

DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

Méndez-Alva José Andrés (1), Pérez-Cisneros Eduardo Salvador (2), Morales-Rodríguez Ricardo (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | [joseanmeal@gmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, División de Ciencias Básicas de Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa] | [espc@xanum.uam.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [ricardo.morales@ugto.mx]

Resumen

El ácido láctico (AL) es un compuesto con un considerable campo de aplicación, uno de los aspectos más importantes es que puede ser precursor del ácido poliláctico que es un polímero biodegradable considerado como bio-plástico y con un mercado cada vez mayor. Es por ello la importancia de realizar estudios para la producción de ácido láctico. Este trabajo presenta una posible ruta industrial de producción de AL a partir de residuos de la industria azucarera, el proceso fue simulado usando la herramienta computacional ASPEN PLUS. El proceso consiste de manera general en una etapa de pretratamiento para extraer la materia prima de los residuos, la siguiente etapa se enfoca en la fermentación del AL y por último se purifica y separa, con el fin de obtener una solución de AL arriba del 90% en peso y una producción de 14,333 kg/hr de ácido láctico. Se evalúa económicamente el proceso para determinar su factibilidad dando un tiempo de recuperación de la inversión de 3.6 años con un precio de venta de 1.8 USD/kg de AL.

Abstract

Lactic acid (LA) is a compound with a considerable range of application, one of the most important aspects is that it can be precursor of polylactic acid which is a biodegradable polymer considered as bio-plastic and with a growing market. This is why it is important to carry out studies for the production of lactic acid. This work presents a possible industrial production route of LA from waste of sugar Industry, the process was simulated using the computational tool ASPEN PLUS. It generally consists of a pretreatment stage to extract the raw material from the residues, the next stage focuses on the fermentation of the LA and the last one is about purification and separation, trying to obtain an LA solution above 90 weight % and a production of 14,333 kg/hr. The process is evaluated economically to determine its feasibility and it results in a recovery time of 3.6 years with a price of 1.8 USD/kg of LA.

Palabras Clave

Ácido láctico; Materiales renovables; Aspen Plus; Destilación reactiva

INTRODUCCIÓN

Temas actuales de gran importancia como la protección ambiental, sustentabilidad y el decreciente nivel de las reservas de petróleo ha motivado la búsqueda de materiales útiles que puedan ser producidos a partir de materia prima renovable. Uno de estos materiales es el ácido láctico (ácido 2-hidroxipropiónico, $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$), ya que es un producto muy importante que ha atraído mucha atención debido a sus amplias aplicaciones, principalmente en alimentos, productos químicos, cosméticos y farmacéuticos. Además, tiene un gran potencial para la producción del ácido poliláctico (APL) [1], un polímero biodegradable considerado dentro de la categoría de bioplásticos y puede utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde envases hasta fibras y espumas. Es por ello que es uno de los mayores impulsores de la expansión actual del mercado del ácido láctico. Se ha estimado que la demanda de ácido láctico crece anualmente en 5-8% [2]. El mercado mundial anual para la producción de ácido láctico se pronosticó en una demanda de 259,000 toneladas métricas para el año 2012 [3], y se prevé alcanzar 367,300 toneladas métricas en el presente año 2017.

La producción de ácido láctico se puede lograr ya sea por rutas de síntesis química o rutas de producción fermentativa. Sin embargo, la producción fermentativa ofrece ventajas como la utilización de sustratos renovables y más baratos, bajas temperaturas de producción y bajo consumo de energía.

El proceso de producción de ácido láctico que se plantea en este trabajo se puede definir en 3 etapas globales; la primera se enfoca al tratamiento que se le debe aplicar la materia prima para conseguir las condiciones adecuadas para poder ser utilizado como precursor del ácido láctico. La segunda etapa se basa en el proceso de fermentación en el que la glucosa y la xilosa son convertidas en ácido láctico. La tercera etapa consiste en la purificación del producto deseado. Se han propuesto muchos métodos para la purificación de ácido láctico, incluyendo ultrafiltración, ósmosis inversa, adsorción y extracción reactiva. Sin embargo, todos estos métodos tienen desventajas. Por ejemplo, la

ultrafiltración y la ósmosis no se ajustan correctamente para una gran cantidad de materia prima. La adsorción y la extracción reactiva tienen problemas de selectividad de partículas, capacidad y de regeneración. Más importante aún, todos estos métodos sufren de baja recuperación de ácido láctico.

