



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LAS ETAPAS TEÓRICAS Y PLATO DE
ALIMENTACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE MC CABE-THIELE EN
LA DESTILACIÓN BINARIA.

VEINTIMILLA SAN MARTIN KELLY ROMINA
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LAS ETAPAS TEÓRICAS Y PLATO DE
ALIMENTACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE MC CABE-THIELE
EN LA DESTILACIÓN BINARIA.

VEINTIMILLA SAN MARTIN KELLY ROMINA
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

DETERMINACIÓN DE LAS ETAPAS TEÓRICAS Y PLATO DE ALIMENTACIÓN
MEDIANTE EL MÉTODO DE MC CABE-THIELE EN LA DESTILACIÓN BINARIA.

VEINTIMILLA SAN MARTIN KELLY ROMINA
INGENIERA QUÍMICA

LEON CUEVA WILSON PATRICIO

MACHALA, 24 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA
24 de agosto de 2022

Determinación de las etapas teóricas y plato de alimentación mediante el método de McCabe-Thiele en la destilación binaria

por Kely Romina Veintimilla San Martin

Fecha de entrega: 18-ago-2022 12:44a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1883834645

Nombre del archivo: iante_el_m_todo_de_Mc_Cabe-Thiele_en_la_destilaci_n_binaria.docx (274.9K)

Total de palabras: 2160

Total de caracteres: 11347

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, VEINTIMILLA SAN MARTIN KELLY ROMINA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Determinación de las etapas teóricas y plato de alimentación mediante el método de McCabe-Thiele en la destilación binaria., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 24 de agosto de 2022



VEINTIMILLA SAN MARTIN KELLY ROMINA
0705457760

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por regalarme la oportunidad de terminar una de mis metas y por darme las fuerzas e iluminar mi camino.

Agradezco a mi mamá Delly por el amor, la paciencia y la guía en el transcurso de mi carrera. A mi padre Mauricio por apoyarme incondicionalmente y confiar en mí. Les dedico este trabajo practico con mucho cariño.

A mis hermanos Arturo y Dereck por motivarme en los días más complicados de mi vida, ese abrazo o palabras fueron todo para continuar con mi carrera. También, a mi pequeño Alfa por convertir mis malos días en los mejores y siempre sacarme una sonrisa con sus travesuras.

¡Los quiero chicos!

Kely Romina Veintimilla San Martin

RESUMEN

El propósito del presente trabajo se aplicó la modelación en Excel para un proceso químico, destilación binaria con los componentes etanol-agua, para la producción de etanol con una pureza al 90%, y en fondo 10%. Se empleó una base de cálculo, en la corriente de alimentación un flujo molar de la mezcla 100 kmol/h, en la cual se obtuvo por balance de materia un flujo molar del destilado 75 kmol/h, y en fondos o residuos 25 kmol/h. El modelamiento se realizó mediante el método propuesto por McCabe Thiele, el cual se utiliza en las columnas de rectificación mediante las relaciones de equilibrio y balance de materia, para obtener una solución numérica como el número de etapas teóricas y plato de alimentación, usando el diagrama de equilibrio de la mezcla (etanol-agua) a 1 atm. Las etapas teóricas y el plato de alimentación se trazó los escalones entre las líneas operativas y de equilibrio; en el caso de las etapas teóricas hasta la composición de residuo y el plato de alimentación hasta línea de alimentación. Para definir la resolución del ejercicio de aplicación se emplearon datos tomados de la fuente bibliográfica.

Se demostró la eficiencia del modelamiento por destilación binaria mediante el método gráfico McCabe Thiele, para comprender el comportamiento de etanol-agua. La herramienta Excel ha demostrado su utilidad en el proceso como una alternativa para realizar cálculos en destilación de mezclas binarias.

Palabras claves: Etanol, destilación binaria, McCabe Thiele, Diagrama de equilibrio

ABSTRACT

The purpose of this work was applied Excel modeling for a chemical process, binary distillation with ethanol-water components, for the production of ethanol with a purity of 90%, and 10% bottom. A calculation base was used, in the feed stream a molar flow of the mixture 100 kmol/h, in which a molar flow of the distillate 75 kmol/h was obtained by material balance, and in bottoms or residues 25 kmol/h. h. The modeling was carried out using the method proposed by McCabe Thiele, which is used in rectification columns through equilibrium and material balance relationships, to obtain a numerical solution such as the number of theoretical stages and feed plate, using the equilibrium diagram of the mixture (ethanol-water) at 1 atm. The theoretical stages and the feed plate were drawn as the steps between the operating and equilibrium lines; in the case of the theoretical stages up to the waste composition and the feed plate up to the feed line. To define the resolution of the application exercise, data taken from the bibliographical source were used.

