

Incertidumbre en el diseño de plantas para producir acetaldehído y acetal a partir de bioetanol

Julio Pedraza Garciga,* Erenio González Suárez, Centro de Análisis de Procesos, Facultad de Química y Farmacia, UCLV; Pio Aguirre, INGAR, Santa Fe, Argentina; Mauren Fuentes Mora, UCLV

Recibido: junio/2002

Aprobado: enero/2003

Se analizaron diferentes esquemas tecnológicos para la producción de acetaldehído y acetal para llevar a cabo el diseño de las plantas en condiciones de incertidumbre. Se llegó a un resumen de las características y costos estimados de los equipos principales. Se calcularon los indicadores dinámicos de costo VAN, TIR y PRD, para dos alternativas de producción, considerando una variación en el precio de la materia prima: bioetanol, producido a partir de mieles de la caña de azúcar y otros sustratos azucarados.

Palabras claves: Acetal, acetaldehído, diseño de plantas en condiciones de incertidumbre, etanol

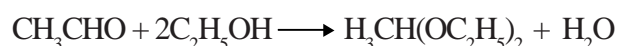
Uncertainty of the Plant Design for the Production of Acetaldehyde and Acetal from Bio-ethanol

Technological schemes for the production of acetaldehyde and acetal are selected to make the design under conditions of uncertainty. A summary of the estimated cost and characteristics of the main equipment is presented. The costs dynamic indicators VAN, TIR and PRD are calculated for two alternatives of production taking into account a variation in the price of raw materials (bio-ethanol from sugar molasses and other sugary substrata).

Key words: Acetal, Acetaldehyde, Ethanol, Plant Design in Conditions of Uncertainty

INTRODUCCIÓN

El 1,1 dietoxietano, conocido comercialmente como acetal, puede ser sintetizado a partir de la reacción entre el acetaldehído y el etanol, de acuerdo con la reacción estequiométrica siguiente:



Los procesos que proponen acetaldehído y etanol como materias primas presentan la ventaja de que el acetaldehído puede obtenerse a partir de etanol por varias vías, y su tecnología es ampliamente conocida.

El acetal ha tenido en los últimos años una nueva e interesante aplicación como aditivo oxigenado para combustibles líquidos, en particular de gas-oil. Su uso como aditivo no solo se reduce a la elevación del octanaje de las gasolinas; si no que produce una sensible disminución de la generación de humos, manteniendo el poder detonante del combustible. También se lo emplea como aditivo de etanol cuando este es usado como combustible, con el objetivo de disminuir su temperatura de autoencendido.

*Doctor; ingeniero del Centro de Análisis de Procesos de la Facultad de Química y Farmacia de la UCLV. Telef.: 281164; E-mail: juliop@qf.uclv.edu.cu

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuba no cuenta actualmente con plantas instaladas para la producción de los productos alcoquímicos en estudio. Se hace uso, entonces, de la bibliografía e información de patentes disponibles que describen las características de estos procesos, tomando como información básica la siguiente:

El acetaldehído puede ser obtenido a partir del etanol por varias vías: la vía enzimática y las vías no enzimáticas, las más antiguas e industrialmente las más eficientes, que son la oxidación parcial y la deshidrogenación de la fase vapor del etanol. Varios autores han patentado la unión de los dos procesos, que resulta ventajosa al complementarse energéticamente el sistema.

El proceso de producción de acetal consta de dos etapas: la etapa de reacción, que requiere de un catalizador en fase heterogénea, y la etapa de separación-purificación del acetal. El proceso catalítico heterogéneo de fabricación del 1,1 dietoxietano ofrece la ventaja de operar a presión atmosférica y temperatura ambiente y alcanzar, en estas condiciones, conversiones cercanas a las del equilibrio (60 %), y no se generan reacciones laterales.

Basado en los elementos anteriores se realiza el cálculo de las capacidades de las plantas a operar, de acuerdo con la disponibilidad de etanol producido por vía fermentativa a partir de mieles y otros subproductos de la caña de azúcar, lo que presupone una vinculación material y energética de estos procesos con un Complejo Agro Industrial azucarero (CAI).

Se lleva a cabo el diseño preliminar de las plantas en condiciones de incertidumbre, con el objetivo de definir una estrategia para desarrollar el estudio sobre la factibilidad técnica, económica y ambiental de producir estos alcoquímicos en Cuba.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizó un balance de materiales, teniendo en cuenta el esquema de distribución que aparece en la figura 1.



