L. Gil y Rorayma C. Duran, por darme la vida y darme mucho amor en todo momento, por la educación y los valores que me enseñaron siempre, por estar a mi lado y apoyarme cada vez que he necesitado de ellos y siempre creyeron en mí; por ser unos maravillosos padres, amigos y compañeros inigualables, sin duda alguna he aprendido a forjar mi carácter y personalidad de ustedes, muchas gracias los amo, como no se imaginan, no conozco a nadie como ustedes, esto es por y para ustedes. A mis hermanos Nixon que siempre has estado a mi lado cuando he necesitado de tu ayuda, te quiero y te aprecio enormemente, Gabriela mi pequeña princesa tu siempre has creído en mí, con tu cariño y amor siempre me sacas una sonrisa cuando más la necesito, te quiero mi chiquita y también a mi hermana Roraíma, que de*

*alguna u otra forma todos estuvieron y me apoyaron cuando los necesite, los quiero a todos.*

*A mi esposa, Marianela Díaz y a mi hijo, Jorge Alejandro, por siempre creer en mí, este triunfo es para ustedes, por apoyarme, alentarme, y a estar a mi lado durante estos arduos meses de estudios en las Áreas de Grado, por las varias noches de desvelos que pasaron a mi lado para ayudarme a estudiar. A mi esposa, el amor de mi vida, te dedico especialmente este logro por compartir mis alegrías y dificultades vividas durante estos años de estudios, ya que siempre has estado a mi lado durante todo este tiempo desde el comienzo y ahora por darme un regalo muy especial e incomparable como es nuestro primer hijo. A mi pequeño Jorge A. aunque solo es un bebe de meses, me acompañó en varias oportunidades a estudiar y me dio mucho ánimos y amor cuando lo necesite para superar todas las dificultades para conseguir esta meta, los AMO a los dos.*

*A mi abuelo Duran y mi abuela Milena, mi abuela Pastora, porque siempre creyeron en mí y al igual que yo esperaban este momento. A todas mis tías, Mildreth, Nanzelía, Milena, Yuraima, Marbelys, Yayate; y tíos, Oscar, Richard, José Luis, Luis A., Jaime, Joaquín, John, Oncíber, Félix, Frank, por estar pendiente y apoyarme cuando lo necesite, porque siempre*

*me apoyaron y me alentaron a seguir con mis estudios; a todos mis primos y primas, Yomari Duran, Ana y Elizabeth Gutierrez, Hemerson, Katherine, Ricardo, Luis A., Carlos, Carlía, Oscarina, Marianny, Julia, Celia, Adriana, a Oncíber por ser más que mi primo, mi hermano y compadre, por compartir a mi lado cuando necesitaba de su apoyo, Mauricio, Donato, Ignacio, las morochas Isis y Estrella, Cleo y Barbara, a los hermanos Marcos, Diosllys y Mauro Bermúdez, todos ustedes que de alguna forma me alentaron a seguir adelante en todo momento, ya les tocara a ustedes estar de este lado y yo estaré allí para darle mi apoyo y ayuda en lo que necesiten, ustedes siempre compartieron , me apoyaron y creyeron en mí, muchas gracias a todos, disculpen si he olvidado a alguien pero los quiero a todos.*

*A la Sra. Marianela, la Sra. Esperanza, Frank, Eduardo, Francis, Renne, a Dioni José, Patricia, Félix, por brindarme su apoyo y compañía durante todo este tiempo, por compartir cada unas de las experiencias vividas durante este tiempo, por creer en mí, los aprecio a todos.*

*A las personas que hoy no se encuentran a mi lado físicamente, pero siempre quisieron que este momento llegara hoy les dedico este triunfo porque siempre me han iluminado y*

*me han acompañado desde donde se encuentren, a ti mi querida abuela Abueley tu principalmente me querías ver graduado de bachiller y ya soy ingeniero te quiero y te extraño mucho mil gracias por todos los conocimientos y todos los buenos deseos. A mi tío Carlos “Cayo”, usted siempre estaba cuando lo necesitaba y todavía estas presente cuando te necesito los quiero mucho y no los olvidare.*

*A mi grandes amigos, compañeros y colegas Ángel Pereira, Luerima Morao, Arianny Barrio, Arianny Solórzano, Mariela Rojas, Miguelangel García, Aíbsel Mendoza, Mariana Rodríguez, juntos vivimos, disfrutamos y sufrimos durante mucho tiempo a lo largo de nuestra carrera pero pudimos superar todos esos obstáculos que nos toco vivir como udista, para poder llegar a obtener y lograr nuestra meta “Graduarnos”, muchos de nosotros lo hicieron con anterioridad y otros están por lograrlo pero sin duda tengo fe en que pronto todos cursaremos caminos pero como profesionales y lo mejor como amigos, muchas gracias por todo su apoyo cuando lo necesite, por siempre creer que sí se puede, los aprecio y los quiero. A mis compañeros de Áreas de Grado, Carlos, Andrés, Carolina Bayeh, Daniela Suniega, Diamar, Inés, Geovany, Ramón, Andreína, Zuly, Celeste, Ení dian, Karen, Amín, gracias a ustedes viví momentos inolvidables, gratos y no tan gratos*

*pero así nos formamos y nos superamos, disculpen si me olvidé de mencionar alguno de mis compañeros, sigamos todos adelante no hay nada imposible de lograr.*

*Gil, Jorge A.*



## AGRADECIMIENTOS

*Gracias a Dios por ser mi fiel acompañante en todo el camino que llevo, por iluminarme siempre y darme la capacidad de enfrentar, entender y superar todos los obstáculos que se me presentaron para lograr que llegara este día. Agradezco a la universidad de oriente por darme la oportunidad de ser un profesional a mis profesores y tutores Frank Parra gracias por todo profesor por ser mi mentor, Anolfi Gonzales gracias por sus consejos y ejemplos, Alexis Cova gracias también por ser tan buena persona, Pascual Rodríguez, Yuvy Moreno, Fidelina Moncada, Luis Moreno gracias. Al profesor Lucas Álvarez un placer doctor haber visto clases con usted Jesús Marcano, a mis profesores de las áreas de grado mi tutor Nelson Ferreira, José Rondón, Isvelia muy agradecido profesora por sus palabras y consejos, Jairo Uricare. Y finalmente quiero darles las gracias a todos mis amigos y demás personas que de alguna manera u otra colaboraron para que esto fuese posible mil GRACIAS...*

*Chacón, Carlos*

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar agradezco a Dios por permitirme estar vivo y ver realizada esta meta, por darme salud, sabiduría, paciencia y la fuerza que hizo posible sobrellevar todos los buenos y aquellos no tan buenos que me toco vivir en cada etapa durante la carrera; por dame los padres, hermanos y demás familiares, amigos, que cada uno de ellos me han dado y enseñado en algún momento algo valioso para crecer como persona y profesional.*

*A agradezco a mis padres, hermanos, mi esposa e hijo, que siempre tuvieron fe en mí y me alentaron y apoyaron a alcanzar esta meta superando cada obstáculo que se me presento, y demás familiares y amigos por acompañarme y apoyarme en cada instante de mi vida en los que los necesite y estaban hay incondicionalmente para hacer más llevadera cada etapa de mi vida.*

*A la universidad de oriente por brindarme la oportunidad de pertenecer a la familia UDISTA y formarme como profesional, a todos los profesores que nos formaron gracias a*

*sus conocimientos, consejos y ejemplos durante toda la carrera, José Cermeño, Pascual Rodríguez, Fidelina Moncada, Luis Moreno, Frank Parra, Alexis Cova, Lucas Álvarez, Anolfi González, José Balboa, Ronald Arias entre otros muchas gracias por dame un poco de sus conocimientos durante las materias de las cuales fui parte como su alumno. A mis profesores de las Áreas de Grado, a mi tutor Nelson Ferreira por la experiencia brindada durante estos meses, a Isvelia Avendaño por cada uno de sus consejos y recomendaciones que me dio en cada una de sus clases muchas gracias, a José Rondón por los conocimientos que me dejó durante su materia, a Jairo Uricare por cada consejo, enseñanzas y comprensión en una materia desconocida por mí, a todos ustedes mil gracias por su dedicación a la hora de transmitir sus conocimientos y experiencias. Finalmente a todos mis compañeros de pre-grado y de las áreas de grado en especial a compañero de áreas Carlos Chacón por apoyarme y creer en mí durante todo este tiempo y así poder superar todos los obstáculos que pasamos, un millón de gracias a todos y cada uno de ustedes por toda su colaboración y aporte, se les quiere a todos.*

*A mis amigos, amigas, compadres y comadres, Ronny Sosa, Auri Ortiz, Lisetti García, Luis Caña, Canio Navarro, a los hermanos Francisco C., María A. y Daniel Salazar, Tomas y*

*Freddy Fermín, Diego Albornoz, Eduardo Bittar, José L. Febres, Leo Cedeño, Hernán Segura, gracias porque cada uno de ustedes de una u otra forma y a su manera me han ayudado a culminar esta etapa cuando en su debido momento lo necesite, se les quiere y mil gracias a todos. Y aquellos que también han aportado su granito de arena y no los he mencionado igualmente los tengo presente y les agradeceré siempre de corazón.*

*Gil, Jorge A.*

## RESUMEN

El estudio realizado tiene como finalidad determinar el funcionamiento de operación para una columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua, al realizarle variaciones y estudiar la sensibilidad de la temperatura y el flujo de alimentación, la influencia de las variaciones de la composición de la alimentación, la variación de la relación de reflujo y en estudio hidráulico dentro de la columna, estos resultados serán obtenidos mediante el uso de un paquete de simulación de procesos, PRO/II versión 6.0. Primero se realizó la revisión bibliográfica del funcionamiento de la columna de destilación en estudio. Luego de establecer los parámetros y las condiciones de operación se procedió a realizar las primeras simulaciones del estudio de la variación de la sensibilidad de la temperatura y del flujo de alimentación de la columna, obteniendo datos sobre el comportamiento de la influencia sobre el flujo de salida por tope, los calores del rehedidor y del condensador y la relación de reflujo. Seguidamente se efectuaron las simulaciones correspondientes a la influencia de las variaciones de las composiciones de la corriente de alimentación de la cual se observó la variación del flujo de alimentación, la temperatura por cada plato tipo campana de burbujeo de la columna, la separación de los componentes por platos y la influencia de la relación de reflujo se refleja en los estudios realizados anteriormente. Finalmente para el estudio hidráulico de la torre se tomaron los datos de los reporte arrojados por el simulador donde se especifican las caídas de presión por platos, el espaciamiento los platos, las variaciones de flujos de líquidos y vapor por platos, datos de equilibrio líquido-vapor por etapas, las variaciones de

temperaturas y de presión, las variaciones de calor por platos, los flujos de vapor y líquido por platos y sus densidades, las propiedades de transporte por platos, la selección del tipo y diámetro de los platos, los cálculos de la anchura de los bajantes de agua (downcomer width), los diámetros de los casquetes de burbujeo y las propiedades de los componentes de la mezcla.

## INTRODUCCIÓN

Las operaciones básicas que se llevan a cabo en la industria química implican, en la mayor parte de los casos, el manejo de fluidos y sólidos que hay que impulsar, mezclar, calentar, enfriar, concentrar, separar, etc. Habitualmente, estas actividades se llevan a cabo en el seno de una sola fase, líquida o gaseosa, o por contacto entre dos fases.

A pesar de la amplia variedad de operaciones, las transformaciones que están ocurriendo se pueden interpretar teniendo en cuenta que lo que en realidad se está transportando, dentro de una fase o entre dos fases, es una o varias de las tres propiedades extensivas: materia, energía o cantidad de movimiento. El diseño de los aparatos en los que se va a llevar a cabo el proceso, requiere conocer la velocidad a la que se realizan estos transportes. En la mayoría de las operaciones básicas, los tres fenómenos de transporte transcurren simultáneamente, siendo el más lento de ellos el fenómeno controlante, es decir, el que determina la velocidad global del proceso, y el que debe tenerse en cuenta para el diseño del equipo.

En el caso del transporte o transferencia de materia, esta tiene lugar debido a la existencia de una fuerza impulsora que generalmente es una diferencia de concentraciones de uno o más componentes entre dos puntos de una fase o entre dos fases. En sistemas formados por una sola fase, si existe alguna diferencia de concentración de un componente entre dos puntos, habrá un transporte de ese componente desde la zona más

concentrada a la menos concentrada, hasta llegar a la igualdad de concentraciones, lo que supone que el sistema está en equilibrio.

En el caso de un sistema formado por más de una fase, el sistema también evolucionará hacia el equilibrio, pero en este caso, el equilibrio no supone la igualdad de concentraciones en las dos fases, sino que cada componente se repartirá entre las dos fases en unas concentraciones que dependerán de la presión y de la temperatura del sistema. Si variamos la presión, la temperatura o ambas, también nos variarán las concentraciones de cada una de las fases en el equilibrio.

La mayoría de las operaciones básicas de separación se basan en la existencia de dos o más fases en las que los componentes tienen concentraciones distintas a las que corresponderían al equilibrio. Así, si las dos fases se ponen en contacto, se produce espontáneamente el transporte selectivo de los componentes de una fase a otra para aproximarse a las condiciones de equilibrio. En muchas ocasiones las limitaciones de las operaciones de separación son debidas a las condiciones poco favorables del equilibrio termodinámico, más que a la velocidad de transferencia de materia.

Uno de los requisitos para lograr una buena separación es que la composición de cada uno de los componentes sea muy distinta en cada una de las fases, puesto que el mayor grado de separación que podemos lograr para unas condiciones dadas de presión y temperatura, vienen determinadas por las condiciones de equilibrio. Es preciso conocer los datos de equilibrio entre fases para el sistema que vamos a tratar en las condiciones de



operación. Otro de los requisitos para llevar a cabo una buena separación es que las dos fases se mezclen fácil e íntimamente para favorecer el transporte de los componentes de una fase a otra, y que finalizado el proceso, las dos fases puedan separarse con facilidad.

**CONTENIDO**

**RESOLUCIÓN..... V**

**DEDICATORIA..... V**

**AGRADECIMIENTOS .....XVI**

**RESUMEN .....XX**

**INTRODUCCIÓN.....XXII**

**CONTENIDO.....XXV**

**LISTA DE FIGURAS ..... XXXI**

**LISTA DE GRÁFICAS .....XXXII**

**1.1 Problema ..... 33**

**1.2 Objetivos ..... 36**

    1.2.1 Objetivo General..... 36

    1.3.1 Objetivos Especificos ..... 36

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....37**

<b>2.1 Antecedentes .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>40</b>
2.2.1 Metanol .....	40
2.2.2 Destilación.....	41
2.2.3 Columna de destilación .....	41
2.2.4 Condensación parcial .....	43
2.2.5 Fraccionamiento.....	43
2.2.6 Rectificación.....	43
2.2.7 Reflujo .....	43
2.2.8 Vaporización continua en equilibrio .....	44
2.2.9 Azeótropo .....	44
2.2.10 Presión de vapor .....	44
2.2.11 Temperatura de ebullición .....	44
2.2.12 Temperatura de rocío .....	45
2.2.13 Componentes claves.....	45
2.2.14 Puntos de burbuja y rocío .....	45
2.2.15 Etapa de equilibrio .....	46
2.2.16 Método de Mc Cabe-Thiele .....	46
2.2.17 Software de simulación de procesos PRO/II .....	47
2.2.18 Gas Natural.....	48
2.2.19 Características del Gas Natural .....	48
2.2.20 Las Propiedades del Gas Natural.....	49
2.2.21 Clasificación del Gas Natural .....	49
2.2.22 Procesamiento del Gas Natural .....	50
2.2.23 Eliminación de las Impurezas del Gas Natural .....	51
2.2.24 Proceso de Endulzamiento del Gas Natural .....	51
2.2.25 Equipos principales de una torre de fraccionamiento.....	53
2.2.25.1 Rehervidor.....	53
2.2.25.2 Precalentador de la alimentación .....	53
2.2.25.3 Condensador .....	54
2.2.25.4 Tambor de destilado.....	54

2.2.25.5 Dispositivos de contacto.....	54
2.2.26 Funcionamiento de una torre de destilación.....	55
2.2.26.1 Zona de rectificación.....	57
2.2.26.2 Zona de Agotamiento.....	58
2.2.26.3 Intersección de las líneas de operación.....	58
2.2.26.4 Cálculo de la eficiencia.....	59
2.2.27 Definiciones de diseño aplicadas a platos.....	59
2.2.27.1 Agujeros de drenaje.....	59
2.2.27.2 Arrastre.....	60
2.2.27.3 Capacidad máxima.....	60
2.2.27.4 Eficiencia de plato.....	60
2.2.27.5 Goteo (Weeping).....	61
2.2.27.6 Gradiente de líquido.....	61
2.2.27.7 Inundación (Flooding).....	61
2.2.27.8 Inundación por arrastre o inundación por chorro (Entrainment flooding or jet flooding).....	62
2.2.27.9 Llenado excesivo del bajante.....	62
2.2.27.10 Flexibilidad operacional (Turndown ratio).....	62
2.2.27.11 Plato teórico.....	63
2.2.27.12 Relación de reflujo.....	63
2.2.27.13 Selectividad.....	63
2.2.27.14 Sello del bajante.....	64
2.2.27.15 Severidad.....	64
2.2.27.16 Vaciado por falta de hermeticidad.....	64
2.2.27.17 Velocidad en el bajante / Segregación.....	64
2.2.28 Tipos de operaciones de destilación y aplicaciones.....	65
2.2.28.1 Destilación por lotes "batch".....	65
2.2.28.2 Destilación Continua.....	66
2.2.28.3 Destilación a presión.....	67
2.2.29 El metanol y su uso en la industria.....	70
2.2.29.1 Obtención de Metanol.....	72
2.2.29.2 Proceso Lurgi.....	73

2.2.30 Identidad de la sustancia química .....	76
2.2.30.1 Sinónimos .....	77
2.2.30.2 Descripción.....	77
2.2.30.3 Composición / información de los ingredientes .....	78
2.2.30.4 Propiedades físicas .....	78
2.2.30.5 Propiedades químicas.....	79
2.2.31 Producción aplicaciones y usos.....	80
2.2.31.1 Producción .....	80
2.2.31.2 Aplicaciones y usos.....	82
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>84</b>
3.1 Revisión Bibliográfica .....	84
3.2 Recopilación de Datos .....	84
3.3 Bases y Criterios de Diseños.....	85
3.4 Análisis la sensibilidad de la temperatura y del flujo de la alimentación a la columna de destilación.....	86
3.5 Estudio de la influencia de la composición de la alimentación y de la relación de reflujo sobre la influencia de la columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua. ....	92
3.6 Evaluación hidráulica de la columna, empleando platos de campana de burbujeo.....	94
3.7 Muestra de cálculo de la evaluación hidráulica de la columna, empleando platos de campana de burbujeo. ....	99
<b>CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>101</b>
4.1 Recopilación y Validación de Datos .....	101

4.2 Análisis la sensibilidad de la temperatura y del flujo de la alimentación a la columna de destilación.....	102
4.3. Estudio de la influencia de la composición de la alimentación y la relación de reflujo sobre la separación deseada en columna de destilación. ....	108
4.4. Evaluación hidráulica de la columna, empleando platos de campana de burbujeo.....	117
CONCLUSIONES .....	119
RECOMENDACIONES .....	120
BIBLIOGRAFÍA .....	121
ANEXOS .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN EMPLEADA PARA LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA METANOL-AGUA” .....	124
CHACÓN RIGUAL, CARLOS ENRRIQUE.....	124
CVLAC: V- 16.665.411.....	124
E-MAIL: CARLOSECHACON@GMAIL.COM .....	124
GIL DURÁN, JORGE ANTONIO.....	124

---

CVLAC: V- 16.478.044..... 124

E-MAIL: GIL\_JORGE83@HOTMAIL.COM GILJORGE83@GMAIL.COM  
..... 124

## LISTA DE TABLAS

<b>Tablas</b>		<b>Pág.</b>
2.1	Composición/ información de los ingredientes	67
2.2	Propiedades físicas	67
3.1	Bases y criterios de diseños	74
4.1	Estudio de la influencia de la composición de alimentación	96
4.2	Estudio de la influencia de la composición (50-50)	98
4.3	Estudio de la influencia de la composición (70-30)	100
4.4	Estudio de la influencia de la composición (80-20)	102

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>		<b>Pág.</b>
2.1	Torre de destilación y sus respectivas partes.	46
2.2	El metanol y su uso en la industria	65
3.1	Pantalla de selección de componente	75
3.2	Pantalla de paquete termodinámico	76
3.3	Pantalla de datos de alimentación	77
3.4	Pantalla de datos de la torre de destilación	78
3.5	Pantalla de la simulación del proceso	79
3.6	Pantalla de caso de estudio	80
3.7	Pantalla de variación de composición de alimentación	81
3.8	Pantalla de paquete hidráulico de platos de la torre	83
3.9	Pantalla de datos hidráulicos de platos de la torre	84
3.10	Pantalla de características de platos de la torre	85
3.11	Pantalla de generación de reportes	86
4.1	Torre de destilación metanol-agua	87
4.2	Plato casquete tipo burbuja	103
4.3	Tipos de arreglos de platos casquete tipo burbuja	103



## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Graficas</b>		<b>Pág.</b>
4.1	Temperatura de alimentación (°F) Vs Calor condensador, Calor rehervidor (BTU/h).	89
4.2	Temperatura de alimentación vs flujo de tope.	90
4.3	Temperatura de alimentación Vs Relación de Reflujo.	91
4.4	Flujo de alimentación (Lb/h) Vs Calor condensador, Calor rehervidor (BTU/h).	92
4.5	Flujo de alimentación (Lb/h) Vs Flujo de Tope (Lb/h).	93
4.6	Flujo de alimentación (Lb/h) Vs Relación de Reflujo.	94
4.7	Número de plato Vs Flujo, Temperatura (Alimentación).	95
4.8	Número de plato Vs Fracción (Alimentación)	97
4.9	Número de plato Vs Flujo, Temperatura (50-50)	99
4.10	Número de plato Vs Fracción (50-50)	99
4.11	Número de plato Vs Flujo, Temperatura (60-40)	101
4.12	Número de plato Vs Fracción (60-40)	101

## CAPITULO I: EL PROBLEMA

### 1.1 Problema

El gas natural es la materia prima y el combustible principal para la producción del metanol, este es producido de diferentes maneras, pero el método principal es por medio de la síntesis del gas natural. El gas es comprimido primero y luego purificado por medio de la eliminación de los compuestos de azufre. El gas natural purificado es saturado con agua precalentada. El vapor con una mezcla de agua y gas natural es enviado al reformador para ser parcialmente convertido a gas sintético, una mezcla de dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrógeno. Como resultado de la reacción con él oxígeno, este gas sintético es luego convertido a metanol crudo en el convertidor sintético catalítico. La destilación remueve las impurezas orgánicas y el agua, dando como resultado un metanol con alto nivel de pureza.

El diseño de una torre de destilación en particular se hace en función de la separación específica que se lleva a efecto. A partir de ese criterio se definen los parámetros fundamentales con los cuales habrá de funcionar la torre, los mismos, están perfectamente establecidos por las características de los productos que se deban producir. Así se calcula la presión a la cual habrá de trabajar la torre, las temperaturas en los puntos claves de la columna (entrada, tope y fondo) y el número de platos que deba llevar la torre. Posteriormente se realiza el dimensionamiento. El producto que sale por el fondo de la primera torre pasa a la segunda unidad de

fraccionamiento, en la cual se trabaja en idénticas condiciones. Ello permite diseñarla, siguiendo los mismos principios ya establecidos.