Debido a estas limitaciones, el método más atractivo para la purificación de ácido láctico a partir de líquido de fermentación es un proceso de destilación reactiva en dos etapas en el que el ácido se hace reaccionar primero con un alcohol para formar un éster más volátil que se puede purificar por destilación. A continuación, el ácido láctico puro se recupera por hidrólisis del éster. Este método de purificación no sólo puede manejar una gran capacidad de materia prima, sino que también puede lograr una alta recuperación de ácido láctico [4].

Este trabajo tiene como objetivo diseñar el proceso de producción de ácido láctico y realizar un análisis de factibilidad, iniciando el proceso con el tratamiento de residuos de la industria azucarera como materia prima y el uso de destilación reactiva para su purificación y separación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proceso de producción de ácido láctico se utilizó la herramienta computacional ASPEN PLUS, mediante la cual se logró realizar una simulación aproximada del proceso real necesario para producir ácido láctico.

Uno de los puntos importantes a resaltar es que se plantea utilizar como materia prima el bagazo generado como desperdicio por la industria azucarera. Se ajustó una alimentación de 28,886.6 kg/hr constituida por celulosa (68.21%), lignina (29.19%) y xilano (2.59 %).

El modelo termodinámico es otro de los ajustes más relevantes para el correcto desarrollo del trabajo. Se seleccionó el modelo NRTL ya que estima de manera considerable el equilibrio vapor-líquido y vapor-líquido-líquido presente en el proceso, sobre todo en la etapa final de purificación del ácido láctico. La información sobre estructura química y propiedades físicas de los compuestos utilizados se obtuvieron de la base de

datos del National Renewable Energy Laboratory (NREL) y del banco de datos de ASPEN PLUS [5].

Detalle de la simulación

El proceso, que se muestra en la imagen 1, está constituido por 6 secciones: 1) pretratamiento, 2) neutralización y producción de nutrientes, 3) hidrólisis enzimática, 4) inoculación, 5) fermentación del ácido láctico y 6) la purificación y separación.

El proceso comienza con la mezcla del bagazo con una solución de ácido sulfúrico (6% en peso). Esta mezcla es alimentada al reactor R-101 donde se produce glucosa y xilosa. La corriente de salida del reactor R-101 es una mezcla de sólido, líquido y gas, la cual es enviada al separador F-201 para separar el vapor y líquido en dos corrientes (201 y 202, respectivamente).

Una porción de la fase líquida (2% del flujo total) es dividido (S-201) y alimentada al reactor R-201 junto con una corriente de amoníaco (207) con el propósito de generar sulfato de amonio, y emplearlo como fuente de nitrógeno para el crecimiento y reproducción de microorganismos. La reacción en el R-201 se lleva a cabo a 1 atm, 50°C y una conversión del ácido sulfúrico de 89%. La corriente de salida del R-201 se vuelve a mezclar (M-202) con el resto del vapor y líquido proveniente del mezclador M-201. Esta corriente pasa por el intercambiador de calor H-201 para alcanzar la temperatura de 25°C y alimentar al tanque de neutralización R-202 junto con una corriente de hidróxido de sodio (211).

El flujo neutralizado (212) es mezclado (M-301) con la corriente de sólidos (203) proveniente del separador F-201. El flujo de sólido-líquido (302) entra al divisor de corriente (S-301) para generar dos flujos, el 10% del flujo (303) es enviado a la sección de inoculación, mientras que el 90% restante (304) se envía a la sección de hidrólisis enzimática, pero antes de entrar a los reactores de esta sección debe elevar su temperatura en el intercambiador de calor H-302. Además, una corriente (307) de una enzima diluida se mezcla con la corriente saliente del intercambiador en el M-302 y posteriormente alimenta los reactores (R-301 – R-305). La relación de alimentación de la enzima debe ser 20 mg por 1 g de celulosa; y la

dilución debe ser 30% de enzima y el resto de agua. Los reactores de la sección de hidrólisis enzimática convierten la celulosa en glucosa con una conversión del 66%.

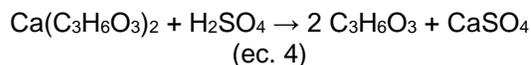
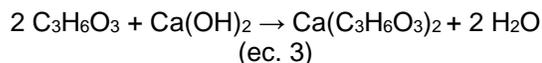
La corriente 303 alcanza una temperatura de 37°C en un intercambiador, después se mezcla con una solución diluida de enzima y se dirige a los reactores de inoculación (R-401 – R-406) para liberar moléculas de glucosa de los sólidos. La relación de enzima/glucosa es la misma que en la sección de hidrólisis enzimática.

Las corrientes 417 y 320 son enviadas a separadores sólido-líquido (S-504 y S-502, respectivamente). La fase líquida de las corrientes (420) es enviada a la etapa de fermentación de ácido láctico, mientras que la fase sólida (323) se dispone para ser combustionada y generar energía.

