

Diseño de la etapa de purificación para la obtención de acetato de isoamilo a partir del aceite de fusel

Design stage of purification for obtaining isoamyl acetate from oil fusel

Ing. Yuneisy Devora-Rodríguez, Dra.C. Nancy López-Bello, nley@uclv.edu.cu, Ing. Ana Celia de Armas-Martínez, Dr.C. Néstor Ley-Chong

*Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia.
Universidad Central de las Villas, Villa Clara, Cuba*

Resumen

En el presente artículo se realizó un diseño preliminar de la etapa de purificación para la obtención de acetato de isoamilo a partir del aceite de fusel. Para esto, se presentó la tarea de inversión y proyección teniendo en cuenta la calidad del producto, el posible mercado y las principales instituciones inversionistas, fue establecido el proyecto técnico en el que se realizaron los balances de materiales, de energía y los volúmenes de producción para el diseño de planta empleando como principales herramientas la vigilancia tecnológica y el Excel. Para un flujo de 263,14 kg/h de ésteres y residuos de la esterificación del aceite de fusel se obtuvo un 94,26 kg/h de acetato de isoamilo. Los principales equipos diseñados en el proceso fueron el mezclador, separador y la columna de destilación. Con el empleo de Microsoft Project fue establecido el orden de las diferentes actividades para la ejecución del proyecto concebido en un período de siete meses. En el análisis económico se concluyó que el mismo solo será factible si este se desarrolla como planta anexa a las destilerías instaladas.

Palabras clave: aceite de fusel, acetato de isoamilo, equipos, economía, purificación.

Abstract

In this paper was performed a preliminary design of the purification step for obtaining isoamyl acetate from fusel oil. For this task investment and projection are presented considering the quality of the product, the possible market and major investment institutions, was established technical project in which material balances, energy and production volumes to be performed plant design using as main tools technological surveillance and Excel. For a flow of 263, 14 kg / h of esters and esterification of waste fusel oil that was about 94, 26 kg / h of isoamyl acetate. Major equipment in the process was designed mixer, separator and distillation column. With the use of Microsoft Project was established by the different activities for the implementation of the project conceived in a period of seven months. In the economic analysis concluded that it will only be feasible if the plant develops as annexed distilleries installed.

Keywords: fusel oil, isoamyl acetate, equipment, economic, purification.

Introducción

Durante el proceso de fermentación además de alcohol se forman pequeñas cantidades de otras sustancias que son producto de las reacciones químicas en el medio, de fenómenos biológicos que ocurren por las levaduras y de la presencia de bacterias contaminantes. Entre estas sustancias se encuentra una mezcla de alcoholes superiores que constituyen el llamado aceite de fusel que está constituido por varios alcoholes (principalmente etanol, isobutanol y alcohol isoamílico).

Este producto que es extraído en el proceso de rectificación del alcohol, generalmente es usado como combustible para suministrar energía, aunque en la actualidad se destacan otros usos importantes del mismo.

El aceite de fusel como mezcla de alcoholes superiores contiene en sí una proporción mayoritaria de alcohol isoamílico, el cual al ser separado puede ser utilizado como materia prima para la obtención de acetato de isoamilo, éste puede representar un compuesto con un buen valor agregado en la industria.

El aceite de fusel proveniente de distintas destilerías podrá ser utilizado también para la satisfacción de la demanda de los diversos ésteres como son (acetato de etilo, de n-propilo, de isobutilo y el de isoamilo) que utilizan industrias tales como la alimenticia, los cosméticos, farmacéutica, entre otras, lo que beneficiará no solo a esas industrias, sino también a las propias destilerías que de esta forma le darán un uso al aceite de fusel que obtienen, posibilitándose así la reducción de las importaciones de algunos ésteres, también puede ser usado para darle el toque especial que llevan algunas bebidas como el whisky, Siwucha, la cerveza tradicional inglesa y sidras.