En toda columna de destilación es necesario controlar las variables operacionales, debido a que fluctuaciones en las mismas podrían dar origen a problemas en cuanto al desempeño operacional de dicha columna. En este trabajo se evaluará el funcionamiento de una columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua; basada en un análisis de sensibilidad de la temperatura y del flujo de alimentación; también se evaluarán otras variables como la composición de alimentación y la relación de reflujo y la influencia de estas sobre la columna de destilación y se realizará un estudio hidráulico dentro de la columna de destilación con la finalidad de observar cual es el mejor y optimo rango operacional de las diferentes variables de estudio que intervienen o influyen con el funcionamiento de la misma. Este estudio se llevará a cabo tomando como punto de partida los parámetros de diseño de la torre de destilación empleada para separar una mezcla de metanol-agua.

La importancia de este proyecto radica en el hecho de que permitirá tener una idea de los intervalos de operación de las variables en estudio (flujo y temperatura de alimentación, composición de alimentación y la relación de reflujo) que debe manejarse para evitar problemas operacionales dentro de la columna de destilación.

Para lograr completar el análisis de sensibilidad de la temperatura y del flujo de alimentación, el estudio de la influencia de la composición de la alimentación y de la relación de reflujo sobre la eficiencia de la torre y el

estudio hidráulico de la columna de destilación empleada para la separación de metanol-agua utilizamos el paquete de simulación de procesos, PRO/II 8.1, para la comparación y diferencia de los parámetros operacionales; y así poder identificar rápidamente con esta herramienta alguna problemática operacional que pueda presentar la torre de destilación durante su funcionamiento, conjuntamente con el estudio hidráulico de la columna; empleando platos de campana de burbujeo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar el funcionamiento de una columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua.

### **1.3.1 Objetivos Específicos**

1. Analizar la sensibilidad de la temperatura y del flujo de la alimentación a la torre de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua.
2. Estudiar la influencia de la composición de la alimentación y de la relación de reflujo sobre la influencia de la columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua.
3. Realizar la evaluación hidráulica de la columna destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua, empleando platos de campana de burbujeo.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

***“Evaluación hidráulica de las torres fraccionadora de crudo DA-1 y depropanizadora de gasolina DA-6, pertenecientes a la unidad de destilación atmosférica DA-1 de la refinería Puerto La Cruz, en el estado Anzoátegui”***. En primer lugar se identificaron las modificaciones a nivel estructural que ha sufrido cada destiladora, luego se obtuvo las propiedades de transporte de las corrientes de líquido y vapor que circulan internamente en las fraccionadoras mediante el simulador de procesos Pro/II con Provisión, posteriormente se identificó el plato con mayor tráfico de líquido y vapor para cada sección de la columna y finalmente se realizó la evaluación hidráulica de las dos fraccionadoras empleando el simulador Sulcol y Pegasys, respectivamente. (Azarie R., 2009).

***“Evaluación del comportamiento de las columnas de fraccionamiento debutanizadora separadora de butanos durante la puesta en servicio del tren “A” de la planta de fraccionamiento y despacho “José””***. En el trabajo se describe el proceso de arranque de los trenes “A y B”, el sistema de condensación de los vapores del tope de la debutanizadora mediante el uso de producto de fondo de la separadora de butanos. (Guapache L., 2005).

***“Estudio de la máxima capacidad de los trenes de procesos de la planta fraccionadora de José”***, mediante pruebas de simulación con el paquete de simulación PRO/II, concluyendo que la alimentación de LGN de los trenes A y B queda limitado por el condensador de reflujo de la debutanizadora y el rehervidor de la depropanizadora. (Leonett C., (2002).

***“Evaluar la capacidad máxima y mínima de procesamiento de la torre fraccionadora de crudo de la unidad de destilación atmosférica DA-3, en la Refinería Puerto la Cruz, con una alimentación 75% Santa Bárbara y 25% Anaco Wax”***. Recopiló toda la información concerniente a la operación de la unidad de destilación atmosférica DA-3, incluyendo los datos de diseño de la torre fraccionadora V-3, mediante la actualización de los planos de la unidad y la descripción de las condiciones actuales en la cual se encuentra operando dicha torre, se caracterizó la alimentación y se procedió a reproducir la operación de destilación llevada a cabo en la torre ya mencionada mediante la simulación en PRO II versión 8.1. (Ramos I., (2009).

***“Estudio de control de la composición en el tope y en el fondo de una torre de destilación de mezcla binaria metanol-agua, utilizando un control neuronal”***. Se usa una red neuronal del tipo perceptron multicapas entrenada fuera de línea empleando un algoritmo de gradiente descendente. Se compararon los resultados obtenidos con los reguladores neuronales y los reguladores PI multilazos, mediante el empleo de diferentes índices de comportamiento (criterio ITAE, tiempo de establecimiento y la desviación máxima absoluta), observándose un mejor comportamiento con los

reguladores neuronales en los dos primeros índices antes señalados.  
(**Torres M. y Colaboradores** (2004)).



## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Metanol**

El Metanol es un líquido incoloro, volátil e inflamable con un ligero olor alcohólico en estado puro. Es un líquido altamente venenoso y nocivo para la salud. Es miscible en agua, alcoholes, esterés, cetonas y muchos otros solventes; además, forma muchas mezclas azeotrópicas binarias. Es poco soluble en grasas y aceites.

Hay métodos analíticos, principalmente la cromatografía de gases (CG) con detección por ionización de llama (DIL), para la determinación del Metanol en diversos medios (aire, agua, suelo y sedimentos) y productos alimenticios, así como para la determinación del Metanol y de su principal metabolito, el formiato, en los líquidos y tejidos corporales. Además de la CG-DIL, en la determinación del formiato en la sangre, la orina y los tejidos se utilizan procedimientos enzimáticos con resultados finales colorimétricos. Para la determinación del Metanol en el lugar de trabajo se suele comenzar con la recolección y concentración en silica-gel, seguida de extracción acuosa y CG-DIL o análisis de CG-espectrometría de masa del extracto. El Metanol está disponible comercialmente en varios grados de pureza: Síntesis, (corresponde al Metanol comercial normal).

De calidad analítica certificada. En condiciones de extremada pureza para manufactura de semiconductores. Las principales impurezas que se

pueden encontrar en el Metanol corresponden a sustancias como acetona, acetaldehído, ácido acético y agua.

### **2.2.2 Destilación**

El proceso de separación más utilizado en la industria química es la Destilación. Esta operación unitaria también es conocida como fraccionamiento o destilación fraccionada. La separación de los constituyentes se basa en las diferencias de volatilidad. Mc Cabe y Colaboradores, (2004).

### **2.2.3 Columna de destilación**

El proceso de separación denominado destilación utiliza fases de vapor y líquido, esencialmente a la misma temperatura y presión en las zonas en las que estas coexisten. Se utilizan varios tipos de dispositivos, como por ejemplo el relleno aleatorio u ordenado y las bandejas de platos, para que dos fases entren en contacto íntimo. Los platos se colocan unos sobre otros y se encierran en una carcasa metálica para formar una columna. El relleno también está contenido dentro de una carcasa cilíndrica, entre los platos de apoyo y soporte.

La alimentación, que se debe separar en fracciones, se introduce en uno o más puntos a lo largo de la estructura de la columna. Debido a la acción diferente de la fuerza de la gravedad entre la fase de vapor y la líquida, el líquido fluye hacia abajo de la columna, cayendo encascada de plato a plato, mientras que el vapor asciende por la columna, para entrar en contacto con el líquido en cada uno de los platos. El líquido que llega al fondo de la columna se vaporiza parcialmente en un calderón que genera vapor

recalentado que asciende por la columna. El resto de líquido se retira como producto de fondo. El vapor que llega a la parte superior de la columna se enfría y condensa como líquido en el condensador superior. Parte de este líquido regresa a la columna como reflujo, para proporcionar un caudal líquido. El resto de la corriente superior se retira como producto destilado o producto de cabeza. En algunos casos, solo una parte del vapor se condensa de manera que se puede extraer un destilado como vapor. Este tipo de flujo en una columna proporciona un contacto en contracorriente líquido vapor, en todos los platos de la columna.

Las fases vapor y líquida en un plato dado se acercan a los equilibrios de temperatura, presión y composición, hasta un punto que depende de la eficiencia del plato de contacto. Los componentes más ligeros (de punto de ebullición más bajo) tienden a concentrarse en la fase vapor, mientras que los más pesados (de punto de ebullición más alto) tienden a la fase líquida.

El resultado es una fase vapor que se hace más rica en componentes pesados conforme desciende en cascada. La separación global que se logra entre el producto superior y el del fondo depende primordialmente de las volatilidades relativas de los componentes, número de platos de contacto y de la relación de reflujo de la fase líquida a la de vapor.

Si la alimentación se introduce en un punto situado a lo largo de la columna, la columna se dividirá en una sección superior, que se denomina con frecuencia sección de enriquecimiento, y otra inferior, que suele recibir el nombre de sección de agotamiento. Estos términos se vuelven bastante indefinidos en columnas con alimentaciones múltiples (que no es nuestro

caso) y en columnas en las cuales se retira una corriente lateral de producto en algún punto a lo largo de la columna, además de las dos corrientes de productos de los extremos. Mc Cabe y Colaboradores, (2004).

#### **2.2.4 Condensación parcial**

Enfriamiento de una mezcla hasta una temperatura específica para condensar una fracción de la misma.

#### **2.2.5 Fraccionamiento**

Sinónimo de rectificación y se aplica comúnmente a las operaciones de rectificación de la industria petrolera.

#### **2.2.6 Rectificación**

Es una destilación realizada de tal manera que el vapor obtenido en la torre se pone en contacto con una fracción condensada del vapor previamente producido en el mismo aparato.

De este contacto resulta una transferencia de material y un intercambio de calor, consiguiéndose así un mayor enriquecimiento del vapor en los elementos más volátiles del que podría alcanzarse con una simple operación de destilación que utilizara la misma cantidad de calor. Los vapores condensados que se retornan para conseguir este objetivo se denominan reflujo.

#### **2.2.7 Reflujo**

Vapores condensados que se retornan a la torre de fraccionamiento para enriquecer el producto de tope con los elementos más volátiles.

### **2.2.8 Vaporización continúa en equilibrio**

Proceso de destilación en el que se vaporiza parcialmente el material de alimentación en condiciones tales que hay equilibrio entre todo el vapor formado y todo el líquido restante. Las condiciones de continuidad de funcionamiento presuponen una alimentación de composición constante, a partir de la cual se forman y extraen continuamente vapor y líquido de composiciones constantes y en cantidades uniformes.

### **2.2.9 Azeótropo**

Mezcla de dos o más compuestos líquidos cuyo punto de ebullición no cambia durante el proceso de vaporización. La palabra azeótropo es sinónima de mezcla de punto de ebullición constante. Los azeótropos se clasifican en dos grupos: los que existen en una fase líquida (azeótropos homogéneos) y los que hay en dos o más fases líquidas en equilibrio (azeótropos heterogéneos).

### **2.2.10 Presión de vapor**

Presión a la cual la fase gaseosa de una sustancia coexiste en equilibrio con su fase líquida o sólida; es característica de la sustancia y aumenta con la temperatura. (Valores elevados de presión de vapor corresponden a sustancias volátiles).

### **2.2.11 Temperatura de ebullición**

La temperatura de ebullición de un líquido es aquella a la cual se forma la primera burbuja de vapor a una presión dada.

### **2.2.12 Temperatura de rocío**

Temperatura de rocío de un vapor es la temperatura a la cual se forma la primera gota de líquido a una presión dada.

### **2.2.13 Componentes claves**

Son los componentes de una mezcla que determina su grado de separación por destilación. El más volátil de estos componentes es el componente clave liviano, y el menos liviano es el componente clave pesado.

### **2.2.14 Puntos de burbuja y rocío**

Para una sustancia pura estamos habituados hablar del punto de ebullición como aquella temperatura a la cual se produce el cambio de fases de líquido a gas. Por ejemplo, a presión de 1 atmósfera el punto de ebullición del agua es de 100 °C, el de la acetona 56.21 °C, del metanol 64.65 °C, etc. Del mismo modo solemos considerar que si cualquiera de estas sustancias se encuentra en estado de vapor, a presión atmosférica se condensaran cuando bajemos de 100 °C, 56.21 °C, 64.65 °C respectivamente. De esta manera, los puntos de ebullición y condensación son iguales.

Sin embargo, para el caso de mezclas de líquidos, esta situación no es tan sencilla. En primer lugar, el punto en el cual comienza a hervir (cambio de fase líquido – gas) una mezcla se denomina punto de burbuja, y el vapor que se forma no tiene la misma composición que el líquido del que parte. Así mismo, para esa mezcla de líquidos que se encuentran en fase gas, la temperatura a la cual comienza a condensar líquido se denomina punto de

rocío, y el líquido que condensa no tiene la misma composición que el vapor del que parte. Smith, J.V Ness, (1997).

### **2.2.15 Etapa de equilibrio**

Los procesos de transferencia de energía y masa en una columna de destilación real son demasiado complicados para poder modelarlos con facilidad en forma directa. Esta dificultad se supera mediante el modelo de etapa de equilibrio. Por definición, la corriente de vapor y la de líquido que salen de una etapa en equilibrio están en equilibrio completo entre sí y se pueden utilizar relaciones termodinámicas para relacionar las concentraciones de las dos corrientes en equilibrio. Se diseña una columna hipotética que se compone de etapas de equilibrio (en lugar de verdaderos platos de contacto), para realizar la separación especificada para la columna real.

Posteriormente, el número de equilibrio se debe convertir en un número dado de platos reales, por medio de eficiencias de plato que describen el punto hasta el cual el rendimiento de una bandeja real de contacto corresponde al rendimiento de una etapa de equilibrio. Engineering Data Book, (1994).

### **2.2.16 Método de Mc Cabe-Thiele**

Este es un método gráfico muy útil, puesto que no requiere datos detallados de entalpía. Excepto cuando las pérdidas de calor o los calores de solución son extraordinariamente grandes, el método de McCabe-Thiele se adecua a la mayoría de los fines. Su adecuación depende de que, como aproximación, las líneas de operación sobre el diagrama x-y puedan

considerarse rectas para cada sección de un fraccionado entre puntos de adición o eliminación de corrientes.

Este método se basa en la representación de las ecuaciones de balance de materia como las líneas de operación en el diagrama x-y. Las líneas se hacen rectas, como se mencionó anteriormente, y se evita la necesidad del balance de energía mediante la suposición de que hay un derrame molar constante.

Se supone que el flujo de la fase líquida es constante de plato a plato en cada sección de la columna entre el punto de adición (alimentación) y el de retiro (producto). Si el flujo del líquido es constante, el flujo del vapor tendrá que ser también constante. Treybal R., (1980).

### **2.2.17 Software de simulación de procesos PRO/II**

El software de simulación de procesos de PRO/II 6.0 es un simulador de estado estacionario que permite el diseño de procesos y el análisis operacional mejorado.

Se diseña para realizar balance de masas y los cálculos rigurosos del balance energético para una amplia gama de procesos químicos en especial en productos químicos, petróleo, gas natural a los sólidos que procesan y a las industrias del polímero permitiendo la solución más comprensiva de la simulación de procesos disponibles hoy en día.



### **2.2.18 Gas Natural**

Es una fuente de energía versátil que puede ser utilizada en ámbitos muy variados. La producción de calefacción y la generación de electricidad son sus principales usos tradicionales. En el futuro, la problemática de la protección del medio ambiente podría conducir a una mayor utilización del gas natural en el sector transporte.

El gas natural es un comúnmente una mezcla de hidrocarburos gaseosos que se producen en relación con el petróleo crudo (gas asociado) o en la exclusión de petróleo crudo (gas no asociado). El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos que se compone principalmente de metano con cantidades menores de otros hidrocarburos de parafina, incluidas las de etano, propano y butanos.

### **2.2.19 Características del Gas Natural**

El gas natural extraído de los yacimientos, es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire. Por razones de seguridad, se le añade mercaptano, un agente químico que le da un olor a huevo podrido, con el propósito de detectar una posible fuga de gas.

Procede de la descomposición de los sedimentos de materia orgánica atrapada entre estratos rocosos y es una mezcla de hidrocarburos ligeros en la que el metano (CH<sub>4</sub>) se encuentra en grandes proporciones, acompañado de otros hidrocarburos y gases cuya concentración depende de la localización del yacimiento.

### 2.2.20 Las Propiedades del Gas Natural

Composición del gas natural en la fuente sobre el terreno (y gas) depende de si se origina a partir de asociados o no asociados campos. Compuesto principalmente de metano, el gas y también contiene etano, propano, butano y pequeñas cantidades de hidrocarburos más pesados. Hidrocarburos gaseosos no como el nitrógeno, los compuestos de azufre, dióxido de carbono, helio, trazas de metales (mercurio) y vapor de agua también se puede encontrar en los arroyos y el gas.

### 2.2.21 Clasificación del Gas Natural

El gas natural puede ser clasificado de acuerdo a su localización en el suelo, a su composición y según su almacenaje.

#### De acuerdo a su composición:

- ❖ **Gas rico ó húmedo:** Es aquel gas natural que contiene alta proporción de componentes pesados por lo tanto se le puede extraer mayores volúmenes líquidos del gas natural hidrocarburos (LGN). Es bastante utilizado en la petroquímica y en la elaboración de la gasolina natural.
- ❖ **Gas pobre ó seco:** Esta formado prácticamente por metano entre 85-90%. Se utiliza directamente como combustible o en proyectos de mantenimiento de presión de yacimientos, también en la producción de hidrogeno.
- ❖ **Gas agrío:** Es aquel que contiene impurezas como  $H_2S$  y  $CO_2$ , los cuales son altamente corrosivos sobre todo el primero de ellos.

- ❖ **Gas Dulce:** Es aquel que no contiene o contiene muy poco (trazas) de sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Los gases de Venezuela sólo contienen pequeñas cantidades de  $H_2S$

De acuerdo a su localización en el suelo:

- ❖ **Gas asociado:** Es aquel que se encuentra en contacto y/o disuelto en el crudo del yacimiento, este a su vez, puede ser clasificado como gas de casquete (libre) o gas en solución (disuelto).
- ❖ **Gas no asociado:** Es aquel que se encuentra en yacimientos que no contienen crudo a las condiciones de presión y temperatura originales.
- ❖ **Gas condensado:** Se puede definir como una mezcla de hidrocarburos parafínicos livianos ( $C_1 - C_2$ ) y medianos ( $C_3^+$ ), con pequeñas cantidades de componentes no hidrocarburos ( $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ , otros). Se encuentra en yacimientos de hidrocarburos en estado gaseoso, por características específicas de presión, temperatura y composición.

### 2.2.22 Procesamiento del Gas Natural

El procesamiento del gas natural consiste principalmente en La eliminación de compuestos ácidos, tales como Sulfuro de Hidrógeno, para lo cual se usan tecnologías que se basan en sistemas de absorción - agotamiento utilizando un solvente selectivo. El gas alimentado se denomina “amargo”, el producto “gas dulce” y el proceso se conoce como endulzamiento.<sup>[3]</sup>

### 2.2.23 Eliminación de las Impurezas del Gas Natural

Las corrientes de gas natural poseen, impurezas o contaminantes. Estas sustancias son muy indeseables y deben eliminarse de la corriente del gas natural antes de su comercialización. Las Normas de Calidad del gas. Los procesos para eliminar las sustancias ácidas del gas natural se conocen como procesos de endulzamiento del gas natural, y se realizan utilizando algún absorbente de las sustancias ácidas.

Estos procesos deben lograr que las corrientes de gases tratadas cumplan con las Normas de Calidad del gas natural comercial en cuanto al contenido de CO<sub>2</sub> y, deben cumplir con la economía del proceso; es decir, que la sustancia absorbente usada pueda ser recuperada y reutilizada en circuito cerrado. Las principales razones para remover los contaminantes del gas natural son:

- Seguridad del proceso que se realiza.
- Control del proceso de corrosión.
- Especificaciones de los productos producidos en un proceso.
- Impedir la formación de hidratos.
- Disminuir los costos del proceso de compresión.
- Satisfacer las normas de gestión ambiental.
- Evitar el envenenamiento de los catalizadores.

### 2.2.24 Proceso de Endulzamiento del Gas Natural

Este proceso tiene como objetivo la eliminación de los componentes ácidos del gas natural, en especial el Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque, otros componentes ácidos como lo son el Sulfuro de Carbonillo (COS) y el Disulfuro de Carbono (CS<sub>2</sub>), son de gran importancia debido a su tendencia a dañar las soluciones químicas que se

utilizan para endulzar el gas. Además, por lo general, estos componentes, no se reportan dentro de la composición del gas que se tratará. Luego como es lógico esto es de alto riesgo para los procesos industriales de endulzamiento, en vista que si hay una alta concentración de estos elementos, es muy posible que el proceso de endulzamiento no sea efectivo, ya que estos compuestos pueden alterar el normal proceso de los endulzadores o sustancias que eliminan los gases ácidos de la corriente de gas natural.

El término endulzamiento es una traducción directa del inglés, en español el término correcto debería de ser “desacidificación” Para que el proceso de endulzamiento del gas natural, tenga un alto grado de eficiencia, se debe comenzar por analizar la materia prima que se va a tratar. De hecho el contenido de las impurezas forma parte de los conocimientos que se deben dominar a la perfección para entender y hacerle seguimiento a los diseños. Por ello se insiste en la tenencia del conocimiento inherente al contenido de agua, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, en primera instancia.

El agua interviene muy fuertemente en la composición del gas y en la concentración de las soluciones que se utilizan en los sistemas de amina; de la misma manera, los gases ácidos, deben ser considerados en el gas de alimentación y en el gas tratado. La diferencia molar de ambas condiciones establece la cantidad de gas ácido que se va a extraer y que lógicamente define el diseño de los equipos y el proceso que se deba a utilizar, en el endulzamiento, de tal forma que sea efectivo, de fácil aplicabilidad y además económico

El proceso de endulzamiento data, desde hace muchos años. Y, en la actualidad se dispone de procesos altamente específicos, con solventes y aditivos complejos, que hacen que el endulzamiento sea de una gran

eficiencia, en vista que muchos otros procesos del gas depende de este, luego el proceso de endulzamiento se debe realiza en forma eficiente, todos los otros proce.so de endulzamiento se puede realizar a través de:

- Absorción de los Gases Ácidos
- Endulzamiento a Través de los Lechos Sólidos.
- Conversión Directa.
- Secuestrantes Químicos.
- Utilización de Membrana.
- Destilación Extractiva.

## **2.2.25 Equipos principales de una torre de fraccionamiento**

### **2.2.25.1 Rehervidor**

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

### **2.2.25.2 Precalentador de la alimentación**

El propósito de este equipo es el de incrementar el flujo de vapor en la sección de la torre localizada por encima de la alimentación. El vapor en la torre puede ser producido en el rehervidor o en el precalentador.

El vapor generado por el rehervidor pasa por todos los platos de la torre, pero el vapor producido en el precalentador solamente pasa por

encima del plato de alimentación. Para efectos de la separación el vapor del rehedidor es más efectivo, pero puede ser más económico suplir calor al precalentador que al rehedidor. La relación líquido/vapor en la alimentación frecuentemente es similar a la relación tope/producto de fondo.

### **2.2.25.3 Condensador**

El propósito del condensador es el de condensar los vapores del tope de la torre. En el caso de un producto de tope líquido se condensa todo el flujo de vapor (condensador total). Si el producto de tope es un vapor se condensa suficiente vapor para el reflujo (condensador parcial).

### **2.2.25.4 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.

### **2.2.25.5 Dispositivos de contacto.**

El propósito de los dispositivos de contacto es el de lograr el equilibrio entre las fases líquido y vapor. Los platos o relleno en una torre están diseñados para mezclar el vapor ascendente y el líquido que desciende. El flujo puede de esta manera tender al equilibrio por la transferencia de calor y/o de materia de los componentes. De esta manera, los dispositivos de contacto tienen el mismo efecto que una serie de etapas de vaporizaciones en equilibrio.

En la figura 2.1 se muestra una torre de destilación con sus equipos principales.

