



*Proyecto Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República*

Reconversión de una planta de celulosa para la producción de etanol combustible

María Fernanda Arrosbide

Rodrigo Crespi

Carolina Michelena

Gastón Zabalza

Tutores

Prof. Acad. Ing. Quím. Norberto Cassella

Prof. Acad. Ing. Quím. Raúl Prando

Resumen ejecutivo

El presente informe es un anteproyecto de factibilidad técnica y económica de la reconversión de una planta de pulpa de celulosa, Fanapel S.A., para la obtención de etanol combustible. El objetivo fundamental de este estudio es analizar la posibilidad de producir etanol anhidro utilizando las unidades de operación disponibles en una planta de celulosa Kraft.

El uso de etanol como combustible puro o en mezclas con gasolinas convencionales es una práctica muy extendida a nivel mundial. En Uruguay, con la sanción de la Ley Nº 18.195 en 2007, se impulsa la producción de biocombustibles con el fin de diversificar la matriz energética y reducir la dependencia del petróleo. Mediante esta ley, se encomienda a la empresa estatal A.N.C.A.P. a mezclar hasta un 5% de etanol en mezcla con naftas de uso automotor, porcentaje que pasa a ser un mínimo a mezclar a partir del 31 de diciembre del 2014.

Bajo este escenario el proyecto en estudio posee una capacidad de producción de 22.000 m³ de etanol anhidro anuales, a partir de 255.000 m³ de madera de Eucalyptus spp. y con un rendimiento de 247 litros por tonelada de madera seca, que se prevén comercializar en el mercado interno a través de la empresa estatal A.N.C.A.P.

Al tratarse de un proyecto de obtención de etanol de segunda generación, denominación utilizada para referirse a aquellos combustibles producidos a partir de biomasa lignocelulósica, presenta como ventaja frente a las demás plantas de bioetanol del país que no compite con la producción de alimentos.

El emprendimiento se ubica en la localidad de Juan Lacaze, en el departamento de Colonia. El proceso planteado utiliza parte del equipamiento disponible en la planta y requiere de nuevas unidades que se instalarán en un terreno de aldeaño a la planta.

La reconversión se visualiza como una alternativa para las plantas de celulosa que han perdido competitividad en el mercado, ya sea por poseer tecnología obsoleta o por su economía de escala. A su vez, al utilizar parte de las instalaciones existentes en la planta se disminuye significativamente la inversión requerida para la producción de etanol lignocelulósico.

El proceso productivo comienza con la llegada de la madera a la planta donde se recepciona, chipea y acopia previo a su ingreso a la línea de fibra. Las primeras etapas transcurren en equipos existentes en la planta actual, propios del proceso kraft. En primer lugar se realiza una vaporización para eliminar el aire ocluido en los chips y se procede a la extracción de las hemicelulosas presentes en la madera mediante inyección con vapor. Los chips son conducidos al digestor donde se retira parte de la lignina y las hemicelulosas restantes en los mismos. Luego, la pulpa de celulosa obtenida es sometida a diferentes etapas características del proceso kraft, como lavado, deslignificación con oxígeno y depuración.

La pulpa de celulosa luego de este proceso, es sometida a una hidrólisis enzimática breve denominada pre-hidrólisis, y posteriormente se conduce a una batería de 7 reactores batch donde se desarrolla la sacarificación y fermentación simultánea de los azúcares a etanol a través de la acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. El etanol se separa del sólido sin convertir por filtración y se recupera del caldo resultante mediante destilación. Luego, se elimina el agua remanente mediante deshidratación con tamices moleculares, obteniéndose así el etanol anhidro (99,6°GL). El efluente generado en este proceso, denominado vinaza, posee una alta carga orgánica por lo que previo a su disposición se trata en reactores anaerobios de tipo UASB con producción de biogás.

El licor negro proveniente de la digestión y las hemicelulosas extraídas se queman en la caldera de recuperación donde se recuperan los químicos del proceso y se genera parte del vapor requerido por el mismo. El vapor restante se produce en la caldera de biomasa donde además de leña, se utiliza el biogás generado por el tratamiento de la vinaza y el sólido sin convertir de la sacarificación y fermentación simultánea. Se cuenta con una turbina de contrapresión por la que se conduce todo el vapor producido generando la energía eléctrica requerida por la planta luego de la reconversión.

A pesar de que el proceso en sus primeras etapas es similar al de una planta de celulosa kraft de mercado, las condiciones de operación de la misma fueron modificadas con el objetivo de optimizar la producción de etanol combustible. Con este fin se desarrolló un modelo matemático del proceso en el software Scilab, que permite determinar la duración, las condiciones óptimas y los resultados para cada etapa.

Este anteproyecto curricular de grado se centró principalmente en el modelado del proceso de obtención de etanol; no obstante, hay aspectos del mismo que pueden ser profundizados en el marco de otros temas a ser desarrollados en la asignatura Proyecto Industrial.

La inversión requerida para la ejecución del proyecto asciende a 10.625.674 USD, de los cuales 8.492.117 USD corresponden a inversiones amortizables principalmente destinados a tanques y otros equipos para las nuevas etapas del proceso.

Desde el punto de vista económico, el proyecto no resulta viable en las condiciones actuales de mercado, debido a que los ingresos por venta de etanol no son suficientes para lograr una utilidad neta positiva. Los costos totales de producción fueron calculados en 1,07 USD/L mientras que el precio de mercado para el etanol anhidro internado se estimó en 0,78 USD/L. De acuerdo a los resultados obtenidos, y en concordancia con la bibliografía consultada, los principales costos corresponden a la materia prima (38% del costo total) y a las enzimas (26%).

En base al estudio de impacto ambiental realizado se entiende que existen diversas ventajas a nivel social como la generación de empleo y diversificación de la matriz energética. Por otro lado, para aquellos aspectos negativos que puedan afectar la calidad del agua, la calidad del

Reconversión de una planta de celulosa para la producción de etanol combustible

Proyecto Industrial de Ingeniería Química

aire o la calidad de vida de los pobladores de Juan Lacaze el proyecto prevé medidas de control y mitigación que se enfocan en minimizarlos y hacerlos compatibles con el medio circundante.

A pesar de que el proyecto no resulta rentable bajo las condiciones presentes, se espera que a mediano plazo se vean reducidos los costos de mayor impacto en la producción de etanol.

En lo relativo a la materia prima, se consideró un precio de madera apta para la producción de celulosa mientras que en un futuro se podrían utilizar residuos forestales y de aserradero, lo que reduciría sensiblemente los costos. Por otra parte, basándose en numerosas investigaciones a nivel mundial para aumentar la rentabilidad del proceso, se espera un descenso en los precios de las enzimas diseñadas para la obtención de biocombustibles.

Una alternativa para mejorar la ecuación economía del emprendimiento proyectado podría ser la utilización de las hemicelulosas para la producción de bioetanol o de productos químicos de mayor valor agregado, tales como furfural o xilitol.

Como conclusión, el pretratamiento kraft aparece como un proceso maduro con costos variables bajos y es posible que en un escenario donde continúe aumentando el precio del petróleo, y se desarrolle la tecnología de biocombustibles, el proyecto resulte viable.