

# **SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE ETANOL UTILIZANDO EL SOFTWARE ASPEN-HYSYS V3.2**

**Alvarez Ramón Y., de Armas Martínez A., Contino Hernández Y.,  
Arteaga Pérez L.E<sup>1\*</sup>, Gallardo Aguilar I.<sup>2</sup>**

**1. Centro de Análisis de Procesos (CAP). Facultad de Química-  
Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.  
Carretera a Camajuaní, km 5½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.  
[luisseap@uclv.edu.cu](mailto:luisseap@uclv.edu.cu)**

**Departamento Ing. Química, Facultad de Química-Farmacia.  
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a  
camajuaní, km 5½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba**

## **Resumen**

El proyecto se basa en la simulación del proceso de deshidratación de etanol utilizando el software ASPEN-HYSYS versión 3.2. El proceso consta de 2 columnas de destilación, un sub-diagrama y separadores de fases. La obtención de etanol anhidro se realiza a partir de una mezcla de etanol en agua a concentración azeotrópica con una pureza límite del 95 % en peso, utilizando benceno como solvente. La simulación se implementa con datos reales de una destilería cubana. Se propone la alternativa de destilar extractivamente utilizando glicerol. Se obtiene etanol anhidro con valor de 99.74 %w/w en la destilación isotrópica y 99.51 %w/w en la extractiva. Se realizan casos de estudio para el proceso con datos reales utilizando benceno y para la alternativa propuesta empleando el glicerol. Se verifican los perfiles de temperatura, presión y componentes en la destilación azeotrópica. Básicamente las arquitecturas de los diagramas de proceso varían en cuanto a los sistemas de recuperación de solvente.

**Palabras clave:** etanol anhidro, simulación, HYSYS, benceno, glicerol.

## **Abstract**

This project is based on the simulation of ethanol dehydration process using ASPEN-HYSYS software version 3.2. The process consists of two distillation columns, a sub-diagram and phase separators. Obtaining anhydrous ethanol is made from a blend of ethanol in water with a purity of azeotropic concentration limit of 95% by weight using benzene as a solvent. The simulation is implemented with real data from the Central Rum Distillery Agustin Rodriguez, Villa Clara. Extractive distillation using glycerol alternative is proposed. Anhydrous ethanol is obtained with a value of 0.9974 mass fraction in the distillation with benzene as the extraction is reached only 0.9951 in the same units.

Case studies are performed for the process with real data using benzene and the proposed alternative using glycerol. Profiles of temperature, pressure and components in the azeotropic distillation are verified.

**Keywords:** anhydrous ethanol, simulation, HYSYS, benzene, glycerol

### **Nomenclatura en proceso con destilación azeotrópica**

- Alimentación*: corriente de alimentación a la columna de destilación azeotrópica
- T-100*: columna destilación azeotrópica con benceno
- Ra*: corriente de reciclo de benceno a la columna T-100
- V-1*: corriente del tope de la columna de destilación azeotrópica
- Alcohol anhidro*: corriente del fondo de la columna de destilación azeotrópica
- Qd*: flujo de intercambio de calor en el re-hervidor de la columna de destilación azeotrópica
- Decantador*: sistema que simula un sub-diagrama dentro de la propia simulación
- E-200*: intercambiador de calor del sub-diagrama
- M-1*: salida del intercambiador de calor E-200 del sub-diagrama y de entrada al separador trifásico V-200
- Liviano*: salida del separador trifásico V-200 y de entrada al separador V-100
- Pesado*: salida del separador trifásico V-200 y entrada a la columna T-101
- T-101*: columna de agotamiento para recuperar el solvente benceno
- Agua residual*: corriente de salida del fondo de la torre T-101
- Qa*: flujo de intercambio de calor en el re-hervidor de la columna de agotamiento
- V-2*: salida del tope de la columna de agotamiento y entrada al separador V-100
- Rc*: salida por el fondo del separador V-100 y reciclo de la columna azeotrópica
- V-3*: corriente de salida por el tope del separador V-100

### **Nomenclatura en proceso con destilación extractiva**

- Alimentación*: corriente de alimentación a la columna de destilación extractiva
- Rs*: corriente de mezcla que trae el glicerol para la extracción en la columna T-100
- T-100*: columna de destilación extractiva con glicerol
- Alcohol anhidro*: corriente del tope de torre T-100
- Fondo*: corriente del fondo de la torre T-100 y entrada a la torre de recuperación del glicerol T-101
- Qs*: flujo de intercambio de calor en el re-hervidor

