

## Titulo

**Propuesta de una planta para la obtención de un disolvente rico en acetato de etilo a partir de alcoholes de cabeza, en el proceso de purificación de etanol**

**Proposal of a Plant for the obtaining of a rich solvent in Ethyl Acetate starting from head alcohols, in the process of purification of ethanol**

**Nancy López Bello, Irenia Gallardo Aguilar, Juan Bautista de León Benítez, Elena Rosa Domínguez**

**Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní**

**km 5 ½, Santa Clara, CP 54830, Villa Clara, Cuba.**

**e-mail: [nancyl@uclv.edu.cu](mailto:nancyl@uclv.edu.cu), teléfono 211825**

### Resumen.

El trabajo forma parte de investigaciones realizada en la Universidad Central “Mart Abreu” de Las Villas, para la diversificación de las industrias productoras de alcohol etílico de alta calidad, mediante el aprovechamiento de alcoholes de baja calidad o de mal gusto, en la obtención de un producto de alto valor agregado, como son las mezclas concentradas en acetato de etilo, para ser empleadas como disolvente.

De los resultados de la investigación realizada a escala de laboratorio, empleando dos alternativas, tecnología mediante dilución-destilación, variando la relación agua-etanol o concentración alcohólica y por reacción química, se toma la mejor alternativa en cuanto a calidad del producto y factibilidad y se realiza la propuesta de la planta.

**Palabras clave:** Etanol, acetato de etilo, destilación, tecnología

### Abstract

The present work is part of a research carried out at the Central University of Las Villas, for the diversification of high quality ethylic alcohol industries, by using low quality alcohols or bad taste, in obtaining a product of high added value, as the concentrated on ethyl acetate mixtures, to be used as solvent. From de results of the research carried in laboratory scale, using two alternatives, technology by means of dilution-distillation, varying the relation water-ethanol or alcoholic concentration and for chemical reaction, the best alternative in quality of the product and feasibility is taken and a proposal of an investment is put into consideration.

**Key words:** Ethanol, ethyl acetate, distillation, technology.

## Introducción

En el proceso de producción del etanol por vía fermentativa, se originan un conjunto de compuestos como congéneres del mismo durante la etapa de fermentación y reacciones que ocurren en la propia destilación y que constituyen impurezas del mismo, entre ellos se encuentran el metanol, ésteres, aldehídos, alcoholes superiores, ácidos grasos volátiles, impurezas que contienen azufre, etc.<sup>2,4</sup>

Para la purificación del alcohol etílico, para ser usado con diferentes fines, se han derivado una serie de teorías acerca de la eliminación de las impurezas presentes de las cuales se pueden mencionar a la teoría de la volatilidad relativa, la teoría de la solubilidad de Sorel y la teoría del coeficiente de purificación de M. Barbet. Esta última es una modificación de la teoría de la solubilidad de Sorel y su coeficiente traduce de una manera más exacta y precisa la marcha de la purificación para el producto considerado. De acuerdo a ellas:

1. Si la VR o  $K' > 1$  las impurezas son de cabeza (aldehídos, acetato de etilo, formiato de etilo).
2. Si la VR o  $K' < 1$  las impurezas son de cola (ácidos, principalmente acético furfural).
3. Si la VR o  $K' < 1$  o  $> 1$  las impurezas son híbridas (alcoholes superiores como amílico, metanol).

En los tres grupos hay impurezas que son directamente proporcionales al grado alcohólico y otras inversamente proporcionales por lo que será más o menos difícil su eliminación. Es por ello que para su separación se emplean diferentes columnas de destilación, entre ellas, para la eliminación de las impurezas de cabeza, se emplean las columnas depuradoras que pueden ser sin y con hidroselección (con agua o flemas).

## Desarrollo

### Acetato de etilo. Obtención

El acetato de etilo es una sustancia que cae dentro de las impurezas de cabeza que acompañan al etanol y que es inversamente proporcional al grado alcohólico. El mismo puede ser utilizado para preparar esencias artificiales de frutas, pues su olor es parecido al de la piña, también se utiliza como solvente para nitrocelulosa, barnices, laca, etc. Además se emplea en la fabricación de cuero artificial, películas fotográficas, seda artificial, perfumes, etc.

A nivel mundial se conocen múltiples formas de obtener el acetato de etilo, siendo las más importantes las siguientes:

1. La esterificación de alcohol etílico con ácido acético en presencia de ácido sulfúrico como catalizador.
2. A partir del acetaldehído por una reacción de dimerización con la presencia de óxido de aluminio. A partir de éstas reacciones se han desarrollado otros métodos variando en ocasiones el catalizador y otras formas de separación.