The efficiency of binary distillation modeling was demonstrated using the McCabe Thiele graphical method to understand the behavior of ethanol-water. The Excel tool has shown its usefulness in the process as an alternative to perform calculations in distillation of binary mixtures.

Keywords: Ethanol, binary distillation, McCabe Thiele, equilibrium diagram

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivo Específico.....	2
3. DESARROLLO	3
3.1 Destilación.....	3
3.1.1 Destilación Binaria	3
3.2. Fundamentos teóricos.....	3
3.2.1 Balance de materia.	3
3.2.2 Reflujo mínimo.....	4
3.2.3 Reflujo de operación.....	4
3.2.4 Líneas de operación.....	4
3.2.5 Numero de etapas teóricas.....	5
3.2.6 Plato de alimentación	5
3.3 Método de Mc Cabe Thiele.....	5
3.3.1 Condición térmica de la alimentación	5
3.3.2 Equilibrio liquido vapor.	6
4. METODOLOGÍA	6
5. CONCLUSIONES	11
6. BIBLIOGRAFÍA	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones De Alimentación.....	5
Tabla 2 Datos De Equilibrio Para El Sistema Etanol-Agua A 1atm	6
Tabla 3 Datos Planteados.....	6

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 El Diagrama De Flujo De Acuerdo A Las Condiciones Del Ejercicio.....	7
Ilustración 2 Diagrama De Equilibrio Etanol-Agua A 1atm	8
Ilustración 3 El Punto b	8
Ilustración 4 N° Etapas Teóricas	10
Ilustración 5 N° Plato De Alimentación	10

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

F	Alimentación
D	Destilación
R	Residuo
q	Condición térmica
°C	Grados centígrados
P	Presión
R _{min}	Reflujo mínimo
R _{op}	Reflujo de operación
n	Número real de la columna
LOE	Línea de enriquecimiento
LOA	Línea de agotamiento
R	Relación de reflujo óptimo
y_{n+1}	Composición del vapor en equilibrio con el líquido en el plato n+1
X_D :	Concentración del componente más volátil en el destilado
x_n	Concentración del componente más volátil en el plato n

1. INTRODUCCIÓN

La destilación es una de las operaciones unitarias más importantes en la industria química, ya que se emplea para refinación de petróleo, desalinización del agua, producción de licor, cerveza o vino, y en otros productos químicos usados en hogares y fabricas¹. Debido a su proceso de separación de corrientes líquidas con dos o más componentes, que se emplea para obtener como resultado en un producto con la pureza requerida, ya sea para la venta o su utilización en otros procesos químicos².

En la columna de destilación es importante el diseño y control, ya que dependerá de la obtención de un producto en este caso, el etanol anhidro que contiene un bajo contenido de humedad³. Para su obtención existen algunas tecnologías que son: destilación binaria, destilación extractiva, destilación a dos presiones, destilación azeotrópica, tamices moleculares, etc⁴.

La destilación binaria es la separación de dos componentes (etanol-agua), con distintos grados de volatilidad, obteniendo los dos flujos de salida llamados destilado (D) y sedimento o fondos (B), con la cantidad de pureza y la recuperación de sustancias². En las columnas rectificación de mezclas binarias comúnmente se usa el método gráfico de Mc Cabe Thiele es considerado sencillo, rápido e ilustrativo para el cálculo del número de platos teóricos necesarios en la separación de los componentes y visualizar su comportamiento⁵.

El enfoque del presente trabajo de investigación se basó en la destilación de una mezcla etanol-agua, razón por la que se empleó la destilación binaria para la obtención de etanol anhidro con una pureza de 90%, y mediante el método grafico Mc Cabe Thiele se realizó el cálculo del número de etapas teóricas y plato de alimentación en la columna de rectificación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar las etapas teóricas y el plato de alimentación mediante el método de Mc Cabe-Thiele para un modelado en Excel de destilación binaria de la mezcla etanol – agua.

2.2 Objetivo Específico

- Calcular las corrientes de entrada y salida de la destilación binaria etanol-agua por medio de un balance de materia.
- Graficar los datos de equilibrio y operación de la destilación binaria para obtener el plato de alimentación y etapas teóricas por el método de Mc Cabe Thiele.
- Obtener los resultados de la destilación binaria mediante una modelación en Excel.