En la actualidad diversas investigaciones están encaminadas a la búsqueda de posibles tecnologías para la obtención de productos de alto valor agregado a partir del Aceite de fusel, el cual, solo se emplea como combustible en los generadores de vapor, por lo que es necesario seguir ampliando las mismas para lograr su desarrollo y futura aplicación [1].

Por tal motivo, se requiere diseñar la etapa de purificación con el objetivo de obtener coproductos a partir del aceite de fusel, específicamente el acetato de isoamilo que es un producto de alto valor agregado, lo que hace posible que la planta sea factible económicamente.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del diseño de la etapa concebida, se realizan un conjunto de acciones con el propósito de racionalizar los recursos disponibles y estas van dirigida a:

- 1- Elaborar la tarea de inversión y proyección.
- 2- Ejecutar tareas del Proyecto Técnico.
- 3- Realizar la Programación del proyecto y una evaluación económica.

El aceite de fusel es un residuo de la destilación alcohólica al cual mediante procesos de separación, reacción y purificación de los productos, se le pretende dar uso y obtener un compuesto de alto valor agregado con diversos usos.

El acetato de isoamilo, es el único éster capaz de comunicar al vino su olor característico a plátano. Se encuentra tanto en vinos blancos como tintos, se usa como saborizante en la industria alimenticia. Tiene usos en la industria de cosméticos, farmacéutica, como lubricante y solvente [3]. Además juega un papel importante en el mecanismo de comunicación de las abejas obreras actuando como una feromona de alarma.

Es un líquido incoloro transparente con olor a plátano, inflamable presentando peligro de incendio. Su peso molecular es de 130,19 g/mol y punto flash 25°C, su temperatura de ignición es 380°C, la presión de vapor 4 mmHg a 20°C y la solubilidad en agua de 0.1-1 g/100 mL.

Por las características de la materia prima y el producto a obtener se ubicará la planta anexa a una destilería para garantizar el suministro y minimizar los costos de transportación de la materia prima. Se propone que sea en la región central, específicamente en la provincia de Villa Clara. Para ello, además se tuvo en cuenta la existencia de industrias alimenticias que pueden emplear este producto, lo que posibilita las ventas dentro del territorio, la existencia de medios de comunicación como carreteras y vías ferroviarias que evita el tener que construirlos y da la posibilidad de utilizar servicios de otras plantas cercanas. Se aprovechará la fuerza de trabajo del poblado y su fácil transportación hacia la planta. Para el abastecimiento de agua se utilizará el mismo sistema de la destilería o del central al igual que para los requerimientos de vapor, reduciéndose de forma considerable el costo de la inversión ya que

no será necesario realizar inversiones para satisfacer estas demandas. Solo dentro de las inversiones inducidas o auxiliares, es necesario diseñar una pequeña planta para el tratamiento de las aguas residuales que contienen bajas concentraciones de ácido acético, producto de la etapa de reacción, además de bajas concentraciones de algunos alcoholes malos producto de otras etapas.

Para determinar la capacidad de producción de la planta se realizó un estudio de mercado y se partió de la cantidad de etanol anhidro que se produce en siete destilerías de la región central, del cual, el aceite de fusel representa entre el 0,1 y 0,7 %, por lo que a partir de balances realizados, la cantidad de aceite de fusel a procesar es de 200 kg/h.

La construcción y el montaje se estiman en un tiempo aproximado de 7 meses, en el cual se contemplan todas las actividades que conllevan al diseño de la planta, que incluye la compra del equipamiento y de los sistemas auxiliares.

Se planifica que en el primer año se trabajará al 80% de su capacidad, al año siguiente lo hará al 90 % y a partir del tercer año de su puesta en marcha será la máxima capacidad de producción.

Tarea de proyección

Las entidades que intervienen en el proyecto y construcción de la planta serán:

- Como inversionista: Azcuba y Cuba Ron
- Como proyectistas: Ingenieros Químicos de la UCLV y de la producción
- Como asesoría científica: UCLV
- Como entidades constructoras: MICONS y PLANTA MECÁNICA.

