

**Impulso al desarrollo territorial a través de la conversión paulatina en biorrefinerías de instalaciones de la industria de la caña de azúcar**  
**Impulse to the territorial development through the gradual conversion in biorrefinerías of facilities of the industry of the cane of sugar**

Erenio González Suárez<sup>1</sup> ([erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu))

Marlen Morales Zamora<sup>2</sup> ([marlenm@uclv.edu.cu](mailto:marlenm@uclv.edu.cu))

Diana Niurka Concepción Toledo<sup>3</sup> ([dianac@uclv.edu.cu](mailto:dianac@uclv.edu.cu))

## Resumen

En el contexto actual la demanda del mercado azucarero ha disminuido y con ello sus precios, por lo que se requiere la evaluación de alternativas para la intensificación y conversión de instalaciones industriales para adaptarlas a los requerimientos y demandas del mercado con productos derivados de la caña de azúcar que propicien nuevas alternativas de desarrollo territorial fomentando nuevos empleos. Este desarrollo solo se podrá lograr mediante el vínculo entre los centros de conocimientos, las empresas y los intereses de los gobiernos que potencien el desarrollo tecnológico de las empresas. En el trabajo se fundamenta una estrategia, elaborada gracias a la colaboración de la comunidad científica, para la conversión de las instalaciones de la industria de la caña de azúcar, para la incorporación de nuevas producciones energéticas y ambientalmente eficientes, a través de un estrecho trabajo colaborativo que incluye la incorporación de los especialistas de las empresas a la superación de postgrados diseñando sus trabajos dirigidos a resolver problemas específicos de la reconversión de la industria de la caña de azúcar. Finalmente, se presentan ejemplos específicos en los cuales se ha logrado la conversión de instalaciones industriales mediante el vínculo universidad-empresa en interés de los desarrollos territoriales. Con este estudio se demuestra que el vínculo Universidad-Empresa-Gobierno juega un papel importante en el desarrollo tecnológico del territorio, toda vez que se logra la satisfacción de la demanda teniendo en cuenta las industrias existentes y analizando su conversión para adaptarlas a los nuevos requerimientos del mercado.

**Palabras clave:** conversión, vínculo universidad empresa, triángulo de sábato.

## Abstract

In the current context the demand of the sugar market has diminished and with it its prices, for what the evaluation of alternatives is required for the escalation and conversion of industrial facilities to adapt them to the requirements and demands of the market with derived products of the cane of sugar that propitiate new alternatives of territorial development fomenting new employments. This alone development one will be able to achieve by means of the bond among the centers of knowledge, the

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Universidad de Las Villas. Cuba.

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Universidad de Las Villas. Cuba.

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Universidad de Las Villas. Cuba.

companies and the interests of the governments that favor the technological development of the companies. In the work a strategy is based, elaborated thanks to the collaboration of the scientific community, for the conversion of the facilities of the industry of the cane of sugar in biorefinery for the incorporation of new energy and environmentally efficient productions, through a strait collaborative work that includes the incorporation of the specialists from the companies to the studies of graduate degrees designing its works directed to solve specific problems of the conversion of the industry of the cane of sugar. Finally, specific examples are presented in which the conversion of industrial facilities has been achieved by means of the bond university-company on behalf of the territorial developments. With this study it is demonstrated that the bond University-company-government plays an important paper in the technological development of the territory, all time that the satisfaction of the demand is achieved keeping in mind the existent industries and analyzing its conversion to adapt them to the new requirements of the market.

**Key words:** conversion, link University Company, triangle of Sábado.

## **Introducción**

Considerando la disminución de progresiva de las reservas naturales de combustibles fósiles y la crisis existente en el mercado del petróleo, resulta de trascendental importancia el desarrollo que viene alcanzando el bioetanol, el hidrógeno y otros coproductos de la caña de azúcar, como tecnologías más limpias, con beneficios energéticos y ambientales a partir de energías renovables.

La disminución de recursos fósiles afecta también la fabricación de productos químicos, es por ello que resulta necesario considerar todas las posibilidades en la matriz de materias primas - productos químicos de cada país.

Sin lugar a dudas, la aplicación de la ciencia y la técnica para intensificar las producciones industriales es un problema cardinal, que requiere acciones conjuntas en esta esfera del conocimiento y la actividad empresarial con mayor intensidad.