- de la torre de destilación extractiva *T-100*
- T-101*: torre de recuperación del agente extractivo glicerol
- F*: flujo de intercambio de calor en el re-hervidor de la torre recuperadora T-101
- Glicerol*: corriente de salida del fondo de la columna T-101
- Mezcla*: corriente de salida del tope de la torre T-101

### **Introducción**

El agotamiento de las reservas fósiles de energía tiende a ser el reto ambiental, social y tecnológico más alto que ha tenido que atravesar la humanidad. Debido al agotamiento de las mencionadas reservas se han buscado alternativas que puedan suplirlos en diferentes campos de aplicación y persiguiendo un concepto de sostenibilidad. Para obtener alcohol anhidro, más del 99% etanol, se necesitan modificar los procesos tradicionales y utilizar sistemas de adsorción, destilación, azeotrópica y/o extractiva, en dependencia del tipo de sustancia de arrastre utilizada para romper el punto de azeotropía entre el agua y el etanol. Entre las sustancias de arrastre o solventes más comunes se encuentran el benceno, tolueno y ciclohexano, Mortaheb, H. [1]. Para la destilación extractiva los agentes más comunes son los glicoles, como el etilenglicol y butilenglicol, y el glicerol, Quintero [2].

La simulación de procesos, en software como el ASPEN-HYSYS, es muy utilizada para conocer con antelación el comportamiento de procesos reales. Brinda la posibilidad de conocer las relaciones e influencia que existen entre los parámetros de las corrientes y entre los diferentes equipos presentes en el proceso tecnológico. Esto se realiza a través de casos de estudios, deducciones de variables mediante hojas de cálculo y optimización de procesos.

En este proyecto se simula el proceso de deshidratación de etanol por destilación azeotrópica, utilizando como sustancia de arrastre al benceno, ya que este no forma puntos de azeotropía con ninguno de los componentes presentes, agua y etanol. Luego destila nuevamente la mezcla de benceno y agua para obtener la sustancia de arrastre, y poder reutilizarla en el mismo proceso en aras de ahorrar en términos económicos.

La simulación con el software ASPEN-HYSYS se implementa también con datos reales de la destilería Agustín Rodríguez Mena ubicada en la provincia de

Villa Clara, Cuba. Se realizan casos de estudio que permitan analizar el comportamiento o respuesta de las variables respecto a otras. Permitiendo conocer la dependencia que existe, por ejemplo entre la temperatura de la corriente de alimentación al proceso y la concentración de etanol a la salida de la torre, además de la composición del solvente en la recirculación.

De acuerdo a lo expuesto el **objetivo general** de este trabajo es la simulación de un proceso químico para la obtención de alcohol anhidro a partir de destilación azeotrópica y extractiva.

Para dar cumplimiento a este objetivo se trazan como **objetivos específicos** los siguientes:

- Simular el proceso de deshidratación de etanol utilizando datos reales en la corriente de alimentación, empleando el benceno como solvente e la destilación azeotrópica.
- Realizar casos de estudio que nos permitan conocer las relaciones establecidas entre variables del proceso, así como perfiles de temperatura, presión y composición en las columnas de destilación utilizadas.
- Simular una alternativa para la obtención de etanol anhidro utilizando glicerol como solvente, con destilación extractiva.
- Comparar resultados obtenidos entre la simulación empleando benceno y la alternativa de uso del glicerol.

### Desarrollo

El proceso de obtención de etanol anhidro se lleva a cabo en una serie de equipos industriales, principalmente en columnas de separación o destilación. Se simula el proceso químico tecnológico en el software ASPEN-HYSYS v 3.2, el cual posee con 2 columnas de destilación; un decantador donde se representa un sub-diagrama, que no es más que un proceso simulado dentro del principal, este consta de un intercambiador de calor y un separador de 3 fases; y un separador de 2 fases acoplado a un reciclo que se introduce en la primera columna con el fin de reutilizar el solvente añadido.

Se utilizan 2 paquetes de fluidos, el VLE-BASIS utilizará los parámetros de interacción binarios de la librería VLE que aparecen por defecto; y el segundo, LLE-

BASIS reemplazará aquellos coeficientes de interacción con coeficientes de interacción binarios estimados con UNIFAC-LLE. Ambos paquetes de fluidos usarán el modelo de actividad NRTL.