3. DESARROLLO

3.1 Destilación

La destilación es la operación unitaria más importante en las refinerías e industrias químicas, debido a su diseño y optimización de columna^{1,2}. Se define como la separación física de una mezcla en dos o más fracciones que tienen diferentes puntos de ebullición³.

3.1.1 Destilación Binaria

El proceso es uno de los métodos más utilizados para realizar la separación de mezclas binarias sustancias químicas, mediante la formación de dos fases líquidos y vapor^{4,5}. Hay varios tipos de procesos de destilación dependiendo de lo que se desee destilar la mezcla original^{6,7}.

El etanol, como compuesto químico es obtenido como materia de origen renovable, en la caña de azúcar, sorgo, remolacha, etc; a partir de hidratación de etileno⁸⁻¹⁰. Asimismo, se utiliza como combustible, reactivo químico, solvente orgánico y materia prima en muchos productos químicos¹¹. El proceso de separación de etanol se utiliza la destilación convencional, en dos fases para obtener una mezcla azeotrópica¹². En el punto azeotrópico la composición de vapor es igual a la composición del líquido¹³. Para su purificación al 95/5% vol etanol/agua se debe tratar mediante operaciones de separación no convencionales tales como destilación azeotrópica, destilación extractiva, destilación al vacío¹³.

3.2. Fundamentos teóricos

3.2.1 Balance de materia.

La ecuación de balance general y específico aplica al componente más volátil:¹⁴

$$F = D + R \quad (1)$$

$$F x_F = D x_D + R x_R \quad (2)$$

3.2.2 *Reflujo mínimo.* El reflujo en una torre de destilación se origina en el rehervidor, es la relación máxima que requerirá de número infinito de platos para lograr la separación deseada, aplica a los componentes de la destilación para obtener el valor de reflujo mínimo¹⁵.

3.2.3 *Reflujo de operación.* Se debe aplicar en lo real a la columna, esta situación se encuentra entre el límite del reflujo total (número mínimo de platos) y el límite de reflujo mínimo (número infinito de platos)¹⁶. La ecuación es la siguiente:

$$R_{op} = nR_{min} \quad (3)$$

3.2.4 *Líneas de operación.*

Existen dos líneas de operación en el método de McCabe Thiele: La primera es la de enriquecimiento (LOE), es la sección de la columna de rectificación localizada desde la entrada de alimentación hasta el plato superior, y la segunda línea de agotamiento (LOA) es desde la entrada de alimentación hasta el plato inferior¹⁷.

- Ecuación de la línea de operación de la sección de rectificación¹⁸.

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{D x_D}{V_{n+1}} \quad (4)$$

Los flujos constantes de vapor y líquido resultantes conducen a la siguiente ecuación de balance de componentes o línea de operación en la sección de rectificación¹⁸.

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{X_D}{R+1} \quad (5)$$

3.2.5 *Numero de etapas teóricas:* Se obtiene con el método gráfico, los escalones de pasos entre las líneas operativas y la línea de equilibrio, topando la curva de equilibrio, hasta llegar a la composición del destilado¹⁹.

3.2.6 *Plato de alimentación:* En el diagrama de Mc Cabe, se obtiene los segmentos horizontales, esto equivale al punto de corte de la recta operativa de enriquecimiento con la recta de alimentación²⁰.

3.3 Método de Mc Cabe Thiele

El método Mc Cabe Thiele es utilizado para el diseño de columnas de destilación con una presión dada, y determinar el número de platos alimentación o etapas teóricas necesarias en la separación de una mezcla binaria²¹⁻²³.

3.3.1 Condición térmica de la alimentación

La “q” representa los moles de líquido saturado que se forma en la etapa de alimentación por mol de material alimentado. En la tabla 1 se muestra las condiciones de alimentación y “q” condición térmica²⁴. En la recta existen diferentes posiciones de “q” dependiendo de la condición de esta variable (condición térmica del alimento).

Tabla 1 Condiciones de alimentación

Condiciones de alimentación	Medición de la condición térmica “q”
Líquido subenfriado	$q > 1$
Líquido saturado	$q = 1$
Parcialmente vaporizada	$1 > q > 0$
Vapor saturado	$q = 0$
Vapor sobrecalentado	$q < 0$

Fuente: ²⁴

3.3.2 Equilibrio liquido vapor.

Las fases líquidas y vapor de un sistema de componentes se encuentran en estado estacionario, y una composición. El estudio del comportamiento de los sistemas determina el equilibrio que existe en la mezcla binaria (etanol-agua) como se muestra en la tabla 2 ¹⁹.

