

# Análisis de las variantes de integración material y energética de un combinado para la producción de aditivos oxigenados anexo a una fábrica de azúcar



## **Erenio González Suárez**

Ingeniero Químico, Especialista en Análisis de Procesos. Doctor en Ciencias Técnicas y Doctor en Ciencias. Profesor e investigador Titular del Centro de Análisis de Procesos, Facultad Química-Farmacología, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Jefe del Grupo de Investigación Estrategias y tecnologías para la obtención de productos químicos de alto valor agregado. Coordinador de la Red Cyted 306RT0279 Nuevas Tecnologías para la obtención de biocombustible. [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)

## **Yenlys Cata Salgado**

Ingeniera Química, Especialista en Análisis de Procesos, Magíster en análisis de Procesos en la Industria Química. Doctora en ciencias técnicas. Actualmente profesora Asistente del Centro de Análisis de Procesos, Facultad Química-Farmacología, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Integrante del grupo de Investigación Estrategias y tecnologías para la obtención de productos químicos de alto valor agregado y de la Red Cyted 306RT0279 Nuevas Tecnologías para la obtención de biocombustible. [yenlys@uclv.edu.cu](mailto:yenlys@uclv.edu.cu)

## **Julio Pedraza Garriga**

Ingeniero Químico. Especialista en Análisis de Procesos. Doctor en Ciencias técnicas. Actualmente profesor Asistente del Centro de Análisis de Procesos, Facultad Química-Farmacología, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Integrante del grupo de Investigación Estrategias y tecnologías para la obtención de productos químicos de alto valor agregado y de la Red Cyted 306RT0279 Nuevas Tecnologías para la obtención de biocombustible. [juliop@uclv.edu.cu](mailto:juliop@uclv.edu.cu)

## Resumen

En el presente trabajo se realiza un análisis inversionista a partir de la integración material y energética de un complejo para la producción de aditivos oxigenados anexo a una fábrica de azúcar cubana. Destacándose las ventajas tanto técnicas como económicas que ofrece la integración de procesos químicos. Este estudio sustenta el criterio de que la diversificación de la industria azucarera cubana solo es posible mediante el máximo aprovechamiento de los recursos humanos y materiales de las diferentes plantas que componen un Central Azucarero Diversificado, aspecto este que solo es factible mediante la integración material y energética de dichos procesos.

## Palabras Clave

Industria azucarera  
Diversificación  
Integración material y energética

## Alternatives analysis to produce oxygenated additives using the material and energetic integration with a sugar mill

### Abstract

This work carries out an investor analysis based on the material and energetic integration of a complex for the production of oxygenated additives annex to a Cuban Sugar Mill. Highlighting the technical and economic advantages offered by the integration of chemical processes. This study sustains the principle that sugar cane diversification is only possible by means of the maximum use of the human and material resources of the different chemical plants that compose a Diversified Sugar Mill. This aspect is only viable through the material and energetic integration of such processes.

### Key words

Sugar industry  
Diversification  
Material and energetic integration

## Introducción



El 1,1 dietoxietano, conocido comercialmente como acetal, ha tenido en los últimos años una nueva e interesante aplicación como aditivo oxigenado de combustibles líquidos, en particular de gas-oil. Su uso como aditivo no solo 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.

El acetal puede ser obtenido a partir de etanol y acetaldehído utilizando silicoaluminatos acidificados (a partir de minerales de la región, de bajo costo (Laborde y col, 1997)) 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 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 (Morgan, S., 1992; González, 1995).

De aquí la necesidad de aprovechar al máximo las reservas energéticas de los procesos de producción de azúcar para la diversificación de cada complejo. Las cuales aparecen en dos direcciones; la cogeneración y el uso eficiente del vapor, que a su vez permiten la obtención del bagazo sobrante.