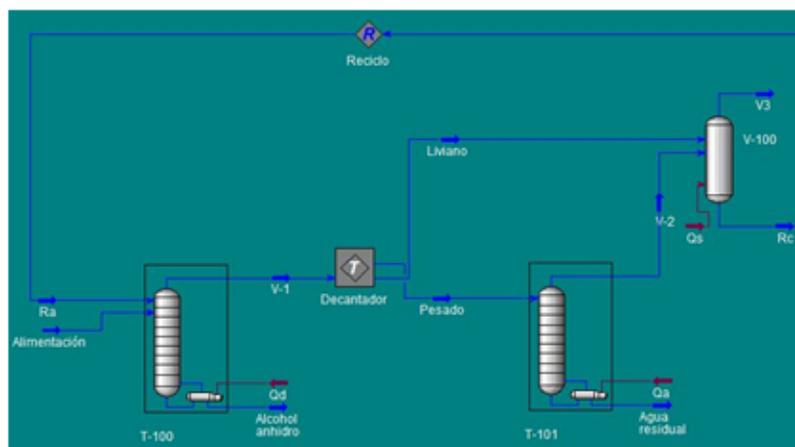
#### 1.1 Breve descripción del proceso

La corriente de alimentación está compuesta por una mezcla azeotrópica de etanol y agua, con una pureza límite del 88 % molar o 95 % en peso, y benceno añadido como sustancia de arrastre. A esta primera columna se le alimenta por el tope un reflujo proveniente del último separador de 2 fases, el cual contiene benceno recuperado. La corriente *Alimentación*, nutrida por el plato número 7, posee las siguientes especificaciones: temperatura 78.10 °C, presión 101.33 kPa, flujo molar de 68.84 250 kgmol/h, fracción mol etanol 0.8831, agua 0.1169 y benceno 0.0000.

El producto del tope de la columna deshidratadora *T-100* es una mezcla de etanol, agua y benceno que se divide en dos fases líquidas por enfriamiento, siendo una fase liviana y otra pesada. Para la modelación de este equilibrio líquido-líquido, se instala un sistema denominado Decantador, simulando un sub-diagrama de flujo dentro del proceso químico. La corriente denominada pesada es procesada en una columna de agotamiento *T-101*, cuyo producto de cabeza o tope, *V-2*, se mezcla en un recipiente *V-100* con la fase líquida nombrada liviana que sale del Decantador. Por el fondo de esta última columna se obtiene agua residual. Del separador *V-100* salen 2 corrientes, *Rc* por el fondo y *V-3* por el tope. La corriente *Rc* es recirculada a la columna deshidratadora, sirviendo como reflujo. Ver Figura 1.

#### 1.2 Diagrama de Simulación

**Figura 1.** Diagrama de simulación del proceso para obtención de etanol anhidro



Los resultados de la simulación se muestran en la Tabla 1. Donde se exponen los valores de flujo para las corrientes principales del sistema tecnológico, así como la composición de cada elemento presente.

**Tabla 2.** Resultados de la simulación del proceso con datos reales

Corriente	Componente	Flujo (kgmol/h)	Composicion (fracmas)
Alimentacion	Etanol		0.9507
	Agua	68.84	4.92E-02
	Benceno		0
Alcohol anhidro	Etanol		0.9886
	Agua	62.49	1.14E-02
	Benceno		1.00E-05
Agua residual	Etanol		2.56E-04
	Agua	6.2647	0.9997
	Benceno		0
Ra	Etanol		0.4043
	Agua	206.7434	1.03E-02
	Benceno		0.5852

**Tabla 1.** Resultados de la simulación del proceso

**2.SIMULACIÓN DEL PROCESO CON DATOS REALES DE ALIMENTACIÓN**

El proceso de obtención de etanol anhidro se simula empleando datos reales obtenidos de la destilería Agustín Rodríguez Mena ubicada en la provincia de Villa Clara. Los datos reales son: temperatura 79.30 °C, presión 101.33 kPa, flujo molar 41 kgmol/h, fracción másica etanol 0.927, agua 0.073 y benceno 0.0000.

Se obtiene una composición del etanol anhidro en el fondo de la columna de 0.9974 en fracción másica. Se observa que el contenido de alcohol es mayor en la simulación con datos reales. Ver Tabla 1 y Tabla 2.

