

Posibilidades de desarrollo de una instalación de azúcar y etanol de caña de azúcar como biorefinería.

Fernando Ramos Miranda ¹, Víctor González Morales¹; Erenio González Suarez¹, Nancy López Bello ², Encarnación Ruiz ⁽³⁾, Irenia Gallardo Aguilar ²,

1)Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central de Las Villas. Cuba

2) Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central de Las Villas. Cuba

3) Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. Universidad de Jaén. España

Resumen

En el trabajo se fundamentan las necesidades y posibilidades de desarrollo de la industria de la caña de azúcar como una biorefinería, presentando el análisis específico de esta alternativa de desarrollo para una instalación. En el estudio específico realizado se emplea un procedimiento propio que es fundamentado e ilustrado mediante el ejemplo práctico incluyendo la evaluación de cuatro alternativas de desarrollo. El menor tiempo de recuperación de las inversiones, para el caso estudiado es el referido a la cuarta alternativa con valor 2.37 años. Todas las alternativas tienen puntos de equilibrio financiero favorables (menores del 50 % de la producción), también la alternativa # 4 muestra el mejor valor; 27 %.

Palabras claves: biorefinería; inversiones, caña de azúcar

Summary

In the work the necessities and possibilities of development of the industry of the cane of sugar like a biorefinery are based, presenting the analysis specifics of this development alternative for an installation. In the carried out specific study an own procedure is used that is based and cultured by means of the practical example including the evaluation of four development alternatives. The smallest time in recovery of the investments, for the studied case is the one referred to the fourth alternative with value 2.37 years. All the alternatives have favorable points of financial balance (smaller than 50% of the production), also the fourt alternative sample the best value; 27%.

Key words: biorefinery; investments, cane of sugar, refinery

Introducción

La crisis energética que se vislumbra con el agotamiento paulatino de los combustibles fósiles y el efecto negativo que se ha tenido en el medio ambiente ha demandado la atención de los científicos y empresarios hacia el uso de las fuentes renovables de energía, sin embargo las carencias de productos químicos estarán también presente con esta situación. La plataforma industrial de productos químicos tales como ácido acético, láctico, levulínico, combustibles líquidos como bioetanol y plásticos biodegradables pueden fabricarse a partir de fuentes maderables y otras biomasa lignocelulósicas (Hua-Jiang Huang et al; 2008)

En este concepto, el enfoque de aprovechar integralmente la biomasa disponible, como fuente de productos químicos y energía, con apoyo del concepto de biorefinería, mediante “la conversión de los azúcares que están en los materiales lignocelulósicos a etanol” en primer término, “es un camino para optimizar la ganancia de la energía solar incorporada en el crecimiento de las plantaciones agrícolas”(Christian Schacht, Carsten Zetzl, Gerd Brunner, 2008) y permite a partir de un producto líder como el etanol mediante el fraccionamiento inicial de la biomasa posibilita una diversidad de productos químicos de alto interés.

II. Posibilidades de la industria azucarera como base para el desarrollo de las biorefinerías.

La elección de una biomasa determinada como materia prima para ser utilizada en una biorefinería como fuente de energía y coproductos químicos (biocombustibles y otros coproductos) estará determinada por las características y actividades de la región en la que se produzca, por otro lado, como se conoce uno de los factores limitantes para utilizar la biomasa como fuente de energía y también de productos químicos, es lo referente al aseguramiento de su recolección y transporte hacia el lugar de destino, por ello, la logística existente en cada fábrica de azúcar para la transportación de la caña de azúcar y desde luego, el bagazo con ella, hasta un complejo fabril productor de azúcar susceptible de estar integrado material y energéticamente con otras instalaciones industriales, abre una perspectiva

extraordinaria de transformar las fábricas de azúcar en verdaderas biorefinerías que emplean integralmente la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energía. Estas instalaciones cuentan con facilidades de producción de la energía en forma de electricidad y vapor que se requieren para los procesos de obtención de azúcar y con ello con la cultura tecnológica de explotación y mantenimiento de estos procesos auxiliares, lo que les facilita la capacidad de aprendizaje tecnológico para la asimilación de nuevas producciones.

