

Alternativas de integración material y energética para la producción de aditivos oxigenados a partir de bioetanol en condiciones de incertidumbre

Julio Pedraza Garciga,* Erenio González Suárez, Facultad de Química y Farmacia, UCLV; Luisa Matos Mosqueda, Universidad de Camagüey, Mauren Fuentes Mora, UCLV

Recibido: abril/2002

Aprobado: octubre/2002

Se presenta en este trabajo, con una visión prospectiva, el impacto tecnológico, científico y económico del desarrollo de nuevos procesos alcoquímicos que harán de la industria del alcohol en Cuba un sector más competitivo, a través del análisis de incertidumbre y riesgos, basados en las realidades y perspectivas de esta industria y de los intereses comunes de los países que participan en el Proyecto CYTED: "Producción de aditivos oxigenados para gas-oil y otros combustibles a partir de bioetanol".

Palabras claves: Aditivos oxigenados, acetal, acetaldehído, alcohol, 1-1 dietoxietano, levadura torula, ruta alcoquímica

Alternatives for Material and Energetic Integration Aimed at the Production of Oxygenated Additives from Bio-ethanol under Uncertainty

With a prospective vision is analyzed the technological, scientific, and economic impact of the development of new alcochemical processes that could make the Industry of Alcohol in Cuba a most competitive sector, through the uncertainty and risks analyses, based on the certainties and perspectives of this industry and of the common interest of the countries that participate in the Project CYTED « Production of Oxygenated Additives for gas oil and other fuels from bio-ethanol».

Key words: Oxygenated Additives, Acetal, acetaldehyde, alcohol, Alco chemical route, 1-1- diethoxyethane, Torula yeast

INTRODUCCIÓN

El 1,1 dietoxietano, conocido comercialmente como acetal, ha tenido en los últimos años una nueva e interesante aplicación como aditivo oxigenado para combustibles líquidos, en particular para el gas-oil. Su uso como aditivo no se reduce a la elevación del octanaje de las gasolinas, sino que produce una sensible disminución de la generación de humos, manteniendo el poder detonante del combustible. También se utiliza como aditivo para el etanol, cuando este es usado como combustible, con el

objetivo de disminuir su temperatura de autoencendido.

El acetal puede ser obtenido a partir de etanol y acetaldehído,² utilizando silicoaluminatos acidificados, a partir de minerales de bajo costo que existen en la región,² como agente catalítico, según estudios realizados por el Grupo de Procesos Catalíticos de la UBA, en el marco del proyecto "Bioalcoholes. Su aprovechamiento como materia prima y combustible".

Las plantas químicas que producen etanol por vía biotecnológica, comparadas con las

*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

petroquímicas, son de menor escala, requieren menor inversión, pueden ser localizadas en zonas agrícolas, emplean materias primas producidas localmente y eventualmente pueden vincularse a instalaciones productoras de azúcar de caña, que garanticen mediante una adecuada cogeneración sus necesidades energéticas.²

La producción combinada de torula y alcohol, puede proporcionar una solución al efecto contaminante que ya tienen muchas instalaciones industriales cubanas.⁴ Con este propósito se han estudiado numerosas mezclas de sustratos azucarados, obteniendo resultados satisfactorios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Haciendo uso de la información científico-técnica y de patentes disponible en los centros especializados, sobre métodos modernos para la simulación de los procesos alcohólicos y de métodos dinámicos para el análisis de inversiones; el análisis de alternativas es una herramienta eficaz para determinar la sustentabilidad ambiental y la compatibilidad económica del proyecto. La determinación de la incertidumbre en la estrategia para el desarrollo de la producción de acetal en Cuba¹ y la evaluación económica del riesgo en una futura inversión en esta empresa,³

mostraron, preliminarmente, resultados alentadores.

En este caso particular se toma como referencia la infraestructura del CAI "Perucho Figueredo", que cuenta con una planta de levadura torula.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Relacionando balances de materiales totales y parciales, entre las estaciones de fermentación de ambos procesos y la unidad de destilación de alcohol, se calcula aproximadamente la capacidad de la planta de alcohol, cuyas vinazas puedan ser recirculadas totalmente, en proporciones adecuadas, a ambas producciones.