Figura 1

Según este pueden determinarse las capacidades de las plantas de producción de acetaldehído y acetal, de acuerdo con los índices de consumo en cada proceso.

Teniendo en cuenta que se dispone de 670 hL/d de etanol, capacidad calculada para un consumo total de vinazas en la producción combinada de torula y alcohol, las capacidades de las plantas se calculan en 15 t/d de acetaldehído y 18 t/d de acetal. En el análisis se dispuso reservar un 5 % de etanol para otros usos.

Estudio de la instalación para la producción de acetaldehído

Se estudiaron diferentes variantes que combinan la oxidación y la deshidrogenación y se seleccionó la siguiente información como la más atractiva desde el punto de vista tecnológico:

-Utilizando catalizador de plata: La patente de la república Checoeslovaca, número 214341, describe un proceso donde se utiliza un reactor de lecho fijo, con un catalizador de plata electrolítica, empleando como soporte zeolita natural.

-Utilizando catalizador de cromo-cobre: La patente de USA, número 4220803, describe el proceso de un reactor de lecho fluidizado a escala de laboratorio, utilizando el catalizador mencionado anteriormente, con un soporte de alfa alúmina o carbón, que presenta un volumen de poro de 0,34 cc/g, un área superficial de 1,28 m²/g y un diámetro de partícula de 107μ.

Del análisis de estas dos patentes se concluye que lo más recomendable en las condiciones de Cuba, es emplear la patente que utiliza el catalizador de cromo-cobre, debido a criterios económicos y al acceso a información sobre el proceso.

Resumen del diseño y datos de costo de los equipos principales de la planta de acetaldehído

Según la literatura consultada,³ se obtiene el costo del equipamiento de los equipos principales para la planta de acetaldehído, actualizando estos costos, según lo recomendado por la literatura, se obtuvieron los resultados globales para esta planta que aparecen en la tabla 1.

Estudio de la instalación para la producción de acetal

Mediante un estudio de las patentes existentes para la producción de acetal se analizaron cinco variantes que parten del uso del etanol y acetaldehído como materias primas fundamentales. Estas son: a) *Proceso Porocel Corp*, 1948; b) *Proceso Dow Chemical*, 1954; c) *Proceso Distillers Co*, 1950; d) *Proceso Degussa*, 1985; e) *Proceso Bozel Malettra*, 1948.

Se propone el estudio de tres alternativas:

- Aceptar como válida la purificación por destilación fraccionada enunciada en la patente *Porocel Corp*;
- Adaptar al proceso *Porocel Corp* la etapa de purificación sugerida por *Bozel Malettra*, que implica extracciones sucesivas con agua y una destilación fraccionada de la fase acuosa;
- Adaptar al proceso *Porocel Corp* la etapa de purificación sugerida por *Distillers Co.*, que consiste en una extracción con kerosene y dos destilaciones fraccionadas, una de la fase acuosa y otra de la fase orgánica.

En este trabajo la evaluación económica se orientó al proceso *Porocel*, con algunas modificaciones. Atendiendo al nivel de información con que se cuenta, el acceso a datos sobre equilibrio químico, cinéticos, así como a otras propiedades del sistema, es limitado en la bibliografía consultada, trayendo consigo un alto grado de incertidumbre para realizar el diseño preliminar de la planta.

La temperatura referida por *Porocel* trae inconvenientes para realizar el diseño de la planta. Según *Porocel*, la reacción debe transcurrir a 20 °C, o sea, en fase líquida; sin embargo, para que en nuestro país ocurra la reacción en dicha fase es necesaria la utilización de un sistema de refrigeración, pues la temperatura ambiente cubana es de 26,5 °C, aproximadamente.

Resumen del diseño y datos de costo de los equipos principales de la planta de acetal

Según la literatura³ se obtiene el costo del equipamiento de los equipos principales de la planta de acetal, actualizando dichos costos según lo recomendado por la literatura, obteniéndose los resultados globales para esta planta que aparecen en la tabla 2.

Cálculo del costo de inversión y de producción de los procesos alcoquímicos

Costo de inversión

El costo del equipamiento actualizado de las plantas de acetaldehído y acetal es de: \$ 1 139 908 y \$ 415 537, respectivamente, (ver tabla 1).