En este sentido, se ha avanzado mucho en la producción de etanol de los sustratos azucarados derivados de la industria de la caña de azúcar, tanto de las tradicionales tecnologías que emplean las mieles finales como principal fuente de azúcares fermentables, como las emplean jugo de los filtros, jugos secundarios o mezclas de los mismos, (Mesa, 2006). En paralelo a ello, la disponibilidad del bagazo como producto sobrante, después de garantizada la energía necesaria en el proceso, ha dado origen a instalaciones de productos derivados tales como tableros, papel y furfural en el proceso de diversificación de la industria de la caña de azúcar.

Los avances en los procesos biotecnológicos y la demanda creciente del etanol como biocombustible líquido ha convertido la producción de etanol de residuos lignocelulósicos en un problema cardinal de la Ciencia y la Técnica, haciendo que el bagazo sea un material lignocelulósico con gran potencial para la producción de etanol y otros productos de interés dentro del concepto de biorefinerías.

La producción comercial de etanol combustible desde residuos agrícolas y otros materiales lignocelulósicos no está lejos y permitirá disminuir las necesidades de tierra entre el 29 y el 38 % (R. C. de Cerqueira Leite, et al, 2009) por lo que se estudia su producción a costos competitivos mediante varios esquemas tecnológicos de pretratamiento. Pero es obvio que solamente una combinación de tecnologías hará factible alcanzar esta meta. Por consiguiente la cooperación de expertos en estas áreas del conocimiento parece ser la forma más eficiente forma para superar las

dificultades en este campo”(Hua-Jiang Huang;2008).

III. Análisis de alternativas de transformación de una fábrica de azúcar en biorefinería.

Para los estudios de alternativas de reconversión de una fábrica de azúcar en biorefinería se sigue un procedimiento establecido al efecto desarrollado con anterioridad (González, 2008).

3.1. Descripción del procedimiento

A continuación se resumen los pasos del procedimiento aplicable a los objetivos de este trabajo:

A. - La acción más importante será evaluar los aspectos para minimizar la incertidumbre cuando ya se tiene la selección de las tecnologías.

Al analizar los elementos básicos los factores a considerar son:

Capacidad de producción, Materias prima, Productos y subproductos, Servicios, Equipos y materiales de construcción, Clima y medio ambiente, Mano de obra y Diseño mínimo adecuado

B. – Elaborar los resúmenes que permitan preparar un análisis de alternativas y en función de estas, elaborar el estudio de prefactibilidad, este estudio debe conducir a determinar cuáles de las alternativas son las más favorables y en qué aspectos se debe profundizar, para continuar con la aprobación de la propuesta a los niveles correspondientes.

C.- Discriminar las alternativas según el valor RVAN mínimo aceptado

¿Qué expresa en definitiva el RVAN? Expresa cuántos pesos (USD, Euros; etc)se obtienen durante el período de vida del proyecto por cada unidad de moneda que se invierte.

Como las mejores alternativas no son solo las que ofrecen mejores RVAN, que se han calculado considerando variables técnico-económicas, es posible plantear una ecuación más general:

RVAN mejor = Función [variables técnicas, variables económicas y de mercado, variables medio-ambientales, variables sociales]

Puede entonces plantearse el siguiente procedimiento general aplicable a cualquier tipo de proyecto inversionista o de negocio:

1.Elaborar un buen diseño de alternativas, incluyendo las variables y sus rangos, que por la experiencia previa acumulada en procesos similares; son las de mayor sensibilidad. Puede que en algunos casos sean suficientes 3 escenarios: *pesimista*, *medio* y *optimista*, formulados con los criterios de expertos.

2.Resolver la ecuación para el juego de variables correspondiente y las consideraciones de cada alternativa.

3.Se analiza cuáles alternativas ofrecen los mejores RVAN y se presentan a la decisión de los inversionistas o decidores del proyecto. Operatoria.