Como resultado de estos balances, se evalúa el proyecto sobre la base de una producción diaria de 32 t de torula y 670 hL de bioetanol, que crea una capacidad para producir 15 t de acetaldehído y 18 t de acetal. Se valora, además, el efecto económico de un excedente de un 5 % de alcohol, y de la venta de un subproducto de la producción de acetaldehído: el acetato de etilo.

Las alternativas evaluadas difieren en el mezclado de sustratos en los procesos fermentativos (i) y en los precios del acetal (j), según la tabla 1.

Tabla 1. Alternativas para evaluar la producción de acetal a partir de bioetanol

| Alternativas i, j | 1 * | 2 ** |
|-------------------|---|--|
| i | Producción de torula con vinazas (12 % ART) + miel y alcohol con vinazas (6,4 % ART) + miel | Producción de torula con jugo de los filtros (18 % ART), vinazas (15 % ART) y miel |
| j *** | Precio alto de acetal | Precio bajo de acetal |

Nota de la tabla 1:

*Se consideran 330 días de trabajo al año.

**Se consideran 150 días de trabajo en año-zafra para esta alternativa, y se asume la número 1 para el resto del año.

***Sobre el precio de venta del acetal existe marcada incertidumbre, pues no existe información que reporte su precio para ser usado como aditivo en combustibles. Es por ello que se adopta como precio alto y bajo en las alternativas anteriores, el 60 y 40 % del precio del acetal como reactivo (Sigma Cell Culture Reagents. Catalogue Pricelist /USA/1991), respectivamente. Esto redunda en un precio alto de 2 662,37 \$/t y un precio bajo de 792,37 \$/t.

En las tablas 2 y 3 se resumen los resultados del cálculo económico de los costos de inversión y de producción de cada una de las plantas del complejo. Previamente se realizó un diseño preliminar de las plantas de alcohol (tecnología tradicional discontinua), acetaldehído y acetal para las capacidades definidas anteriormente.

Realizando un análisis de los costos de inversión y de los costos totales de producción se obtienen los resultados que aparecen en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Costos de inversión de las plantas de etanol (670 hL/d), acetaldehído (15 t/d) y acetal (18 t/d)

| | Planta de etanol | Planta de acetaldehído | Planta de acetal |
|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| Inversión fija* | 3 992 184 | 3 875 689 | 1 412 825 |

* La planta de producción de torula se encuentra instalada con una capacidad nominal de 32 t/d. Su costo de inversión fija actualizado es de 14 715 920 \$.

Tabla 3. Costos de producción de las plantas de torula (32 t/d), etanol, acetaldehído y acetal

| Índice/costo, \$/año | Torula | Alcohol | Acetaldehído | Acetal |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Alternativa 1 | 9 128 444 | 8 285 016 | 5 484 920 | 10 174 344 |
| Alternativa 2 | 9 851 699 | 6 791 399 | 4 821 893 | 8 729 516 |

Para realizar el análisis económico del proyecto, se concibe el sistema alcohol-torula-procesos alcoquímicos como un todo, de modo que se consideren las entradas y salidas del sistema, según quedó representado en el diagrama de integración material y energética. Las ecuaciones 1, 2 y 3 son usadas para obtener los costos de inversión y de producción totales del complejo.

$$CI_{COMPLEJO} = CI_{PALCOH} + CI_{PALDEH} + CI_{PACETAL} \quad (1)$$

$$CP_{COMPLEJO} = CP_{ALCOHOL-TORULA} + CP_{ALDEH*} + CP_{ACETAL*} \quad (2)$$

$$Ingresos = I_{TORULA} + I_{5\%ALCOH} + I_{AcE} + I_{ACETAL} \quad (3)$$

Se han considerado los siguientes precios de venta de los productos: torula: 612 \$/t; alcohol: 50 \$/hL; acetato de etilo: 440 \$/t.

Los indicadores dinámicos para evaluar la factibilidad económica del proyecto se resumen en la tabla 4.