La localidad escogida para la ubicación de la planta es el poblado de Calabazar de Sagua, el cual se encuentra en el municipio de Encrucijada, debido a la posibilidad de utilizar el aceite de fusel proveniente del complejo Perucho Figueredo, del mismo municipio. La cercanía a dicho complejo permitirá la posibilidad de utilizar parte del vapor que se genera y agua de enfriamiento en caso de que las capacidades instaladas en el central así lo permitan.

La obra tendrá como objetivo procesar 200 kg/h de aceite de fusel proveniente de diferentes destilerías para la obtención de acetato de isoamilo que luego será utilizado por diferentes industrias en la región.

De forma general, para el montaje de la nueva obra se requiere de:

-Bombas y sistema de tuberías dentro del proceso y las necesarias para la transportación de los requerimientos, tanques de almacenamiento para la materia prima, residuos del proceso y producto final, un condensador y un rehervidor que conforman el proceso de destilación, un intercambiador de calor, para calentar la alimentación a las columnas de destilación, una columna de destilación para purificar el producto final, un mezclador y un separador.

Primeramente se realizarán los movimientos de tierra para acondicionar el terreno. Se necesitará la contratación de obras industriales tales como obras de Arquitectura e Ingeniería Civil para la construcción de los cimientos que sean necesarios, edificios y naves, garantizando la ventilación y el aprovechamiento de la luz solar; obras de Ingeniería Mecánica auxiliados por ingenieros químicos para llevar a cabo el montaje de los equipos, tuberías y accesorios dentro de la misma planta, incluyendo las conexiones para el vapor y el agua de la planta aledaña. Unido a esto se encuentran las obras de Ingeniería Eléctrica para realizar toda la instalación requerida así como obras de Ingeniería Automática para establecer los lazos de control necesarios manteniendo así el proceso controlado y garantizando de esta manera no solo la calidad del producto final, sino también la seguridad del personal que opere en la planta.

Proyecto Técnico. Descripción del proceso

El alcohol resultante en la etapa de deshidratación del aceite de fusel junto con ácido acético y ácido sulfúrico, este último actuando como catalizador, se alimenta a un reactor; donde a partir de la reacción de ácido acético y alcohol isoamilico se obtiene el acetato de isoamilo (éster) y agua. Estos productos resultantes se mezclan con agua de lavado a 10 °C con el objetivo de limpiar el éster deseado de las fracciones de alcohol y ácido que no reaccionaron. Posteriormente pasa a un separador, en el cual la mezcla alcanza la temperatura ambiente y se separa la fase acuosa de la orgánica. La fase orgánica, la cual contiene al éster, se calienta hasta 80°C antes de alimentarse a la columna de destilación para la purificación del acetato de isoamilo, que luego podrá ser almacenado y distribuido para su venta. Este producto se obtiene por el fondo de la columna mientras que por el tope saldrá una mezcla de acetato de isobutilo y agua (véase figura 1).

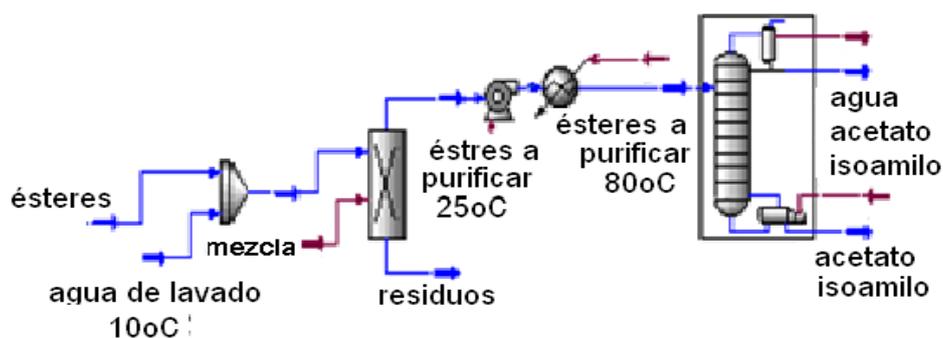


Fig. 1 Diagrama de la etapa de Purificación.