Corriente	Componente	Flujo (kgmol/h)	Composicion (frac mas)
Alimentacion	Etanol		0.927
	Agua	41	7.30E-02
	Benceno		0
Alcohol anhidro	Etanol		0.9973
	Agua	34.1776	2.61E-03
	Benceno		1.00E-05
Agua residual	Etanol		2.56E-04
	Agua	6.6405	0.9997
	Benceno		0
Ra	Etanol		0.4029
	Agua	206.2703	1.04E-02
	Benceno		0.5866

**2.1Perfiles de temperatura, presión y composición en columna de obtención de alcohol anhidro**

En la simulación del proceso para la obtención de alcohol anhidro se observa cómo se comportan las variables principales, siendo estas: temperatura, presión y composición del etanol en la columna de destilación empleada. De manera gráfica se muestra en los sub-epígrafes siguientes.

**2.1.1Perfil de temperatura en columna T-100**

Se observa en la Figura 2 el perfil de temperatura para la columna de destilación que utiliza benceno como solvente. La temperatura en esta columna va aumentando desde 66.2 °C aproximadamente hasta el plato 30 o último que posee una temperatura de 78.5 °C. Teniendo un aumento significativo entre el plato 20 y 25.

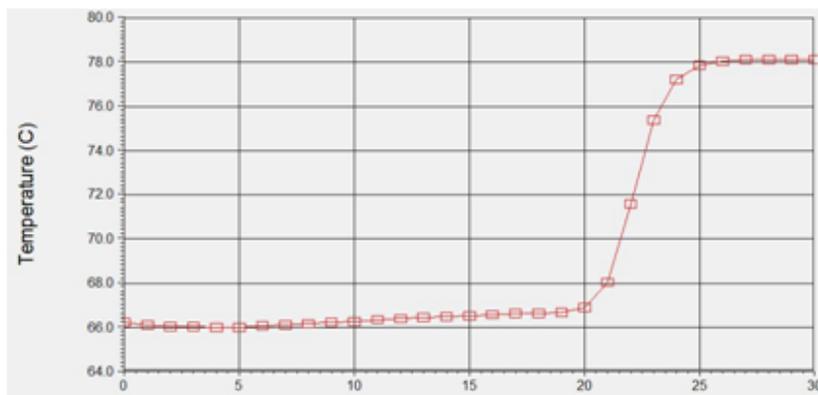


Figura 2. Perfil de temperatura columna T-100

### 2.1.2 Perfil de presión en columna T-100

En la Figura 3 se muestra el perfil de presión de la columna de destilación. Se observa que la presión se mantiene constante a medida que cambia el número de bandeja en la torre en un valor de 101 kPa.

