

Diseño preeliminar del área de pretratamiento de una planta de producción de polioles y fenoles

Preliminary design of the of pretreatment area for a poli-ol-phenol production plant

Autores: Yaser Oliva Conyedo¹, Mary Lopetry²; Layanis Mesa Garriga³; Erenio González Suárez³.

1. CUPET, Villa Clara, Cuba.

2. ~~Universidad de la República de Uruguay.~~

3. Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Resumen

En el presente trabajo se realizó un estudio de factibilidad técnico-económica de una planta de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. En el mismo se diseñó un área de pretratamiento del material lignocelulósico, un área de hidrólisis enzimática y un área de fermentación y destilación. Para este análisis se plantearon las ecuaciones de los balances de materiales y energía y luego se procedió a la selección y diseño de los equipos. Al final se realizó una evaluación económica con sus respectivos indicadores dinámicos.

Palabras clave: Residuos lignocelulósicos, polioles, fenoles, bioetanol.

Abstract

Presently work was carried out an economic technical study of feasibility of a bio ethanol plant from Lignocelluloses wastes. In the same one it was designed an area of treatments of the lignocelluloses wastes, an area of enzymatic hydrolysis and an area of fermentation and distillation. For this analysis we thought about the equations of the balances of materials and energy and then we proceeded to the selection and design of the equipment. At the end we were carried out an economic evaluation with their respective dynamic indicators.

Key words: Lignocelluloses wastes, polyols, phenols, bioethanol.

Introducción

La mayoría de los países latinoamericanos, entre ellos los productores de azúcar, están en la búsqueda de una estrategia para la reconversión de sus economías productivas y dar respuesta con ello a la apertura de nuevos mercados y a la integración regional.

El aumento de la producción de alcohol en el mundo ha estado aparejado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten obtener etanol a partir de residuos de madera, de desechos sólidos y de todos los materiales que contengan celulosa y hemicelulosa permitiendo entonces revalorizar los desechos de varias industrias convirtiéndolos en materia prima para la obtención de etanol.

El interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos es importante desde hace ya varias décadas. Entre las razones fundamentales por tal interés se tienen:

- La materia lignocelulósica es el subproducto agroindustrial de mayor abundancia.
- Es una fuente de materia prima renovable, por constituir una parte estructural en el reino vegetal.
- Sus tres mayores constituyentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) encuentran aplicaciones prácticas apreciables. La celulosa se utiliza por ejemplo para la obtención de etanol y biomasa, la hemicelulosa como fuente de etanol y/o biomasa y la lignina como fuente de combustible, adhesivo o inmunoadyuvante.

Materiales y Métodos

Tratamiento del material lignocelulósico para obtener azúcares fermentables

Los materiales lignocelulósicos son en general de muy baja susceptibilidad a los ataques enzimáticos y microbianos lo que se debe a los factores siguientes derivados de su composición y de su estructura físico-química:

- a) Estrecha relación que existe entre celulosa, hemicelulosa y lignina formando una estructura que no es accesible a las enzimas y a otros agentes químicos.
- b) Cristalinidad de la celulosa.

Para poder liberar los azúcares presentes en los materiales lignocelulósicos hay que someter al ma-

terial a determinadas etapas, estas son:

1. Pretratamiento, cuya función es hacer al material más susceptible y accesible para la etapa posterior.

1. Prehidrólisis, cuya función es liberar las hemicelulosas que contiene el material.
2. Hidrólisis, cuya función es liberar la glucosa presente en los materiales lignocelulósicos.

Métodos de pretratamiento del material.^{1, 2, 3}

El objetivo de los pretratamientos es aumentar la susceptibilidad del material (para obtener un sustrato lignocelulósico reactivo que sea altamente accesible) al ataque de carácter microbiológico y enzimático en el contexto de la utilización o procesamiento bioquímico de los mismos.

Los métodos de pretratamiento se clasifican en:

1. Físicos.
2. Químicos.
3. Físico- químicos.
4. Biológicos.

Procesos de hidrólisis o sacarificación^{1, 2}

Después que el material lignocelulósico ha recibido determinado pretratamiento se realiza el proceso de la hidrólisis de la celulosa y las hemicelulosas.

Este proceso puede ser de dos tipos:

- Procesos de hidrólisis ácida.
- Procesos de hidrólisis enzimática

Fermentación alcohólica^{1, 2}

Luego de completada la hidrólisis enzimática de la celulosa y la hemicelulosa, la tecnología subsiguiente requerida para la fermentación a etanol, no difiere básicamente de la aplicable a otras soluciones de azúcares, excepto en algún detalle cuando la etapa hidrolítica ha generado agentes inhibidores.