Tabla 2 Datos de equilibrio para el sistema etanol-agua a 1atm

T °C	95.5	89	86.7	85.3	82.7	81.5	79.8	79.3	78.41	78.15
x	0.019	0.072	0.096	0.124	0.23	0.32	0.50	0.57	0.74	0.894
y	0.17	0.389	0.427	0.47	0.54	0.58	0.65	0.68	0.78	0.894

Fuente: ²⁵

4. METODOLOGÍA

4.1. Ejercicio de aplicación

Utilizando la herramienta Excel, realizar una destilación con los compuestos etanol y agua la cual inicia con una mezcla de 70% etanol y agua al 30% a una 1atm de presión. La alimentación ingresa a la torre como liquido saturado $q=1$ y desea una fracción de etanol en el destilado de 90%. Resolver mediante el método de McCabe Thiele, para calcular las etapas teóricas requeridas y el plato de alimentación.

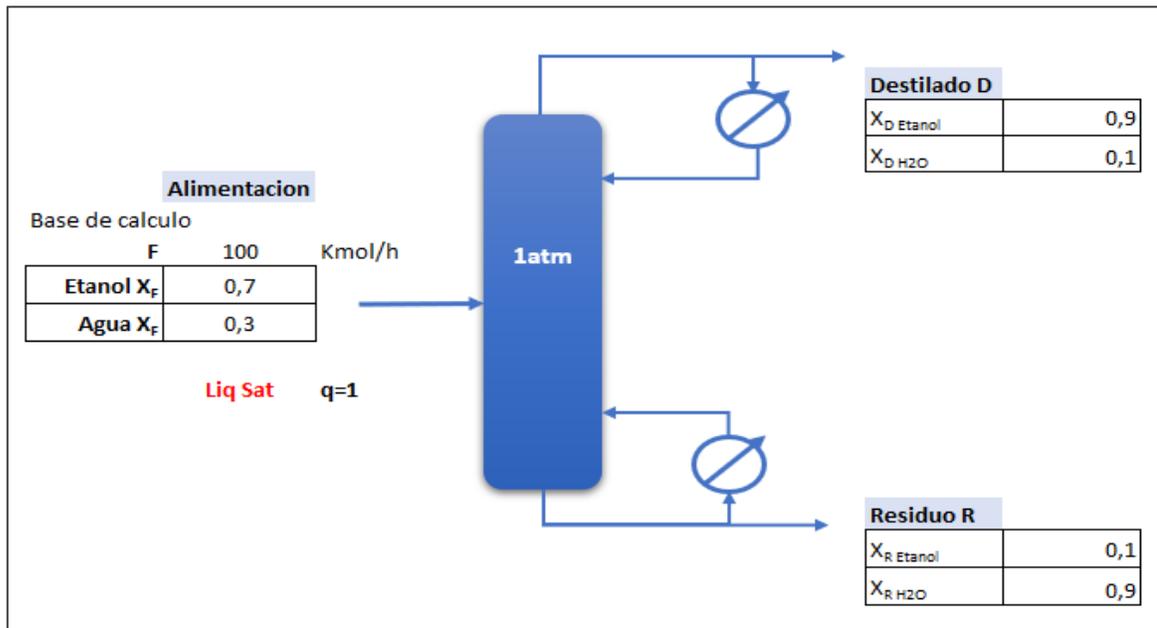
Tabla 3 Datos planteados

Variables	Valores
$X_{F \text{ etanol}}$	0.7
$X_{F \text{ agua}}$	0.3
P (atm)	1
Liquido saturado (q)	1
$X_{D \text{ etanol}}$	0.9

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 1 se muestra el diagrama de flujo para destilación binaria con las condiciones que muestra el ejercicio en la tabla 3. Dado que no especifica la alimentación, añadimos una base de una base de cálculo de 100kmol/h.

Ilustración 1 El diagrama de flujo de acuerdo a las condiciones del ejercicio



Fuente: Elaboración propia

El balance de materia General

$$F = D + R$$

$$100 = D + R$$

$$D = 100 - R$$

El componente más volátil de esta mezcla es el etanol por lo tanto se realiza balance específico. Reemplazar D en la ecuación, realizar el balance general, y calcular el flujo de destilado.