Tabla 1. Costos del equipamiento

Índice	Costo de la planta de acetaldehído (\$ USD)	Costo de la planta de acetal (\$ USD)
Equipamiento	1 139 908	415 537

Tabla 2. Inversión total

	Acetaldehído	Acetal
Inversión total (\$)	4 263 258	1 554 108

Costos de producción

En ambos casos se debe tener presente la variación en el precio del alcohol, dado por las alternativas que pudieran evaluarse, atendiendo a diferentes niveles de consumo energético, vinculación de sustratos, etcétera. Como referencia se tomarán los costos de producción del alcohol para una variante de menor y otra de mayor consumo: alternativas I y II.

Se considera el precio de venta del acetal en 2 660 \$/t, y la venta de un subproducto de la producción de acetaldehído, el acetato de etilo, en 440 \$/t; el aldehído producido se consume totalmente en la producción del acetal y su costo como materia prima fue ajustado a su costo de producción, por lo que no procede tenerlo en cuenta en el análisis global.

El análisis económico de prefactibilidad para llevar a cabo las nuevas inversiones está definido por los indicadores de la tabla 6.

Los resultados de la tabla 6 muestran un proceso atractivo desde el punto de vista financiero. Las alternativas estudiadas, que difieren en el precio de la materia prima, presentan valores positivos del VAN, tasas de retorno muy superiores a la mínima (0,1) y sus períodos de recuperación no rebasan los tres años. La variación de estos indicadores da una medida de la importancia que puede tener para este proceso un análisis económico de sensibilidad.

Materia prima:	Alternativas	Acetaldehído	
	Costo (\$/u)	Índice de consumo (kg/h)	Costo (\$/a)
Etanol u: hL	AI- 37,4	841	2 846 982
	AII- 30,7		2 336 961

Tabla 3. Costos de la materia prima para la producción de acetaldehído

Materia prima	Alternativas	Acetal	
	Costo (\$/u)	Índice consumo (kg/h)	Costo (\$/a)
Etanol u: hL	AI- 37.4	1 299	4 397 418
	AII- 30.7		3 609 645
Acetaldehído* u: t	AI- 1 108	621	5 449 498
	AII- 974		4 790 443
Total		Alternativa I	9 846 916
		Alternativa II	8 400 088

Tabla 4. Costos de la materia prima para la producción de acetal

*El costo del aldehído se toma por concepto de su producción y no se tendrá en cuenta en el cálculo de los indicadores dinámicos.

	Acetaldehído	Acetal
Alternativa I	5 484 920,00 \$/a	10 174 344,00 \$/a
Alternativa II	4 821 893,00 \$/a	8 729 516,00 \$/a

Tabla 5. Costo total de producción de los procesos alcoquímicos

	Acetaldehído + acetal	
	Alternativa I	Alternativa II
VAN	\$15 577 709,42	\$24 216 737,47
PRD	2,8 años	1,8 años
TIR	50 %	72 %

Tabla 6. Indicadores dinámicos de costo de los procesos alcoquímicos

CONCLUSIONES

- 1) La producción de acetaldehído y acetal a partir de bioetanol permite una rápida multiplicación del valor agregado del producto final; sin embargo, la incertidumbre presente en el diseño de este combinado es indudablemente un aspecto que aún necesita de definiciones e investigación. A la incertidumbre propia de los costos de producción de la materia prima fundamental: etanol, se adiciona la referente a tecnologías poco dominadas en Cuba, como son las del acetaldehído y el acetal, en las que están presentes indefiniciones en los estudios termodinámicos básicos de los procesos de separación, los procesos combinados de síntesis del producto (deshidrogenación y oxigenación) y la carencia de información sobre parámetros de diseño y fiabilidad de los equipos, aspectos que no se pueden resolver solo con el análisis de patentes.
- 2) El desconocimiento del impacto global de estas producciones alcoquímicas en el entorno, ya agredido por las condiciones actuales de la producción de azúcar, es una variable a estudiar; los resultados dependerán de la solución que se brinde a los problemas de incertidumbre mencionados anteriormente.

FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

- 1) Fuentes Mora, Mauren: "Determinación de la incertidumbre en la estrategia de desarrollo de un complejo para la producción de acetal", tesis de maestría en Análisis de Procesos, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, Cuba, 1997.
- 2) Laborde, M. A.; V. González: "Síntesis de acetal (1-1 dietoxietano) a partir del etanol utilizando montmorillonita como catalizador", *Información Tecnológica* 8(4): 151-157, 1997.
- 3) Laborde, M. A.: "Producción de aditivos oxigenados para gas-oil y otros combustibles a partir de bioetanol", Proyecto CYTED, 1997.
- 4) Ulrich, G. D.: **Diseño y economía de los procesos de ingeniería química**, University of New-Hampshire, Editorial Interamericana, 1986.