Para el diseño de la etapa de purificación se realizaron programas confeccionados en el Microsoft Excel y la simulación fue mediante el uso del software HYSYS v3.2.asi como la literatura de la especialidad [4,6].

En el diseño de las columnas de destilación, se consideró comportamiento real de la fase líquida y fue necesario calcular los coeficientes de actividad de los componentes en solución a diferentes temperaturas; para ello se utilizó el software que incluye el método predictivo de estas propiedades a través de UNIFAC. Se siguió el esquema trazado por Gallardo [2].

Una vez diseñado se procede a la simulación de la etapa de purificación del acetato de isoamilo empleando el software HYSYS, obteniéndose resultados esperados.

Programación de proyecto

Para llevar a cabo la programación del proyecto se utilizó el Microsoft Project donde se realizó la programación de las actividades para el montaje y puesta en marcha de la planta junto al tiempo de duración y los principales recursos destinados para cada actividad.

Análisis económico

Para el análisis económico se tuvieron en cuenta los indicadores de costos como son el costo total de inversión que viene dado por la inversión fija (costos directos e indirectos) y costos adicionales y el costo total de producción el cual se determina a partir del costo total de fabricación (costos directos e indirectos) y los gastos generales. También para el mismo se tuvo en cuenta los indicadores de rentabilidad como son el VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y el PRD (Período de Recuperación al Descuento).

Resultados y discusión

Tarea de inversión y tarea de proyección

El aceite de fusel (proveniente de destilerías podrá ser utilizado para la satisfacción de la demanda como vía de obtener los diversos ésteres correspondientes a los alcoholes que haya en cada fracción destilada, los cuales se utilizan en diferentes industrias, como la alimenticia y la farmacéutica, esto beneficiará no solo a esas industrias, sino también a las propias destilerías que de esta forma le darán un uso al aceite de fusel que obtienen, posibilitándose de esta manera la reducción de las importaciones en el país de algunos ésteres.

Proyecto Técnico

Con el diseño de la columna de destilación multicomponente se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1
Resultados obtenidos con el diseño de la columna de destilación multicomponente

Ecuaciones	Datos	Resultados
$Np_R \approx 2 * Np_{min}$ $Np_R = Np_t / \eta$ $Np_{min} = \ln(S) / \ln(\alpha(CL/CP)_{Prom})$ $S = (xCL_{Dest} / xCL_{Fondo}) * (xCP_{Fondo} / xCP_{Dest})$	$xCL_{Dest} = 0,78$ $xCL_{fondo} = 1,17E-5$ $xCP_{Fondo} = 0,99$ $xCP_{Dest} = 0,08$ $\eta = 60\%$	28 platos teóricos 46 platos reales.
$H = 1,15 * h * (Np_R - 1)$	$h = 0,15 \text{ m}$, se considera un 15% extra	5,90 m
$A_t = G / W$	$G = 0,01092 \text{ m}^3 / \text{s}$	$0,033 \text{ m}^2$
$D = (4 * A_t / \pi)^{0,5}$		0,60 m

donde

Np_r : platos reales Np_{min} : platos mínimos

XCL : composición de acetato de isoamilo

G : Flujo de vapor

XCP : composición de etanol

W : velocidad de flujo

H : altura de la columna A_t : área de la columna

D : Diámetro de la columna

Programación del proyecto

En la tabla 2, se presenta un listado de actividades que describen un conjunto de acciones encaminada a la construcción y el montaje de la planta concebida.