A continuación se hace una descripción resumida de la operatoria para el cálculo del RVAN usando las hojas del fichero “Ficha del Proyecto” y los Programas BALANCE, DEUDA Y FLUJOS. (González,2008)

1.El fichero **Ficha del Proyecto** debe contener las siguientes hojas: Ficha técnica, Producción y ventas, Fichas de costo unitario, Costo total, Punto de equilibrio, Presupuesto y Resumen de la evaluación económica

2.Se debe decidir cuál será el valor mínimo aceptado del RVAN.

3.Comparar el RVAN obtenido con el mínimo si es igual o mayor, se acepta la alternativa.

4.Resumen de las alternativas viables, se prepara una hoja de trabajo.

3.2. Propuesta de las alternativas

Alternativa # 1

En esta alternativa se van a considerar todos los procesos de producción que se pueden obtener en un complejo industrial en el concepto de una biorefinería. En la misma entraría como materia prima la caña de azúcar, agua e insumos, para obtener: Azúcar crudo de alta polarización como producto

principal, con los jugos ricos. Etanol y sus coproductos alcoholes superiores y ésteres, a partir de la miel final, los jugos pobres y el jarabe lignocelulósico de la hidrólisis del bagazo sobrante. Energía eléctrica con aproximadamente el 90 % del bagazo, entregando a la red nacional el excedente. Miel Urea Bagacillo para alimento animal. A partir de la cachaza biodiesel, cera y un residuo sólido para compost. Del residual de la destilería (vinaza) obtener levadura torula y sus residuales para riego. Tiempo de operación: los días de zafra.

Alternativa # 2

Todo el jugo mezclado para la producir azúcar comercial, otros aspectos iguales a la 1.

Alternativa # 3

Trabajar la destilería en el período no zafra mediante el vínculo de mieles finales de otros centrales, utilizando la caldera de petróleo que está instalada. Otros aspectos iguales a la 1.

Alternativa # 4

Todo el bagazo sobrante como alimento animal y no invertir en obtener el jarabe lignocelulósico. Vincular Miel de otros. El resto de las condiciones iguales a la 1.

3.3. Evaluación económica de las alternativas

1. Balances de Materiales

Para la realización de los balances de materiales se tuvo en cuenta datos reales facilitados por la instalación industrial estudiada y ecuaciones que permitieron la obtención de los valores deseados.

Balance de materiales en el central

- Área de caña = 8500 Ha
- % Área molible = 82 – 85 %, Rendimiento agrícola = 46 – 50 t/Ha
- Capacidad potencial = 2688 t/d, Aprovechamiento = 80 – 85 %
- Área molible = % área molible * área de caña
- Caña a moler = rendimiento agrícola * área molible
- Capacidad operacional = aprovechamiento * capacidad potencial
- Días de zafra = caña a moler / capacidad operacional.
- Índice de miel final (si todo el jugo es para azúcar) = 0.025 t miel/t caña
- Miel final producida (si todo el jugo es para azúcar) = índice de miel final * caña a moler