$$F x_F = D x_D + R x_R$$

$$100 (0,70) = D(0,90) + R(0,10)$$

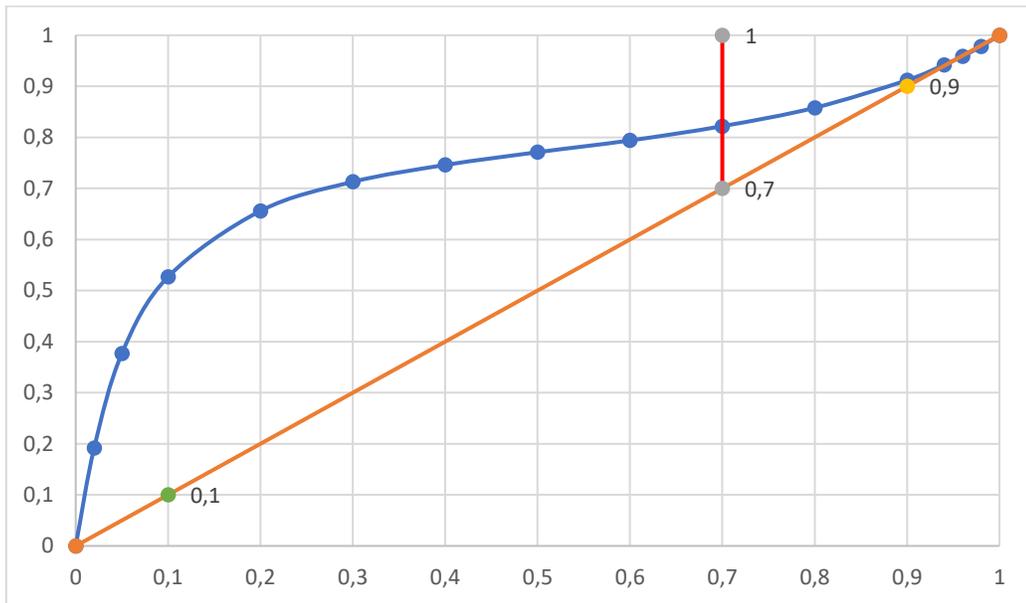
$$100 (0,70) = (100 - R)(0,90) + R(0,10)$$

$$R = 25 \text{ kmol/h}$$

$$D = 75 \text{ kmol/h}$$

En la Ilustración 2 se muestra la gráfica el diagrama de equilibrio etanol - agua a 1 atm, dado con los datos anteriores en la tabla 3. Añadir los puntos X_F , X_D , X_R del componente etanol, y la línea de alimentación “q” condición térmica en liquido saturado.

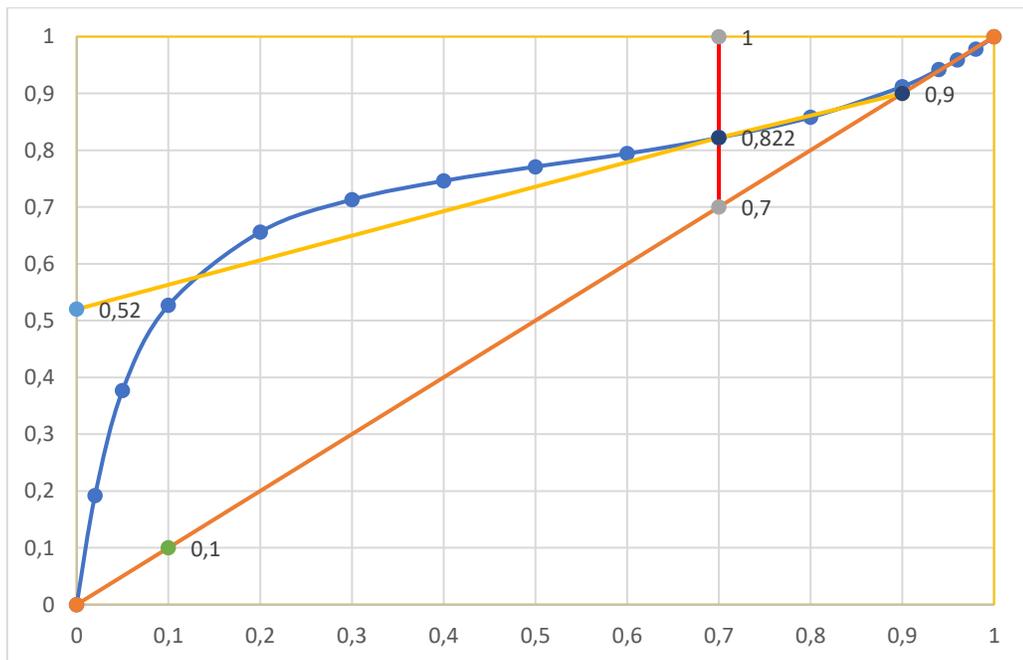
Ilustración 2 Diagrama de equilibrio etanol-agua a 1atm