En este sentido toma enorme importancia la gestión del conocimiento, disciplina que en los últimos años, se recoge en la literatura científica (Núñez y Castro, 2009; Cohendet y Gaffard, 2012) como el accionar que promueve el tratamiento a los activos intangibles en una organización a través de un proceso sistemático e integrador para la adquisición, creación, almacenaje y comunicación de los conocimientos, con el objetivo de hacerlos más efectivos y productivos en aras de conquistar las metas trazadas.

Es por ello que resulta relevante e imprescindible desarrollar con efectividad la reconversión industrial y la integración de la industria de la caña de azúcar para la asimilación, utilización y valoración técnico-económica de la producción conjunta de bioetanol, y otros coproductos de la caña de azúcar.

La Industria Azucarera para su desarrollo competitivo ha requerido y requiere de un esfuerzo innovador constante, toda vez que se fomente, la diversificación de la misma, a partir del uso integral de la caña de azúcar, y la evaluación de alternativas para la

intensificación y reconversión de instalaciones industriales para adaptarlas a los requerimientos y disponibilidades actuales de materias primas y portadores energéticos.

Es aconsejable desarrollar una estrategia de reanimación y reconversión de las industrias de la caña de azúcar integradas con la producción de bioetanol, y otros coproductos logrando incrementos de los valores de producción con una marcada sustentabilidad energética y compatibilidad ambiental (Morales et al, 2013).

Para lograr estos objetivos, se elaboró y aplicó una estrategia de colaboración entre empresas de la agroindustria azucarera y Centros de Generación de conocimientos encaminados a lograr una mayor competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar mediante su reconversión en instalaciones industriales, a partir de la utilización del bagazo en las producciones de furfural, tableros, bioetanol, y otros coproductos, aprovechando las capacidades y los equipos instalados en dicha industria.

### **Consideraciones generales sobre la utilización de la biomasa como fuente de productos de alto valor agregado**

Dada la crisis existente en el mercado del petróleo, el modelo energético mundial está tomando un nuevo rumbo hacia la búsqueda de nuevas alternativas ecoeficientes. Por otro lado, el manejo y reciclado de los desechos comienzan a ser muy costosos y problemáticos, y el paralelo crecimiento de la población requiere de mayor cantidad de energía y productos para el consumo. Por tanto, resulta meritoria la alternativa de pasar de la economía del petróleo a la de las fuentes renovables utilizando todas las posibilidades de las plantas de biomasa.

La abundancia y relativo bajo costo de los materiales lignocelulósicos los han hecho atractivos como materias primas para la producción de etanol en suficientes cantidades de fuentes renovables y razonable bajo costo.

Desechos no aprovechados de la industria forestal y residuos agroindustriales pueden ser utilizados como material primas; en particular el bagazo de caña y azúcar es un desecho de las producciones de la industria de la caña de azúcar de gran potencial para la fabricación de etanol de residuos lignocelulósicos.

Dada la resistencia de la matriz lignocelulósica al ataque de enzimas, se considera necesario un sistema de pretratamiento previo, y la mejor forma de evaluar la calidad del mismo, en un material lignocelulósico, será sin duda la eficacia de una hidrólisis enzimática en condiciones normalizadas.

Para el caso específico del bagazo de caña de azúcar se han utilizado varios sistemas de pretratamiento, y en particular se ha empleado con resultados esperanzadores el pretratamiento organosolv en dos etapas (una ácida y otra básica), así como un análisis de los costos de producción para diferentes alternativas de tratamiento con las dos etapas (González et al, 2009).

De los procesos de pretratamiento del bagazo para la obtención de azúcares fermentables por vía de la hidrólisis enzimática se obtienen varias fracciones de

compuestos químicos, así como finalmente desechos sólidos susceptibles de ser aprovechados como materias primas para productos químicos de valor agregado, que aumentan las posibilidades de rentabilidad de la producción de etanol de residuos lignocelulósicos (González et al; 2015).

### **Generalidades sobre la utilización de la biomasa en la producción de furfural y tableros**

El bagazo sometido a una digestión ácida a alta temperatura hidroliza la celulosa, obteniéndose furfural, alcohol metílico, acetona y ácido acético, así como ácido levulínico y furfurílico. Otras materias primas para la obtención de furfural son la madera, el olote de maíz, la cascarilla de arroz, la borra de algodón y otras.