- Rendimiento = 11.7 % (t azúcar/100 t caña)
- Azúcar comercial potencial = rendimiento * caña a moler
- Bagazo = 0.31 * caña a moler, Cachaza = 0.034 * caña a moler
- Miel urea bagacillo = días de zafra * t MUB/d
- Miel para urea bagacillo = miel urea bagacillo * 0.150
- Bagazo para miel urea bagacillo = miel urea bagacillo * 0.830
- Rendimiento (con jugos 1 y 2 + frac. mixto) = 13 %
- Jugo mezclado = 0.96 * caña a moler
- Jugo del 1^{er} y 2^{do} molino = 0.665 * jugo mezclado
- Jugo del 3^{er} y 4^{to} molino = 0.285 * jugo mezclado
- Jugo de los filtros = 0.15 * (jugo del 1^{er} y 2^{do} molino + jugo del 3^{er} y 4^{to} molino)
- Jugo mixto clarificado = 0.85 * (jugo del 3^{er} y 4^{to} molino + jugo de los filtros)
- Fracción de jugo mixto a la destilería = de 0 - 1 t/t
- Jugo p/ azúcar = (1 – fracción jugo mixto a destil) * jugo mixto clarif+ jugo del 1^{er} y 2^{do} molino.
- Azúcar de calidad = rendimiento con jugo del 1^{er} y 2^{do} molino * jugo para azúcar
- Miel final = 0.24 * azúcar de calidad,
- Generación de electricidad = caña a moler * 38 Kwh/t caña
- Entrega de electricidad = generación de electricidad * 20 % entrega a la red
- Capacidad operacional de los turbos = gen. de elec/ días de zafra * 90 % aprove. del turbo
- Balance de materiales en la destilería e instalación de biomasa proteica.
- Jugo diluido o mixto = jugo mixto clarificado * fracción jugo mixto a destilería
- Miel final propia para alcohol = miel final – miel urea bagacillo
- ART en jarabe = 0.268 * bagazo
- ART en jugo mixto = 1.0528 * sacarosa (% Pol) * jugo mixto
- ART en mieles = 0.52 * 0.85 * (miel propia para alcohol + miel vinculada para alcohol)
- ART total = ART en jarabe + ART en jugo mixto + ART en mieles
- Eficiencia en fermentación = 80 %, LAP/Kg ART = eficiencia en fermentación * 0.65
- Alcohol puro a obtener = LAP/Kg ART + ART total

- Alcohol puro por día de zafra = alcohol puro a obtener/ días de zafra
- Alcohol a 96 grados GL = 0.9 * alcohol puro a obtener/0.96
- Alcohol de mal gusto a 93 grados GL = 0.1 * alcohol puro a obtener/0.93
- Anhídrido carbónico CO₂ = 76 * 0.55 * alcohol puro a obtener

- Alcoholes superiores = 0.4 % * alcohol puro a obtener
- Ésteres = 10 % * alcohol puro a obtener
- Vinaza (para vino 7 % alcohol) = vino para 1 HLAP – alcohol * 1.08

- Residual vinazas producida = Vinaza (para vino 7 % alcohol) * alcohol puro a obtener
- Índice de cons. de vinazas = 70 t vin./t torula seca (Ing. Waldo Carreras MINAZ), personal
- Índice de cons. de miel = 0.8 t/t torula seca (Ing. Waldo Carreras MINAZ, consulta personal).

- Levadura torula seca = residual vinazas producida/ índice de consumo de vinazas
- Miel final insumo torula = levadura torula seca * índice de consumo de miel.
- Crema levadura Saccharomyces = 5 % vinaza (Fábrica Antonio Sánchez).

Con los resultados de los balances para las 4 alternativas y según las capacidades, se elaboraron los presupuestos de inversión. Para ello fueron facilitados datos reales de inversiones existentes de algunas de las tecnologías de la biorefinería, y otras que para el cálculo de las mismas se tomo como base la metodología desarrollada en la literatura científica (Peters- Timmerhaus; 1981) para consolidar y obtener inversión total de la biorefinería propuesta y los costos de producción.

3.4. Resumen de la evaluación económica

En las siguientes tablas 1 y 2 se reportan los números de los terceros años de producción y los parámetros económicos.

Tabla 1. Producción de cada una de las alternativas en el tercer año de la inversión.

Proyecto de producción	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
Azúcar de calidad o Comercial (Mt/a)	29,97	42,27	29,97	29,97
Alcohol extra fino y técnico (MHLAP/a)	76,17	72,40	131,33	114,71
Torula y Saccharomyces (Mt/a)	7,03	10,24	17,20	15,67
Ésteres, biodiesel y fusel (m ³ /a)	2587,81	2601,74	2631,93	2625,29
MU bagacillo y CO ₂ (Mt/a)	4,8	7,5	7,1	17,4