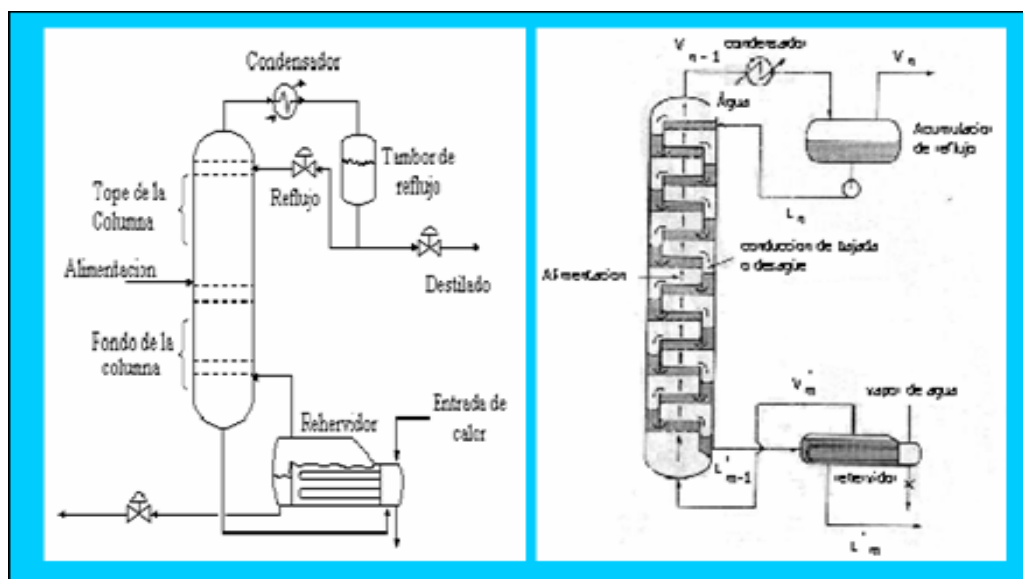


Figura 2.1. Torre de destilación y sus respectivas partes.

Fuente: Treybal R., (1980).

### 2.2.26 Funcionamiento de una torre de destilación.

La destilación es la separación de los constituyentes de una mezcla líquida por medio de la vaporización parcial de la mezcla y la recuperación por separado del vapor y del residuo.

Los equipos comúnmente utilizados para llevar a cabo una destilación fraccionada, son las torres de platos, representadas en la figura 2.1.

Su funcionamiento es el siguiente:

El líquido desciende por la torre bajo la acción de la gravedad, mientras que el vapor asciende debido a la fuerza de una ligera diferencia de



presiones de plato en plato. La presión más elevada se produce por la ebullición en el rehervidor inferior.

El vapor pasa a través de aberturas en cada plato y entran en contacto con el líquido que circula a lo largo del plato. Si el mezclado del vapor y del líquido en los platos fuese suficiente para alcanzar el equilibrio entre las corrientes de vapor y líquido que abandonan el plato, entonces cada plato proporcionaría la acción de una destilación simple.

La porción de la torre por encima de la corriente de alimentación se denomina sección de rectificación o enriquecimiento. Esta sección sirve para eliminar el componente más pesado del vapor ascendente y enriquecer el producto ligero. La posición de la torre por debajo de la alimentación, se denomina sección de agotamiento y sirve principalmente para eliminar o agotar el componente ligero del líquido descendente; purificando el producto del fondo.

Con objeto de obtener un buen contacto entre las fases y proporcionar el necesario desprendimiento del vapor y líquido entre las etapas, el líquido se retiene en cada plato mediante una prensa, sobre la que el efluente líquido pasa.

Para alcanzar la siguiente etapa, éste efluente líquido desciende a través de un comportamiento separado, denominado conducto de bajada o desagüe. Es importante hacer notar, que el desagüe debe proporcionar el volumen suficiente y un tiempo de residencia adecuado para que el líquido se desprenda del vapor arrastrado antes de llegar a la siguiente etapa.

El condensador toma el vapor del domo de la columna y licúa una porción del mismo regresándolo a la torre como reflujo. El condensador

mostrado en la figura 1, es un condensador parcial, ya que solo condensa una fracción del vapor del domo.

### 2.2.26.1 Zona de rectificación

Cuando el reflujo es líquido saturado, en el caso de un condensador parcial, se puede suponer que el flujo de líquido en la sección de rectificación es igual al caudal de reflujo en la parte superior.

La ecuación para la línea de operación en esta zona es:

$$V * Y_{A,n} = L * X_{A,n} + 1 + D * Y_{A,D}$$

**Donde:**

**V** = flujo total del vapor en la zona de rectificación (moles/tiempo).

**YA** = fracción molar, componente A fase vapor.

**n** = número de plato.

**L** = flujo de líquido en la zona de rectificación (moles/L).

**XA** = fracción molar, componente A fase líquida.

**D** = destilado (moles/tiempo).

La línea de operación puede trazarse en el diagrama usando las siguientes propiedades:

$$\text{Pendiente} = L / V$$

Ordenada en  $X_A = 1$ ;  $Y_A = (L + D * Y_{A,D}) / V$

Ordenada en el origen de  $X_A = 0$ ;  $Y_A = D * Y_{A,D} / V$

Se cruzan con las líneas de  $45^\circ$ ;  $X_A = Y_A = Y_{A,D}$

### 2.2.26.2 Zona de Agotamiento

La ecuación de la línea de operación para el componente A en la sección de agotamiento es:

$$V' * Y_{A, n} = L' * X_{A, n} + 1 - b * X_{A, b}$$

**Donde:**

**V'** = flujo de vapor en la sección de agotamiento (**moles/tiempo**).

**L'** = flujo de líquido en la sección de agotamiento (**moles/tiempo**).

**b** = flujo del residuo.

Esta línea se puede trazar a partir de las siguientes propiedades:

$$\text{Pendiente} = L' / V'$$

**Donde:**

Ordenada en  $X_A = 1$ ;  $Y_A = (L' - b * Y_{A, b}) / V'$

Ordenada en el origen de  $X_A = 0$ ;  $Y_A = - b * X_{A, b} / V'$

Se cruzan con la línea de 45°;  $X_A = Y_A = X_{A, b}$

### 2.2.26.3 Intersección de las líneas de operación

El lugar geométrico de la intersección de ambas líneas, depende de la composición y del estado de la alimentación.

#### 2.2.26.4 Cálculo de la eficiencia.

Una aproximación para reducir la influencia de no equilibrio en la calidad de la separación alcanzada o el número de etapas necesarias para una destilación, implica la utilización de una eficiencia global definida por:

$$E = \frac{\text{\# de etapas de equilibrio}}{\text{\# de etapas reales}}$$

El número de etapas de equilibrio calculadas y el número de etapas reales existentes en la columna, son las necesarias para las purezas de los productos especificadas o medidas. Para utilizar la eficiencia global en un problema de diseño, se lleva a cabo un análisis de las etapas de equilibrio y entonces se determina el número de etapas reales como el número de etapas de equilibrio dividido por E aproximadamente de 0.6, ó el 60%.

#### 2.2.27 Definiciones de diseño aplicadas a platos

##### 2.2.27.1 Agujeros de drenaje

Por razones de operación y de seguridad los agujeros de drenaje o aliviaderos son construidos en los platos o en los vertederos en sitios donde el líquido pudiera acumularse, previendo un drenaje total durante una parada de la torre. Algo de líquido puede pasar hacia los agujeros mientras la torre está en operación, por lo tanto es importante que el tamaño, número y localización de los mismos sean cuidadosamente seleccionados.

Por otra parte, a bajos flujos de líquido, la fuga a través de los agujeros de drenaje puede causar que una gran cantidad de líquido no pase a través de la zona de contacto.

#### **2.2.27.2 Arrastre**

El arrastre consiste en una dispersión fina o neblina de líquido en el plato, el cual comienza a ser arrastrado hacia el plato superior. 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 causada por una carga de vapor alta y/o bajo porcentaje de área abierta en el plato.

#### **2.2.27.3 Capacidad máxima**

La capacidad máxima es la carga máxima de vapor que la torre puede manejar, la cual depende principalmente de las propiedades del sistema. La carga de vapor no puede ser incrementada por cambios en el diseño del plato o aumentos en el espaciamiento entre los platos, sino solamente por aumentos en el área libre de la torre.

#### **2.2.27.4 Eficiencia de plato**

Es una medida de la efectividad del contacto líquido–vapor en el plato. Expresa la separación que se tiene realmente en comparación con la separación que se obtendrá teóricamente en estado de equilibrio. Toma en cuenta la no idealidad del plato. El número de platos ideales (teóricos), es igual al número de platos no ideales (reales) multiplicado por la eficiencia del plato.

#### **2.2.27.5 Goteo (Weeping)**

El punto de goteo se define como el flujo de vapor al cual el líquido comienza a pasar a través de los orificios del plato en forma continua. Esto no es necesariamente el límite inferior de operación para una buena eficiencia del plato. 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.

#### **2.2.27.6 Gradiente de líquido**

El gradiente de líquido es el cambio en la profundidad del líquido en el plato, desde su entrada hasta su salida. Dependiendo del tipo de plato (resistencia al flujo) y al tipo de movimiento del vapor, el cabezal estático representado por el gradiente de líquido puede proporcionar en cualquier lugar una fuerza motriz que mueve el líquido a través del plato desde una parte despreciable (platos perforados) a una parte considerable (platos tipo casquetes de burbujeo).

#### **2.2.27.7 Inundación (Flooding)**

La inundación es una condición inestable que implica una acumulación excesiva de líquido dentro de la torre. La altura del líquido en el bajante y en los platos aumenta hasta llenar toda la torre de líquido. La acumulación de líquido es ocasionada 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 “downconer chokc”.

#### **2.2.27.8 Inundación por arrastre o inundación por chorro (Entrainment flooding or jet flooding)**

Esta condición se presenta cuando hay arrastre de líquido de un plato al plato superior debido a una excesiva velocidad del vapor a través del área libre de la torre. La inundación por arrastre se manifiesta a través de dos tipos de régimen: “spray” y espuma “froth”.

El primer régimen se presenta a velocidades del líquido bajas y velocidades del vapor altas. El régimen de espuma se genera a velocidades altas de líquido y de vapor. Para evitar la inundación por cualquiera de estos regímenes es importante poner cuidado en el diseño del plato y el espaciamiento entre los platos.

#### **2.2.27.9 Llenado excesivo del bajante**

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 flujo de líquido el espacio libre del bajante, el área del bajante, o el espaciado entre los platos previsto es inadecuado.

#### **2.2.27.10 Flexibilidad operacional (Turndown ratio)**

La flexibilidad operacional se define como la relación entre la carga de vapor en operación normal (o diseño) y la carga de vapor mínima permitida. La mínima carga permitida generalmente está en el límite de goteo excesivo, mientras que la carga para operación normal está separada con un margen de seguridad del límite donde la inundación comienza a ser relevante.

Esta da a la torre un rango de operación que asegura un funcionamiento satisfactorio de los platos y por ende la calidad de los productos. Normalmente se toma como referencia que la eficiencia del plato permanezca aproximadamente en 90% de su valor máximo.

#### **2.2.27.11 Plato teórico**

Unidad teórica de contacto que representa una etapa ideal de destilación (etapa ideal de destilación (etapa teórica), la cual cumple con las siguientes condiciones ideales: opera en estado estacionario, obteniendo un producto líquido que entra a la etapa están perfectamente mezclados y en contacto íntimo; todo el vapor y líquido que sale de dicha etapa está en equilibrio a las condiciones de temperatura y presión de la misma.

Un plato o bandeja de un fraccionador real es generalmente menos eficaz que un plato teórico. La relación del número de platos teóricos necesarios para realizar una separación por destilación entre el número de platos reales utilizados, proporciona la eficiencia del plato.

#### **2.2.27.12 Relación de reflujo**

Cantidad de reflujo por cantidad unitaria de destilado que sale del proceso como producto.

#### **2.2.27.13 Selectividad**

Razón de productos deseables a indeseables.



#### **2.2.27.14 Sello del bajante**

Un bajante no cerrado tiene como resultado un flujo de vapor ascendente a través del bajante, en lugar de ascender por el área de contacto del plato. Si ocurre lo anterior puede causar un estancamiento excesivo del líquido por estrangulamiento del bajante “downconer chokc”, y una prematura inundación del plato a flujos de diseño o menores.

#### **2.2.27.15 Severidad**

Grado de las condiciones de operación de una unidad de proceso. La severidad puede indicarse por el número de octano del producto, el rendimiento porcentual del producto, o sólo por las condiciones de operación.

#### **2.2.27.16 Vaciado por falta de hermeticidad**

El vaciado por hermeticidad consiste en una excesiva fuga de líquido a través de los orificios del plato, caracterizada por una caída significativa de la eficiencia del plato. Para un funcionamiento aceptable del plato, el flujo de vapor mínimo debe ser igual o mayor a aquel en que ocurre el vaciado.

#### **2.2.27.17 Velocidad en el bajante / Segregación**

La velocidad del líquido en el bajante debe ser lo suficientemente baja para permitir la segregación del vapor y su salida del bajante contra un flujo de espuma en la entrada. Si la velocidad es excesiva, el aumento del nivel en el bajante debido a una areación puede causar la inundación del plato. Además, el vapor en la mezcla espumosa puede ser de tal magnitud que la segregación en el plato de abajo forme un reciclo de vapor que lo sobrecargue, ocasionando una inundación por chorro prematura.

### 2.2.28 Tipos de operaciones de destilación y aplicaciones

El proceso de destilación es utilizado para separar los constituyentes de una mezcla líquida, basado en la diferencia entre sus volatilidades o presión de vapor.

La destilación es una operación lograda en las torres de fraccionamiento. Las operaciones de destilación se puede agrupar en: destilación continua que es la operación más usada a escala comercial, y la destilación simple intermitente conocida como destilación “batch”, empleada hoy día a nivel de laboratorio y a pequeña escala. Una mejor clasificación incluye el número de etapas empleadas y la presión de operación (atmosférica, vacío y superatmosférica).

Las destilaciones extractivas y azeotrópicas se consideran operaciones especiales. A continuación se describen brevemente los tipos de destilación más usados:

#### 2.2.28.1 Destilación por lotes “batch”

En una etapa simple: Consiste en separar una cantidad específica de una alimentación en sus componentes. La alimentación se introduce en un recipiente cilíndrico y se calienta hasta ebullición. Los vapores condensados se separan por el tope en un acumulador mientras que los componentes restantes requieren de una separación adicional, la mayor parte del componente volátil se debe retirar del lote antes de continuar el proceso.

Este tipo de equipos simple proporciona un sólo plato teórico de separación y su uso se limita a trabajos preliminares. Es muy usada para caracterizar corrientes líquidas tal como la curva de destilación ASTM.

En etapas múltiples: Una vez que la alimentación se introduce en el recipiente cilíndrico, se calienta hasta ebullición y los vapores condensados son recuperados por el tope y parte de ellos se retornan como reflujo a la columna, con el fin de mejorar el funcionamiento de la torre. Se pueden hacer cortes, pasando los productos de tope por acumuladores alternos, lo que permite la flexibilidad de modificar las condiciones operacionales. Toda la torre funciona como una sección de enriquecimiento y a medida que transcurre el tiempo, la composición del material que se destila se va haciendo cada vez menos rica en el componente más volátil y se detiene la destilación de un corte cuando el destilado alcanza la composición deseada.

El equipo permite obtener productos con un rango estrecho de composiciones con el uso de la rectificación. El diseño se basa en la cantidad a procesar y la relación necesaria de vaporización. Hoy en día se usa poco y probablemente se encuentra a pequeña escala en la industria química o en laboratorios analíticos, en la caracterización de corrientes tal como la curva de destilación TBP.

#### **2.2.28.2 Destilación Continua**

En una etapa simple: Es la más sencilla de las operaciones e involucra una sola etapa teórica, usualmente llamada vaporización instantánea “Flash”. Consiste en vaporizar parcialmente la alimentación en una operación de una etapa simple dentro de un recipiente cilíndrico llamado tambor de vapor “flash drum” a una temperatura y presión dada.

En etapas múltiples: El proceso involucra más de una etapa en las cuales los vapores ascendentes y líquidos en contracorriente pasan a través de varios internos que promueven la transferencia de masa entre las dos corrientes. Esta operación se denomina también destilación fraccional o

fraccionamiento. La alimentación puede ser introducida en cualquier punto de la torre, los productos de tope salen como vapor y en el fondo como líquido, otros productos también se obtienen de puntos intermedios.

Las torres convencionales pueden presentar dos tipos de condensadores: total o parcial. En el caso del condensador total los vapores que salen del plato en el tope son condensados, mientras que el condensador parcial, los vapores que salen en el tope son condensados parcialmente y el líquido producido es reciclado nuevamente a la torre como reflujo.

En este tipo de dispositivo están presentes dos secciones: rectificación y despojamiento. La sección de rectificación permite aumentar la pureza del producto más liviano y se encuentra localizada aguas arriba del plato de alimentación. La sección de despojamiento permite mejorar la recuperación del producto de tope y se encuentra localizada debajo del plato de alimentación.

El condensador en el tope y el rehervidor en el fondo de la columna son considerados como etapas teóricas adicionales. Son muy frecuentes las operaciones industriales que utilizan este tipo de destilación.

### **2.2.28.3 Destilación a presión**

Las destilaciones a nivel comercial se llevan a cabo en un amplio rango de presiones. En la industria de refinación la presión puede variar entre 1 Psia y 400 Psia. Sin embargo, el factor más influyente en la presión de operación son las volatilidades relativas de los componentes alimentados

y las temperaturas del medio de calor y/o enfriamientos utilizados, siendo vapor y agua los más comunes.

Existen otros factores que deben considerarse como la estabilidad de los componentes y sus temperaturas críticas.

Destilación a presión atmosférica:

La destilación a presión atmosférica no es más que una destilación continua multietapas donde se logran separar los componentes por punto de ebullición o rango de ebullición.

Destilación a alta presión:

Cuando compuestos volátiles son destilados (como gases a condiciones atmosféricas), se emplean altas presiones para aumentar su temperatura de condensación. Existen casos en que la presión está limitada por el calor sensible del producto de fondo o por su temperatura crítica. La temperatura de fondo debe ser más baja que la temperatura crítica de los productos pesados, de otra manera no estaríamos hablando de destilación. Se emplea en la manufactura del etileno.

Destilación al vacío:

Cuando la alimentación está integrada por componentes de alto punto de ebullición que son demasiado alto para destilarlos en un torre a presión atmosférica, la destilación se lleva a cabo a presiones de vacío para reducir la temperatura de la torre. Las propiedades del producto de fondo usualmente determinan el tipo de vacío a ser usado, por ejemplo los hidrocarburos saturados pueden calentarse cerca de 750 °F antes de que comiencen a craquearse.

Como una alternativa al vacío las alimentaciones pueden ser destiladas a presión atmosférica por el uso de vapor para reducir la presión parcial de los componentes alimentados y entonces permitir su vaporización a temperaturas por debajo de su punto de ebullición normal.

Destilación extractiva y azeotrópica:

Las destilaciones azeotrópicas y extractivas son fraccionamientos que se facilitan con la adición de un solvente al sistema, el cual es capaz de desplazar el equilibrio vapor-líquido en el sentido favorable como agente separador. La destilación simple no puede ser usada para separar azeótropos y en algunos casos es factible por modificaciones en el proceso de destilación. Separaciones como benceno-parafinas y butenos a partir de butanos son posibles comercialmente porque sus componentes químicamente son similares a pesar de tener puntos de ebullición muy cercanos. Este tipo de operación es del tipo de destilación continua de mezclas no ideales, por lo que los cálculos aproximados son engorrosos.

Cuando el solvente es menos volátil que la alimentación la operación es llamada destilación extractiva y su función es similar a la operación de extracción con solvente. En la destilación azeotrópica, el solvente es más volátil que la alimentación y puede ser introducido con la alimentación.

La destilación azeotrópica también se refiere a un proceso en el cual un solvente se adiciona porque las presiones de vapor de los componentes son muy similares. Es muy usado en la separación de alcoholes tal como etanol/agua con pentano. La destilación extractiva se refiere a esos procesos en que el solvente de alto punto de ebullición se adiciona en un plato en la columna para alterar las volatilidades relativas de los componentes alimentados. El solvente usualmente ebulle a temperaturas muy por encima

de los componentes de tal manera que la formación de un nuevo azeótropo es imposible.

La base de esta destilación es el cambio de volatilidad producido por la introducción del solvente, el cual no es igual para cada componente y la diferencia de volatilidades permite el fraccionamiento de los componentes alimentados. Requiere de una torre con menor número de platos y una relación de reflujo más bajo que la destilación convencional.

El hecho de que el solvente pueda ser recuperado por destilación simple posteriormente hace la destilación extractiva un proceso menos complejo y más útil que la destilación azeotrópica. Un ejemplo de destilación extractiva es la separación de n-heptano y tolueno empleando fenol.

### **2.2.29 El metanol y su uso en la industria**

El metanol se conoce como el alcohol más sencillo, y se presenta como un líquido ligero, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible.

El metanol es un disolvente industrial que se emplea como materia prima en la fabricación de formaldehído (formol) y se emplea como anticongelante en vehículos, combustible de bombonas de camping-gas, disolvente de tintas, tintes, resinas y adhesivos.

El metanol puede ser también añadido al etanol para hacer que éste no sea apto para el consumo humano ya que aquel es altamente tóxico, su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$  y su uso es muy importante en la industria de la medicina.

En la industria relacionada con la producción del vino, el metanol proviene de la desmetilación enzimática de las pectinas presentes en la pared celular de la uva y, por consiguiente, su concentración en los vinos estará determinada por la concentración de pectinas en el mosto, que depende de la variedad de uva que se emplee, la concentración de enzimas y el grado de actividad de estas últimas.

Al ser considerado como inflamable de primera categoría, las condiciones de almacenamiento y transporte deberán ser extremas. Está prohibido el transporte de alcohol metílico sin contar con los recipientes especialmente diseñados para ello. La cantidad máxima de almacenamiento de metanol en el lugar de trabajo es de 200 litros.

Las áreas donde se produce manipulación y almacenamiento de metanol deberán estar correctamente ventiladas para evitar la acumulación de vapores. Además los pisos serán impermeables, con la pendiente adecuada y con canales de escurrimiento. Si la iluminación es artificial deberá ser anti-explosiva, prefiriéndose la iluminación natural. Así mismo, los materiales que componen las estanterías y artefactos similares deberán ser anti-chispa. Las distancias entre el almacén y la vía pública serán de tres metros para 1000 litros de metanol, aumentando un metro por cada 1000 litros más de metanol. La distancia entre dos almacenes similares deberá ser el doble de la anterior.

Para finalizar con las propiedades y características se puede decir que el metanol es un compuesto orgánico muy importante ya que el grupo hidroxilo se convierte con facilidad en cualquier otro grupo funcional. Así el metanol se oxida para obtener formaldehído (formol) y ácido fórmico; mientras que por su reducción se obtiene metano.



### 2.2.29.1 Obtención de Metanol

Originariamente se producía metanol por destilación destructiva de astillas de madera. Esta materia prima condujo a su nombre de alcohol de madera. Este proceso consiste en destilar la madera en ausencia de aire a unos 400 °C formándose gases combustibles (CO, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>), empleados en el calentamiento de las retortas; un destilado acuoso que se conoce como ácido piroleñoso y que contiene un 7-9% de ácido acético, 2-3% de metanol y un 0.5% de acetona; un alquitrán de madera, base para la preparación de antisépticos y desinfectantes; y carbón vegetal que queda como residuo en las retortas.

Actualmente, todo el metanol producido mundialmente se sintetiza mediante un proceso catalítico a partir de monóxido de carbono e hidrógeno. Esta reacción emplea altas temperaturas y presiones, y necesita reactores industriales grandes y complicados.



La reacción se produce a una temperatura de 300-400 °C y a una presión de 200-300 atm. Los catalizadores usados son ZnO o Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

El gas de síntesis (CO + H<sub>2</sub>) se puede obtener de distintas formas. Los distintos procesos productivos se diferencian entre sí precisamente por este hecho. Actualmente el proceso más ampliamente usado para la obtención del gas de síntesis es a partir de la combustión parcial del gas natural en presencia de vapor de agua.