La producción combinada de torula y alcohol, puede brindar una solución al efecto contaminante que ya tienen muchas instalaciones industriales cubanas (Dávila, 1996). Con este propósito se han

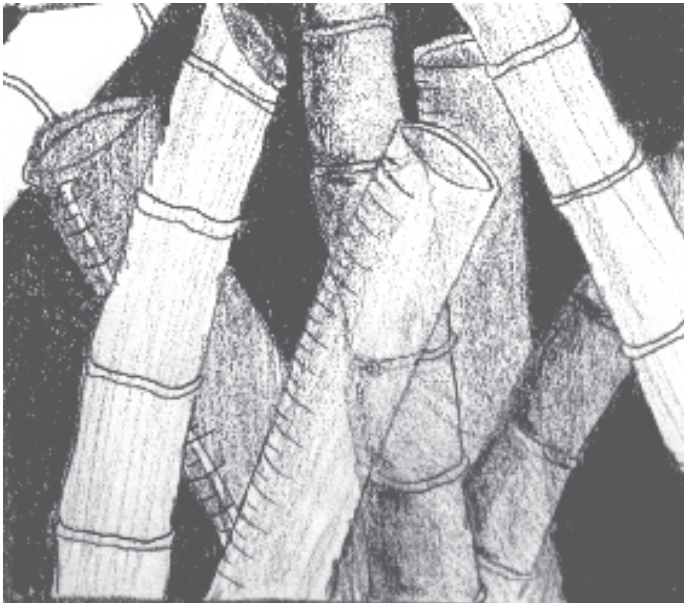
estudiado numerosas mezclas de sustratos azucarados obteniendo resultados satisfactorios.

A partir de las consideraciones antes mencionadas se hace necesario estudiar las diferentes variantes de integración material y energética en un complejo fabril para la producción de aditivos oxigenados, aprovechando las ventajas que desde el punto de vista material y energético reporta esta integración en la economía global del proceso y en el máximo aprovechamiento de las materias primas, productos intermedios y finales de las diferentes plantas que componen el complejo bajo condiciones de incertidumbre.

Se realiza el estudio considerando diferentes capacidades de producción de alcohol y de aditivos oxigenados, permitiendo así un análisis económico más completo del sistema integrado.

## 1. Materiales y métodos

Haciendo uso de la información científico-técnica y de patentes disponibles en los centros especializados, de métodos modernos para



la simulación de los procesos alcohólicos y de métodos dinámicos para el análisis de inversiones; el análisis de alternativas, constituye 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 Cuba (*Fuentes, 1997*) y la evaluación económica del riesgo en una futura inversión en esta empresa (*Llanes, 1998*), mostraron, preliminarmente, resultados alentadores.

En este caso se realiza el estudio considerando diferentes capacidades de producción de alcohol y de aditivos oxigenados, tomándose como referencia la infraestructura del CAI "Perucho Figueredo",

ubicado en la provincia de Villa Clara, el cual cuenta con una planta de levadura *Torula*. El análisis se realiza teniendo en cuenta las condiciones de incertidumbre en el aspecto económico lo cual hace que se disminuyan los riesgos en el proceso inversionista.

## 2. Resultados y análisis

A partir de los balances de materiales, totales y parciales, entre las estaciones de fermentación de los procesos de producción de bioetanol y levadura *Torula*, 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 Levadura 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 vinaza (12 % ART) + miel y alcohol con vinaza (6.4 % ART) + miel. | Producción de torula con jugo de los filtros (18 % ART), vinaza (15 % ART) y miel. |
| j ***             | Precio alto de acetal  | Precio bajo de acetal  |

\* 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, 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 /U.S.A/1991), respectivamente. Esto redonda 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 siguientes resultados para las diferentes variantes analizadas.

**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 |
|-----------------------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Inversión Fija</b> | 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.

$$CI_{\text{COMPLEJO}} = CI_{\text{P.ALCOH.}} + CI_{\text{P.ALDEH.}} + CI_{\text{P.ACETAL}} \quad (1)$$

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

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

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. 5.

**Tabla 5.** 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 |
| Esp. 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            |
| Coef. de variación | 0.06                | -              | 0.03             | 0.04              |

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, constituye 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;  $Q_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), flujo neto de caja de cada año  $j$  y  $k$ , tipo de descuento o de interés calculatorio, aparecen estimados en la tabla 6.