Tabla 2
Listado de actividades

Actividades	Duración (días)	Precedencia	Recursos
1. Visita al lugar	1 d	-	Ingenieros Químicos y Mecánicos
2. Movimiento de tierra	4 d	1	excavadora, camiones, motoniveladoras
3. Selección y compra del equipamiento.	25 d	1	Especialistas de comercio
4. Transporte de recursos	2 d	3	camión
5. Construcción de los cimientos.	20 d	2	obrero de construcción
6. Edificación de la planta.	30 d	5	ingenieros civiles, obreros
7. Montaje de un mezclador	5 d	6	mecánico B
8. Montaje de un separador	7 d	7,4	mecánico B
9. Montaje de bombas	4 d	7	mecánico C
10. Montaje de intercambiadores de calor.	6 d	9,8	mecánico A
11. Montaje de columnas de destilación.	10 d	9,8	mecánico A
12. Montaje de tuberías de vapor.	5 d	10,11	mecánico C
13. Prueba Hidráulica.	2 d	12	ingenieros hidráulicos y mecánicos
14. Puesta en marcha	1 d	13	ingenieros químicos y mecánicos

A partir del uso del Microsoft Project se obtuvo el diagrama de Gantt de las actividades programadas con los recursos necesarios y tiempo establecido para su cumplimiento, el cual se representa en la figura 2:

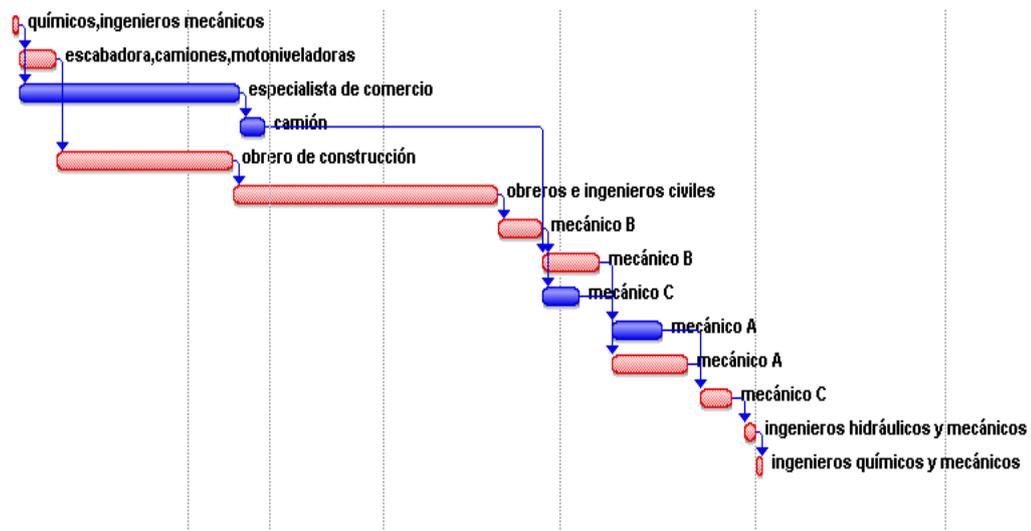


Fig. 2 Diagrama de Gantt para el proyecto.

Análisis económico

Los costos fueron evaluados según la metodología de Peters y los índices de actualización [5].

CTI (Capital Total Invertido) = **2 977 082, 45** según la metodología de Peters [7].

CTP (Costo Total de producción) (\$/año) = **32 400 952, 48**

Valor de la Producción (\$/año) = Precio de venta * Producción

Valor de la Producción			
Productos	Precio de venta \$/L	Producción L/año	Valor de la Producción anual \$/a
Acetato de etilo	21,0	166 300	3 492 300
Acetato de isobutilo	21,5	193 320	4 156 380
Acetato de isoamilo	44,4	624 650	27 734 460
Total			35 383 140

Indicadores dinámicos de rentabilidad:

Tasa de interés (i) de un 12 %.