Conversión de la glucosa a etanol

- (1) Glucosa
- (2) Etanol + (2) Dióxido de Carbono

Conversión de la Xilosa a Etanol

Xilosa
Etanol + Dióxido de Carbono + Agua

Realmente se han reportado tres posibles rutas por las que ocurre la fermentación, obteniéndose concentraciones de etanol que varían desde 30 % a 50 % en peso de la materia prima de partida (peso

etanol/peso de xilosa).

Como se expresó anteriormente, que la fermentación ocurra por un camino o por otro dependerá de los microorganismos empleados y de las condiciones bajo las que ocurra este proceso.

Breve descripción del proceso.

La materia prima utilizada en este proceso son residuos lignocelulósicos (bagazo de caña de azúcar). Primeramente el bagazo a temperatura ambiente y 60 % de humedad se somete durante 45 días a un proceso aeróbico suelo con aire en un galpón (bandejas), para que la lignina presente en la materia prima sea convertida a polioles y fenoles. Seguidamente en un tanque se le añade agua al material lignocelulósico pretratado con el objetivo de arrastrar la mayor cantidad de polioles y fenoles que se producen en la etapa anterior y están retenidos en la masa de celulosa, hemicelulosa y la lignina.

. La corriente de polioles y fenoles contiene un 14 % de sólidos en suspensión los cuales son separados en una centrífuga después de pasar por un tanque con agitación donde debe permanecer la solución de polioles y fenoles durante 2 horas a una temperatura de 37 °C. La celulosa, hemicelulosa y lignina son sometidas a un proceso de hidrólisis enzimática para degradar la celulosa y la hemicelulosa a glucosa (azúcares), con el objetivo de que sean fermentados posteriormente por microorganismos para la obtención de bioetanol. Posteriormente se requiere de una destilación para la separación del bioetanol de los demás compuestos.

Desarrollo

Disponibilidad de la materia prima

Se tomó como base una destilería de 800 H1/día en un Complejo Agroindustrial. (Tabla 1)

Tabla 1. Datos de materiales lignocelulósicos del ejemplo de estudio

CAI	Bagazo Sobrante T/día	Paja Disponible T/día	Bagazo sobrante por extracción de Jugos T/día	Total
1	33,8	67,61	57,55	158,96
2	12,56	62,78	53,44	128,78
3	16,02	64,28	54,72	135,02
4	8,45	28,17	23,98	60,6
5	13,73	109,84	93,5	217,07

Tabla 2. Balance de materiales

Equipos	Ecuaciones del Balance de Materiales
Galpón	ML=MLP
Tolva	BT: MLP + agua = SP + CHL BP fibra: $X_{MLP} * MLP = X_{SP} * SP + X_{CHL} * CHL$ BP agua: $X_{AGUA} * MLP + \text{agua} = X_{AGUA} * SP + X_{AGUA} * CHL$
Separación	BT: SP=Torta+PF BP polioles y fenoles: $X_{SP} * SP = X_{PF} * PF$ BP fibra: $X_{fibra} * SP = X_{fibra} * \text{torta}$

Donde:

MLS: Material lignocelulósico seco

MLH: Material lignocelulósico húmedo

MLP: Material lignocelulosico pretratado.

SP: Solución de polioles

CHL: Celulosa hemicelulosa lignina

PF: Polioles y Fenoles.

En las Tablas 3 y 4 se resumen datos de los balances de materiales.

Tabla 3. Resultados de fibra, agua y polioles y fenoles

	MLS	A1	MLH	MLP	A2
Fibra	571.430,00		571.430,00	317.486,51	
Agua		857.145,00	857.145,00	857.145,00	714.287,50
P y F				253.943,49	
Total	571.430,00	857.145,00	1.428.575,00	1.428.575,00	714.287,50

Tabla 4. Otros valores de los balances de materiales

	SP	Torta 1	PF	CHL
Fibra	44.440,11	44.440,11		273.046,40
Agua	19.045,76	4.937,79	14.107,97	1.552.386,74
P y F	253.943,49		253.943,49	
Total	317.429,37	49.377,90	268.051,46	1.825.433,14

Diseño del equipamiento

Ecuaciones Fundamentales para el diseño

❖ Cálculo del diámetro y la altura de la virola y el fondo

$$Vl=m/$$

$$V=1.2Vl$$

$$V=V_{cilindro} + V_{fondo}$$

$$V_{cilindro} = \pi * D^2 * H / 4$$

$$V_{fondo} = 0.16 * \pi * h (0.75 * D^2 + h^2) \text{ (fondo elíptico)}$$

$$H=D \quad \text{(si el tanque es con agitación)}$$

$$H=2*D \quad \text{(tanque de almacenamiento)}$$

Galpón

Hay que tener en cuenta que si en este equipo se realizara un proceso aeróbico es necesario que el espesor del material sea pequeño para que exista mayor cantidad de oxígeno.