Sin embargo el gas de síntesis también se puede obtener a partir de la combustión parcial de mezclas de hidrocarburos líquidos o carbón, en presencia de agua.

**Mezcla de Hidrocarburos Líquidos + Agua      CO + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>**

**Carbón + Agua                      CO + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>**

En el caso de que la materia prima sea el carbón, el gas de síntesis se puede obtener directamente bajo tierra. Se fracturan los pozos de carbón mediante explosivos, se encienden y se fuerzan aire comprimido y agua. El carbón encendido genera calor y el carbono necesarios, y se produce gas de síntesis. Este proceso se conoce como proceso in situ. Este método no tiene una aplicación industrial difundida.

Los procesos industriales más ampliamente usados, usando cualquiera de las tres alimentaciones (gas natural, mezcla de hidrocarburos líquidos o carbón) son los desarrollados por las firmas Lurgi Corp. e Imperial Chemical Industries Ltd. (ICI).

#### **2.2.29.2 Proceso Lurgi**

Se denomina proceso de baja presión para obtener metanol a partir de hidrocarburos gaseosos, líquidos o carbón.

*El proceso consta de tres etapas bien diferenciadas:*

## Reforming

Es en esta etapa donde se produce la diferencia en el proceso en función del tipo de alimentación. En el caso de que la alimentación sea de gas natural, este se desulfuriza antes de alimentar el reactor. Aproximadamente la mitad de la alimentación entra al primer reactor, el cual está alimentado con vapor de agua a media presión. Dentro del reactor se produce la oxidación parcial del gas natural. De esta manera se obtiene H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y un 20% de CH<sub>4</sub> residual.



**Esta reacción se produce a 780 °C y a 40 atm.**

El gas de síntesis más el metano residual que sale del primer reactor se mezcla con la otra mitad de la alimentación (previamente desulfurizada). Esta mezcla de gases entra en el segundo reactor, el cual está alimentado por O<sub>2</sub>. Este se proviene de una planta de obtención de oxígeno a partir de aire.



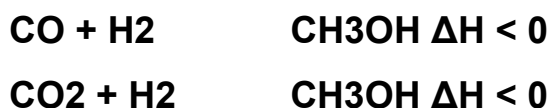
**Esta reacción se produce a 950 °C.**

En caso de que la alimentación sea líquida o carbón, ésta es parcialmente oxidada por O<sub>2</sub> y vapor de agua a 1400-1500 °C y 55-60 atm. El gas así formado consiste en H<sub>2</sub>, CO con algunas impurezas formadas por pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S y carbón libre.

Esta mezcla pasa luego a otro reactor donde se acondiciona el gas de síntesis eliminándose el carbón libre, el H<sub>2</sub>S y parte del CO<sub>2</sub>, quedando el gas listo para alimentar el reactor de metanol.

### Síntesis

El gas de síntesis se comprime a 70-100 atm. y se precalienta. Luego alimenta al reactor de síntesis de metanol junto con el gas de recirculación. El reactor Lurgi es un reactor tubular, cuyos tubos están llenos de catalizador y enfriados exteriormente por agua en ebullición. La temperatura de reacción se mantiene así entre 240-270 °C.



Una buena cantidad de calor de reacción se transmite al agua en ebullición obteniéndose de 1 a 1.4 Kg. de vapor por Kg. de metanol. Además se protege a los catalizadores.

### Destilación

El metanol en estado gaseoso que abandona el reactor debe ser purificado. Para ello primeramente pasa por un intercambiador de calor que reduce su temperatura, condensándose el metanol. Este se separa luego por medio de separador, del cual salen gases que se condicionan (temperatura y presión adecuadas) y se recirculan.

El metanol en estado líquido que sale del separador alimenta una columna de destilación alimentada con vapor de agua a baja presión. De la torre de destilación sale el metanol en condiciones normalizadas. En la

página siguiente se puede observar el flow-sheet del proceso Lurgi de baja presión para obtener metanol líquido a partir de gas natural. Mientras que en la página siguiente se podrá observar el mismo proceso pero en caso de usar alimentación líquida o carbón. El proceso consta de tres etapas bien diferenciadas como se muestra en la figura 2.2:

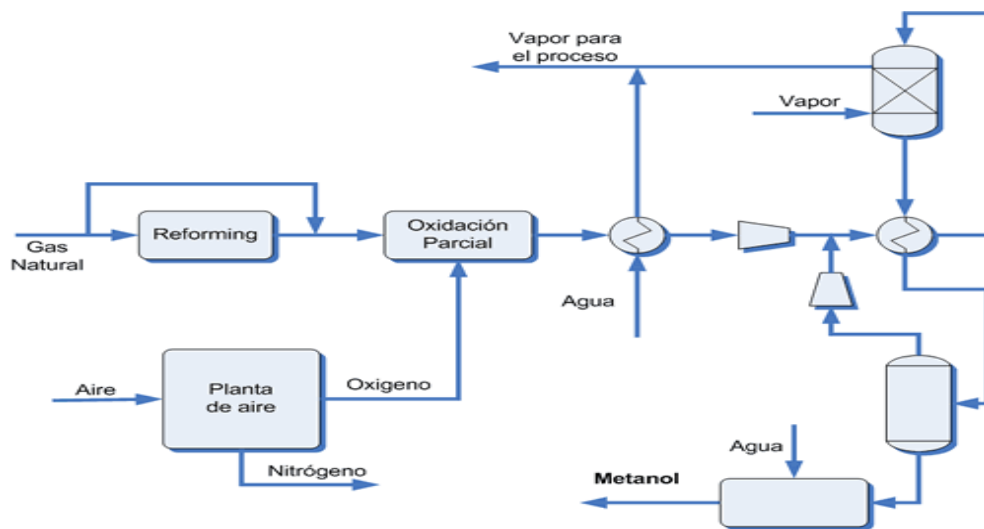


Figura 2.2. El metanol y su uso en la industria

Fuente: Ramos I., (2009).

### 2.2.30 Identidad de la sustancia química

- Fórmula Molecular:  $\text{CH}_3\text{OH}$
- Estructura Molecular: CAS: 67-56-1
- Número UN: 1230
- Riesgo Principal UN: 3
- Riesgo Secundario ONU: 6.1

### **2.2.30.1 Sinónimos**

Metanol, Alcohol Metílico, Metil Alcohol, Carbinol, Hidroximetano, Metilol, Monohidroximetano, espíritu de la madera, alcohol de madera.

### **2.2.30.2 Descripción**

El Metanol es un líquido incoloro, volátil e inflamable con un ligero olor alcohólico en estado puro. Es un líquido altamente venenoso y nocivo para la salud. Es miscible en agua, alcoholes, esteres, cetonas y muchos otros solventes; además, forma muchas mezclas azeotrópicas binarias. Es poco soluble en grasas y aceites.

Hay métodos analíticos, principalmente la cromatografía de gases (CG) con detección por ionización de llama (DIL), para la determinación del Metanol en diversos medios (aire, agua, suelo y sedimentos) y productos alimenticios, así como para la determinación del Metanol y de su principal metabolito, el formiato, en los líquidos y tejidos corporales.

Además de la CG-DIL, en la determinación del formiato en la sangre, la orina y los tejidos se utilizan procedimientos enzimáticos con resultados finales colorimétricos.

Para la determinación del Metanol en el lugar de trabajo se suele comenzar con la recolección y concentración en silica-gel, seguida de extracción acuosa y CG-DIL o análisis de CG-espectrometría de masa del extracto.

El Metanol está disponible comercialmente en varios grados de pureza:

1. Síntesis, (corresponde al Metanol comercial normal).
2. De calidad analítica certificada.
3. En condiciones de extremada pureza para manufactura de semiconductores.
4. Las principales impurezas que se pueden encontrar en el Metanol corresponden a sustancias como acetona, acetaldehído, ácido acético y agua.

### 2.2.30.3 Composición / información de los ingredientes

Tabla 2.1 Composición/ información de los ingredientes

Ingrediente	Por ciento	Peligroso
Alcohol Metílico	%	Si

### 2.2.30.4 Propiedades físicas

Tabla 2.2 Propiedades físicas

PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular (g/mol)	32,04
Punto de Ebullición (°C)	67,4; 760 mmHg
Punto de Fusión (°C)	-97,8
Presión de Vapor (mmHg)	92; 20 °C
	126; 25°C
	160; 30 °C
Gravedad Específica (Agua = 1)	0.7915; 20/4 °C
	0.7866; 25 °C

Densidad del Vapor (Aire = 1)	1,11
pH	No Reportado
Solubilidad en agua	Miscible
Log Kow	-0,67
Límites de Inflamabilidad (% vol)	5,5 – 44
Temperatura de Auto Ignición (°C)	470
Punto de Inflamación (°C)	15,6; copa abierta
	12,2; copa cerrada

Tomada de “OSHA; Occupational Health Guideline for Methyl Alcohol

### 2.2.30.5 Propiedades químicas

El Metanol presenta reacciones que son típicas para alcoholes de su clase. Las reacciones de particular importancia en la industria son principalmente deshidrogenación y deshidrogenación oxidativa sobre óxido de Plata o Molibdeno-Hierro para la producción de Formaldehido; la reacción con Isobutileno usando catalizadores ácidos, para formar Metil Tertiariil Butil Éter (MTBE); carbonación a ácido acético usando como catalizador Cobalto o Rodio; esterificación con ácidos orgánicos y derivados ácidos; eterificación; adición a enlaces no saturados y reemplazo del grupo hidroxilo.

El Metanol líquido y sus vapores son sustancias muy inflamables y que al contacto con el aire pueden llegar a ser explosivas. Esto representa un problema de seguridad potencialmente grande.

#### Incompatibilidades:

El calor contribuye a su inestabilidad, además, el contacto con agentes oxidantes fuertes puede causar incendios y explosiones. En un incendio con Metanol, se pueden liberar gases y vapores tóxicos, como monóxido de



carbono y formaldehído. Se debe tener especial cuidado, ya que el Metanol ataca cierto tipo de plásticos, cauchos y revestimientos. Puede reaccionar con aluminio metálico a altas temperaturas.

## **2.2.31 Producción aplicaciones y usos**

### **2.2.31.1 Producción**

La fuente de Metanol importante más antigua (alcohol de madera) es la destilación seca de madera a 350°C, que fue empleada de 1830 a 1930 aproximadamente. En los países en los cuales la madera es abundante y los productos de madera constituyen una industria muy importante, el Metanol aún se obtiene por medio de este procedimiento. Sin embargo, el Metanol obtenido de la madera contiene más contaminantes, principalmente acetona, ácido acético y alcohol alílico, que el Metanol de grado químico actualmente disponible.

El Metanol se obtenía también como producto de la oxidación no catalítica de hidrocarburos (un procedimiento discontinuado en USA en 1973), y como un subproducto de la síntesis de Fischer-Tropsch, la cual ya no tiene importancia industrial.

La moderna producción industrial a escala de Metanol está basada exclusivamente en la conversión catalítica de gases de síntesis presurizados (Hidrogeno, Monóxido y Dióxido de Carbono) en presencia de catalizadores metálicos heterogéneos. Todos los materiales carbonáceos como coque, gas natural, petróleo y fracciones obtenidas del petróleo (asfalto, gasolina, compuestos gaseosos) se pueden emplear como materias primas para la producción de gases de síntesis.

La presión de síntesis requerida depende de la actividad del catalizador metálico empleado, los catalizadores de cobre, óxido de zinc y alúmina son los más efectivos en las plantas industriales de Metanol. Estos catalizadores permiten la síntesis del producto con una alta selectividad, la mayoría de las veces por encima del 99%, referida a la adición de COx. Las siguientes impurezas son importantes en la producción de Metanol a gran escala:

1. Formación de alcoholes pesados obtenidos a partir de catalizadores con trazas de álcali.
2. Hidrocarburos obtenidos usando catalizadores con contenido de hierro, cobalto y níquel, de acuerdo al proceso de Fischer-Tropsch.
3. Esteres.
4. Dimetil éter.
5. Cetonas.

La formación de la mayoría de los subproductos de gases de síntesis, particularmente especies de C<sub>2</sub>+, se favorece termodinámicamente sobre la síntesis de Metanol. Debido a que el Metanol es el producto principal, las reacciones en las que se obtienen subproductos se controlan cinéticamente. Además de la composición del gas de alimentación y de las características del catalizador, la temperatura y el tiempo de residencia del catalizador son determinantes en la formación de subproductos, un incremento en estos parámetros eleva la proporción de subproductos.

Por convención, los procesos están clasificados de acuerdo a la presión utilizada: procesos a bajas presiones, 50-100 atmósferas; procesos a presiones moderadas, 100-200 atmósferas; y procesos a altas presiones, 200-350 atmósferas. Los procesos a altas presiones emplean catalizadores

de óxido de zinc y cromo, pero debido a los costos del manejo de altas presiones no es económicamente viable. Debido a esto fue necesario desarrollar una tecnología a bajas presiones, la cual utiliza catalizadores que contienen óxidos de cobre y zinc usando además aditivos estabilizadores que proporcionan una selectividad mayor obteniéndose así una pureza superior al 99.5% reduciendo drásticamente la formación de subproductos e inclusive eliminándolos del todo.

Esta tecnología es la más ampliamente utilizada a nivel mundial y tenida en cuenta por el 55% de la capacidad de Metanol en USA durante 1980.

#### **2.2.31.2 Aplicaciones y usos**

El Metanol tiene una gran variedad de aplicaciones industriales. Su uso más frecuente es como materia prima para la producción de metil t-butil éter (MTBE), que es un aditivo para gasolina. También se usa en la producción de formaldehído, ácido acético, cloro metanos, metacrilato de metilo, metilaminas, dimetil tereftalato y como solvente o anticongelante en pinturas en aerosol, pinturas de pared, limpiadores para carburadores, y compuestos para limpiar parabrisas de automóviles.

El Metanol es un sustituto potencial del petróleo. Se puede usar directamente como combustible reemplazando la gasolina en las mezclas gasolina-diesel. El Metanol tiene mayor potencial de uso respecto a otros combustibles convencionales debido a que con esta sustancia se forma menor cantidad de ozono, menores emisiones de contaminantes, particularmente benceno e hidrocarburos aromáticos poli cíclicos y compuestos sulfurados; además presenta bajas emisiones de vapor.

Por otra parte, la posibilidad de mayores emisiones de formaldehído, su elevada toxicidad y, en el momento, la baja rentabilidad, favorecen el uso de combustibles convencionales.

Para motores de gasolina, el Metanol puro (llamado combustible M100) o mezclas de 3, 15 y 85% de Metanol con productos del petróleo convencionales (M3, M15, M85) son las más comunes. En motores diesel el Metanol no se puede usar de forma exclusiva debido a su bajo octanaje que no permite una apropiada ignición. Por lo tanto, el Metanol se inyecta dentro del cilindro después de la ignición del diesel convencional.

El Metanol se usa en sistemas de refrigeración, por ejemplo en plantas de etileno, y como anticongelante en circuitos de calentamiento y enfriamiento. Sin embargo, su uso como anticongelante en motores ha disminuido drásticamente gracias al uso de productos derivados del glicol. El Metanol se adiciona al gas natural en las estaciones de bombeo de las tuberías para prevenir la formación de hidratos de gas a bajas temperaturas y se puede reciclar después de que se remueve del agua. El Metanol también se usa como un agente de absorción en depuradores de gas para remover, por ejemplo, dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno. Una gran cantidad de Metanol se usa como solvente. El Metanol puro no se usa comúnmente como solvente, pero se incluye en mezclas solventes.

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Revisión Bibliográfica

Esta primera etapa es fundamental para el desarrollo de este proyecto, puesto que proporciona las bases teóricas que sustentan la investigación, así como la documentación bibliográfica que permite el conocimiento previo para la aplicación de los métodos y herramientas a emplear. Para tal fin, se utilizaron diferentes fuentes: libros de textos, tesis de grado, sitios de internet, manuales técnicos, artículos, entre otros documentos bibliográficos, cuya información se enfoca principalmente en los fundamentos de la ingeniería química y reforzar conocimientos sobre operaciones unitarias y procesos de destilación binaria.

### 3.2 Recopilación de Datos

En esta fase se tomó toda la información válida, así como también, se recopilaron y organizaron todos los datos referentes a la torre de destilación, el sistema empleado datos de la corriente de alimentación, el sistema a destilar, que es el metanol agua propiedades de estas sustancias, así como también, condiciones de operación de la torre, cantidad de refinado que se desea obtener. Por otra parte, en los trabajos de grado realizados anteriormente a los cuales se tuvo acceso se recopiló toda la información concerniente a la operación de unidades de destilación atmosférica.

La recaudación de datos se comenzó con la selección de toda la información incluyendo los datos de diseño de la torre entre otros datos útiles

para el proyecto. En función de la información recaudada, se procedió para llevar a cabo los cálculos necesarios en la realización de este estudio. Se caracterizó la alimentación y se procedió a reproducir la operación de destilación llevada a cabo en la torre ya mencionada mediante la simulación en PRO II versión 6.1.

### 3.3 Bases y Criterios de Diseños

Para la realización de esta metodología se establecieron las siguientes bases y criterios de diseños para la destilación de la mezcla Metanol-Agua como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Bases y criterios de diseños

<b>Bases de Diseños</b>	<b>Valor</b>
Flujo de alimentación a la torre	477,966 Lbmol/h
Temperatura de alimentación	140 °F
Presión de alimentación	14,7 Psia
Eficiencia de la torre	95
Relación de reflujo	3
Fracción de metano deseado por el tope	0,97
Fracción de agua deseado por el fondo	0,98
Número de platos o etapas reales	8
Plato de alimentación número	5

Tomada de los datos operacionales de la torre en estudio.

### 3.4 Análisis la sensibilidad de la temperatura y del flujo de la alimentación a la columna de destilación

Se establecieron los componentes del sistema Metanol-Agua, seleccionándolos en la siguiente figura 3.1

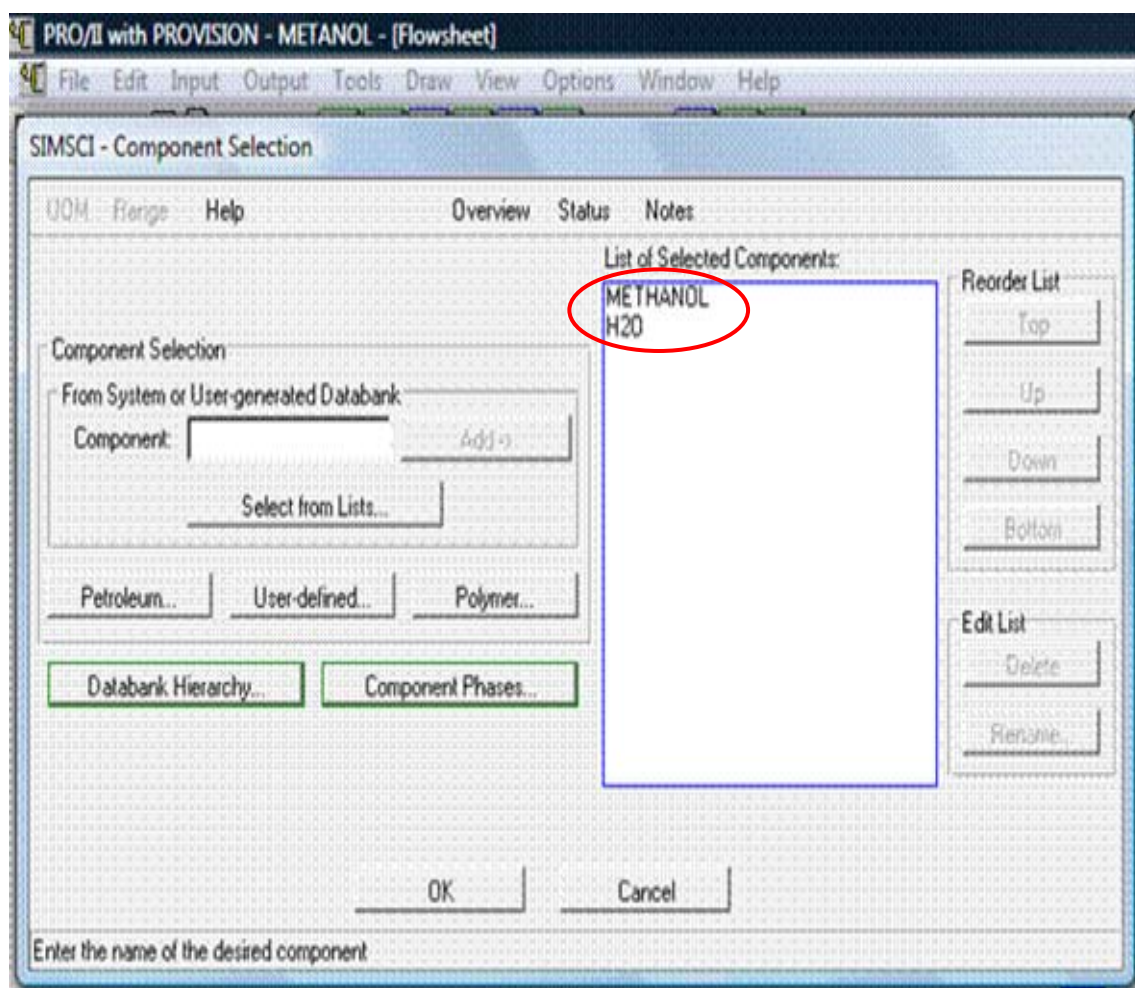


Figura 3.1. Pantalla de selección de componente

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Posteriormente se procedió a seleccionar la data termodinámica correspondiente al sistema, tomando en cuenta que la que más se adapta a este sistema es el paquete termodinámico Peng-Robinson, figura 3.2.

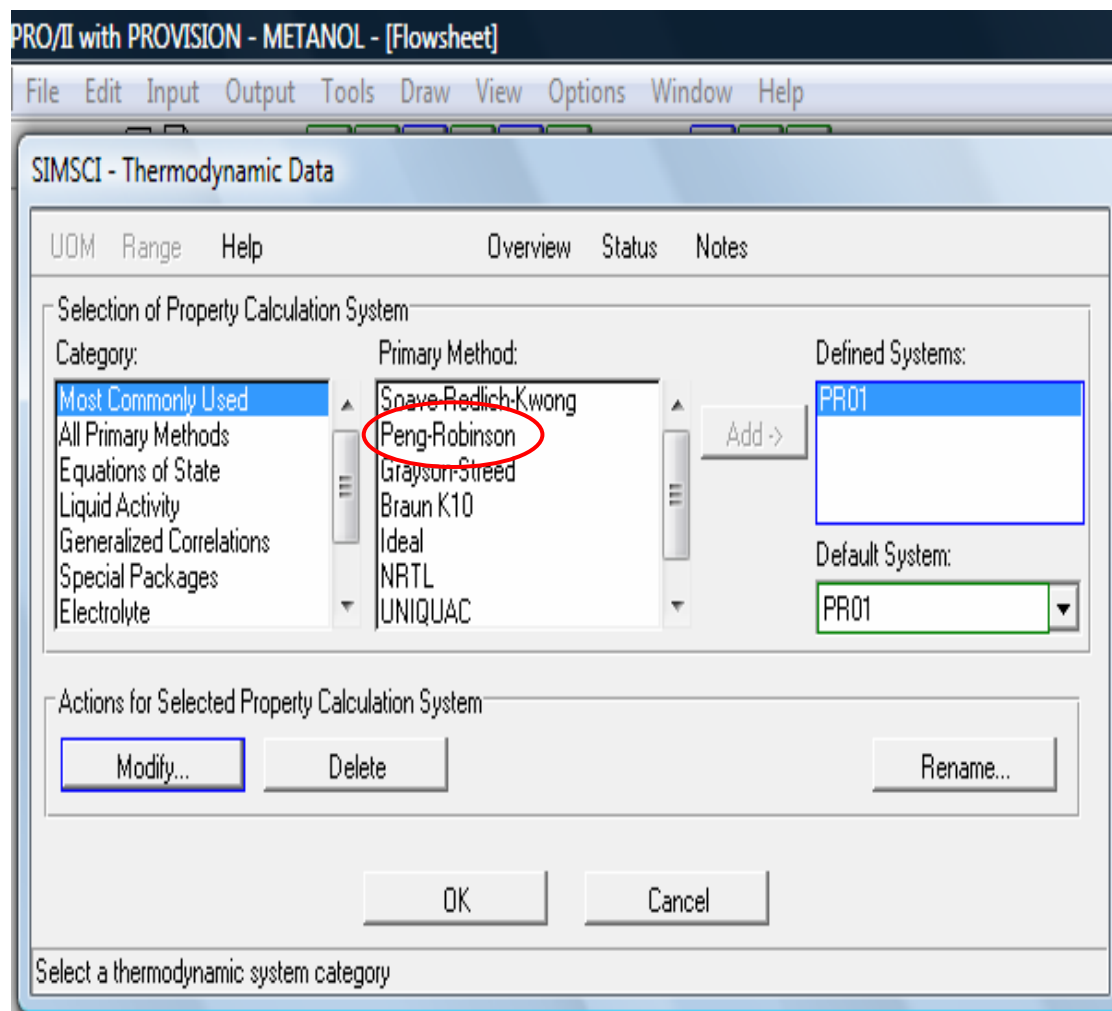


Figura 3.2. Pantalla de paquete termodinámico

Fuente: Simulador ProII. 6.0



Luego se ingresaron los datos correspondientes a la corriente de alimentación como se observa en la siguiente figura 3.3.