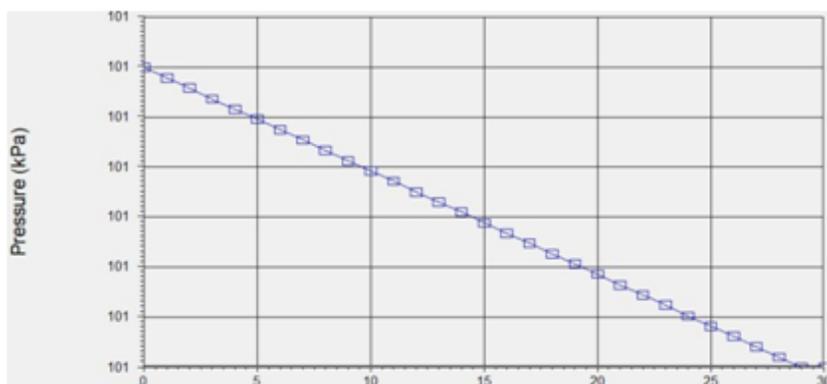


Figura 3. Perfil de presión columna T-100

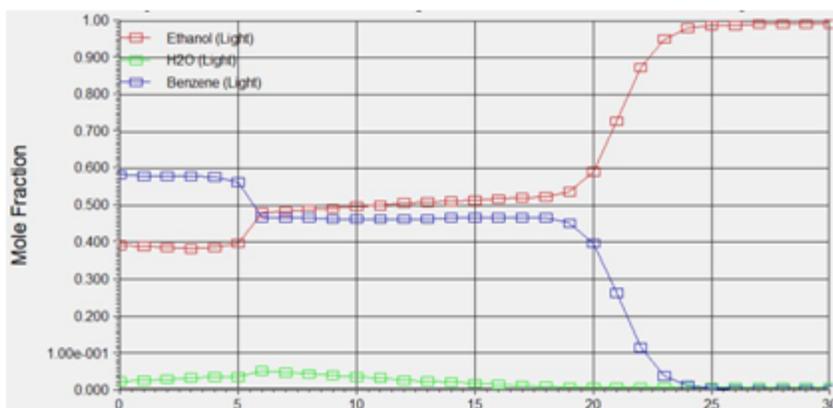


Figura 4. Perfil de composición columna T-100

### 2.1.3 Perfil de composición en columna T-100

El comportamiento del perfil de composición en la torre destiladora se muestra en la Figura 4 observando los 3 compuestos que participan en el proceso. Se señala la actuación que tiene cada uno a lo largo de la torre, el etanol comienza en valores de alrededor de 0.39

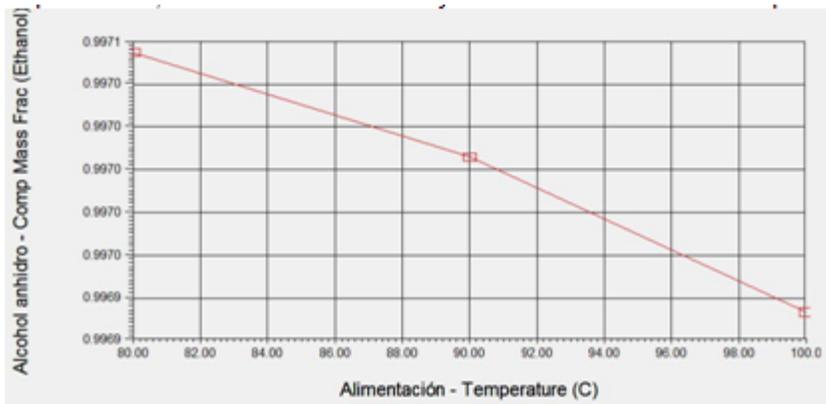
llegando a alcanzar en el plato 30 valores muy cercanos a 1. Mientras el agua se mantiene casi constante en fracciones ínfimas, y el benceno comienza cerca de 0.6 y va disminuyendo hacia el plato 30 hasta valores ínfimos cercanos a los del agua.

### 2.2 Aplicación al modelo

En la simulación realizada con datos reales en el proceso de deshidratación de alcohol se analiza la influencia o dependencia de algunas variables respecto a otras a través de casos de estudio. Entre ellas se encuentra la influencia de la temperatura en la alimentación con el contenido de alcohol obtenido, y otras que se muestran a continuación.

#### 2.2.1. Caso de estudio de la influencia de la temperatura de la mezcla inicial y la composición másica fraccional del etanol anhidro

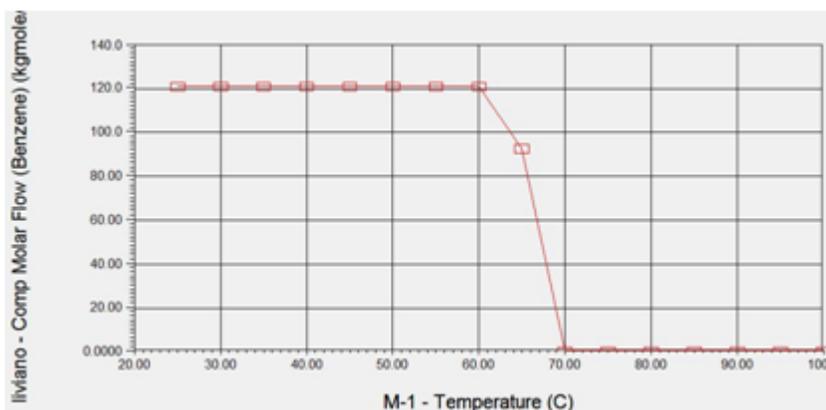
Como es conocido, la temperatura en operaciones como esta es muy importante y determinante, teniendo la composición gran dependencia con la misma. Se aprecia en la Figura 5 que la composición de alcohol anhidro resultante irá disminuyendo con el aumento de la temperatura, alcanzando su mayor valor cuando la temperatura es 80 °C.