$e = 0,1\text{m}$

Largo y ancho de las bandejas pueden ser de 10 m.

Cada bandeja tiene un volumen de 10 m^3 .

Por tanto se necesitarían aproximadamente 100 bandejas.

Tabla 5. Tanques

Equipo	D (m)	H (m)	h fondo (m)
T-101	6.76	6.76	-
T-102	4.38	4.38	0.88

Reactor

Este es el equipo que se utiliza para la hidrólisis enzimática, el mismo se diseñó como un tanque agitado.

Tabla 6. Datos de diseño del reactor

Equipo	D (m)	H (m)	H (m)
R-103	6,8	6,8	0,9

Tabla 7. Costo del equipamiento

<i>Equipos</i>	<i>Costo de Adquisición</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Índice Costo Actual / Índice Costo Referencia</i>	<i>Costo actual de Adquisición</i>
G100 Galpón	500	100	3,58	179000,00
T101 Tanque de mezclado	2300	5	3,58	41170,00
T102 Tanque de solución de polioles y fenoles	800	5	3,58	14320,00
R103 Reactor para la hidrólisis enzimática	35000	1	3,58	125300,00
Columna Dest. incluido Eq. Auxiliares	60000	1	3,58	214702,11
Fermentadores	14300	5	3,58	255853,35
<i>Total</i>				<i>830345,5</i>

Evaluación Económica

Para la evaluación económica se determinaron los costos de inversión que se reportan en la tabla 8 y los costos de producción que se reportan en la tabla 9.

<i>Costos Total de Inversión</i>	<i>%</i>	<i>Valor (\$)</i>
Adquisición del Equipamiento	100	830.345,45
Instalación del Equipamiento	39	323.834,73
Instrumentación y Control	13	107.944,91
Instalación de Tuberías	31	257.407,09
Instalaciones Eléctricas	10	83.034,55
Edificaciones	29	240.800,18
Mejoramiento de Patios	10	83.034,55
Facilidad de Servicios	55	456.690,00
<i>Costos Directos Total</i>		<i>2.383.091,45</i>
Ingeniería y Supervisión	32	265.710,55
Gastos de Construcción	34	282.317,45
<i>Costos Indirectos Total</i>		<i>548.028,00</i>
Contingencias	36	298.924,36
Honorarios al Contador	18	149.462,18
<i>Capital Fijo Invertido</i>		<i>3.379.506,17</i>
Capital de Trabajo	74	614.455,64
<i>CAPITAL TOTAL INVERTIDO</i>		<i>3.993.961,63</i>

El flujo de caja se ofrece en la Tabla 10.

Tabla 9. Componentes de los costos de producción

I GASTOS DE FABRICACION	4.395.083,01
A Costos directos	3.840.041,83
Materia Prima	1.473.730,49
<i>Bagazo</i>	1.380.441,16
Fosfato de Amonio	7.316,40
Sulfato de amonio	3.416,40
Urea	22.082,40
Antiespumante	10.582,34
Fomol	167,93
Hipoclorito de Sodio	1,76
Líquido antialga ST 2100	26.855,86
Líquido antincrustante ST 2000	16.062,24
SC-1100 (caldera)	6.804,00
Mano de Obra % CTP	499.441,25
Utilidades y servicios	1.642.432,32
Agua para RL	360.000,00
Combustible (Fuel oil)	1.270.192,32
Electricidad red nacional	12.240,00
Mantenimiento % del CFI	22.419,33
Suministros %My R	2.241,93
Supervisión Directa % MO	49.944,13
Patentes % CTP	99.888,25
Cargos de laboratorio % MO	49.944,13
B CARGOS FIJOS	555.041,18
Depreciación 10% CFI	44.838,65
Tasa Locales 1-4% CFI	8.967,73
Impuestos 0,4-1% CFI	1.793,55
Costos exteriores 5-15% CTP	499.441,25
II GASTOS GENERALES	599.329,50
A. Distribución y ventas % CTP	249.720,63
B. Administración % CTP	99.888,25
C. Investigación y Desarrollo % CTP	249.720,63
Costo Total	4.994.412,51