La tecnología para la obtención del furfural incluye la hidrólisis y un proceso de refinación. Se forma como consecuencia de la descomposición de las pentosas. La cinética de descomposición de la xilosa durante un calentamiento en ámpulas en solución acuosa a temperatura entre 140°C y 220°C. En este caso la reacción de descomposición de la pentosa es catalizada por los propios productos ácidos formados en el proceso. La descomposición del furfural que origina principalmente ácido fórmico y sus sustancias poliméricas de alto peso molecular. El catalizador más generalizado en la práctica industrial es el ácido sulfúrico por su aceptable actividad catalítica y bajo costo.

El furfural, furfuraldehído o fural es un solvente selectivo para productos petroquímicos. Desde 1996, casi la mitad del consumo mundial de furfural se destina a la producción de alcohol furfurílico, que a su vez se ocupa para producir resinas y como solvente en la preparación de nailon. Sirve de relleno y extensor en madera laminada, y también se usa para la producción de tetrahidrofurano, en la extracción del butadieno y en la fabricación de insecticidas amigables con el ambiente y nematicidas. El derivado 2-metilfurano se emplea como solvente orgánico, pesticida e intermediario farmacéutico.

Los principales resultados de la composición de la celolignina obtenidos en el residual fibroso, como resultado de la hidrólisis ácida son: humedad: 55-60%, sustancias solubles: 5.5%, pentosana residual: 2.0%, lignina: 30-40%, cenizas: 9%.

Por otro lado, las aplicaciones de los tableros han experimentado un continuo ascenso debido, fundamentalmente, a su adaptabilidad para sustituir elementos de la madera maciza, sobre todo como material en la industria de la construcción. Además favorece a la no corta indiscriminada de árboles haciendo, uso de producciones limpias, y por otra parte destacando los múltiples usos del bagazo de caña.

Estos tableros son fabricados a partir de (fibras de madera o bagazo), húmedas sometidas a gran presión y elevada temperatura. Para unir las fibras se utilizan resinas naturales contenidas en las mismas.

En nuestro país, se producen tableros de fibras y de partículas, en diferentes lugares, con una disminución notable en las producciones, ya que algunas de ellas se encuentran paralizadas, de aquí la importancia de su reanimación.

Un enfoque integral de una nueva agroindustria azucarera o de una nueva cadena productiva, requiere no sólo de ideas innovadoras, sino de la visión para instrumentar nuevos modos de pensar y de hacer para encontrar nuevos productos con un valor añadido que compitan favorablemente en el mercado y que, desde luego, tengan un mejor precio, así como, de un aprovechamiento adecuado de las capacidades e instalaciones existentes en las fábricas de derivados (García et al; 2015).

### **Condiciones del estudio**

El estudio se enmarca en una empresa azucarera, que estableció colaboración, con el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, partiendo de las necesidades de reanimación y reconversión de dos plantas de derivados, furfural y tableros de fibras, con el objetivo de lograr una sostenibilidad en el mercado y una recuperación financiera de la empresa, a partir del aprovechamiento de las capacidades y las instalaciones existentes en las mismas, acorde con un procedimiento elaborado para la reconversión de instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías (Morales et al, 2009) y con el adecuado aporte de herramientas matemáticas (González et al; 2016) .

Acorde con los propósitos de este trabajo se realizó una caracterización de todas las posibilidades de fraccionamiento del bagazo a partir de las experiencias y conocimientos obtenidos en investigaciones del laboratorio de investigaciones del referido centro de generación de conocimientos con los siguientes resultados:

Se evaluó el pretratamiento en 2 etapas, la primera (ácida) para separar la fracción xilano del bagazo y obtener pentosas para etanol u otros usos; la segunda (organosolv) para separar la lignina (buena calidad) e incrementar la eficiencia de la hidrólisis enzimática (HE). Los principales resultados obtenidos resumen que:

Para una etapa: Concentración de glucosa en el hidrolizado por la HE del sólido insoluble en agua (C(gluc)=13.68 g/L), y el rendimiento de glucosa (g de glucosa /100 g de bagazo inicial) de 16.48.

Para dos etapas: Glucano=78.2%, xilano = 3.83%, lignina= 20.90%, recuperación =51.45%, para un rendimiento de glucosa en HE de 54.92, y rendimiento de glucosa (g de glucosa /100 g de bagazo inicial) de 22.30.

- El uso del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> presenta resultados mejores, en la región experimental analizada, sobre los parámetros respuestas estudiadas.

- El uso de dos etapas significa un incremento en todos los resultados, así como, un incremento en el número de equipos y del valor de la inversión, por lo que se impone un análisis de alternativas técnico económicas.