The screenshot shows the 'PRO/II - Stream Data' dialog box. The 'Stream' field is highlighted with a red circle and contains the text 'ALIMENTACION'. The 'To Unit' is 'T1'. The 'Stream Type' section has 'Composition Defined' selected. The 'Thermal Condition' section has 'First Specification' set to 'Temperature' with a value of '140.00 F' and 'Second Specification' set to 'Pressure' with a value of '14.700 psia'. The 'Thermodynamic System' is set to 'Determined From Connectivity'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are visible at the bottom.

Figura 3.3. Pantalla de datos de alimentación

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Se seleccionó la unidad de separación por medio de la barra de equipos, en este caso el equipo “Destilación” y se procedió a cargar los datos de la torre como se muestra en la figura 3.4.

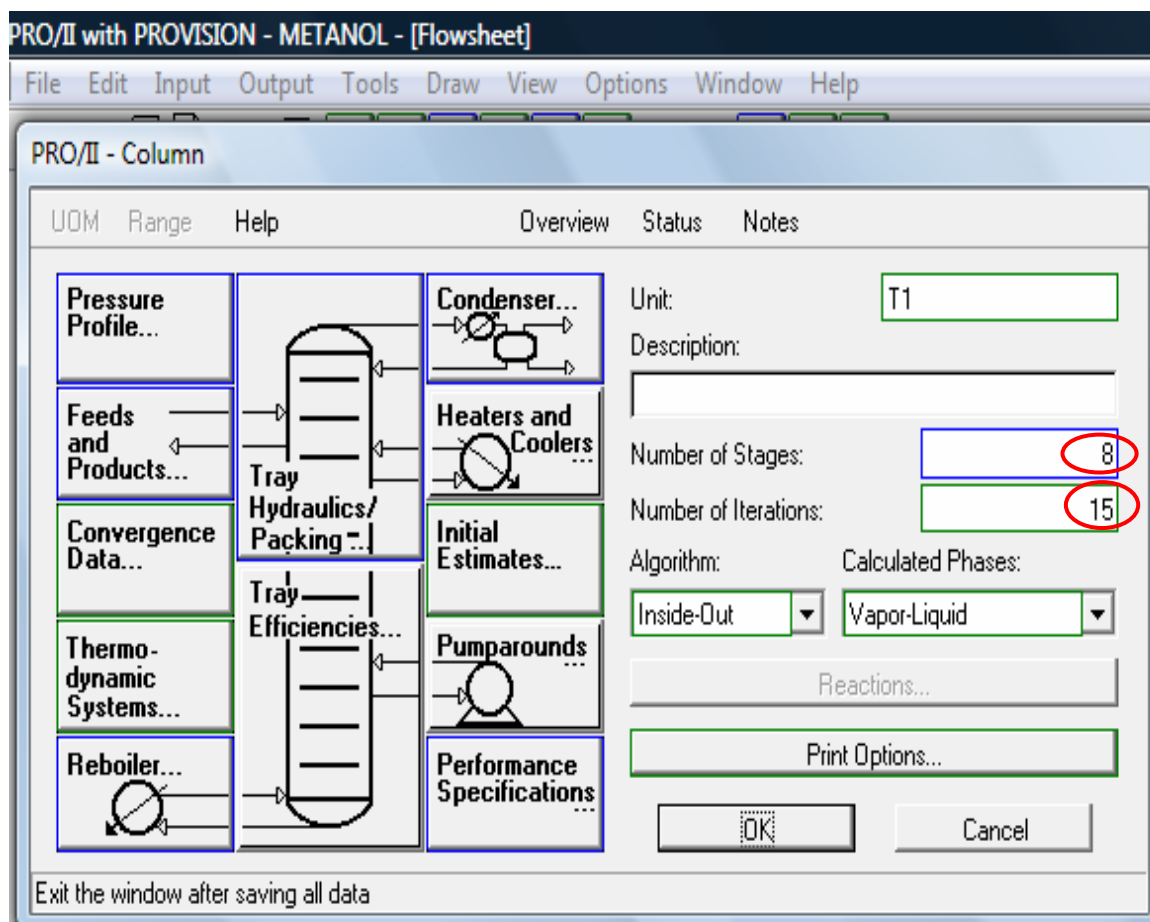


Figura 3.4. Pantalla de datos de la torre de destilación

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Tomando en cuenta los datos correspondientes que se necesitaron para introducirlos en el simulador tal como perfil de presión, hidráulica de platos, especificaciones de producto por tope -fondo y eficiencia.

Posteriormente se definieron las corrientes de tope-fondo, podemos visualizar el sistema completo conjuntamente con toda la información concerniente a la operación de la torre de destilación y las condiciones en la cual se encuentra operando dicha torre, se procedió a reproducir la operación llevada a cabo en la unidad. Luego sabemos que la simulación corre y los datos están en perfecto orden cuando nos lo indica el cambio al color azul de la torre como se observa en la figura 3.5.

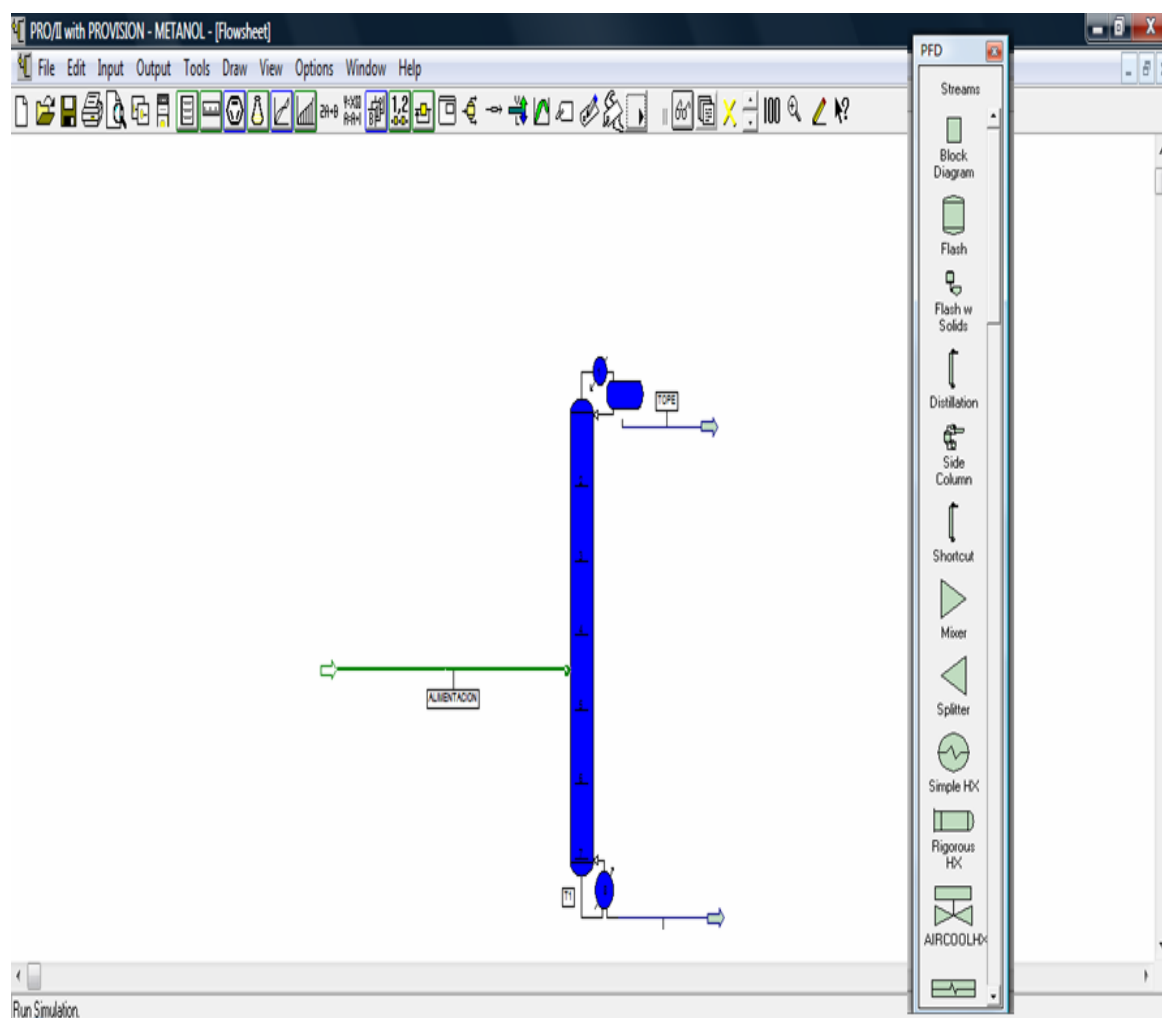


Figura 3.5. Pantalla de la simulación del proceso

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Se realizaron dos casos de estudio para obtener una mejor apreciación del comportamiento de las variables en un rango específico. Figura 3.6.

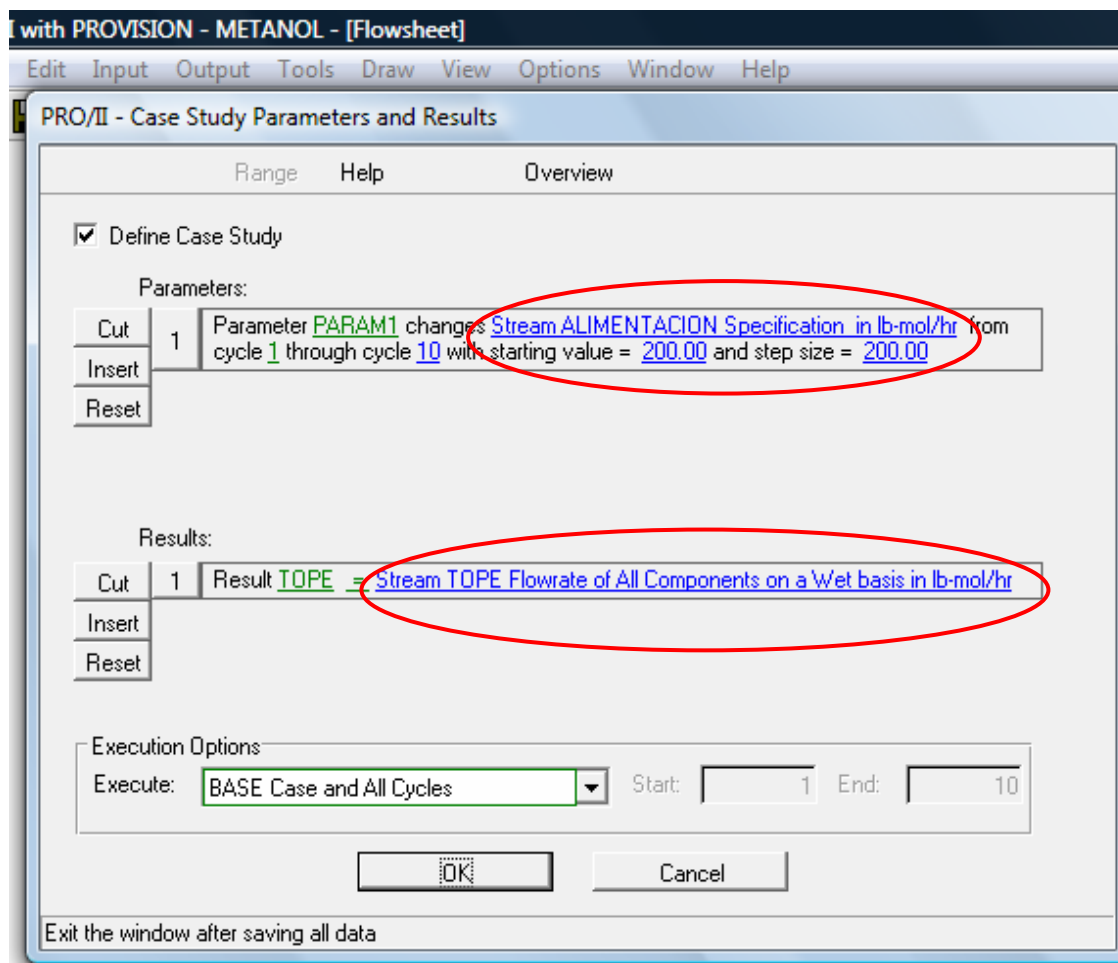


Figura 3.6. Pantalla de caso de estudio

Fuente: Simulador Proll. 6.0

El estudio de la sensibilidad del flujo de alimentación, se realizó variando en un rango de 200 en 200lbmol/h el flujo de alimentación de la columna y se observó el comportamiento de las corrientes de tope-fondo

conjuntamente con las composiciones de el refinado esperado y observando el comportamiento de la torre así como también se verifico el calor en el condensador y en el rehervidor y como estos se ven afectados con la variación del flujo seguidamente se logro visualizar el comportamiento del reflujo en la torre y como a este lo afecto la alteración del flujo de alimentación.

El estudio de la sensibilidad de la temperatura de la alimentación de la torre, se realiza para evaluar cual es rango optimo de temperatura en el que se pueda alcanzar la mayor separación de Metanol y de Agua dentro de la columna. El estudio de la sensibilidad de temperatura se realizo tomando la temperatura de diseño como punto de partida, luego se realizan variaciones de los valores de un delta de 20 en 20°C, por encima y por debajo de la temperatura de diseño establecida, obteniendo resultados variaciones de calor en el rehervidor y en condensador; así como también la temperatura afecta la relación de reflujo dentro en la torre.

### **3.5 Estudio de la influencia de la composición de la alimentación y de la relación de reflujo sobre la influencia de la columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua.**

El estudio de la influencia de la composición de la alimentación, se realiza de tal forma que se observara el comportamiento de la columna sobre el resto de los parámetros, observando la existencia de variaciones en la separación de la mezcla a esa composición, y la eficiencia de la columna; en la figura 3.7 observamos, la forma para realizar dichas variaciones, partiendo con los datos de la composición de diseño de la torre.

Stream Data - Flowrate and Composition

UOM Range Help Tag

Specify flowrate and composition for stream ALIMENTACION

Fluid Flowrate Specification

Total Fluid Flowrate: 11963. lb/hr

Individual Component Flowrates

Component	Composition Mass
METHANOL	0.64010
H2O	0.35990

Normalize Component Flowrates Based on Specified Fluid Flowrate

Clear Compositions Total: 1.0000

OK Cancel

Exit the window after saving all data

Figura 3.7. Pantalla de variación de composición de alimentación

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Este objetivo se realizó haciendo un estudio exhaustivo con variaciones de deltas de composición de Metanol de 2% molar, por debajo y por encima de la composición de alimentación; asegurando de esta forma en un rango de más de cuarenta composiciones diferentes. Luego de realizadas el estudio de las diferentes composiciones de la mezcla en la corriente de alimentación, tomamos en consideración los rangos de composición que generan una apreciable desviación de las variables de

estudio de la torre como lo son los flujos de refinado y fondo de la torre .composiciones de refinado tomando en cuenta las condiciones de operación y el porcentaje de refinado que se desea, calor en el rehedidor y condensador; también pudimos visualizar las caídas de presión y las temperaturas dentro de la torre a través de graficas y reportes generados por el simulador de procesos PRO/II 6.0.

### **3.6 Evaluación hidráulica de la columna, empleando platos de campana de burbujeo.**

El estudio de la hidráulica de la columna de destilación se realizó por medio del simulador de procesos PRO/II 6.0, al cual se le suministra la información del paquete hidráulico de los platos, como lo muestra la figura 3.8. En nuestro caso utilizamos platos del tipo campana de burbujeo, ya que es uno de los mas utilizados a pesar de ser uno de los mas costosos en el mercado, porque tienen diversas características como son: posee una alta capacidad de flujo, tienen gran eficiencia, tienen un buen comportamiento a flujos de líquidos bajos (se utilizan normalmente a condiciones de flujos muy bajas), tienen muy buen arrastre y disponen de buena disponibilidad de información para su diseño, y se utilizan normalmente a condiciones de flujos muy bajas, como es caso.

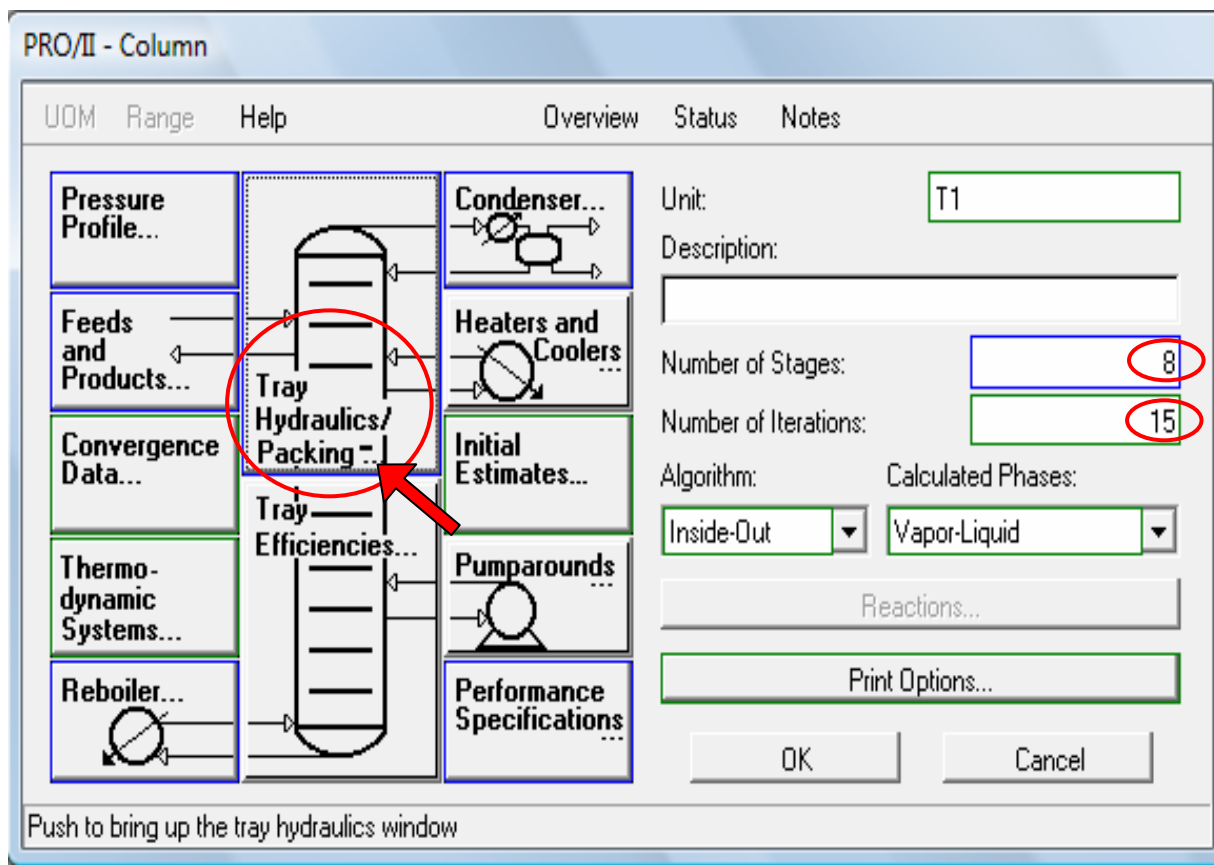


Figura 3.8. Pantalla de paquete hidráulico de los platos.

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Luego de procedemos a introducir al simulador de procesos PRO/II 6.0 los datos hidráulicos para los platos de la columna (plato de inicio y plato de finalización, tipos de internos y tipo de cálculos), en este caso seleccionamos "SIZING", que es la data más adecuada al tipo de plato, ya que nos ofrece información sobre características reales y datos estandarizados; y por ultimo le hacemos clip al botón "Enter Data" para introducir datos, como se muestra en la figura 3.9.



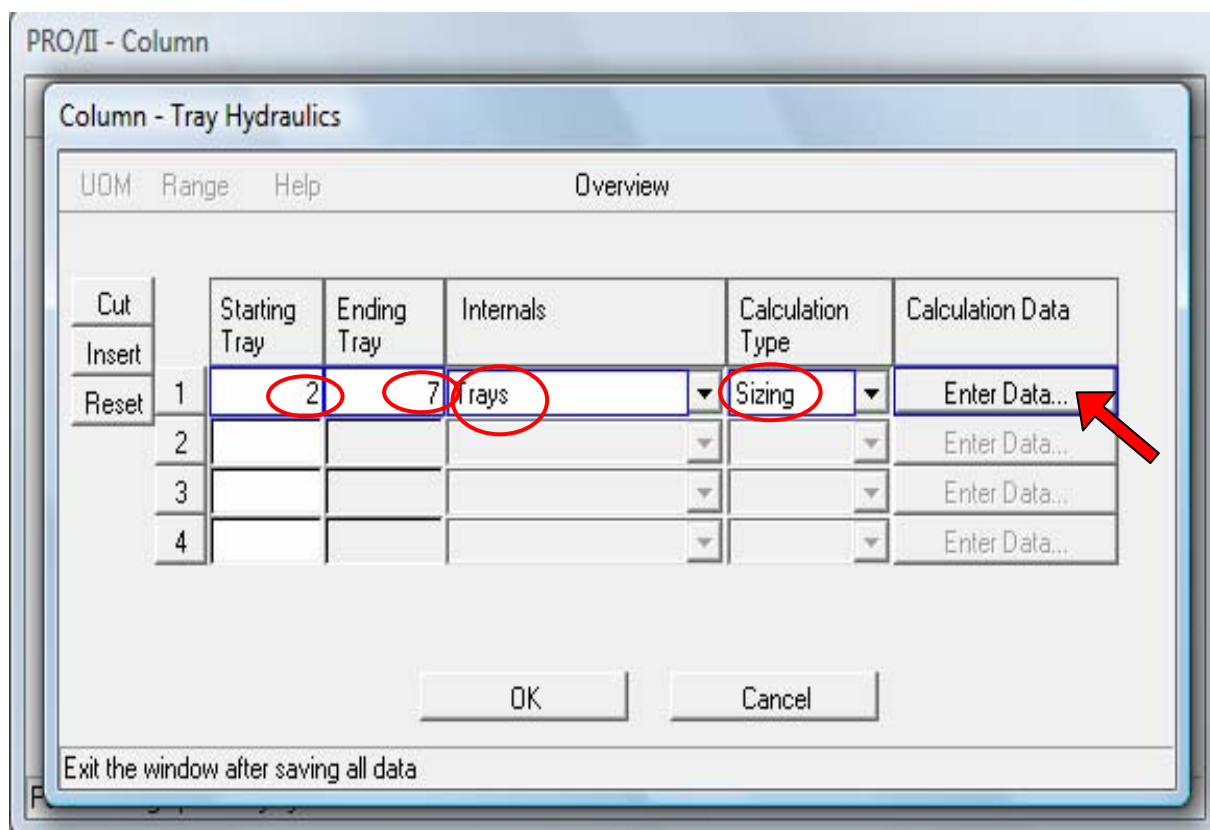


Figura 3.9. Pantalla de datos hidráulico de platos.