**Figura 5.** Temperatura alimentación vs. Fracción másica etanol anhidro

**2.2.2**Caso de estudio de la influencia de la temperatura de *M-1* respecto a la composición de flujo molar del benceno en corriente *Liviano*

Este caso de estudio representa la influencia de la temperatura de la corriente *M-1* ante el flujo molar del benceno en la corriente *Liviano*, siendo la salida del intercambiador de calor situado en el sub-diagrama de flujo y entrada al separador de 3 fases. Se observa en la Figura 6 que en el rango de temperatura entre 25 y 60 °C se mantiene constante el flujo de benceno en un valor de 120 kgmol/h, y disminuye bruscamente hasta un flujo igual a cero entre 60 y 70 °C manteniéndose constante hasta alcanzar los 100 °C.



**Figura 6.** Temperatura corriente *M-1* vs. Composición de benceno en corriente *Liviano*

**2.2.3**Caso de estudio de la influencia del flujo molar de la alimentación respecto a la composición de etanol en el flujo molar del alcohol anhidro

En este caso de estudio el flujo molar de la alimentación actúa como variable independiente frente a la composición del etanol a la salida de la primera torre, donde se obtiene alcohol anhidro por

el fondo. En un rango entre 50 y 80 kgmol/h se puede observar en la Figura 7, que la composición del etanol aumenta simultáneamente, desde un valor de 42 hasta 67 kgmol/h, para el estudio realizado.

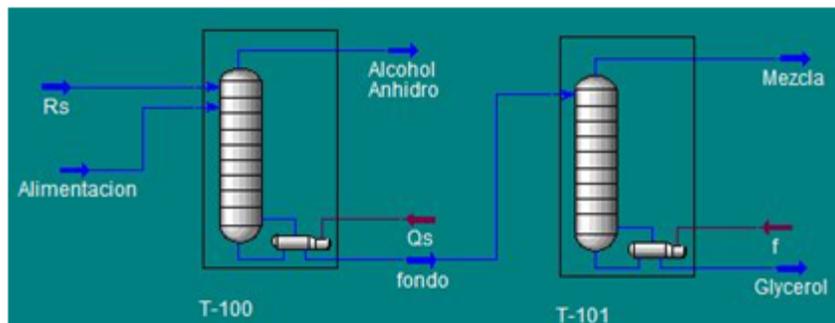
### 3.SIMULACIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL ANHIDRO UTILIZANDO GLICEROL

El alcohol anhidro se puede obtener por destilación azeotrópica y por destilación extractiva, utilizando una sustancia de arrastre o solvente, que es la encargada de romper el punto de azeotropía para el primer caso. En la destilación extractiva según lo reportado en la literatura, se utiliza, entre otros, el glicerol como solvente [2].

Para la obtención del producto se propone una alternativa tecnológica que se simula para comprobar su efectividad en cuanto a nivel de etanol anhidro alcanzado. Esta variante consta de 2 columnas de destilación, en la primera se obtiene *alcohol anhidro* por el tope, mientras el *fondo* consiste en una corriente de mezcla donde predomina

el contenido del solvente o sustancia de extracción, glicerol en este caso. La corriente del *fondo* pasa a una segunda columna para recuperar la mayor cantidad posible del glicerol, donde se obtiene un flujo de 0.5 kgmol/h de glicerol puro, ver Tabla 3. La salida de la columna por el tope es una *mezcla* de alcohol, agua y glicerol. La primera columna se compone de 30 platos y la segunda de 10

solamente. El diagrama de simulación se observa en la Figura 8. La concentración de etanol anhidro obtenida es de 0.9951 en fracción másica. En este caso si se fuese a recircular alguna corriente sería la del fondo, por poseer mayor contenido de glicerol y contribuir así al ahorro por concepto económico. No siendo igual cuando se emplea el benceno, ya que este es mucho más ligero que el glicerol.



**Figura 8.** Diagrama de simulación utilizado glicerol en la obtención de alcohol anhidro

Los resultados de la simulación extractiva se muestran en la Tabla 3, donde se exponen los valores de flujo para las corrientes principales de la variante implementada, y la composición de los compuestos presentes

Corriente	Componente	Flujo (kgmol/h)	Composicion (frac mas)
Alimentacion	Etanol		0.927
	Agua	41	7.30E-02
	Glicerol		0
Alcohol anhidro	Etanol		0.9951
	Agua	34.9659	4.66E-03
	Glicerol		2.11E-04
Fondo	Etanol		1.48E-01
	Agua	256.034	1.08E-02
	Glicerol		0.8416
Mezcla	Etanol		0.1478
	Agua	255.534	1.08E-02
	Glicerol		0.8412
Glicerol	Etanol		0
	Agua	0.5	0
	Glicerol		1