- De acuerdo con los fines que se quieran utilizar las pentosas, por ejemplo: en la producción de furfural, xilitol, etanol, se requieren cambios en las conducciones de operación del pretratamiento ácido. Para el caso de obtención de furfural: Temperatura 175-185 ° C; Relación sólido - líquido 1/1.

- Se requiere profundizar en la utilización de la lignina recuperada y en los desechos sólidos de la HE.

Partiendo de los resultados anteriores y la identificación de las posibilidades de materias primas, de las tecnologías existentes en la instalación industrial y las demandas del mercado se definieron las tareas de la investigación vienen dadas por dos estudios de análisis de proceso, de manera que permitan lograr un análisis integral, como el descrito a continuación:

**Caso 1.** Analizar las posibilidades técnico-económicas de reanimar la planta de furfural, a partir de los mejores resultados obtenidos en la etapa de pretratamiento ácida de la tecnología de etanol de residuos lignocelulósicos.

**Caso 2.** Analizar las posibilidades técnico-económicas de reanimación y reconversión de la planta de tableros de fibras, para su posterior inclusión con los residuales fibrosos de la producción de furfural y/o etanol de bagazo.

Para la ejecución del trabajo experimental tanto en el centro de generación de conocimientos, como en instalaciones pilotos construidos de forma alemana a la instalación industrial y en la cual se utilizaron fuentes de energía (electricidad; aire, agua, vapor ) y materias primas provenientes de la propia instalación industria, así como para la recopilación de datos del proceso industrial se formaron equipos de trabajo integrados por investigadores y docentes del Centro de Análisis de Proceso y profesionales de la empresa que se superan en un sistema de postgrado académico que ofrecen los docentes del centro de generación de conocimientos (UCLV). Para ello, se valoran las siguientes condiciones en cada estudio:

#### Condiciones Caso 1.

1. La etapa de hidrólisis de furfural, coincide con la primera etapa de pretratamiento ácida de la tecnología de etanol de residuos lignocelulósicos. Por tanto resulta, factible analizar preliminarmente la hidrólisis ácida del furfural, a partir de los mejores resultados obtenidos de la tecnología de etanol de residuos lignocelulósicos (Mesa, 2009) y de variar las condiciones operacionales, con menor tiempo de reacción, que permitan obtener un residual aprovechable, y un condensado de furfural con una composición adecuada.

2. Al evaluar experimentalmente, los mejores resultados obtenidos a escala piloto, se obtuvo un condensado con un 2% de furfural, y con los siguientes resultados, descritos en la tabla 1:

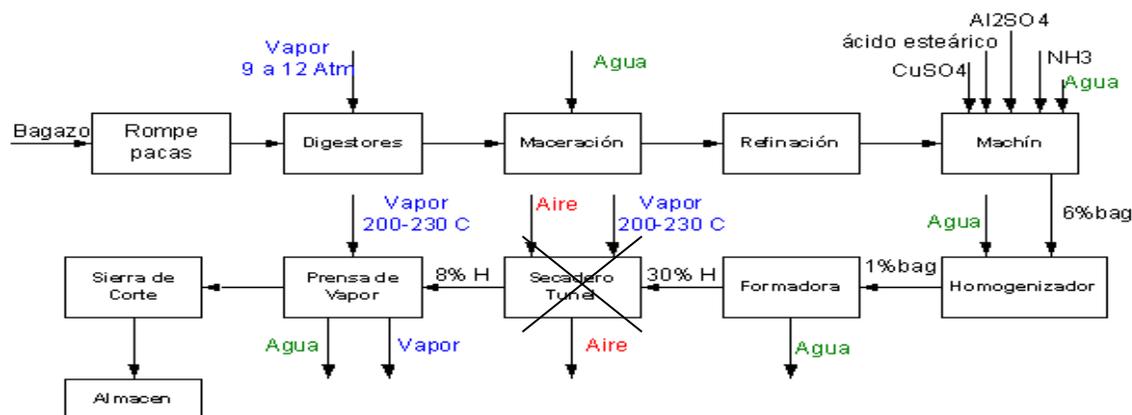
**Tabla 1. Impacto del de las condiciones de primera etapa de pretratamiento en la xilosa recuperada. Base: 100 gramos de bagazo seco.**

Temp	Tiempo Minutos	% de Ácido	S/L	Tipo Reactor	Xilosa Final	% Potencial Recuperación	% Real Recuperado.
120-130	40	4	4/1	Laborat	6,755*	72,89	72,89
120-130	40	4	4/1	Piloto	7,626	69,50	42,51
<b>175-185</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>1/1</b>	<b>Piloto</b>	<b>12,547</b>	<b>49,81</b>	<b>4,52</b>

3. Analizar las posibilidades técnico- económicas de producción de furfural, a partir de: la defectación de todos los equipos de la planta, y de un análisis de demanda-capacidad de materia prima (bagazo). Para ello, se valoran dos variantes: utilizando los tres digestores instalados y utilizando 2 de los digestores.