La elección de la mejor alternativa depende de la actitud del inversor ante el riesgo, al seleccionar la combinación esperanza matemática-varianza; la tendencia: maximizar-minimizar.

La elección de aquellas inversiones con unas esperanzas matemáticas de valor capital (o de tasa de retorno) mayores, es una línea de conducta racional. El

empresario no debe conformarse solamente con el conocimiento de la esperanza matemática del valor capital para la adopción de la decisión de inversión. Dos inversiones con el mismo valor capital pueden no ser indiferentes para el inversor, debido precisamente al distinto grado de riesgo. El riesgo de un proyecto viene definido por la variabilidad de sus flujos de caja y suele convenir tomar como medida del mismo la varianza del valor capital, mientras más alto sea el coeficiente de variación (que combina el riesgo y la esperanza matemática), más riesgoso es el proyecto. La utilidad real de este coeficiente está en la comparación de proyectos que tengan valores esperados diferentes.

Para complementar los métodos anteriores de introducción y evaluación del riesgo en el proyecto se realiza el análisis de la sensibilidad, el que se puede utilizar con éxito en cualquier modelo económico decisionista, con el objeto de determinar la variabilidad del resultado final al variar alguno de los parámetros estimados.

Una inversión conviene llevarla a cabo según el criterio del valor capital, cuando este es positivo. Tomando como base este criterio, a través del análisis de sensibilidad por el método tradicional, se determina el intervalo donde pueden variar cada una de las magnitudes que definen el valor capital, para que este siga siendo positivo. El cálculo de esta variabilidad, siendo: A, desembolso inicial o tamaño de la inversión; Q_j (j = 1, 2, ... n), flujo neto de caja de cada año; j y k, tipo de descuento o de interés calculatorio, aparecen estimados en la tabla 5.

Tabla 4. Indicadores de evaluación de inversiones y de tratamiento de riesgo

| Indicadores | Alternativas (i, j) | | | |
|---------------------------|---------------------|---------------|------------------|-------------------|
| | 1.1 | 1.2 | 2.1 | 2.2 |
| VAN | \$ 20 581 983 | \$ -2 593 206 | \$ 22 605 703 | \$ 1 201 138 |
| TIR | 45 % | 5 % | 49 % | 13 % |
| PRD | 1 año y 326 días | - | 1 año y 285 días | 3 años y 265 días |
| Esperanza matemática | 11 454 831 | - | 19 951 546 | 1 346 636 |
| Varianza | 489 961 539 | - | 559 160 466 | 3 243 171 |
| Desviación típica | 699 972 | - | 747 770 | 56 949 |
| Coefficiente de variación | 0,06 | - | 0,03 | 0,04 |

Tabla 5. Resultado del análisis de sensibilidad para cada alternativa. Método tradicional

| Variables | Intervalo de variación/alternativa | | | |
|----------------|------------------------------------|----------------|------------------|----------------|
| | 1.1 | 1.2 | 2.2 | 2.1 |
| A | (0;31 706 713) | (0;8 531 524) | (0;33 730 433) | (0;12 345 868) |
| Q ₂ | (-19 516 924; ∞) | (3 526 544; ∞) | (-21 451 891; ∞) | (-527 128; ∞) |
| Q ₃ | (-17 454 980; ∞) | (5 403 926; ∞) | (-19 449 080; ∞) | (1 215 383; ∞) |
| Q ₄ | (-14 959 532; ∞) | (8 985 622; ∞) | (-17 099 089; ∞) | (5 441 098; ∞) |
| Q ₄ | (-14 959 532; ∞) | (8 985 622; ∞) | (-17 099 089; ∞) | (5 441 098; ∞) |
| Q ₅ | (-17 972 940; ∞) | (9 366 431; ∞) | (-20 408 790; ∞) | (5 262 311; ∞) |
| k | (0; 0,45) | (0;0,05) | (0;0,49) | (0;0,13) |

En la tabla 6 se muestran los valores que pueden alcanzar las variables estimadas, precio de venta del acetal y su demanda anual, para que el proyecto siga siendo atractivo para el inversionista. Este método de análisis de sensibilidad unidimensional es mucho más eficiente, por cuanto busca un solo valor límite, el cual, al ser conocido por el inversionista, le permite incorporar a la decisión su propia aversión al riesgo. Esto es lo mismo que buscar la cantidad que hace al VAN igual a cero.