Los reactores de fermentación del ácido láctico (R-501 – R-506) son alimentados por la corriente 420 para llevar a cabo la conversión de glucosa (80%) y xilosa (60%) en ácido láctico como se muestra en las siguientes reacciones:



El ácido láctico (515) es precipitado del líquido de fermentación como lactato de calcio en el reactor R-507 donde se alimenta también una solución de hidróxido de calcio (516) al 15% en peso. La corriente 517 alimenta al reactor R-508 junto con una solución de ácido sulfúrico al 15% en peso para remover la sal de calcio y obtener ácido láctico. El sulfato de calcio es separado por filtración (FI-502), mientras que la mezcla líquida (521) es enviada a un tanque flash (F-501) para separar gran parte del agua de la mezcla. Las reacciones del R-507 y R-508 se presentan a continuación:



Con la corriente 601 comienza la sección de purificación, donde este flujo llega una columna de destilación (D-601) para separar la mayor cantidad de agua (602) y mandar el flujo de ácido láctico (603) a la primera columna de destilación reactiva

(RD-601) junto con un flujo estequiométrico de metanol (605) para llevar a cabo la reacción de esterificación (ec. 5):

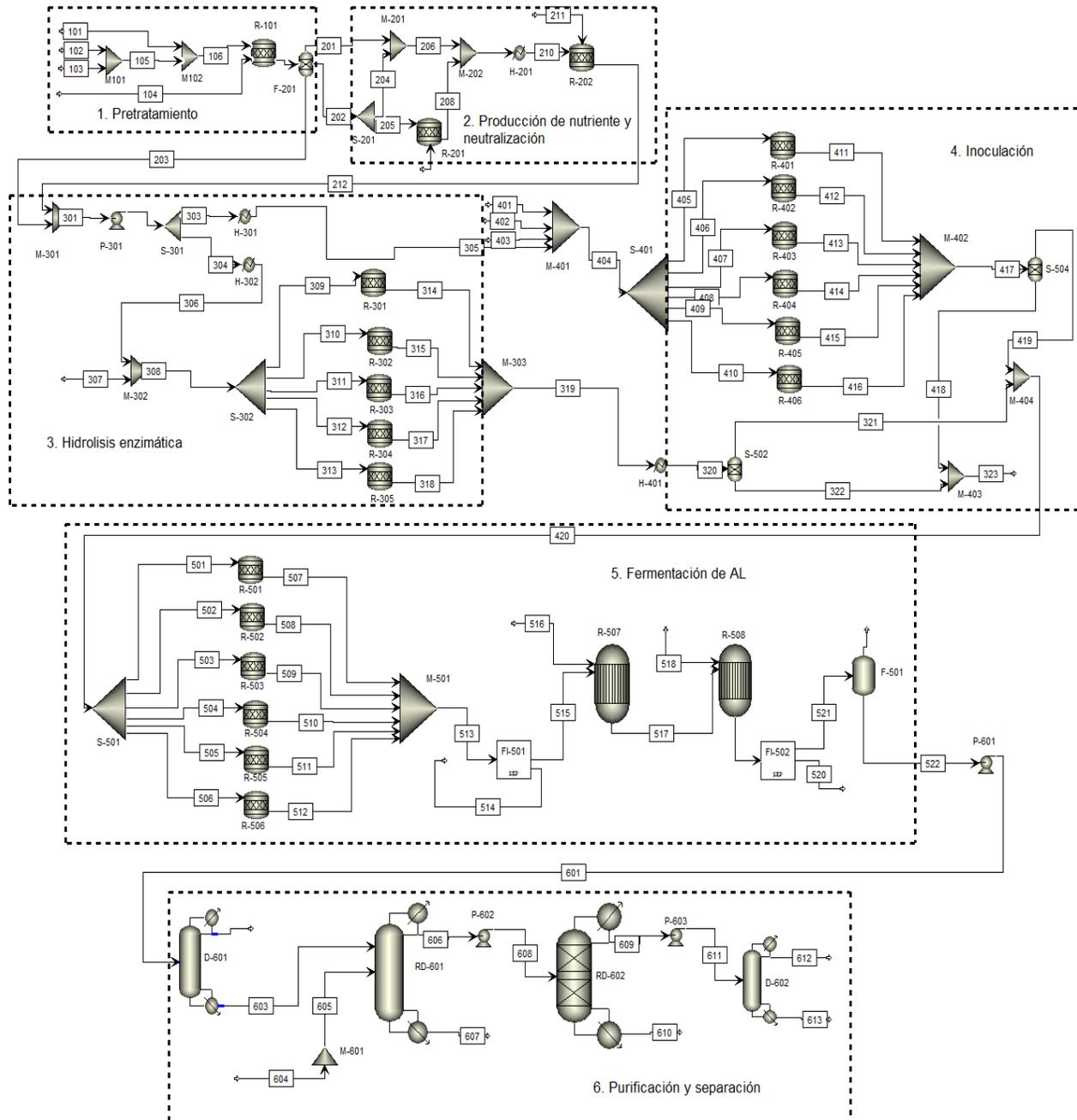
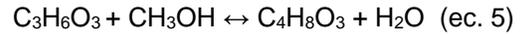