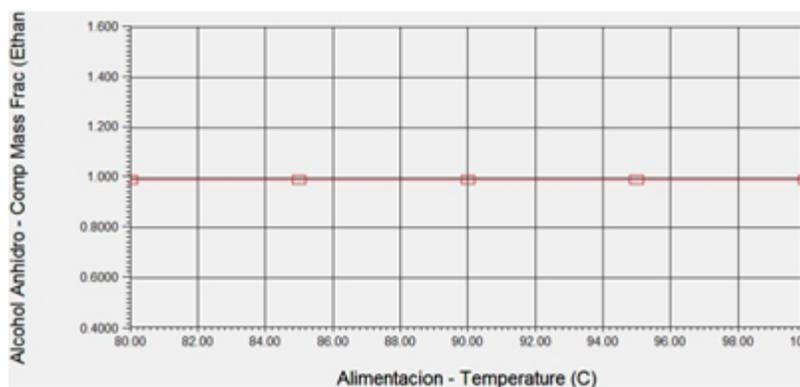
**Tabla 3.** Resultados de la destilación extractiva

### 3.1 Casos de estudio

En la alternativa de la destilación extractiva utilizando glicerol se realizan casos de estudio, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con los del proceso por destilación azeotrópica. Se estudia la influencia de la temperatura de la alimentación con el contenido de alcohol anhidro obtenido, y la relación o influencia del flujo molar de la corriente  $R_s$ , donde se alimenta el solvente extractivo, y la composición molar fraccional del etanol en la corriente del tope de la primera columna, o sea, en el *alcohol anhidro*. Estos casos se ilustran a continuación.

### 3.1.1 Caso de estudio de la influencia de la temperatura de la alimentación y la composición másica fraccional del etanol anhidro obtenido

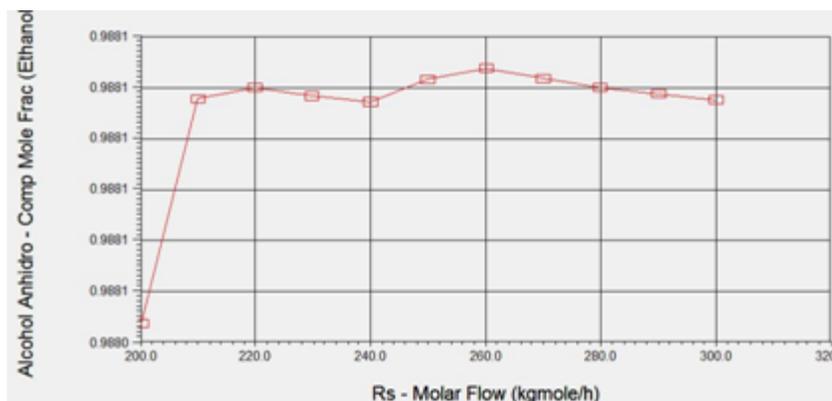
Como es conocido, la temperatura en operaciones de este tipo es muy importante, por ende se realiza un caso de estudio variando la temperatura desde 60 a 80 y de 80 a 100 °C. Como se aprecia en la Figura 9, la composición no varía con la temperatura entre los rangos establecidos anteriormente, manteniéndose en un valor de 0.9951 en fracción másica.



**Figura 9.** Temperatura alimentación vs. Composición másica fraccional del etanol anhidro

**3.1.2** Caso de estudio de la influencia del flujo molar de  $R_s$  y la composición molar fraccional del etanol anhidro

En este caso de estudio se analiza cómo influye el cambio del flujo molar de la corriente  $R_s$ , portadora del glicerol, con la composición molar del etanol anhidro en la corriente de salida por el tope de la columna. Según lo mostrado en la Figura 10 a medida que aumenta el flujo molar de  $R_s$  en el rango comprendido entre 200 y 300 kgmol/h la composición varía entre valores de 0.98804 a 0.9881, manteniéndose aproximadamente constante a partir de los 210 kgmol/h de flujo de  $R_s$ .