Tabla 2. Parámetros económicos de cada una de las alternativas

Parámetros Económicos	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
TIR (%)	37,4	34,5	44,0	77,5
VAN (al %, MM\$), al 10 % tasa des	41,5	38,5	54,7	66,0
RVAN (\$/\$)	1,31	1,15	1,67	3,60
Periodo recuperación inversión (años)	3,60	3,77	3,27	2,37
Punto de equilibrio (m ton producción)	17,8	29,2	21,3	19,5
Punto de equilibrio (% producción)	38,2	45,5	33,0	27,4
Costo operación / ingreso	0,51	0,60	0,51	0,50
Costo total / ingreso	0,94	0,96	0,88	0,81

3.5 Análisis de los resultados

1. Los resultados de los costos de inversión evidencian la fuerte influencia del elevado costo inversionista para la obtención del jarabe lignocelulósico.

2. En el análisis del RVAN se cuenta con valores en el rango desde 1.15 hasta 3.60 \$/\$ la alternativa # 4 presenta el mayor RVAN.

3. En el período de recuperación de la inversión la alternativa # 4 posee un menor valor 2.37 años, por lo que produciría ganancias en un menor plazo.

4. Se observa que todas las alternativas tienen puntos de equilibrio financiero favorables (menores del 50 % de la producción), también la alternativa # 4 muestra el mejor valor; 27 %.

Conclusiones

1. Aunque se han evaluado alternativas para la transformación de un central azucarero en una biorefinería, aún no se habían incluido dos aspectos claves como son la obtención de etanol de los residuos lignocelulósicos y el biodiesel de cachaza.

2. Están disponibles varias tecnologías para ser transferidas y asimiladas en una fábrica de azúcar que se reconvierta en biorefinería, no obstante es necesario continuar investigando en la obtención de coproductos.

3. En el estudio se selecciona a la alternativa número

4 debido a que posee un menor costo total de inversión, siendo en este caso de 18327.6 MUSD, así como un menor tiempo de recuperación de la misma de 2.37 años y teniendo también los demás parámetros evaluados en correspondencia con los resultados requeridos.

5. Se hace evidente los altos costos inversionistas y de producción del jarabe lignocelulósico, lo que trae como consecuencia que la alternativa número 4, al no emplearlos en el proceso, sea la mejor de todas las alternativas propuestas.

6. Para incluir las producciones de etanol de residuos lignocelulósicos en la reconversión de una fábrica de azúcar en biorefinería se requiere aprovechar los residuos del proceso como fuente de coproductos.

Bibliografía

1.Christian Schacht, Carsten Zetzl, Gerd Brunner,(2008) .From plant materials to ethanol by means of supercritical fluid technology.. J. of Supercritical Fluids 46 (2008) 299–321

2.de Cerqueira Leite, R. C., M. R. Lima Verde Leal; L.A. Barbosa Cortez, W. M. Griffin, M. I. Gaya Scandiffio. (2009) Can Brazil replace 5 % of the 2025 gasoline world demand with etanol?.Energy 34655-661),

3.Ericksson(2007)Overview of Thermochemical Biorefinery Technologies. International Sugar Journal, 109(1299):163-173).

4.González Morales, V. Procedimiento para la ejecución de Estudios Previos Inversionistas en la industria de procesos químicos y fermentativos. Tesis en opción al Grado científico de Máster en Gestión de Ciencia e Innovación. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2008.

5.Hua-Jiang Huang, Shri Ramaswamy, U.W. Tschirmer, B.V. Ramarao, (2008) A review of separation technologies in current and future biorefineries. Separation and Purification Technology 62 1–21.

6.Mesa Garriga L., **González Suárez E.**, González Cortés M., Agüero Chapin G., Benítez Pardillo T. Estudio preliminar del mezclado de los sustratos: jugos de los filtros, jugos secundarios y miel en la producción de etanol. Centro Azúcar. 2006, Vol. 33. No. 4. p. **37-42**. Santa Clara. Cuba. ISSN: 0253-5777.

7.Peters, M. S., K. D. Timmerhauss. 1981. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw-Hill International Editions. ISBN 0-07-66473-0,