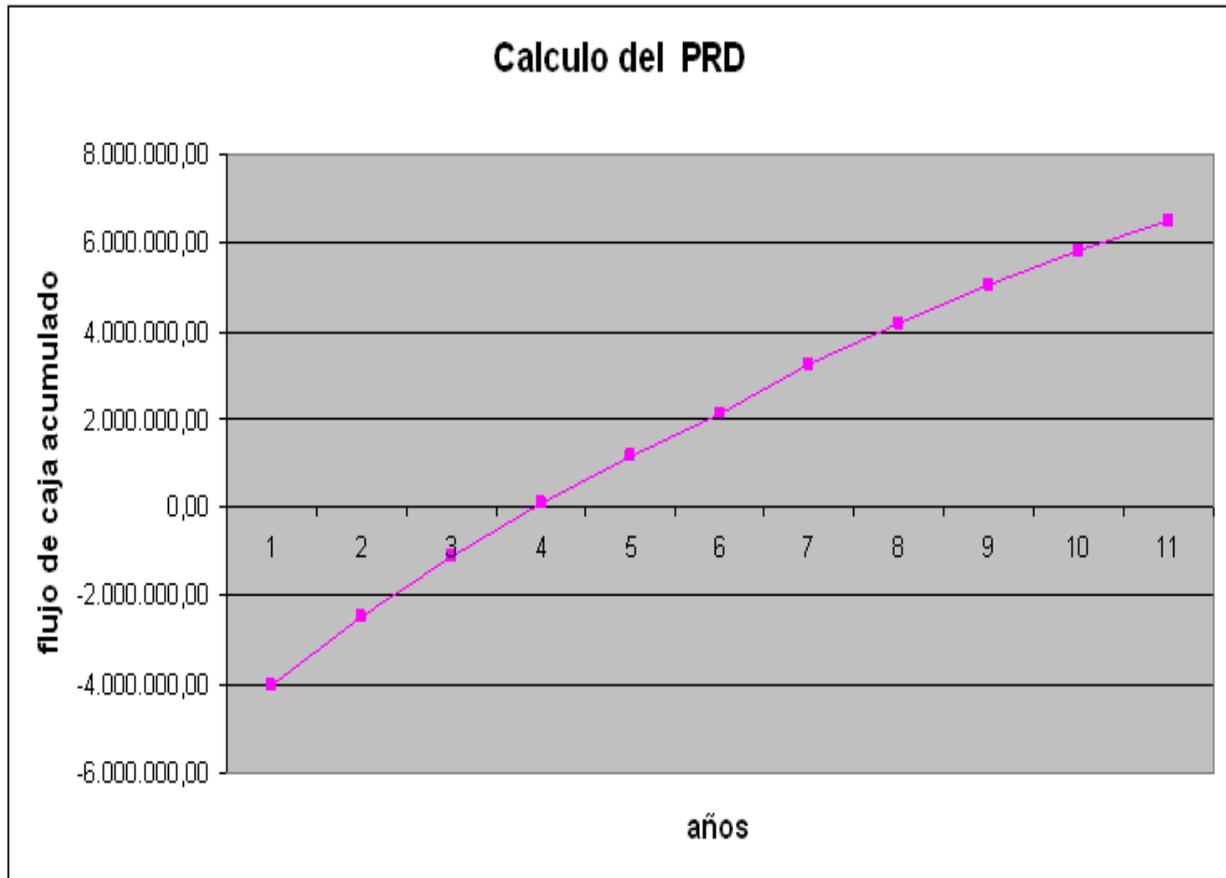
Centro Azúcar 37(3): 73-82, Julio-Sept., 2010

<i>CONCEPTO</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
INGRESOS		7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00
COSTOS OPERACIONALES		4.947.780,31	4.947.780,31	4.947.780,31	4.947.780,31	4.947.780,31	4.947.780,31
BENEFICIOS OPERACIONALES		2.120.219,69	2.120.219,69	2.120.219,69	2.120.219,69	2.120.219,69	2.120.219,69
DEPRECIACION		44.838,65	44.838,65	44.838,65	44.838,65	44.838,65	44.838,65
BENEFICIOS ANTES DE IMPUESTOS		2.075.381,04	2.075.381,04	2.075.381,04	2.075.381,04	2.075.381,04	2.075.381,04
IMPUESTOS		1.793,55	1.793,55	1.793,55	1.793,55	1.793,55	1.793,55
BENEFICIOS DESPUES DE IMPUESTOS		2.073.587,49	2.073.587,49	2.073.587,49	2.073.587,49	2.073.587,49	2.073.587,49
INVERSIONES	-3.993.961,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PAGO DE LA DEUDA		411.165,90	411.165,90	411.165,90	411.165,90	411.165,90	0,00
FLUJO DE CAJA	-3.993.961,63	1.707.260,25	1.707.260,25	1.707.260,25	1.707.260,25	1.707.260,25	2.118.426,15
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO	-3.993.961,63	1.524.339,50	1.361.017,42	1.215.194,12	1.084.994,75	968.745,31	1.073.260,61
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO ACUMULADO	-3.993.961,63	-2469622,13	-1108604,71	106589,41	1191584,16	2160329,47	3233590,09