**Figura 10.** Flujo molar de  $R_s$  vs. Composición molar fraccional de etanol anhidro

**4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para la obtención de etanol anhidro, producto de importancia tanto en la industria química como farmacéutica, se decide implementar en el software de simulación ASPEN-HYSYS v3.2 dos variantes. La primera de ellas mediante destilación azeotrópica utilizando el benceno como solvente o sustancia de arrastre, y la segunda por destilación extractiva empleando el glicerol. Ambas se simulan con datos reales obtenidos de la alimentación para la producción de alcohol fino y superfino en la destilería Agustín Rodríguez Mena, ubicada en la provincia de Villa Clara.

El esquema tecnológico de la destilación azeotrópica contiene un número mayor de equipos que la alternativa del glicerol, encontrándose por tanto en desventaja desde el punto de vista técnico y económico, ya que requiere más suministro de energía y mayores gastos en concepto de mantenimiento y reparación.

El glicerol se puede obtener puro por la corriente del fondo de la segunda columna pudiendo ser empleado como materia prima en otro proceso; mientras el benceno contenido en la mezcla de la corriente  $R_c$  se recicla a la primera torre ayudando al ahorro en el suministro del mismo.

Se observa que el mayor contenido de alcohol anhidro se obtiene para la destilación azeotrópica con benceno utilizando datos reales, donde se alcanza un valor de 0.9974 en fracción másica mientras que, en la destilación extractiva con glicerol, solamente se logra un 0.9951 en iguales unidades.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por los

casos de estudio realizados, se puede afirmar que para un cambio en la temperatura de la alimentación en el proceso de destilación azeotrópica, a medida que aumenta esta irá disminuyendo la composición del alcohol resultante; mientras que en la destilación extractiva la composición se mantiene constante con el aumento de dicha variable.

Para su comprobación ver

Figura 5 y Figura 9.

Igualmente, se puede decir que la influencia que posee la temperatura de la alimentación en el caso de la destilación azeotrópica sobre el contenido másico fraccional del etanol en la corriente de agua residual, para temperaturas entre 80 y 100 °C, es insignificante. La variación que existe en la composición del etanol anhidro de 80 a 90 °C es de  $2.558^{-4}$  a  $2.556^{-4}$ , y luego de 90 a 100 °C es de  $2.556^{-4}$  a  $2.557^{-4}$ . Estos resultados se deben a la presencia del sub-diagrama utilizado dentro del equipo Decantador, en el que se fijan las condiciones de las corrientes de salida, identificadas como *liviano* y *pesado*, a temperatura y presión de flasheo constante.

**Conclusiones**

De acuerdo a los resultados obtenidos y su análisis se puede concluir que con la simulación de la destilación azeotrópica, empleando datos reales, se obtiene el mayor contenido de alcohol anhidro, alcanzándose un valor de 0.9974 en fracción másica

mientras que en la destilación extractiva con glicerol, solamente se logra un 0.9951 en iguales unidades. Se obtienen los perfiles de temperatura, presión y composición para la torre de destilación azeotrópica coincidiendo estos con el comportamiento teórico de dicho proceso. Se realizan casos de estudio donde se analiza principalmente la influencia de la temperatura de la alimentación con la composición del etanol anhidro a la salida de la torre. Pudiendo decir que para un cambio en esta variable en la destilación con benceno a medida que aumenta la temperatura irá disminuyendo la composición del alcohol resultante; mientras que en la destilación extractiva con glicerol la composición se mantiene constante con el aumento de la misma.

### Referencias Bibliográficas

1. MORTAHEB, H.y.K., H., *Simulation and optimization of heterogeneous azeotropic distillation process with a rate-based model*. Chemical Engineering and Processing, 2004. **43**: p. 59-65.
2. Julián Andrés Quintero, M.I.M., Oscar Julián Sánchez, Carlos Ariel Cardona, *Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2007. **5**: p. 72-83.
3. Hamid, M.K.A., HYSYS: An introduction to Chemical Engineering simulation.
4. Treybal, R.E., *Operaciones con transferencia de masa*. 2 ed. 1980, Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
5. McCabe, W.L. and J.C. Smith, *Operaciones básicas de Ingeniería Química*. 1 ed. Vol. 2. 1986, Ciudad de La Habana: Editorial Revolucionaria.
6. Kasatkin, A.G., *Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química*. Vol. 1, 2. 1985: Pueblo y Educación.
7. V. M. Beckley, C.A.P., E. A. Campanella (2005) *Comparación de Secuencias de Deshidratación de Etanol por Destilación Extractiva con Benceno*. Información tecnológica **16**, 35-42.