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Ahora se procede a suministrarle al simulador PRO/II 6.0 los datos relacionados a los tipos de platos a utilizar dentro de la torre, mostrados en la figura 3.10; en nuestro caso seleccionamos el tipo de plato "CAP", que significa plato casquete de burbujeo; el simulador tiene la ventaja de ofrecernos datos estandarizados sobre la información de los platos que para nuestro caso fue muy idóneo, ya que nos basamos en la evaluación del funcionamiento de la torre que ya diseñada, entre los datos que tenemos se encuentran el diámetro mínimo entre platos espaciamento entre ellos porcentaje de llenado flujo por plato a calcular. Luego al seleccionar el botón

ok incluimos en el simulador la información requerida para que este pueda ofrecernos la data hidráulica que deseamos de la torre.

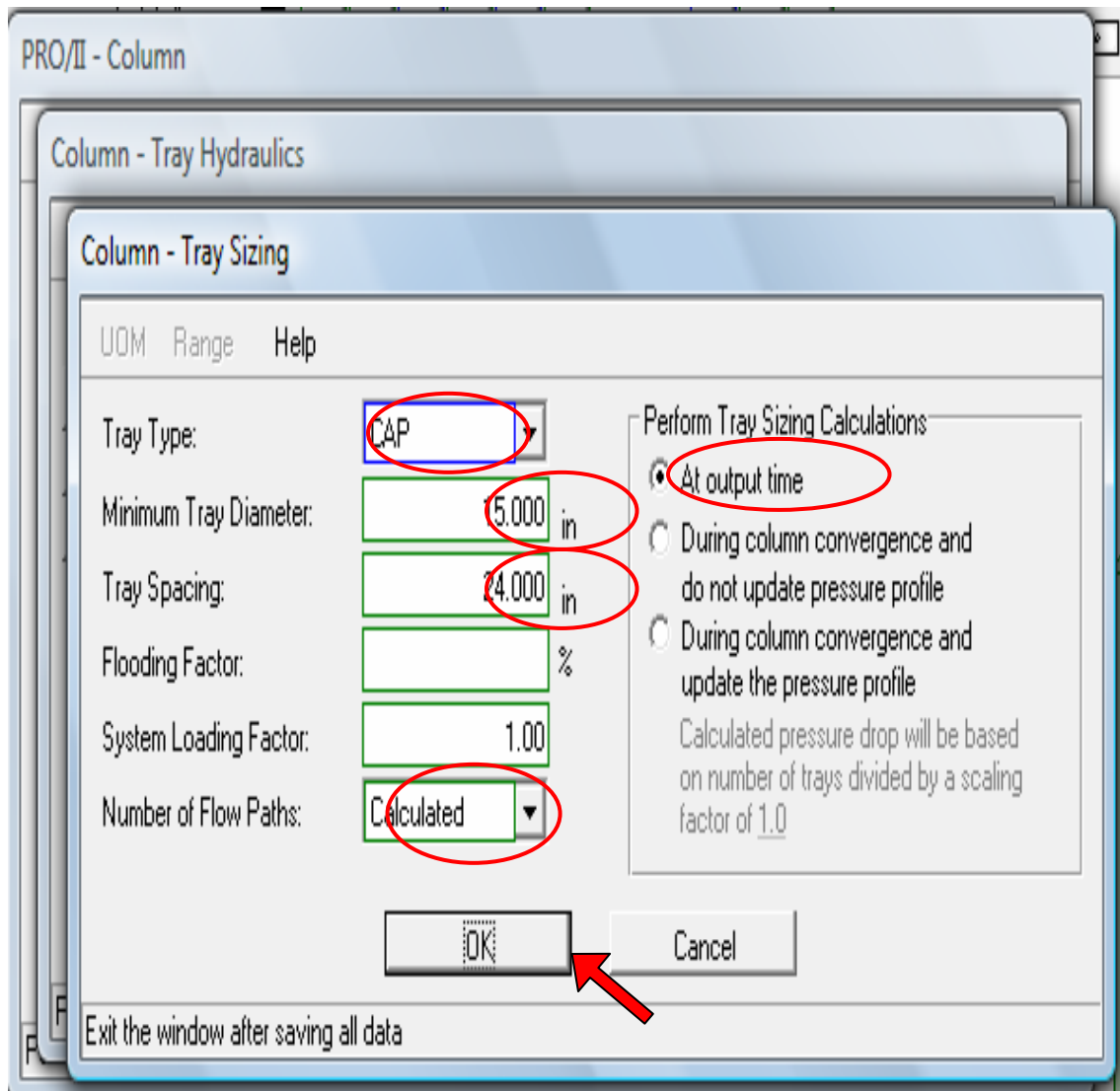


Figura 3.10. Pantalla de características de platos

Fuente: Simulador ProII. 6.0

El arreglo de los platos nos indica el número de campanas así como también las caídas de presión en cada plato, obtenidos con la herramienta del simulador PRO/II 6.0. Estos datos se obtienen a través de reportes de datos dados por el simulador como se muestra en la figura 3.11.

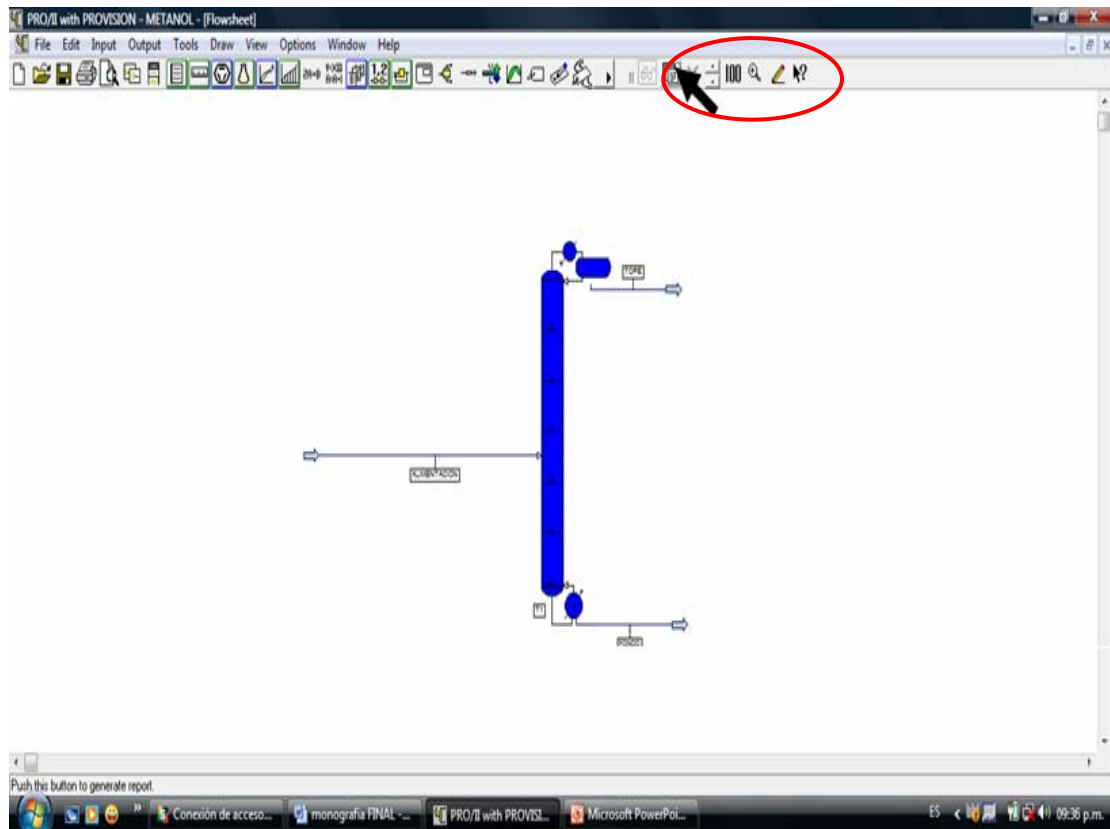


Figura 3.11. Pantalla de generación de reportes

Fuente: Simulador ProII. 6.0

Se identificaron las propiedades de transporte (Viscosidad, Conductividad térmica, Tensión Superficial, Densidad y Composición del producto de tope y fondo, la Relación de Reflujo, °API, Calor generado por el Rehervidor y el Condensador, la Velocidad de Flujo dentro de la torre, Caídas de Presión por plato, números de platos, tipos de platos utilizados dentro de la torre, entre otras) de las corrientes de líquido y vapor así como

también sus respectivas cargas, las características del plato, cantidad de bajantes, arreglo y tamaño del mismo y espaciamiento entre ellos.

Esta evaluación hidráulica se realizó a condiciones de operación (a una presión y temperatura de alimentación de 14.7Psia y 140°F respectivamente, con una relación de reflujo de 3, una eficiencia de la torre de 95%, con un número de platos dentro de la torre de 8 y la corriente de alimentación en el plato número 5), estos datos tomados de la tabla 3.1. Tomamos las cuatro evaluaciones más significativas y procedimos a identificar los datos correspondientes y así estudiar las diferencias con la variación de las composiciones de alimentación y cómo cambia las propiedades hidráulicas de la unidad de destilación.

### **3.7 Muestra de cálculo de la evaluación hidráulica de la columna, empleando platos de campana de burbujeo.**

El estudio de la hidráulica de la columna de destilación se realizó tomando en consideración las premisas de diseño de la columna mostrada en la tabla 3.1, donde se observa que el flujo de alimentación de la columna es de 477,966 Lbmol/h, el cual es un flujo relativamente bajo, para ello se necesita un diseño de internos de columna que nos ofrezca la mayor eficiencia para las propiedades de transportes que ocurren dentro de la torre.

En la figura 3.8, se muestra la pantalla del simulador PRO/II 6.0 donde se muestra cómo seleccionar para ingresar los Datos del Paquete Hidráulico para los Platos (Tray Hydraulics Packings), tomando en consideración que el diseño de la torre posee un número de platos igual a ocho (8).

Luego en la figura 3.9, el simulador nos pide introducirle Datos Hidráulicos de los Internos de la Columna de Destilación, como son: Plato de Iniciación y Plato de Finalización, dos (2) y siete (7) respectivamente; Tipo de Internos y el Tipo Data Requerida, escogemos SIZING por ser el tipo de data que ofrece los valores más exactos para el tipo de estudio a realizar con un flujo de alimentación bajo y así un alto nivel de pureza de destilado.

Posteriormente se suministra al simulador las características deseadas del tipo de plato a utilizar en la torre, como se muestra en la figura 3.10; seleccionamos platos tipo CAP o platos con casquete de burbujeo, debido a que en la columna de destilación en estudio se está manejando un flujo de alimentación muy bajo la mejor selección de platos es el antes mencionado porque nos ofrece los resultados más eficientes y estandarizados según las características de diseño de la torre, sin que ocurran problemas operaciones dentro de la misma como una posible inundación; automáticamente el simulador PRO/II 6.0 ofrece datos estandarizados relacionados con el tipo de interno seleccionado, arrojando como resultados un diámetro interno de los casquetes de burbujeo de 4.0 pulgadas y un espaciamiento entre los mismo de 1.0 pulgadas; estos datos reportados en la hoja de reportes R PAGE P-6.

Por ultimo luego se hace correr el simulador con los datos hidráulicos suministrados, para así obtener los reportes con todas las características, datos y propiedades de transporte y de internos dentro de la columna, como se muestra en la figura 3.1; de donde los resultados del estudio hidráulico de la columna de destilación se encuentran en la sección de Anexos R PAGE P-5 hasta R PAGE P-7.

## CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Recopilación y Validación de Datos

Se seleccionaron los datos necesarios para la realización de este estudio, para la evaluación del funcionamiento de una torre de destilación basados en una torre empleada para la separación metanol agua tomando en cuenta este sistema ya que es uno de los más comunes y efectivos para que se dé una separación adecuada en la unidad de destilación y podamos evaluar todas sus propiedades y características y las condiciones de operación las cuales se pueden encontrar en la figura 4.1.

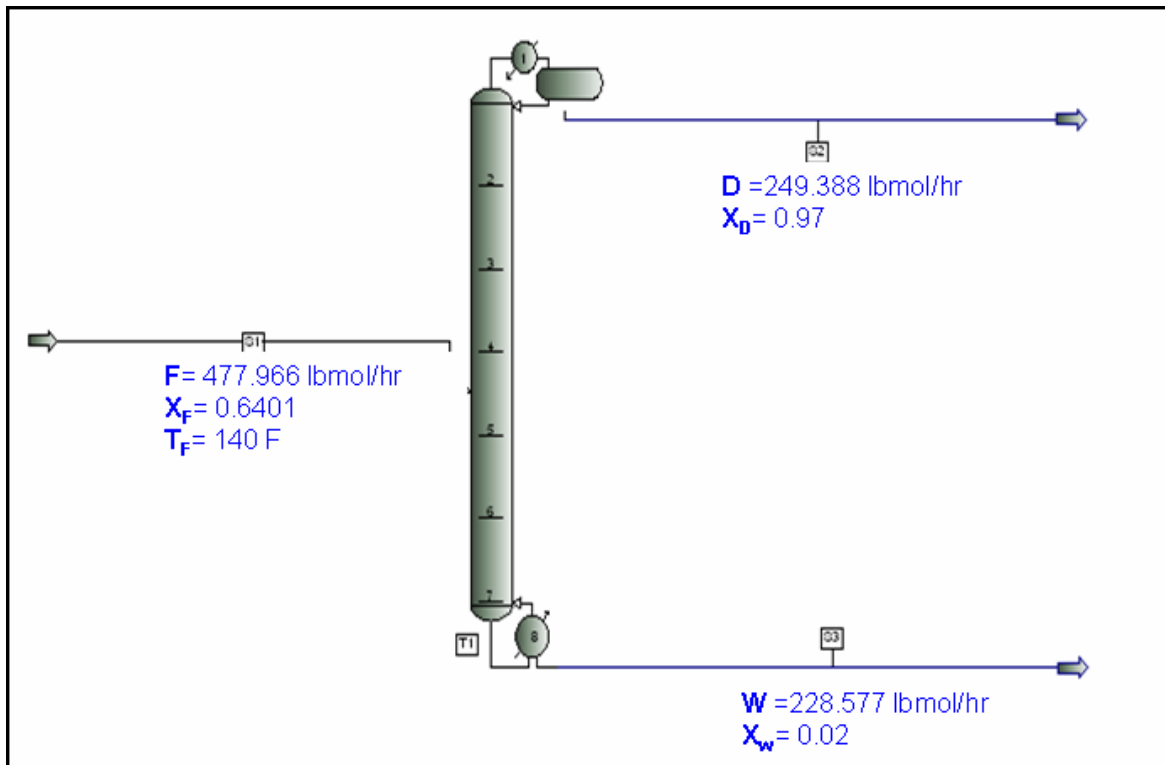


Figura 4.1. Torre de destilación metanol-agua

Fuente: Simulador ProII. 6.0

**Donde:**

F= flujo másico de alimentación. (Lbmol/hr).

$X_F$ = Fracción másica del componente más volátil (metanol) en la mezcla a separar.

D= Flujo molar del destilado. (Lbmol/hr).

$X_D$ = Fracción molar más volátil (metanol) en el destilado

W= Flujo molar del fondo. (Lbmol/hr).

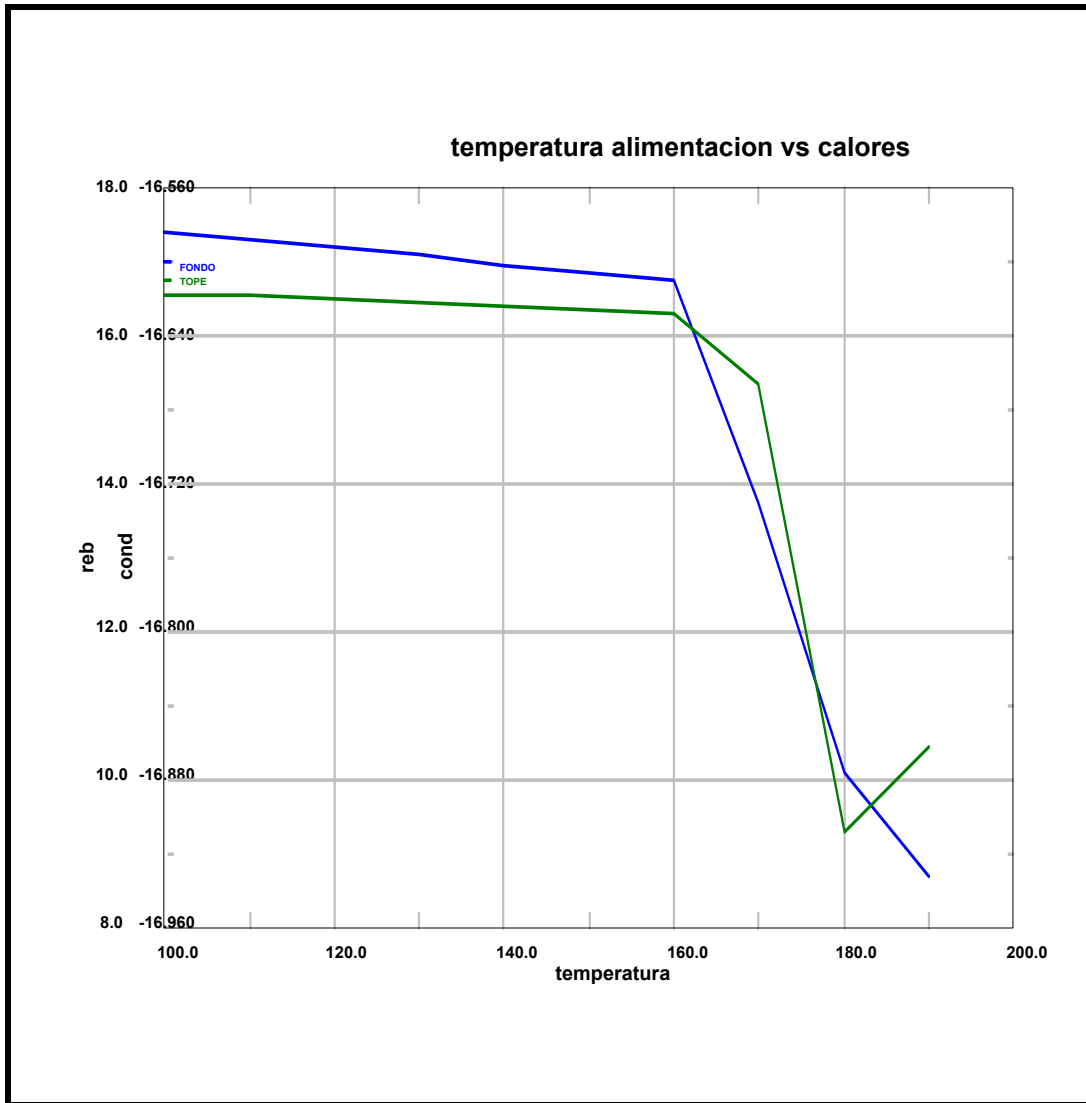
$X_w$ = Fracción molar del más volátil (metanol) en el fondo.

Tomando como instrumento el software de simulación de procesos nombrado anteriormente, dándole a este una gran importancia ya que fue una herramienta muy efectiva en análisis operacional de la torre.

**4.2 Análisis la sensibilidad de la temperatura y del flujo de la alimentación a la columna de destilación.**

Para el análisis de sensibilidad de la temperatura haciendo una variación de la misma desde (100 °F) hasta (200 °F) podemos observar en la grafica 4.1 con respecto a los calores en el rehervidor y en el condensador de la torre que al llegar a la temperatura de (160 °F) dejan de ser constantes los calores y aumentan de manera muy agresiva teniendo que decir que a la temperatura de (160 °F) se necesitara de mas calores por consiguiente disminuye el reflujo para así tratar de mantener la riqueza del producto de tope.

Gráfica 4.1. Temperatura de alimentación (°F) Vs Calor del condensador, Calor del rehervidor (BTU/h)

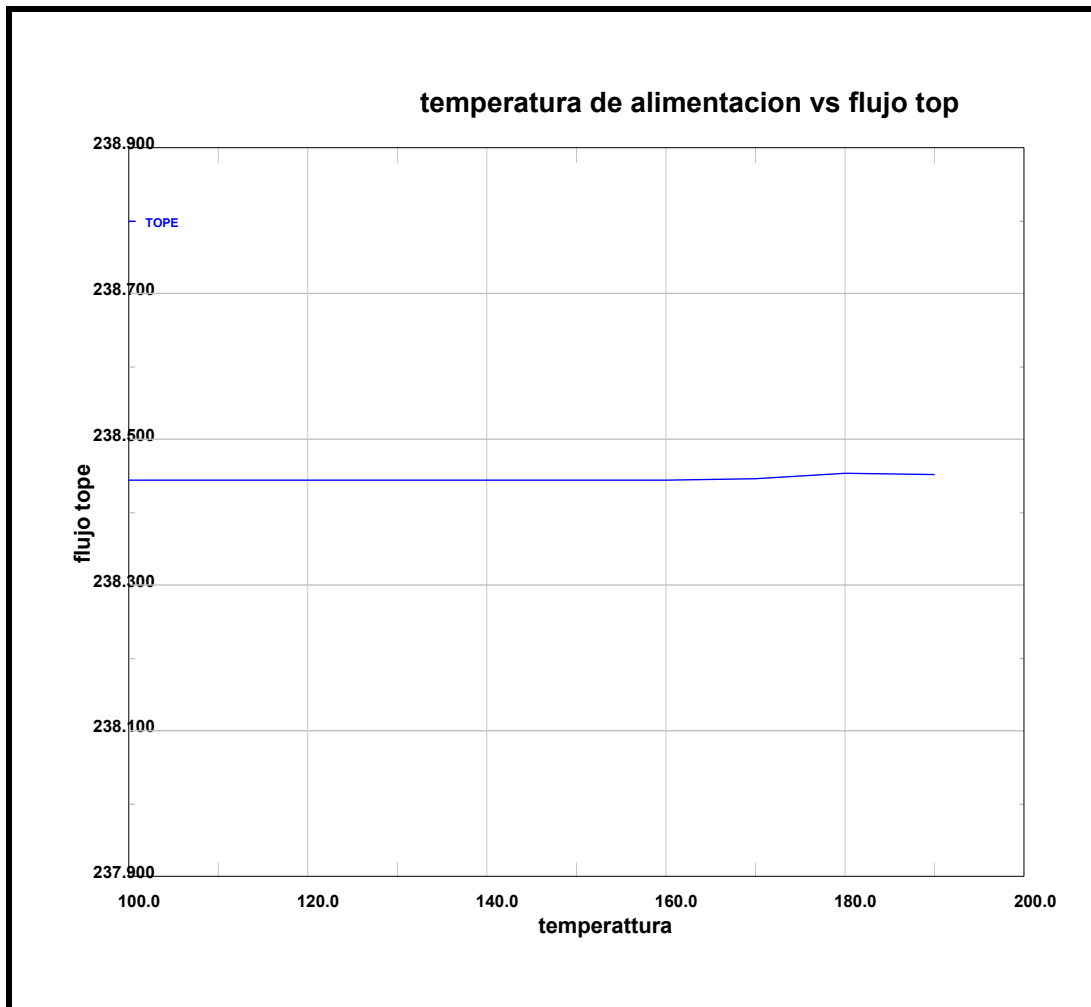


Posteriormente elaboramos otra grafica 4.2 donde pudimos observar la influencia de la temperatura con respecto al flujo de tope observando que al variar la temperatura de la torre podemos mantener el flujo de tope



constante entre los valor (238- 238.600) Lbmol/HR queriendo decir esto que no afecta el aumento de la temperatura y la cantidad de destilado.