Del análisis de los métodos revisados<sup>3,5</sup> y otros referidos en la revisión de patentes, se aprecia que la mayoría de estos emplean el proceso de destilación extractiva y la destilación Azeotrópica, sólo Sasaki Takaharu plantea la separación del acetato de etilo de mezclas de alcohol y agua por destilación tradicional y sin previa dilución de estas, o sea que basado en las diferentes tecnologías para la obtención del acetato de etilo, los estudios para lograr producir o recuperar este deben dirigirse en dos direcciones: por destilación y por reacción química. Las vías por reacción química generalmente son más costosas para ser llevadas a cabo a escala industrial y el éster debe ser destilado a partir de la mezcla obtenida la que presenta un azeótropo ternario con alcohol etílico y agua y por tanto después de la reacción se incluirá siempre ésta como operación auxiliar.<sup>6</sup>

Partiendo de todo este estudio teórico se planteó como **problemática científica:**

La recuperación de las impurezas de cabeza que acompañan al bioetanol para la obtención de productos de alto valor agregado, contribuyendo al desarrollo de la industria alcoquímica en Cuba.

### Materiales y métodos

Por solicitud del MINAZ, para darle otro uso a los alcoholes de cabeza que no fuera solamente su empleo como combustible casero y así diversificar la industria alcoholera, y por la disponibilidad de suficientes cantidades de estos alcoholes obtenidos de las columnas hidroseladoras y rectificadoras en la obtención de alcohol extrafino en la Destilería ALFICSA de Cienfuegos, se realizó el estudio de separación y recuperación de estas cabezas a escala de laboratorio. Se estudiaron dos vías o alternativas a escala de laboratorio según lo que se reporta en la bibliografía (Parte Experimental)<sup>1</sup>

**Alternativa I:** Proceso Físico. Lavado del alcohol de mal gusto y su posterior destilación.

**Alternativa II:** Proceso Químico. Reacción química del alcohol de mal gusto con ácido acético y su posterior destilación.

Con la mejor alternativa seleccionada experimentalmente que fue el proceso físico por ser la vía más efectiva desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, y dentro de este el experimento No. 5, se procede a la propuesta de la planta de producción.

### Descripción del proceso tecnológico

La planta propuesta fue diseñada para tratar la cantidad de 3 000 L/d de alcohol de mal gusto (cabezas), de acuerdo al esquema de la figura 1.

El alcohol de mal gusto procedente de los tanques de almacenamiento de la destilería a razón de 3 000 l/día es bombeado al tanque disolutor TK-1 donde se diluirá con agua a razón de 2 400 l/día, para obtener un flujo de mezcla alcohólica de 5 400 l/día a 50 °GL a temperatura ambiente. Esta mezcla es almacenada en el tanque de almacenamiento TK-2 para ser alimentada a la etapa de destilación.

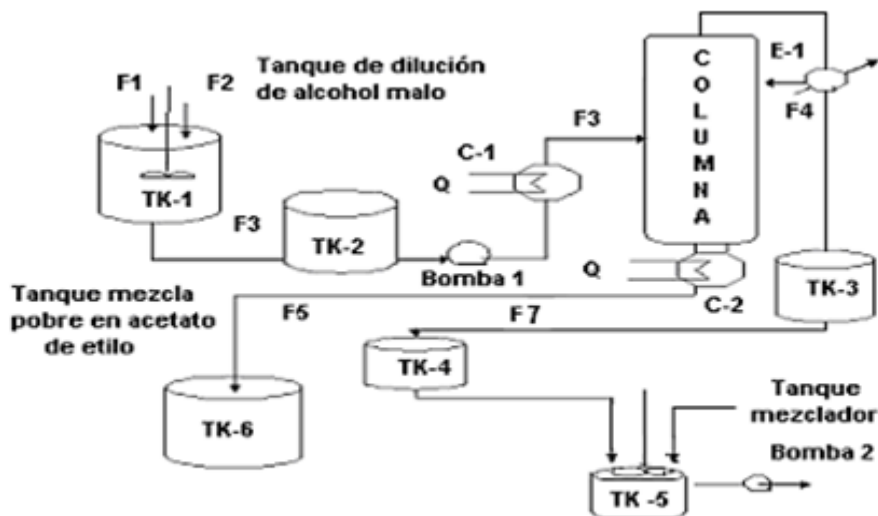


Figura 1 Esquema de la planta de producción del disolvente

Leyenda:

F1: Cantidad de alcohol de mal gusto a tratar. (211,54 kg/h)

F2: Cantidad de agua para llevar el alcohol a 50 °GL.