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 3, se muestra el trazo de la línea desde X_D que cruce por un punto que tope la curva de equilibrio y q , finalmente que intercepte en el eje de y , dando en b : 0,52

Ilustración 3 El punto b



Fuente: Elaboración propia

Calcular el reflujo mínimo R_{min}

El cálculo del número teórico de etapas se realiza mediante la línea de operación de la sección de enriquecimiento, por lo que se relaciona con la composición de vapor – líquido. En este caso se utiliza la ecuación de la línea de enriquecimiento. Posterior reemplazamos con los datos y obtenemos valor de Reflujo mínimo (R_{min}): $b = 0,52$ se obtiene en el eje de y de la recta trazada.

Ecuación de línea de enriquecimiento

$$y = \frac{R}{R + 1}x + \frac{x_D}{R + 1}$$

La fórmula de la pendiente

$$y = m x + b$$

Sustituimos y la ecuación da:

$$b = \frac{x_D}{R_{min} + 1}$$
$$0,52 = \frac{0,9}{R_{min} + 1}$$
$$R_{min} = 0,7308$$

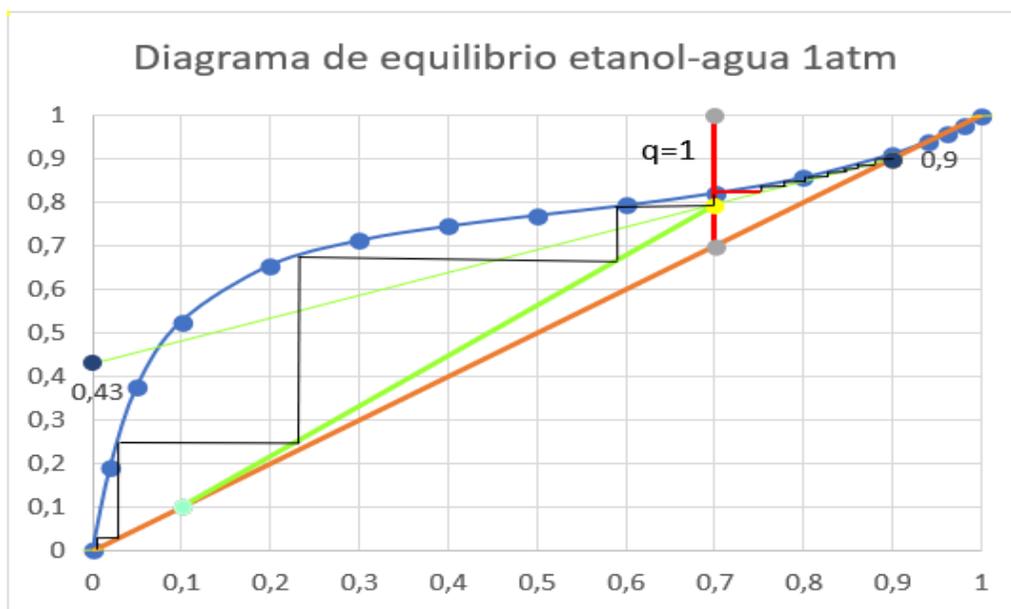
Calcular el reflujo de operación R_{op} y línea de rectificación.

$$R_{op} = n R_{min}$$
$$R_{op} = 1,5 (0,7308)$$
$$R_{op} = 1,0962$$

$$\frac{x_D}{R_{op} + 1}$$
$$\frac{0,9}{1,0962 + 1} = \mathbf{0,43}$$

Trazamos la nueva línea de rectificación en la gráfica, $y: \mathbf{0,43}$. En las ilustraciones 4 y 5 se observan por el método gráfico, los resultados del número de etapas teóricas y plato de alimentación.