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

| Variables | Intervalo de variación/Alternativa. |                        |                          |                        |
|-----------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
|           | 1.1                                 | 1.2                    | 2.1                      | 2.2                    |
| A         | (0;31 706 713)                      | (0;8 531 524)          | (0;33 730 433)           | (0;12 345 868)         |
| $Q_2$     | (-19 516 924; $\infty$ )            | (3 526 544; $\infty$ ) | (-21 451 891; $\infty$ ) | (-527 128; $\infty$ )  |
| $Q_3$     | (-17 454 980; $\infty$ )            | (5 403 926; $\infty$ ) | (-19 449 080; $\infty$ ) | (1 215 383; $\infty$ ) |
| $Q_4$     | (-14 959 532; $\infty$ )            | (8 985 622; $\infty$ ) | (-17 099 089; $\infty$ ) | (5 441 098; $\infty$ ) |
| $Q_4$     | (-14 959 532; $\infty$ )            | (8 985 622; $\infty$ ) | (-17 099 089; $\infty$ ) | (5 441 098; $\infty$ ) |
| $Q_5$     | (-17 972 940; $\infty$ )            | (9 366 431; $\infty$ ) | (-20 408 790; $\infty$ ) | (5 262 311; $\infty$ ) |
| K         | (0; 0.45)                           | (0;0.05)               | (0;0.49)                 | (0;0.13)               |

En la tabla 7 se muestran los valores que pueden alcanzar las variables estimadas, precio de venta del acetil 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 7.** 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 \$ (V.A.N. = 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

Del cálculo dinámico realizado, se concluye que la ruta alcoquímica (en conjunto planta de Acetaldehído-Acetal) ofrece ventajas desde todos los puntos de vista dados por valores de VAN, TIR Y PRD obtenidos, lo que reviste gran importancia para la economía del país por el elevado nivel de importaciones que se lograrían sustituir y por la reducción del impacto ambiental de los gases emanados de los combustibles fósiles, con la utilización de estos aditivos oxigenados.

Del cálculo económico dinámico realizado, se concluye que a medida que aumenta la producción de alcohol se logra un incremento notable de la rentabilidad de la posibilidad de producción de aditivos oxigenados en Cuba, aprovechando la disminución de los costos de producción en la integración por el ahorro de portadores energéticos y combustible.

El presente trabajo permite además, a partir de los resultados obtenidos, valorar la posibilidad de producción de plásticos en nuestro país y de productos para la química fina.

## Bibliografía

CYTED. (1995). El subprograma IV "Biomasa como fuente de Productos Químicos y Energía y sus proyectos de Investigación Precompetitiva y Redes Temáticas. Buenos Aires.

González, E. (1995). "Alternativas de desarrollo y perfeccionamiento de la industria azucarera mediante el incremento de la producción de alcohol". En: Ciclo de conferencias, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Fuentes Mora, M. (1997). "Determinación de la incertidumbre en el escalado y diseño de un combinado para la producción de aditivos oxigenados", Tesis de Maestría en Análisis de Procesos". UCLV.

Laborde, M., Della Torre, G., Amadeo, N., (U.B.A.) y Sergio, M., Montenegro, M., Diano, W., (U.R.) (1997). "Síntesis de acetal (1-1 dietoxietano) a partir del etanol utilizando montmorillonita como catalizador". En: Información Tecnológica. No. 8(4). Pp. 151-157.

Llanes, C. (1998). "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./ T.D". opción del grado de Master en Análisis de Procesos. U.C.L.V. Cuba, 1998.

Morgan, S.W. (1992). "Use Process Integration to Improve Process Designs and the Design Process". In: Chemical Engineering Progress. September. pp. 62-68.

Pedraza Garciga, J. González Suárez, E. (2000). "Posibilidades técnico económicas de producción de aditivos oxigenados a partir de bioetanol". En: Memorias de la I Conferencia Internacional de Química, Santa Clara.