F3: Flujo de alimentación de alcohol diluido a 50 °GL a la columna de destilación.

F4: Flujo de destilado refluja rico en acetato de etilo.

F5: Flujo de residuo pobre en acetato de etilo.

F6: Cantidad de alcohol rico en acetato de etilo al tanque dosificador.

F7: Cantidad de acetato de etilo puro.

TK-1: Tanque para dilución del alcohol.

TK-2: Tanque de almacenamiento del alcohol diluido.

TK-3: Tanque para almacenar destilado rico en acetato de etilo de la columna.

TK-4: Tanque para dosificar el destilado rico en acetato de etilo.

TK-5: Tanque para mezclado del destilado con acetato de etilo puro.

TK-6: Tanque de almacenamiento de residuo.

Q- Calor necesario para la destilación.

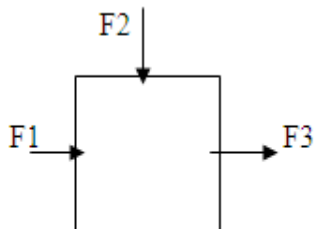
La mezcla alcohólica proveniente del tanque TK-2 de almacenamiento, ubicado en el área de destilación, se introduce en la columna destiladora CL-1 a razón de 5 400 lt/día una vez precalentada

a su punto de ebullición en el Intercambiador de calor C-1. Por el pie sale el residuo alcohólico libre de impurezas de cabeza que caen por gravedad en el calderín C-2 para formar la fase de vapor en la columna, en el cual una parte de la mezcla es evaporada y la otra se obtiene como producto residual que es enviado al Tanque TK-6. Los vapores ricos en productos de cabeza que se desprenden en la parte superior de la columna pasan al condensador total E-1, donde una parte del condensado se recircula a la columna a razón de 8 307 L/día y la otra se obtiene como productodestilado a razón de 1 034 lt/día el cual es enviado por gravedad hacia el tanque TK-3, previsto en este caso para almacenamiento de destilado durante 20días.

Como el destilado obtenido no posee las características totalmente necesarias para disolvente, se hace necesario mezclarlo con cierta cantidad de acetato de etilo puro, que entra en los costos de materias primas. El tanque TK-4 se emplea como dosificador para la preparación de la mezcla diluyente. La columna funciona a presión atmosférica. El destilado procedente del Tanque dosificador TK-4 es enviado por gravedad a razón de 1 000 L/día hacia el Tanque mezclador TK-5 donde se adicionan 177 L/día de acetato de etilo técnico, para obtener 1 177 L/día de producto final, despachado por la bomba 2.

**Balances de materiales**

Balance en el TK-1 para determinar la cantidad de agua a añadir para obtener una mezcla de alcohol ..... °GL.



$F1 + F2 = F3.$

Donde:

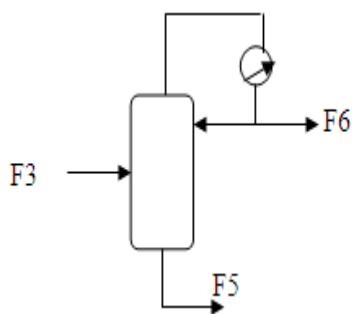
F1: flujo de alcohol de mal gusto de 90 °GL = 3 000 L/día = 211,54 kg./h

F2: agua a añadir para lograr la mezcla de 50°GL

Del balance se obtiene:

F3 = 5 400 L/día = 308,7 kg/h      F2= 2 400 L/día = 240 kg/h

**Diseño de la columna de destilación**



En la columna se requiere obtener 34,96 kg/ h de productos:

Por tanto  $F6 = 34,96 \text{ kg/ h} = 943 \text{ L/día}$

Del Balance total:       $F3 = F5 + F6$

Resultando       $F5 = 273,74 \text{ kg/h} = 6 704 \text{ L/día.}$

En la tabla 1 se reflejan las composiciones de los componentes fundamentales para cada una de las corrientes.

**Tabla 1. Composición fracción volumétrica de cada corriente**

**Dimensionamiento de la columna de destilación**

Con los resultados obtenidos en los balances de materiales se procedió entonces al diseño de la columna de destilación por ser el equipo principal. Se diseñó primeramente una columna de platos perforados trabajando a presión atmosférica y posteriormente se analizó una columna rellena con anillos Rasching empleando la metodología de la altura equivalente al plato teórico (HETP), que fue la que se decidió tomar por ser una columna pequeña, tener menor caída de presión y de más facilidad en su construcción. Un resumen de las dimensiones de estos equipos principales y los tanques se ofrece en las tablas 2 y 3. Los costos se muestran en la tabla 4.