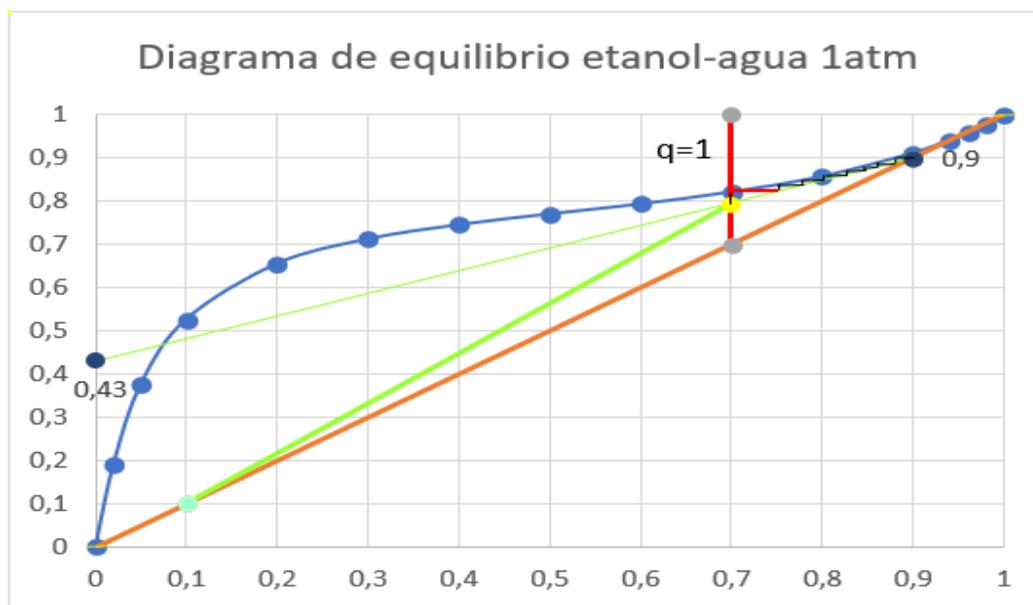
Ilustración 4 N° Etapas teóricas



Fuente: Elaboración propia

N° etapas teóricas: 12

Ilustración 5 N° plato de alimentación



Fuente: Elaboración propia

N° Platos de alimentación: 8

5. CONCLUSIONES

- Empleando la herramienta de Excel en la destilación binaria de etanol -agua se obtuvo los siguientes parámetros en la entrada 100 kmol/h de alimentación (base de cálculo) y de la salida el destilado (D) 75 kmol/h y de residuo (D) 25 kmol/h, asimismo se logró una pureza de etanol al 90% y en los fondos 10%, lo cual indica ser un proceso efectivo.
- Utilizando los datos de equilibrio de etanol-agua a 1 atm, se realizó una gráfica x y fracción molar, para la resolución del ejercicio lo cual, se obtuvo el número de etapas teóricas requeridas 12 y platos de alimentación 8, mediante el método gráfico matemático de McCabeThiele.
- El modelamiento mediante Excel se obtuvo los resultados de la destilación binaria, para mayor conocimiento del comportamiento de etanol-agua, sin emplear procesos reales industriales en riesgo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Kong, L.; Maravelias, C. T. From Graphical to Model-Based Distillation Column Design: A McCabe-Thiele-Inspired Mathematical Programming Approach. *AIChE J.* **2019**, *65* (11). <https://doi.org/10.1002/aic.16731>.
- (2) Benavides Maldonado, J. L.; Bustan Jaramillo, D. M. de J.; Ochoa Alfaro, J. F. Metodología Para El Aprendizaje Del Control Automático Del Proceso de Destilación Binaria, Haciendo Uso de MATLAB ® y Moodle. **2018**, *12*, 154–161.
- (3) Franco, D. Emulación De Una Columna De Destilación Binaria Continua, Universidad del Valle, 2014.
- (4) A. Udugama, I.; Munir, M. T.; Kirkpatrick, R.; Young, B. R.; Yu, W. Side Draw Control Design for a High Purity Multi-Component Distillation Column. *ISA Trans.* **2018**, *76*, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.03.006>.
- (5) Yang, A.; Sun, S.; Shi, T.; Xu, D.; Ren, J.; Shen, W. Energy-Efficient Extractive Pressure-Swing Distillation for Separating Binary Minimum Azeotropic Mixture Dimethyl Carbonate and Ethanol. *Sep. Purif. Technol.* **2019**, *229*. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115817>.
- (6) Cerquera, A. S.; Castillo, C. A. Separación de Una Mezcla Binaria Etanol- Agua En Columna de Destilación de Platos UDCC Por Densimetría. **2015**, 161–174.
- (7) Asprion, N. Modeling, Simulation, and Optimization 4.0 for a Distillation Column. *Chemie-Ingenieur-Technik* **2020**, *92* (7), 879–889. <https://doi.org/10.1002/cite.202000001>.