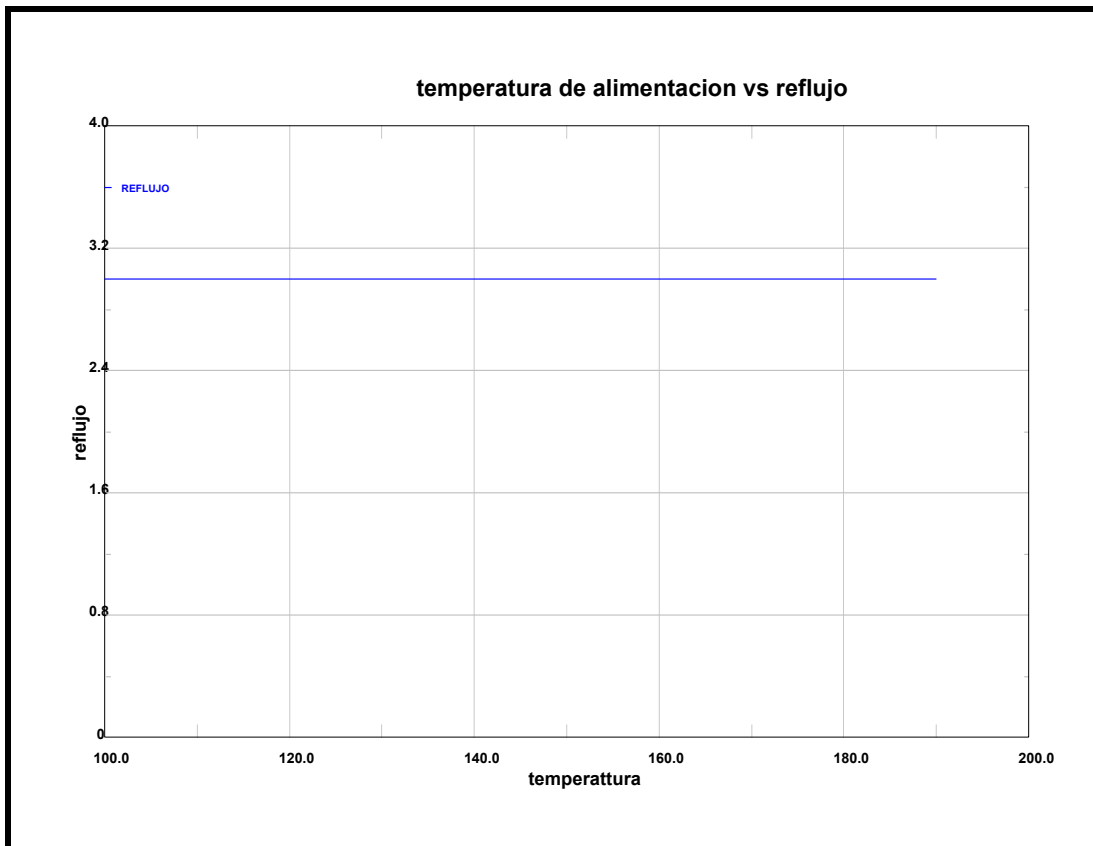
Grafica 4.2. Temperatura de alimentación vs flujo de tope



También en la grafica 4.3 se estudio como influye la variación de la temperatura de la alimentación en la relación de reflujo de la torre arrojando esta los resultados esperados que la relación de reflujo permanece casi

constante completamente a través del rango tomado de temperatura lo cual nos indica que para mantener la riqueza del producto de tope hay que mantener el reflujo a través del cambio de temperatura.

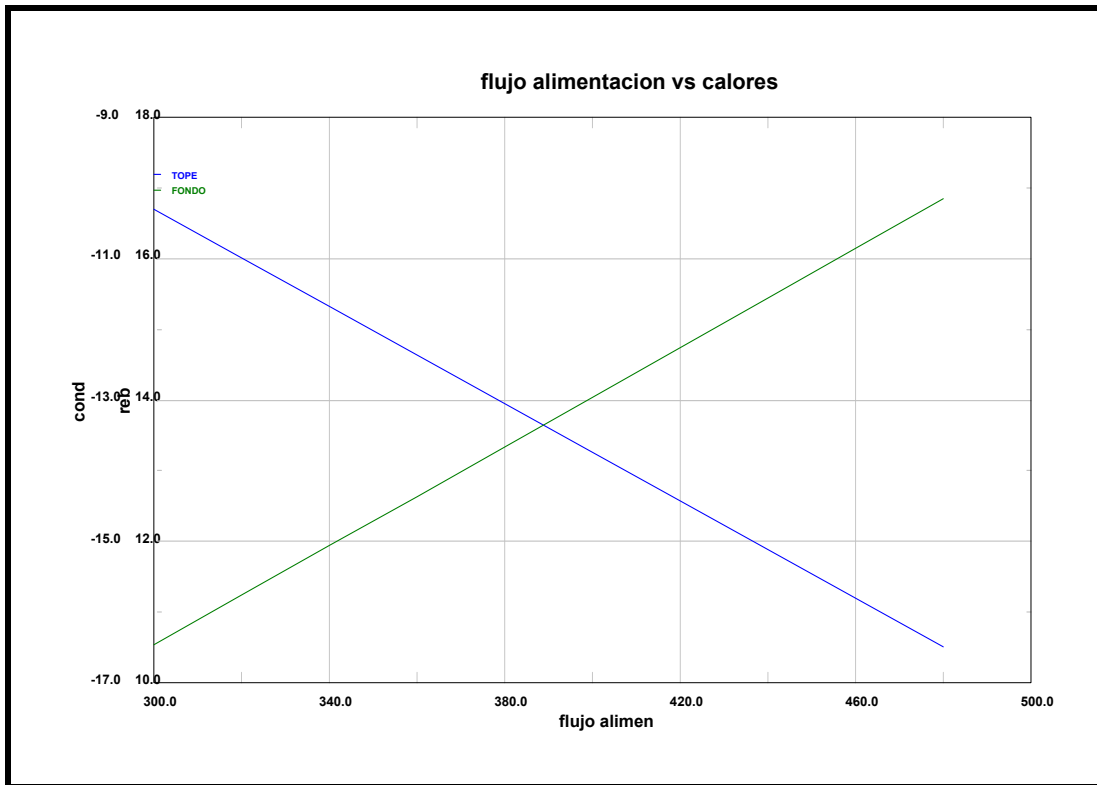
Grafica 4.3. Temperatura de alimentación Vs Relación de Reflujo.



Continuando con el análisis de sensibilidad ahora con el flujo tomando un caso de estudio igual al de la temperatura variándolo desde (100 °F) hasta (200 °F) obtenemos la grafica 4.4 con respecto a los calores en el rehervidor y en el condensador de la torre que el calor en el condensador aumenta con respecto al flujo y el calor en el rehervidor disminuye con respecto al flujo queriendo decir que cuando aumentamos el flujo hay mayor calor en el

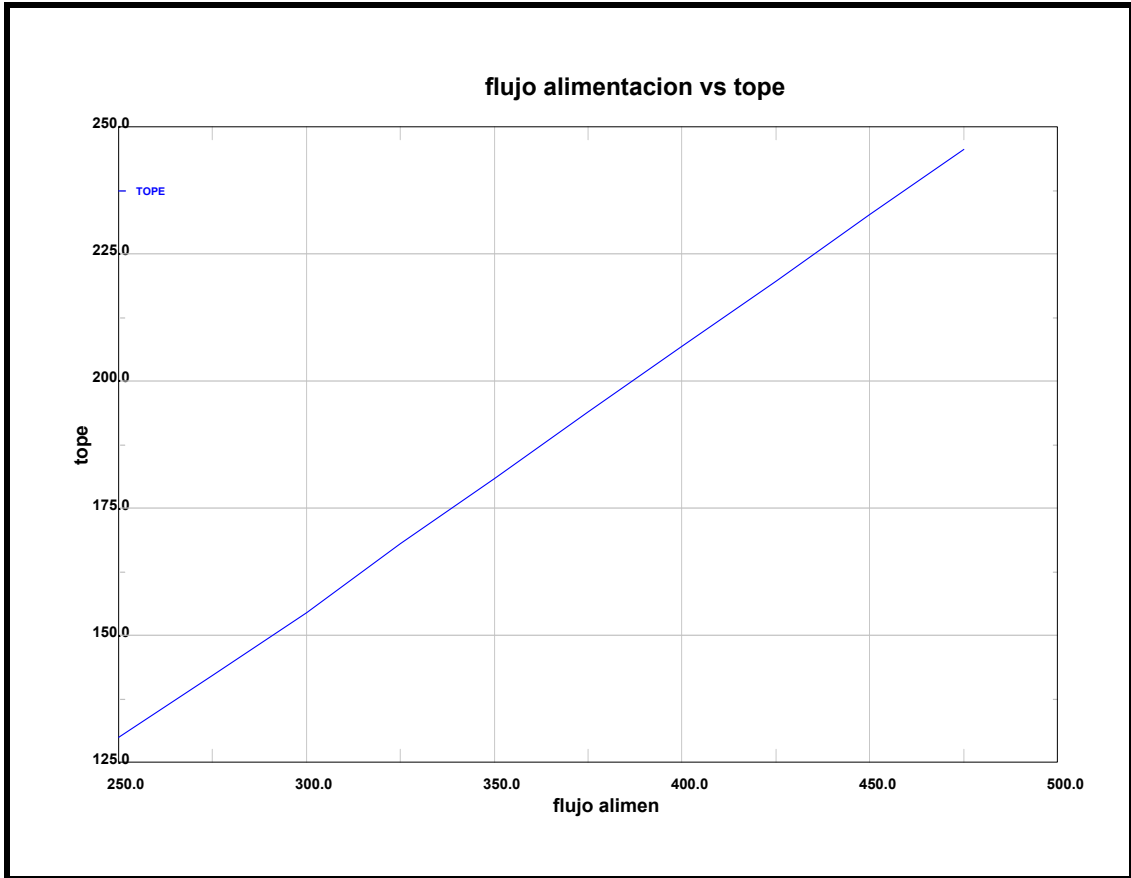
condensador ya que necesitamos mayor cantidad de vapor condensado en la torre para que pueda realizarse una mejor separación y obtener mejor producto.

Grafica 4.4. Flujo de alimentación (Lb/h) Vs Calor del condensador, Calor del rehvridor (BTU/h)



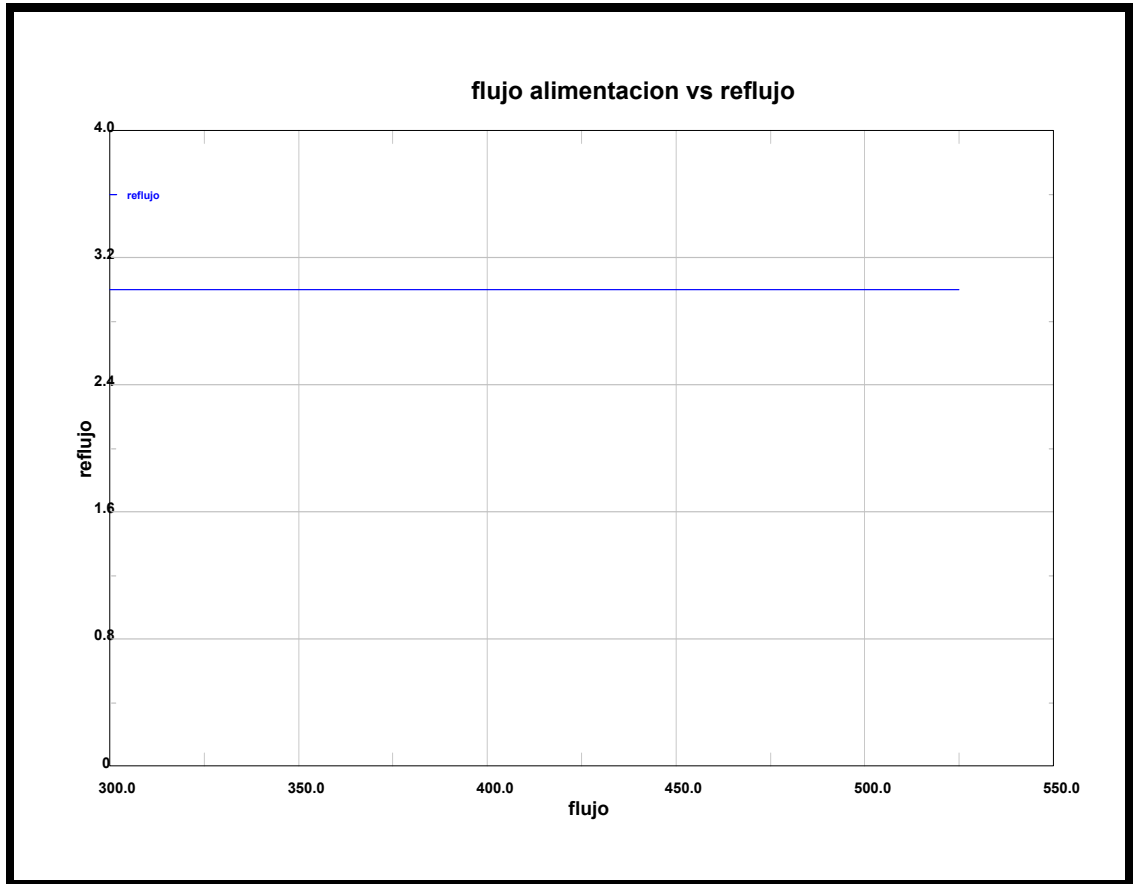
Consecutivamente en el análisis de sensibilidad del flujo de alimentación logramos observar en la grafica 4.5 que lógicamente al aumentar el flujo de alimentación aumenta el flujo de tope por consiguiente disminuye el flujo de fondo pero seguimos teniendo fija la composición de destilado.

Grafica 4.5. Flujo de alimentación (Lb/h) Vs Flujo de Tope (Lb/h)



Para la variación del flujo de alimentación con respecto a la relación de reflujo obtuvimos la grafica 4.6 donde observamos que a medida que incrementamos el flujo de alimentación la relación de de reflujo se mantiene constante ya que ya que debemos obtener las mismas especificaciones del producto de tope así se aumente o se disminuya el flujo de alimentación el reflujo nos proporciona la cantidad de vapores condensados a retornar a la torre para enriquecer el producto de tope con el elemento volátil.

Grafica 4.6. Flujo de alimentación (Lb/h) Vs Relación de Reflujo

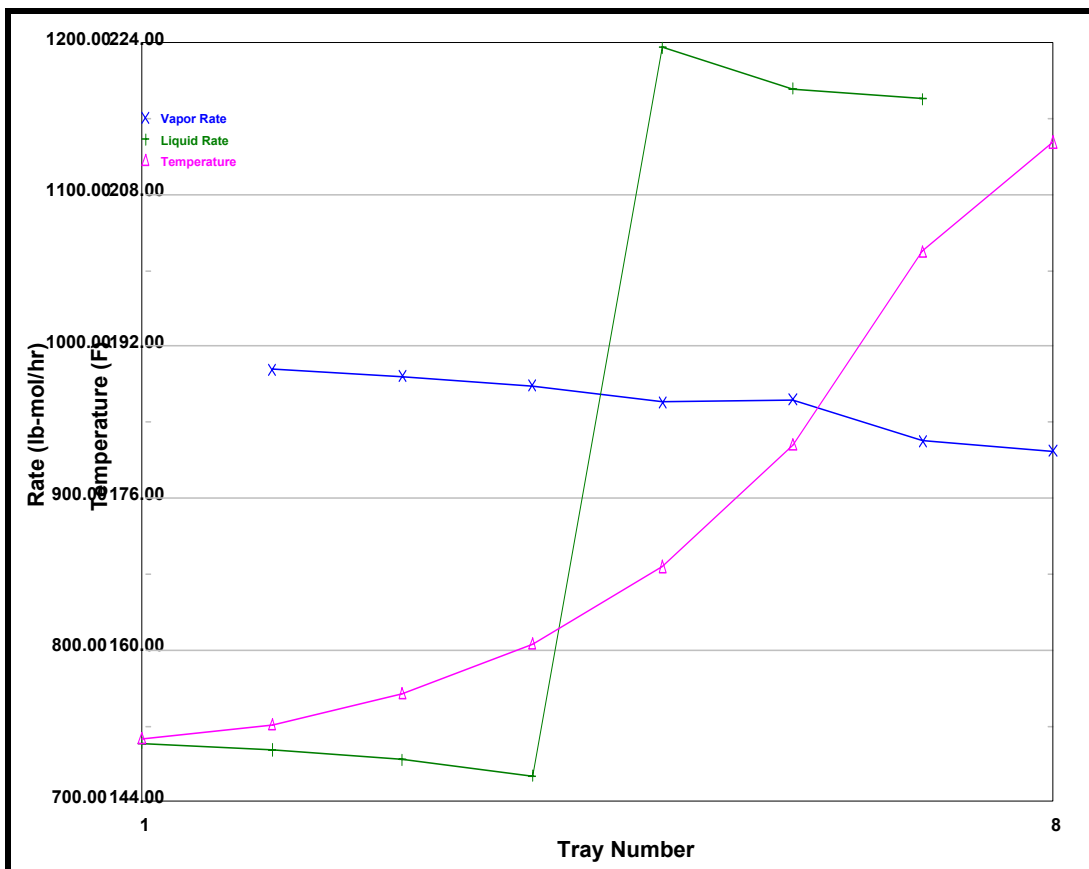


**4.3. Estudio de la influencia de la composición de la alimentación y la relación de reflujo sobre la separación deseada en columna de destilación.**

Para el estudio de la influencia de la composición de la alimentación y la relación de reflujo sobre la separación deseada en la unidad de destilación, realizamos variaciones a la composición de la alimentación de forma que se observe el comportamiento de la columna sobre el resto de los parámetros, observando si existe variaciones en la separación de la mezcla a

esa composición comenzando con composiciones de alimentación de operación dando como resultado para el mejor análisis una serie de graficas y de tablas conjuntamente con el reporte dado por el simulador diferenciamos las variables de la torre a diferentes composiciones comenzando con la grafica 4.7.

Grafica 4.7. Numero de platos Vs Flujo, Temperatura (Alimentación)



Donde observamos los flujos de vapor y de liquido conjuntamente con la temperatura a través de los platos de la torre donde visualizamos que el flujo de vapor a esta composición permanece casi constante a través de las

etapas de la torre y el de líquido con un comportamiento típico constante hasta casi llegar al plato de alimentación y luego asciende bruscamente con un comportamiento lineal hasta luego hacerse constante en las últimas etapas y la temperatura con un comportamiento ascendente a través de los platos desde la etapa uno a la ocho. El propósito de hacer este estudio fue comparar el comportamiento de las variables de la columna a diferentes composiciones y ver cuál es la indicada para el mejor comportamiento de la torre.

También observamos las composiciones de operación el comportamiento de las fracciones de líquido y vapor a través de los platos de metano líquido y de vapor de agua prestando atención a que es un comportamiento típico a través de la torre el vapor aumentando su composición desde la etapa uno a la ocho. obtuvimos de la información que nos brinda el simulador la tabla 4.1 donde podemos ver los datos de la temperatura presión flujo composiciones de tope y fondo al igual que los calores a esta composición de alimentación la fracción del producto de tope fue de (0.9649) muy cercana a la que nosotros requerimos en la operación que es de 0.97 lo cual nos quiere decir que el simulador nos arroja datos muy reales y estamos en la casi idealidad de la operación validando la simulación realizada con datos de operación. Con un flujo de tope de (246.1779 Lbmol/hr) y con un calor en el rehedidor de (16.5066 BTU/hr).

Tabla 4.1. Estudio de la influencia de la composición de alimentación

Nombre de la Corriente		TOPE	FONDO	Nombre de la Columna	T1
Descripción de la Corriente				Descripción de la Columna	
Fase		Liquido	Liquido	Calor Condensador	MM BTU/HR -161.483
				Calor Rehervidor	MM BTU/HR 165.066
Temperatura	F	1.506.474.152	2.135.152.435		
Presión	PSIA	1.470.000.076	1.590.000.057		
Flujo	LBMOL/HR	2.461.779.327	2.317.997.284		
Composición					
METANOL		0.9649728537	0.006162531208		
H <sub>2</sub> O		0.03502715379	0.9938374758		

Continuamos con la simulación a composiciones X molares (50-50) y estudiamos su comportamiento a través de las graficas de Grafica 4.7 y Grafica 4.8 donde se observo un comportamiento real y normal de las composiciones de metano liquido y de vapor de agua así como también la temperatura a través de las diferentes etapas de la torre y en la Tabla 4.2 obtuvimos que a composiciones equis molares en la alimentación de la torre la composición de tope es de ( 0.9649) sigue siendo muy parecida a la composición a condiciones de operación también obtuvimos un flujo de tope de ( 247.0971 Lbmol/hr) aumentando comparado con el de a condiciones de operación con un calor en el rehervidor de (13.4406 BTU/hr) notando una disminución en este y un aumento en el calor del condensador para mantener estable la condición de tope.