<i>CONCEPTO</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
INGRESOS	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00	7.068.000,00
COSTOS OPERACIONALES	4.947.780,31	4.947.780,31	4.947.780,31	4.947.780,31
BENEFICIOS OPERACIONALES	2.120.219,69	2.120.219,69	2.120.219,69	2.120.219,69
DEPRECIACION	44.838,65	44.838,65	44.838,65	44.838,65
BENEFICIOS ANTES DE IMPUESTOS	2.075.381,04	2.075.381,04	2.075.381,04	2.075.381,04
IMPUESTOS	1.793,55	1.793,55	1.793,55	1.793,55
BENEFICIOS DESPUES DE IMPUESTOS	2.073.587,49	2.073.587,49	2.073.587,49	2.073.587,49
INVERSIONES	0,00	0,00	0,00	0,00
PAGO DE LA DEUDA	0,00	0,00	0,00	0,00
FLUJO DE CAJA	2.118.426,15	2.118.426,15	2.118.426,15	2.118.426,15
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO	958.268,40	855.596,79	763.925,71	682.076,52
FLUJO DE CAJA AL DESCONTADO ACUMULADO	4191858,49	5047455,28	5811380,99	6493457,51

Indicadores Dinámicos

VAN	5.797.729,92
TIR	43%
PRD	3,2



Conclusiones

1. Se hace necesario la utilización de un área de pretratamiento de los residuos lignocelulosicos para hacer más susceptible este material a los procesos que le prosiguen.
2. Con los residuos lignocelulósicos (bagazo) de 4 de los complejos agroindustriales cercanos al Complejo agroindustrial de referencia se puede obtener suficiente materia prima para la producción de 800 HI/día de bioetanol y para la producción de polioles y fenoles.
3. En una planta de producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos, por cada 800 HI/día de bioetanol se pueden obtener **317 429,37 kg./día** de una solución de polioles y fenoles.
4. Es factible la inversión de una planta de bioetanol de 800 HI/día a partir de residuos lignocelulósicos, obteniéndose los indicadores económicos siguientes: Capital Total Invertido 3.993.961,63 \$, Costo Total de Producción 4.994.412,51 \$/año, VAN 5.797.729,92 TIR 43% y PRD 3.2 años.

Bibliografía

1. Cunningham, R. E y G.D López: Etanol de Lignocelulósicos. Tecnologías y Perspectivas Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, Universidad de Compostela, pp. 15-95, 1994.
2. Muñoz, J.O.: Environmental Engineering innd -11th December, pp. 183-203, 2002.
3. Peters, M. S. And K.D. Timmerhaus: Plant Design and economics for Chemical Engineers, 7th Edition, 1999.
4. Gong, C.S.; C.S. Chen and L.F. Chen: "Pre-treatment of Sugarcane Bagasse Hemicelluloses Hydrolyzate for Ethanol Production by Yeast," *Applied Biochem. Biotech.*, 39/40:83-88 (SCI), 1993.
5. Ander, P. And K.E. Eriksson: "Lignin degradation and utilization by microorganisms", *Prog. Indust. Microbiol*, 14:1 58, 1978.
6. Klyosov, A.A.: "Enzimatic conversion of celulosic material to sugars and alcohol: the technology and its implications", UNIDO/IS. 476, 1984.
7. Enari, T.M. and Niku-Paavola: *CRC Crit. Rev. Biotechnol.* 5, 67, 1987.
8. Klyosov, A. A.: *Biochemistry* 29, 10577, 1990.
9. Rivers, D.B. and G.H. Emert: "Factors affecting the enzymatic hydrolysis of municipal solid waste components", *Biotech. And Bioeng*, 31(278-281), 1988.
10. Rivers, D.B. and G.H Emert: "Factors affecting the enzymatic hydrolysis of bagasse and rice straw", *Biological Wastes*, 26:85-95, 1988.