Tabla 6. Resultado del análisis de sensibilidad para cada alternativa. Método unidimensional

| Variable | Alternativas | | |
|---------------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| | 1.1 | 2.1 | 2.2 |
| Precio de venta (\$) | 2 662,37 - 1 895,52 | 2 662,37 - 1 189 | 792,37 - 753,52 |
| Cantidad demandada, (t/a) | 5 940 - 2 406 | 5 940 - 2 272 | 5 940 - 5 035 |

Por ejemplo, en el análisis de la alternativa 1.1, si a un precio de \$ 2 662,37 el valor actual de los ingresos es de \$ 91 578 202, el precio que determina que ese valor sea ahora de \$ 65 200 929 (VAN = 0) es \$ 1 895,52. Es decir, el precio podría caer a \$ 1 895,52 y todavía el inversionista obtendría el 10 % exigido a la inversión.

CONCLUSIONES

La factibilidad de enfrentar una estrategia para desarrollar la producción de aditivos oxigenados por vía alcoquímica en Cuba, está dada por los aspectos siguientes:

Se pueden introducir en la industria los resultados que se relacionan a continuación:

- 1) Producción de catalizadores de bajo costo con procesos no contaminantes, a partir de minerales abundantes en la región;
- 2) Desarrollo de una tecnología no contaminante de fabricación de productos de mayor valor agregado a partir de bioetanol, con una sustentación energética y de materias primas fundamentada en la industria de la caña de azúcar
- 3) Incorporación de nuevos productos y nuevas tecnologías, competitivas, al mercado mundial.

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, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, Cuba, 1997.
- 2) Laborde, M.; y otros: “Síntesis de acetal (1-1 dietoxietano) a partir del etanol utilizando montmorrillonita como catalizador”, **Información Tecnológica** 8(4): 151-157, 1997.
- 3) Llanes, C.: “Determinación de la incertidumbre en los parámetros financieros en la evaluación de la inversión de un combinado productor de aditivos oxigenados para gas-oil y otros combustibles a partir de la caña de azúcar”, Facultad de Química y Farmacia, UCLV, Cuba, 1998.
- 4) Santos Herrero, R.: “Estrategia de análisis de alternativas para la reactivación de las instalaciones actuales de levadura torula, tesis doctoral”, UCLV, Santa Clara, Cuba, 1999.

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Teclado | Q | W | E | R | T | Y | U | I | O | P |
| Symbol Minús. | θ | ω | ε | ρ | τ | ψ | υ | ι | ο | π |
| Symbol Mayús. | Θ | Ω | Ε | Ρ | Τ | Ψ | Υ | Ι | Ο | Π |
| Griegas Minús. | θ | ω | ε | ρ | τ | ψ | υ | ι | ο | π |
| Griegas Mayús. | Θ | Ω | Ε | Ρ | Τ | Ψ | Υ | Ι | Ο | Π |
| Teclado | A | S | D | F | G | H | J | K | L | |
| Symbol Minús. | α | σ | δ | φ | γ | η | φ | κ | λ | |
| Symbol Mayús. | Α | Σ | Δ | Φ | Γ | Η | Θ | Κ | Λ | |
| Griegas Minús. | α | σ | δ | φ | γ | η | ς | κ | λ | |
| Griegas Mayús. | Α | Σ | Δ | Φ | Γ | Η | ϑ | Κ | Λ | |
| Teclado | Z | X | C | V | B | N | M | | | |
| Symbol Minús. | ζ | ξ | χ | ω | β | ν | μ | | | |
| Symbol Mayús. | Ζ | Ξ | Χ | ς | Β | Ν | Μ | | | |
| Griegas Minús. | ζ | ξ | χ | α | β | ν | μ | | | |
| Griegas Mayús. | Ζ | Ξ | Χ | η | Β | Ν | Μ | | | |