- (8) Barrea Flores, N. A.; Jaimes Baquero, C. E. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA DESTILACIÓN EXTRACTIVA DE ETANOL-AGUA EMPLEANDO UNA MEZCLA DE ETILENGLICOL Y CACL₂ COMO SOLVENTE. **2018**, *4*, 61–67.
- (9) Alves, J. L. F.; da Silva Filho, V. F.; Machado, R. A. F.; Marangoni, C. Ethanol Enrichment from an Aqueous Stream Using an Innovative Multi-Tube Falling Film Distillation Column Equipped with a Biphasic Thermosiphon. *Process Saf. Environ. Prot.* **2020**, *139*, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.03.039>.
- (10) Kumar, R.; Ghosh, A. K.; Pal, P. Fermentative Ethanol Production from Madhuca Indica Flowers Using Immobilized Yeast Cells Coupled with Solar Driven Direct Contact Membrane Distillation with Commercial Hydrophobic Membranes. *Energy Convers. Manag.* **2019**, *181* (September 2018), 593–607. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.050>.
- (11) Shang, X.; Ma, S.; Pan, Q.; Li, J.; Sun, Y.; Ji, K.; Sun, L. Process Analysis of Extractive Distillation for the Separation of Ethanol–Water Using Deep Eutectic Solvent as Entrainer. *Chem. Eng. Res. Des.* **2019**, *148*, 298–311. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.06.014>.
- (12) Liu, S.; Wang, Z.; Zhu, R.; Lei, Z.; Zhu, J. [EMIM][DCA] as an Entrainer for the Extractive Distillation of Methanol-Ethanol-Water System. *Green Energy Environ.* **2021**, *6* (3), 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2020.12.022>.
- (13) Zapata Benabithé, Z.; Vanegas, D.; Rendon Montoya, J. C.; Velásquez, J. A. Caso de Estudio de La Destilación Etanol-Agua En Operación Continua y Discontinua y Su Simulación Con Ecuaciones Cúbicas de Estado y Modelos de Actividad.

TecnoLógicas **2020**, 23 (49), 223–249. <https://doi.org/10.22430/22565337.1638>.

- (14) Ones, O. P.; Rodríguez, J. D.; Zumalacárregui, L.; León, O. G. Evaluation of Thermodynamics Properties of Ethanol-Water Mixtures (I). *Rev. Fac. Ing.* **2010**, No. 52, 47–61.
- (15) Montoya, A. Diseño de Una Columna de Destilación Para Recuperación de Una Sustancia Termosensible, Univerisidad Pontificia Católica de Valparaiso, 2012.
- (16) Hernández, D. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA COLUMNA EMPACADA PARA LA DESTILACIÓN CONTINUA DE UN SISTEMA BINARIO, ENFOCADA EN ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA DESEMPEÑO AUTOMATIZADO DOCUMENTO, Universidad de los Andes, 2019.
- (17) Yanza, C. A.; Astudillo, J. I. APLICACIÓN DEL SIMULADOR CHEMSEP PARA LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA ETANOL-AGUA EN LA UNIDAD DE DESTILACIÓN DISCONTINUA DEL LABORATORIO TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA, Universidad de Cuenca, 2018.
- (18) Mathias, P. M. Visualizing the McCabe-Thiele Diagram. *Chem. Eng. Prog.* **2009**, 105 (12), 36–44.
- (19) Grandez, A.; Pacaya, J. Cálculo Del Numero Etapas Teóricas En Destilacion Continua Para Sistemas Binarios, Metodo Comboninado: McCabe-Thiele y Sorel-Lewis, Utilizando Hoja de Calculo Excel En La FIQ-UNAP, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, 2017.

- (20) Acevedo, E. Evaluación, Diseño y Puesta En Marcha de Las Columnas de Destilación Del Laboratorio de Tecnología Química II Del Departamento de Química de La FACYT, Universidad de Carabobo, 2007.
- (21) Lejeune, A.; Rabiller-Baudry, M.; Renouard, T. Design of Membrane Cascades According to the Method of McCabe-Thiele: An Organic Solvent Nanofiltration Case Study for Olefin Hydroformylation in Toluene. *Sep. Purif. Technol.* **2018**, *195*, 339–357. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.12.031>.
- (22) Seedat, N.; Kauchali, S.; Patel, B. A Graphical Method for the Preliminary Design of Ternary Simple Distillation Columns at Finite Reflux. *South African J. Chem. Eng.* **2021**, *37*, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.04.005>.
- (23) Barderas, V. A. *Destilación Por El Metodo de Mc Cabe - Thiele*, Departamen.; México, 2010.
- (24) Adriano, S. I.; Valle, V. P. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE DESTILACIÓN CON RECTIFICACIÓN PARA LA PURIFICACIÓN DEL THINNER USADO PROCEDENTE DE LAS MECÁNICAS AUTOMOTRICES, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.
- (25) Marcilla, A. *Introducción a Las Operaciones de Separación. Cálculo Por Etapas de Equilibrio*; 1998.