### Condiciones Caso 2.

1. Analizar la propuesta de eliminar el secadero de túnel continuo (alto consumidor de vapor y demolido actualmente) y utilizar la prensa de vapor (discontinua). Esta propuesta, sin lugar a dudas, obtendrá un tablero de fibra con calidad inferior a los obtenidos en esa planta en producciones anteriores, pero permitirá reconvertir y aprovechar el equipamiento instalado en esta planta de derivados en producciones que aportaran a la matriz económica de la empresa. Esta propuesta requiere un análisis, de la llamada Ingeniería Inversa, en función del ciclo de prensado y de la capacidad que admite la prensa discontinua. El esquema se muestra a continuación en la figura 1.



**Figura 1. Diagrama tecnológico del proceso de producción de tableros de fibras de bagazo en la planta aledaña a la fábrica de azúcar.**

2. Se determinó, que considerando un ciclo de prensado total (carga, exprimido, secado, descarga) de 15 min, es posible una producción de 14.6 m<sup>3</sup> de tableros por día, para una producción de 62% con respecto a la capacidad real instalada.

3. Se realizó la defectación de todos los equipos de la planta, y la determinación de los balances de masa y energía en todo el proceso determinando las principales corrientes de proceso, así como el análisis económico de la propuesta.

### Resultados Caso 1

Se analiza primeramente utilizando la máxima capacidad de producción, donde 1 digestión equivale a la utilización de los 3 digestores. En cada digestor se alimentan, 4 t de bagazo con 50% fibra. Se obtiene, 1 ton de furfural por cada 40 toneladas de bagazo, lo que representa, para las condiciones, 144 toneladas de bagazo/día.

En dependencia del esquema energético de un complejo azucarero y su eficiencia, es posible obtener de un 10-15% de bagazo sobrante, que se utiliza como combustible y como fuente de otras producciones. En la empresa estudiada, el esquema energético esta ineficiente, por tanto requiere de un análisis posterior para lograr un aprovechamiento adecuado del bagazo, que permita cumplir con las disponibilidades y suministros a las plantas de derivados.

En dependencia de la disponibilidad de la materia prima, bagazo, a continuación en la tabla 2, se obtienen los resultados de los balances e indicadores económicos, analizando la utilización de 3 digestores y 2 digestores en el proceso de producción; de los mismos, se demuestra que aún, disminuyendo la capacidad de producción por baja disponibilidad de la materia prima, se lograron resultados prometedores de los indicadores económicos, lo cual justifica el análisis inversionista para la posible reanimación de la planta.

Consumo de vapor en la destilación = 60.88 Kgv/h

**Tabla 2. Principales resultados de los balances e indicadores económicos**

Variables	Variante 3 digestores	Variante 2 digestores
Consumo de bagazo <sub>(t/día)</sub>	144	96
Producción de furfural <sub>(t/día)</sub>	3.6	2.4
Consumo de vapor en la hidrólisis <sub>( Kg/digestión)</sub>	948.72	632.48
Consumo total de vapor <sub>(t/año)</sub>	3853.34	2716.23
Costo de inversión <sub>(\$/año)</sub>	460317.492	460317.492
Costo total de producción <sub>(\$/año)</sub>	1080308.475	749951.537
VAN <sub>(\$)</sub>	1,209,325.37	475,939.95
TIR <sub>(%)</sub>	53	29
PRD <sub>(años)</sub>	2.3	4.2

## Resultados Caso 2

Como resultado de los balances de masa y energía, a continuación en la tabla 3 se muestran los flujos de las corrientes principales del proceso de producción de tableros.