Vida útil (k) de 15 años

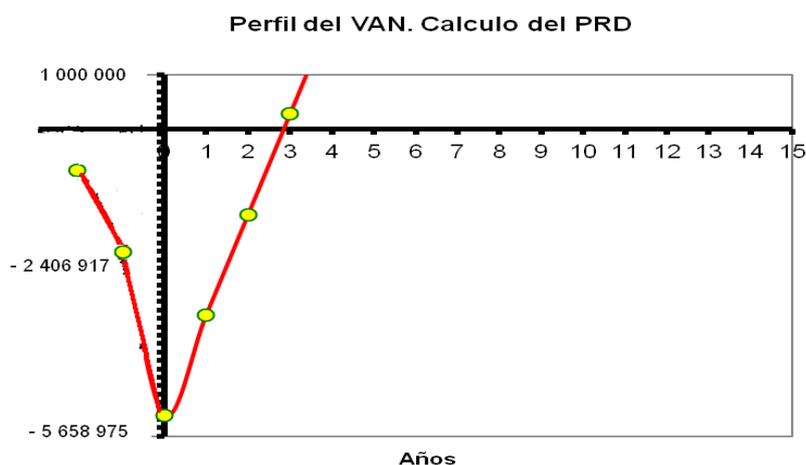
La expresión matemática para determinar el VAN es:

$$VAN = \sum (\text{Flujo de caja} / (1+i)^k) - CTI$$

A partir de la misma se obtiene como resultado:

Indicador	Valor
VAN	7 831 191.97 \$
PRD	3 años

Perfil del VAN. Cálculo del PRD.



En cuanto al análisis económico se valoraron los indicadores estáticos y dinámicos y se aprecian que los mayores costos están en las materias primas empleadas, las que pueden disminuir cuando se establezcan estos procesos en una estrategia de biorefinerías o alcoquímica, no obstante se logran ganancias y se recupera la inversión en el período de tres años aproximadamente luego de considerar también las ventas de los coprodutos que pueden ser empleados como diluentes de esmaltes y también usados en imprentas así como del incremento en la producción de estos pues la demanda en el mercado lo hace posible.

Conclusiones

A partir de la tarea de inversión se determinó que la capacidad de producción de la planta a partir del estudio de mercado fue de 94,26 kg/h de acetato de isoamilo, siendo establecido como período de construcción y montaje de siete meses.

Los principales equipos para el funcionamiento de la planta fueron diseñados y la columna de destilación equipo principal debe de ser de 48 platos reales, del 5.9 m de altura y diámetro de 0.6 m

Se estableció como macro localización el poblado de Calabazar de Sagua y como micro localización la planta anexa al la UEB “Perucho Figueredo”.

Los indicadores económicos calculados demuestran la factibilidad desde el punto de vista de esta etapa, siendo el valor de la ganancia de 2982187.524 \$/año, recomendando hacer este análisis en un estudio integral para una destilería ya instalada.

Bibliografía

1. DE ARMAS, A, GALLARDO AGUILAR, I., LÓPEZ BELLO,N., “Obtención de alcoholes superiores a partir de fusel mediante proceso de destilación Fraccionada”. *Centro Azúcar* Vol 38, Nº 4: p. 8-14 octubre-diciembre, 2011.
2. GALLARDO AGUILAR, I., LÓPEZ BELLO,N., MORALES PÉREZ, M.C., “Procesos de Purificación y concentración en la producción de etanol de diferentes calidades”. 1st ed. Universidad Central de Las Villas. Monografías, 2009. Págs. 53.
3. HIDALGO PÉREZ, E., “Aprovechamiento del aceite de Fusel para la obtención de productos de alto valor agregado”, Trabajo de Diploma 2010, p. 26-74.
4. KERN, D. Q., "Procesos de Transferencia de Calor". La Habana Ed. Félix Varela Tomo III. 2005. p. 191-196.
5. LEIVA F *et al.* “Reacciones de esterificación por el método de destilación catalítica (Producción de N-Pentilacetato)”, *Revista Ingeniería e investigación: Univ. Nac. Colombia*, ed REDALYC, vol 55, sept 2004, ISSN 120-5609.
6. PERRY, J. H. Chemical engineering Hand book. (Pubs) Edición revolucionaria. La Habana, Tomo I, 1967. p. 3-16-3-239
7. PETERS, MAX .S. TIMMERHAUS, KLAUS.D. Plant Desing and Economics for Chemical Engineers, ed. Pueblo y Educación, 1968, p. 416-774.