IMAGEN 1: Diagrama planteado del proceso de producción de ácido láctico

La corriente que sale por el domo de la columna (RD-601) se bombea (P-602) a la siguiente columna reactiva (RD-602) donde se lleva a cabo la hidrólisis para obtener ácido láctico:



De esta columna se obtiene el producto final (ácido láctico) por la corriente 610, mientras que la 609 es enviada a otra columna de destilación convencional para recuperar el metanol del proceso. Como parte final del trabajo se realizó un análisis económico del proceso total para analizar la factibilidad económica del proyecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo una corriente (610) de ácido láctico proveniente de la columna de destilación reactiva RD-602 con un porcentaje en peso de ácido del 92% y una cantidad de 14,333,2 kg/hr. Se le asignó un precio de 1.8 USD/kg para llevar a cabo el análisis económico de la planta. La Tabla 1 muestra los resultados:

Tabla 1: Resultados del análisis económico

| Análisis | Costo |
|--|---------------|
| Costo total de capital (USD) | 96,274,700 |
| Costo total de operación (USD/año) | 88,035,900 |
| Costo total de materia prima (USD/año) | 47,534,400 |
| Ventas totales de producto (USD/año) | 2,036,640,000 |
| Costo total de utilidades (USD/año) | 25,384,200 |
| Tasa de rendimiento deseada (%/año) | 20 |
| Recuperación de inversión (años) | 3.6 |
| Costo de equipo (USD) | 38,771,200 |
| Costo total de instalación (USD) | 54,147,900 |

De acuerdo a los resultados arrojados por el análisis económico, la inversión se recupera en menos de cuatro años por lo que presenta un alto grado de factibilidad para llevarlo a la realidad. Esto puede deberse a que se plantea utilizar como materia prima los desechos de bagazo de la industria azucarera y por tanto lograr disminuir el precio de producto, siendo este de pureza alta y con gran oportunidad en el mercado.

CONCLUSIONES

El ácido láctico es un compuesto con un valor creciente dentro del mercado global debido a las diversas aplicaciones donde se puede utilizar, por ello, el presente trabajo representa una aproximación considerable para un posible proceso real de producción de ácido láctico de una manera sustentable y económicamente factible, partiendo del uso de materia prima renovable y de bajo costo para su posterior fermentación, purificación y separación, usando el método de destilación reactiva para obtener una pureza alta de ácido láctico. Dando así una base del diseño completo de la planta de producción de ácido láctico donde se pueden seguir realizando estudios.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato por brindar la oportunidad de participar en el verano de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] Abdel-Rahman Mohamed Ali, Yukihiro Tashiro, Kenji Sonomoto (2013). Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes, *Biotechnology Advances*, 31, 877–902.
- [2] Yadav AK, Chaudhari AB, Kothari RM (2011). Bioconversion of renewable resources into lactic acid: an industrial view. *Crit Rev Biotechnol*, 31, 1-19.
- [3] Martinez FAC, Balciunas EM, Salgado JM, González JMD, Converti A, RPdS Oliveira (2013). Lactic acid properties, applications and production: a review. *Trends Food Sci Technol*, 30, 70–83.
- [4] Chien-Yuan Su, Cheng-Ching Yu, I-Lung Chien, and Jeffrey D. Ward (2013). Plant-Wide Economic Comparison of Lactic Acid Recovery Processes by Reactive Distillation with Different Alcohols. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52, 11070-11076.
- [5] Eduardo S. Pérez-Cisneros, Lourdes Avilés-Cabrera, Verónica Medina-Bañuelos, Mauricio Sales-Cruz, Alberto Ochoa-Tapia, Tomás Viveros-García Ricardo Lobo-Ohémichena (2015). A Computational Platform for Simulation, Design and Analysis of a Poly(Lactic) Acid Production Process From Different Lignocellulosic Raw Materials, *Computer-Aided Chemical Engineering*, 37, 1188-1191.