Grafica 4.8. Números platos Vs Composición (Alimentación)



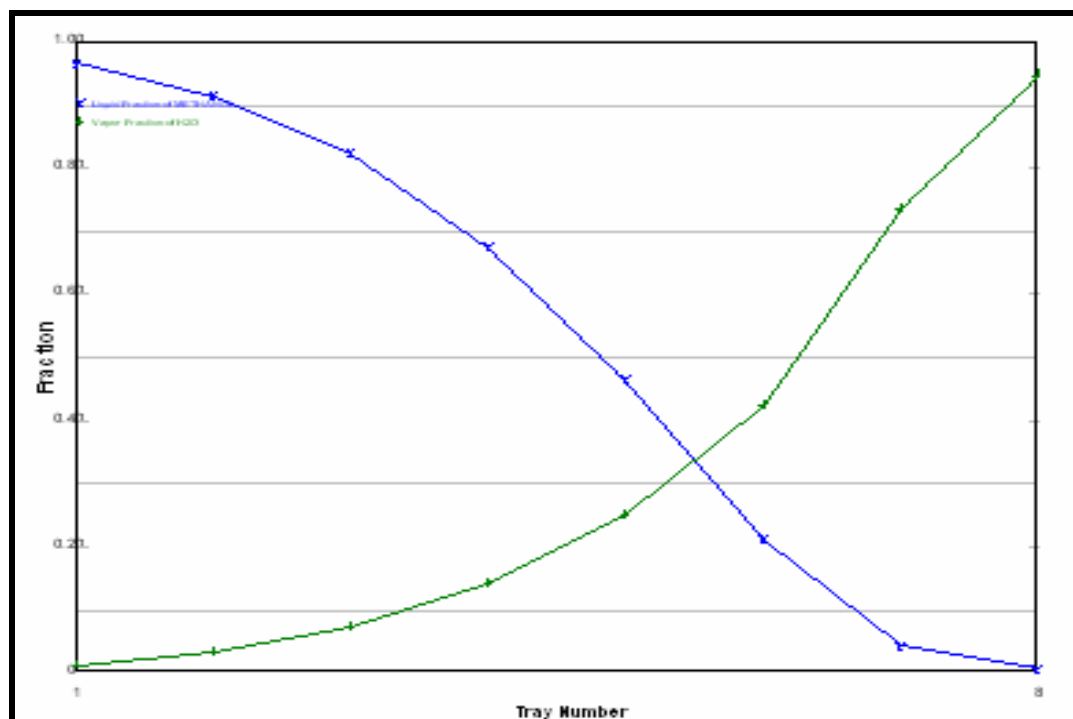
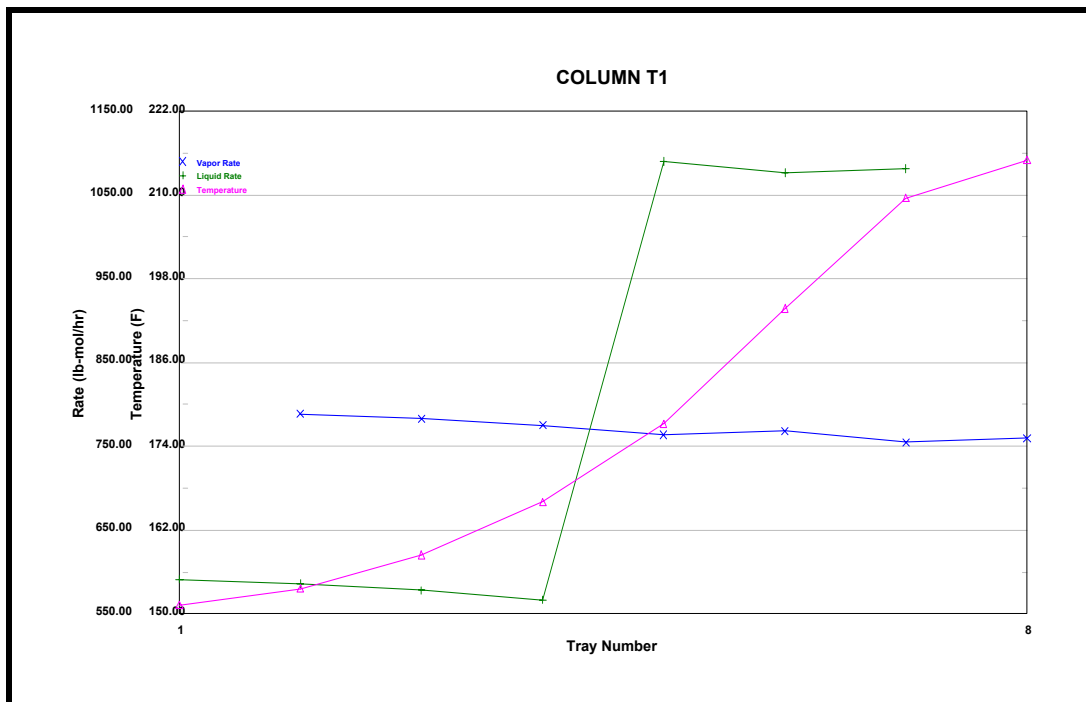


Tabla 4.2. Estudio de la influencia de la composición (50-50)

Nombre de la Corriente	TOPE	FONDO	Nombre de la Columna	T1
Descripción de la Corriente			Descripción de la Columna	
Fase	Liquido	Liquido	Calor Condensador	MM BTU/HR -129.690
			Calor Rehervidor	MM BTU/HR 134.406
Temperatura	F	1.506.474.762	215	
Presión	PSIA	1.470.000.076	1.590.000.057	
Flujo	LBMOL/HR	2.470.971.222	2.308.775.482	
Composición				
METANOL	0.9649696946	0.002365344204		
H <sub>2</sub> O	0.03503033519	0.9976346493		

Simulamos a composiciones por encima de la de condiciones de operación exactamente a (70-30) y estudiamos su comportamiento a través de las graficas 4.9 y la grafica 4.10 donde se observo un comportamiento real y normal de las composiciones de metano liquido y de vapor de agua así como también la temperatura a través de las diferentes etapas de la torre y en tabla 4.3 obtuvimos que a composiciones de (70-30) la composición de producto es de (0.9571) es más baja que la de composición de operación , también obtuvimos un flujo de tope de ( 272.5968 Lbmol/hr) más alta también con un calor en el rehervidor de (18.2120 BTU/hr) necesitando aun más calor en el rehervidor ya que queremos mantener el refinado a pesar del aumento de la composición de entrada queremos más calor para mantener el reflujo en la torre y así mejor separación así como también mayor cantidad de flujo en el tope de la torre.

Grafica 4.9. Numero de platos Vs Flujo, Temperatura (50-50)



Grafica 4.10. Números platos Vs Composición (50-50)

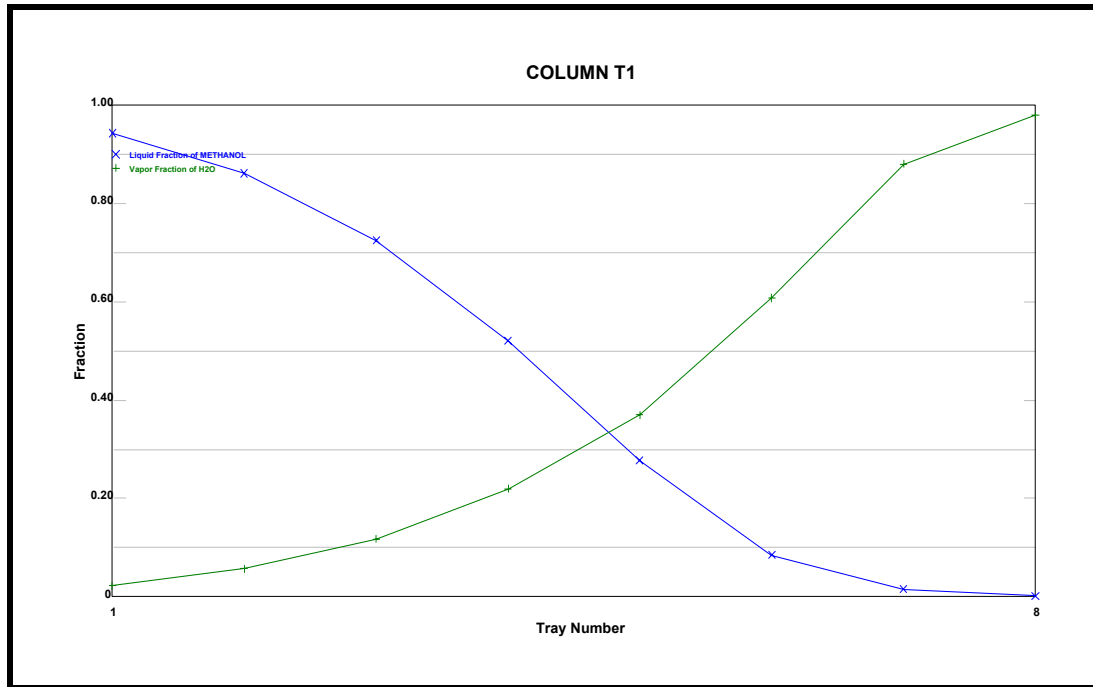
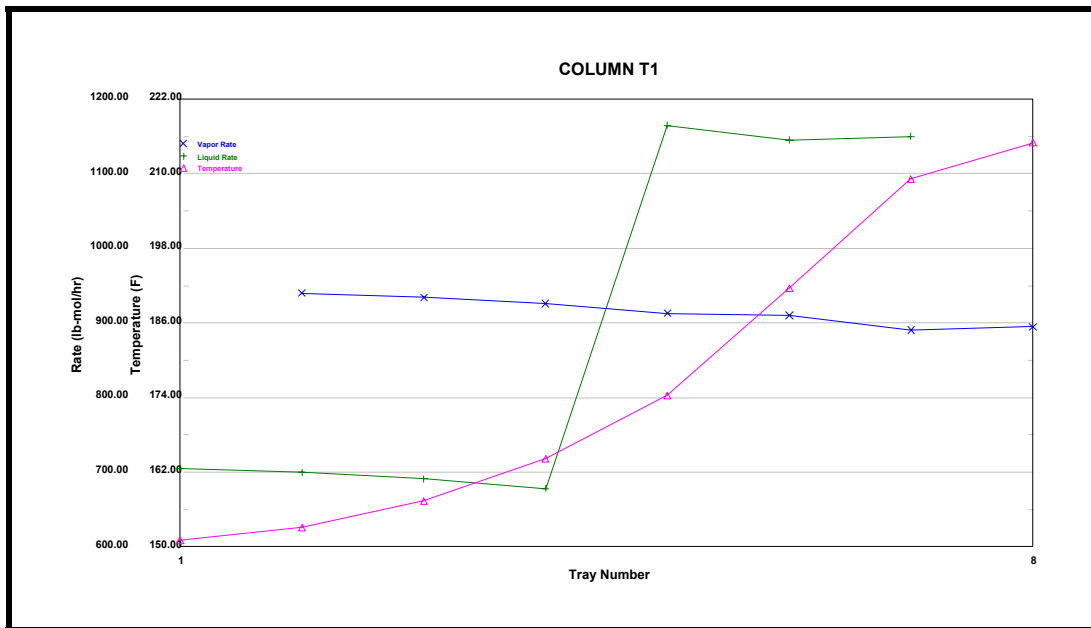


Tabla 4.3. Estudio de la influencia de la composición (70-30)

Nombre de la Corriente	TOPE	FONDO	Nombre de la Columna		T1
Descripción de la Corriente			Descripción de la Columna		
Fase	Liquido	Liquido	Calor Condensador	MM BTU/HR	-178.967
			Calor Rehervidor	MM BTU/HR	182.120
Temperatura	F	1.508.679.657	215		
Presión	PSIA	1.470.000.076	1.590.000.057		
Flujo	LBMOL/HR	2.725.968.323	1.879.676.819		
<b>Composición</b>					
<b>METANOL</b>		0.9571011662	0.002365393564		
<b>H<sub>2</sub>O</b>		0.0428988412	0.9976345897		

Variamos las composiciones aun mas por encima de la de condiciones de operación exactamente a (80-20) y estudiamos su comportamiento a través de las graficas 4.11 y la grafica 4.12 donde se observo un comportamiento real y normal de las composiciones de metano liquido y de vapor de agua así como también la temperatura a través de las diferentes etapas de la torre y en la tabla 4.4 obtuvimos que a composiciones de (80-20) la composición de producto es de (0.9620) es más baja que la de composición de operación , también obtuvimos un flujo de tope de (310.15734 Lbmol/hr) más alta también con un calor en el rehervidor de (20.5928Btu/hr) seguimos aumentando el calor y el flujo por tope es demasiado elevado lo que nos indica que para compensar los flujos y mantener la relación de reflujo debemos operar a composiciones que nos produzcan un equilibrio líquido vapor y que nos mantengan un calor adecuado en los equipos así como también nos mantenga una producción por tope cercana a la de especificación.

Grafica 4.11. Numero de platos Vs Flujo, Temperatura (60-40)



Grafica 4.12. Números platos Vs Composición (60-40)

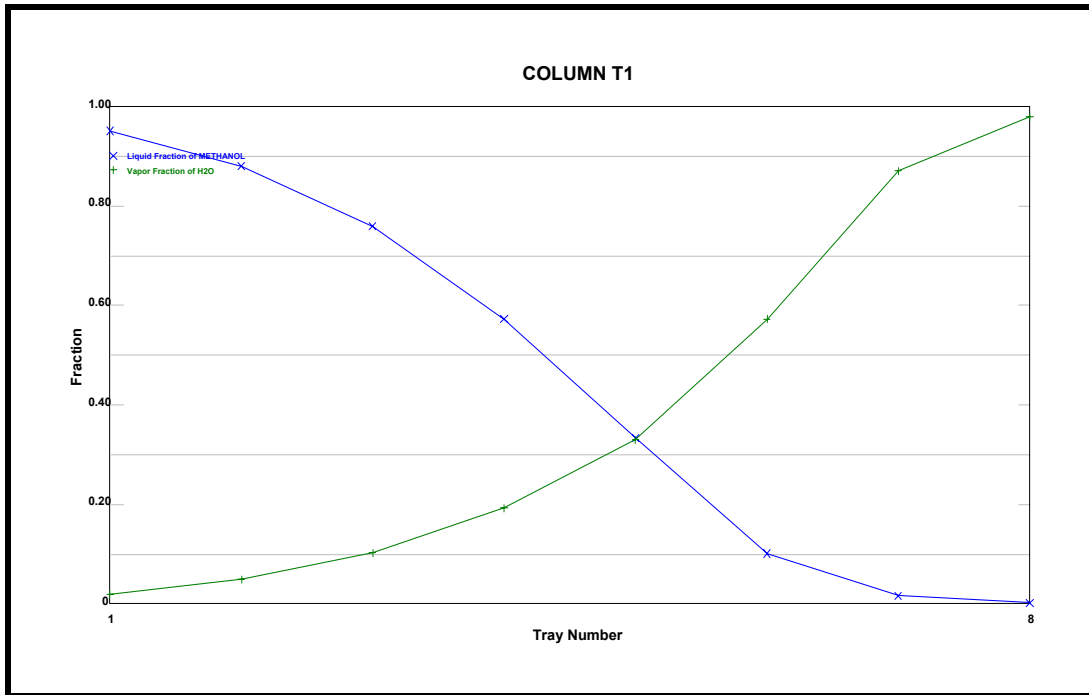


Tabla 4.4. Estudio de la influencia de la composición (80-20)

Nombre de la Corriente	TOPE	FONDO	Nombre de la Columna	T1
Descripción de la Corriente			Descripción de la Columna	
Fase	Liquido	Liquido	Calor Condensador	MM BTU/HR -203.521
			Calor Rehervidor	MM BTU/HR 205.928
Temperatura	F	1.507.286.072	215	
Presión	PSIA	1.470.000.076	1.590.000.057	
Flujo	LBMOL/HR	3.101.573.486	1.213.367.844	
Composición				
METANOL	0.9620783925	0.002365389373		
H <sub>2</sub> O	0.03792158142	0.9976345897		

#### **4.4. Evaluación hidráulica de la columna, empleando platos de campana de burbujeo.**

Con las especificaciones de los platos obtenidas de documentos y datos que sirvieron de guía y base para el estudio así como los trabajos de grado el arreglo de los platos va a indicarnos el número de campanas así como también las caídas de presión en cada plato, Se identificaron las propiedades de transporte de las corrientes de líquido y vapor así como también sus respectivas cargas, las características del plato, cantidad de bajantes, arreglo y tamaño del mismo y espaciamiento entre ellos. Este estudio hidráulico se realizó a las diversas composiciones de alimentación pero logramos los mejores resultados tanto precisos como de una esbeltez indicada para el trabajo a condiciones de operación. En el Apéndice D Reporte 1 se especifican las caídas de presión por platos(0.2 psi), el espaciamiento los platos (24 “), las variaciones de flujos de líquidos y vapor por platos, datos de equilibrio liquido-vapor por etapas, las variaciones de temperaturas y de presión, las variaciones de calor por platos, los flujos de vapor y líquido por platos y sus densidades, las propiedades de transporte por platos, la selección del tipo y diámetro de los platos(4”), los cálculos de la anchura de los bajantes de agua (downcomer width), los diámetros de los casquetes de burbujeo, las propiedades de los componentes de la mezcla . Estos datos son especificados de mejor manera en el reporte, Vemos que poseen una alta eficiencia con una caída de presión alta .Podemos ver la figura .4.1 un plato tipo casquete burbujeo. Y en la figura 4.2 diferentes diseños para los casquetes.

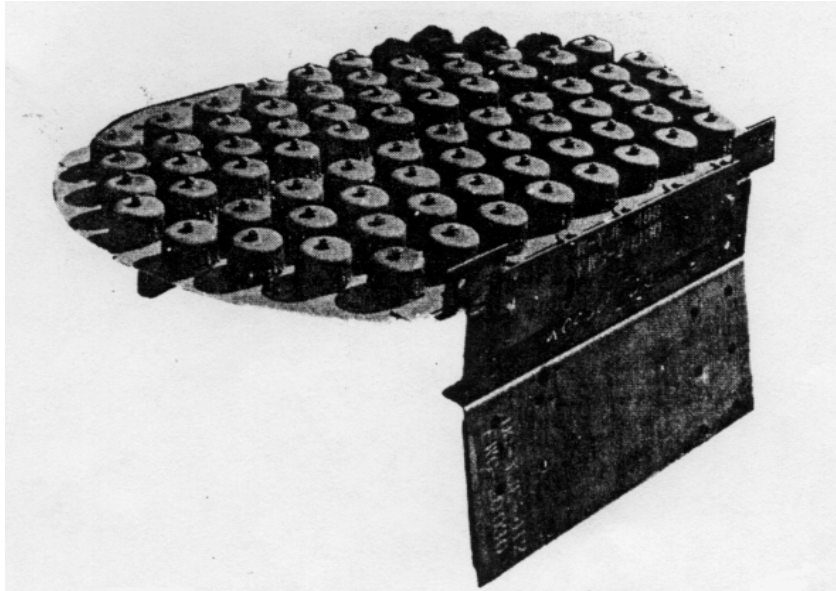


Figura 4.2. Plato casquete tipo burbuja

Fuente: Manual de diseño de procesos "PDVSA"

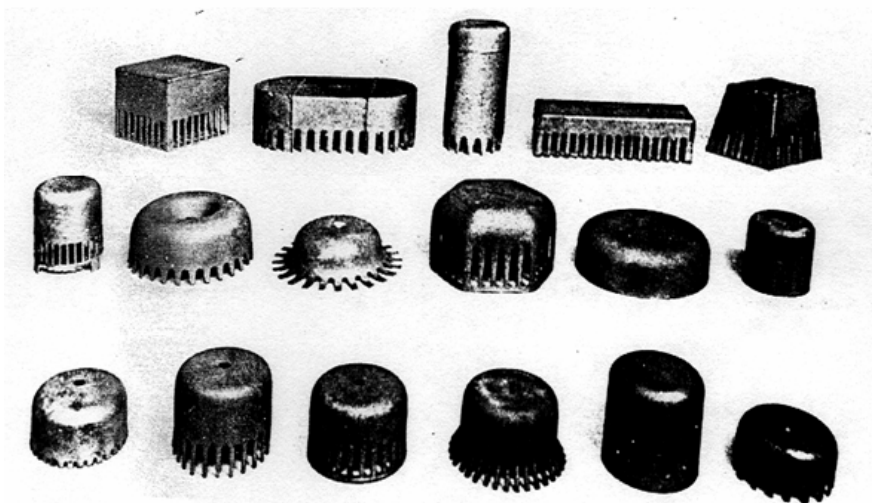


Figura 4.3. Tipos de arreglos de platos casquete tipo burbuja

Fuente: Manual de diseño de procesos "PDVSA"

## CONCLUSIONES

- ❖ Los cambios de temperatura del flujo de alimentación afecta directamente al el calor retirado por el condensador, es decir, son directamente proporcionales. De la misma manera, el calor entregado por el rehervidor es inversamente proporcional al los cambios de temperatura del flujo de alimentación.
- ❖ El flujo de alimentación con una composición mayor de 70% molar de metanol, a calidad, eficiencia y reflujo constantes, se obtiene mayor flujo de hasta un 97% de destilado.
- ❖ La evaluación hidráulica reporta para los datos de diseño, un diámetro de columna entre 50 pulgadas (en el plato inferior) y 58 pulgadas (plato superior); bajantes entre 3.4 y 4 pulgadas de largo respectivamente.
- ❖ El diámetro de los casquetes de burbuja y el espaciamiento entre los mismos fue de 4.0 pulgadas y 1.0 pulgadas respectivamente.



## RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar la selección adecuada de los internos de la torre de destilación, para ello se recomienda efectuar la comparación del estudio hidráulico mediante otro tipo de internos dentro de la torre como son los platos perforados, y así comparar y comprobar la eficiencia de los resultados obtenidos con este tipo de internos con los resultados obtenidos utilizando los platos con casquetes de burbujeo.

## BIBLIOGRAFÍA

Azarie R., (2009). **“Evaluación de las condiciones de operación actual de las torres de fraccionamiento de crudo DA-1 y torre depropanizadora de gasolina DA-6 de la refinería de puerto la cruz-PDVSA.”** Trabajo de grado Ing. Química Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Guapache L., (2005). **“Evaluación del comportamiento del sistema debutanizadora –separadora de butanos mediante la puesta en servicio del tren A de la planta de fraccionamiento y despacho “jose”.** Trabajo de grado Ing. Química Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Leonett C., (2002). **“Estudio de la máxima capacidad de los trenes de procesos de la planta fraccionadora de “José”.** Trabajo de grado Ing. Química Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Mc Cabe y Colaboradores, (2004). **“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”.** Sexta Edición. México: Editorial Mac Graw Hill.

Ramos I., (2009). **” Evaluación de la capacidad máxima y mínima de procesamiento de la torre fraccionadora de crudo de la unidad de**

**destilación atmosférica DA-3 en la refinería de puerto la cruz**". Trabajo de grado Ing. Química Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Smith, J.V Ness, (1997). **"introducción a la termodinámica en ingeniería química"**. Quinta Edición. México: Editorial Mac Graw Hill.

Torres M. y Colaboradores, (2004). **"Estudio de control de la composición en el tope y en el fondo de una torre de destilación de mezcla binaria metanol-agua, utilizando un control neuronal"**. Trabajo de grado Ing. Química Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.

Treybal R., (1980). **"Operaciones de Transferencias de Masas"**. Segunda Edición, México: Editorial Mac Graw Hill.

Wood R. y Berry M., (1973). **"Terminal Composition Control of Binary Distillation Column"**, Chemical Engineering Science.



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

<b>TÍTULO</b>	“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN EMPLEADA PARA LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA METANOL-AGUA”
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR(ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CVLCA / E-MAIL</b>
CHACÓN RIGUAL, CARLOS ENRRIQUE	CVLAC: V- 16.665.411 E-mail: carlosechacon@gmail.com
GIL DURÁN, JORGE ANTONIO	CVLAC: V- 16.478.044 E-mail: gil_jorge83@hotmail.com giljorge83@gmail.com

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Destilación

Metanol- Agua

Torre de Destilación

Platos tipo casquete de burbujeo

Reflujo

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

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	
	Ingeniería Química

### RESUMEN (ABSTRACT):

El estudio realizado tiene como finalidad determinar el funcionamiento de operación para una columna de destilación empleada para la separación de una mezcla de metanol-agua, al realizarle variaciones y estudiar la sensibilidad de la temperatura y el flujo de alimentación, la influencia de las variaciones de la composición de la alimentación y la variación de la relación de reflujo y en estudio hidráulico dentro de la columna, estos resultados serán obtenidos mediante el uso de un paquete de simulación de procesos, PRO/II versión 6.0. Primero se realizó la revisión bibliográfica del funcionamiento de la columna de destilación en estudio. Luego de establecer los parámetros y las condiciones de operación se procedió a realizar las primeras simulaciones del estudio de la variación de la sensibilidad de la temperatura y del flujo de alimentación de la columna obteniendo datos sobre el comportamiento de la influencia sobre el flujo de salida por tope. Seguidamente se efectuaron las simulaciones correspondientes a la influencia de las variaciones de las composiciones de la corriente de alimentación de la cual se observó la variación del flujo de alimentación y de la temperatura por cada plato de la columna. Finalmente para el estudio hidráulico de la torre se tomaron los datos de los reporte arrojados por el simulador donde se especifican las caídas de presión por platos.

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

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
FERREIRA, NELSON.	ROL	CA	AS(X)	TU	JU(X)
	CVLAC:	V-8.869.051			
	e-mail:	Nelsonrqmusgex@cantv.net			
	e-mail:				
CERMEÑO, JOSÉ L.	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
	CVLAC:	V-4.981.130			
	e-mail:	joselcz@hotmail.com			
	e-mail:				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
	CVLAC:				
	e-mail:				
	e-mail:				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	e-mail:				
	e-mail:				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2010	09	24
AÑO	MES	DÍA

**LENGUAJE: SPA**

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

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. MÉTANOL-AGUA.doc	Application/msWord

CARACTERES PERMITIDOS 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:**

PRE-GRADO

**ÁREA DE ESTUDIO:**

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**INSTITUCIÓN:**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE – NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI



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

### DERECHOS

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajos de grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.”

---

Carlos E. Chacón Rigual.

**AUTOR**

---

Jorge A. Gil Duran

**AUTOR**

---

Ing. M.Sc. Nelson Ferreira

**TUTOR ACADÉMICO**

**JURADO PRINCIPAL**

---

Ing. M.Sc. José Cermeño

**JURADO PRINCIPAL**

---

Ing. Yraima Salas

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**