Compuesto	F3	F6	F5
-----------	----	----	----

Etanol	0,5	0,88	0,23
Acetato de Etilo	0,007	0,064	0,0006
Agua	0,481	0,044	0,7694
Acetaldehído	0,012	0,012	0,0

**Tabla 2. Dimensionamiento de los tanques**

Tanque	Volumen(m <sup>3</sup> )	Diámetro (m)	Altura (m)
TK-1	6,00	2,00	1,91
TK-2	2,70	1,51	1,50
TK-3	20,00	3,00	2,83
TK-4	1,00	1,00	1,27
TK-5	1,03	1,00	1,31
TK-6	6,70	2,00	2,134

*Tabla 3. Dimensiones de la columna de destilación rellena*

Variable	Resultados
Empaque de Anillos Rasching cerámicos	15x15x2mm.
Diámetro m	0,305
Número de platos teóricos	2,99
Altura equivalente al plato teórico. (HETP) (m)	0,608
Altura total de empaque en la torre (m)	2,0
Altura total de la torre (m)	3,50
Caída de presión en la torre (Pa)	1100

**Tabla 4. Costos de adquisición de equipos principales**

Equipo	Costo USD
--------	-----------

Columna	7000
Condensador	130
Calderín C-1	205
Calderín C-2	205
Tanques	35 257,80
Bombas	1960

**Tabla 5 Indicadores dinámicos de las alternativas variando precios**

<b>Alternativas para diferentes precios del Producto</b>					
<b>Precio del Disolvente USD/L</b>	<b>VAN MUSD</b>	<b>TIR %</b>	<b>PRD Años</b>	<b>RVAN USD/USD</b>	<b>Pto .Equil. % Produc.</b>
1,95	41,00	17,00	7,50	0,75	26,20
2,00	107,00	26,00	4,50	1,95	22,50
2,15	303,00	48,00	2,50	5,50	15,90
2.25	432,00	71,00	1,80	7,84	13,30
2.35	564,00	75,00	1,70	10,23	11,40
2.50	760,00	96,00	1,60	13,77	9,40

### Resultados

Los resultados en el diseño de la planta, son favorables para las variantes con precios del producto a partir de 2.00 USD, siendo los precios más atractivos a partir de 2.15 USD por el tiempo en que se recupera la inversión y el valor del RVAN. El punto de equilibrio es de 17 271 L/ año para el precio de 3 USD/año y de 53 822 L/año para el precio de 2.00 USD.

Con este análisis se demuestra que la producción es factible aun manteniendo precios de 2.00 USD/ L, los cuales son inferiores a los valores en que se comercializa el producto actualmente.

Se deja como un margen de ganancia adicional la venta del alcohol de fondo, el cual no fue considerado en el trabajo

Con estos valores se determinaron los indicadores de rentabilidad de la inversión, VAN, TIR, PRD, RVAN utilizando diferentes precios para el producto y considerando la venta del alcohol residual. Además se determinó el punto de equilibrio para cada una de las variantes. En la tabla 5 se muestra un resumen con los indicadores calculados.

## Conclusiones

1. Las dos variantes estudiadas en la obtención de un disolvente concentrado en acetato de etilo a partir de alcoholes malos, permiten la recuperación de un desecho de las fábricas de alcoholes finos, empleado como combustible, en un producto de alto valor agregado.
2. La tecnología propuesta para el aprovechamiento del alcohol de mal gusto utilizando la variante de dilución previa a la destilación hace el proceso rentable brindando una ganancia de 2 516 288 \$/a.
3. El análisis de sensibilidad para la producción del disolvente rico en acetato de etilo brinda que la producción es factible para precios del mismo a partir de 2.00 USD/L, de acuerdo a los indicadores económicos obtenidos, aunque los precios más atractivos son a partir de 2.15 USD/L.

## Bibliografía

1. López, B. N.: Alternativas de obtención de productos de alto valor agregado a partir de bioetanol mediante técnicas de destilación, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Cuba, 2005.
2. Navarro Campa: Importancia de la destilación de alcohol en la corporación Cuba-ron. S.A., 16 pp., 1996. (Folleto)
3. Van Dyk, Braam: Patente AU3069700, AU.2000
4. Villena, M.: Destilación de alcohol. Eliminación de impurezas, España, pp., 1990. (Folleto)
5. Wu, Zhihua: Patente CN1269253 CN, 2000.
6. . . . . . *Handbook of Chemistry and Physics, a ready – referece book of Chemical and Physical data*, 61<sup>ST</sup> Edition, 1981, section D-21.