**Tabla 3. Principales consumidores en las etapas de proceso**

Flujos de los consumidores	Cantidad
F agua entrada en la cascada <sub>(m3/día)</sub>	1143.7
F agua entrada en la maceración <sub>(m3/día)</sub>	194.3
F agua entrada machin <sub>(m3/día)</sub>	0.42
F agua entrada total <sub>(m3/día)</sub>	1338.42
F agua salida formadora <sub>(m3/día)</sub>	1352.8
F agua salida prensa <sub>(m3/día)</sub>	5.0
F agua salida total <sub>(m3/día)</sub>	1357.8
Consumo de vapor prensa <sub>(t/día)</sub>	4.13
Consumo de vapor digestores <sub>(t/día)</sub>	2.68

Como resultado de los balances de masa y energía en las principales corrientes del proceso de producción, se obtuvo que los mayores consumidores de vapor son (prensa y los digestores) y las etapas mayores consumidoras de agua son la homogenización y maceración.

Como se observa, durante el proceso de fabricación de tableros se consumen y se vierten grandes volúmenes de agua, por lo que resulta importante recircularla, para lograr un aprovechamiento en el proceso. Por otro lado, esta instalación no cuenta con una planta de tratamiento de las aguas residuales, es por ello que se recomienda valorar estos análisis para posteriores estudios.

Del diagnóstico técnico realizado a la planta de tableros de fibras se detectaron que existen los principales equipos de procesos, no siendo así los equipos auxiliares (motores eléctricos y bombas) de todas las etapas. Se realizó la defectación y los costos de todos los equipos.

En la tabla 4 se muestran los principales resultados económicos obtenidos en el análisis de la reconversión con la propuesta analizada, para 14.6 m<sup>3</sup> de tableros/día, lo que equivale a 4382 m<sup>3</sup> de tableros/año.

Tabla 4. Costos e indicadores económicos.

Elementos	Costos ( \$/año)
Costo equipamiento	175 664.5
Costo total de inversión	767082.780
Costo total de producción	1286453.180
VAN (\$)	973.598,76
TIR	33 %
PRD	3.8 años

## Conclusiones

El vínculo Universidad-Empresa-Gobierno juega un papel importante en el desarrollo tecnológico del territorio, toda vez que se logra la satisfacción de la demanda teniendo en cuenta las industrias existentes y analizando su conversión para adaptarlas a los nuevos requerimientos del mercado.

Los estudios de conversión a través del vínculo Universidad-Empresa-Gobierno deben incluir acciones de formación posgraduada que contribuyan a la creación de capacidades de aprendizaje tecnológico, obliguen al desarrollo del conocimiento y estilo trabajo científico a los profesionales de las empresas y con ello viabilicen la gestión de nuevas tecnologías hacia el incremento de la competitividad de las empresas.

Existen posibilidades de reanimación y conversión de la plantas de derivados de furfural y tableros en la empresa azucarera estudiada, toda vez que se logren aprovechar y adecuar las capacidades instaladas a las nuevas condiciones tecnológicas, a partir del equipamiento existente en la planta, y de una adecuada disponibilidad de materia primas y los portadores energéticos en el complejo azucarero.

A partir de la conversión en las condiciones de operación de la etapa hidrólisis ácida de la producción de furfural, es posible obtener: un residual fibroso aprovechable para la etapa de hidrólisis enzimática, de la tecnología de etanol de residuos lignocelulósicos y un condensado de furfural con una composición adecuada, para la etapa de etapa de destilación en la tecnología de producción de furfural.

Del análisis técnico – económico en la planta de furfural se obtienen resultados satisfactorios y prometedores de factibilidad económica para las dos variantes analizadas, en función de la disponibilidad de materia prima, brindando mejores resultados la variante de utilizar la capacidad instalada, con un PRD de 2.3 años.

Del análisis técnico – económico en la planta de tableros se obtienen resultados satisfactorios de factibilidad económica, recuperando la inversión en un período de 3.8 años.

## Referencias

- Cohendet, p. y Gaffard, J. (2012) Coordination, incitation et creation de connaissance .*Gestion des Connaissances dans la Societe eta les organisations*. 16, 11-19.
- García, R., & González, E. (2015). Incorporación de otras materias primas como fuente de azúcares fermentables en destilarías existentes de etanol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 75 ,130-142.
- González E., & Morales, M. (2009). Posibilidades de la inclusión del etanol de lignocelulósico en la reconversión de una instalación de la industria de la caña de azúcar. En *II Taller Nacional de etanol de residuos lignocelulósicos*. Ciudad de La Habana, Cuba.
- González M., & González, E. (2013). Análisis de la factibilidad de integración de los procesos de producción de azúcar y alcohol. *Revista AFINIDAD*, 70 (574), 284-288.
- González-Herrera, I. & González, E. (2016). Herramienta para apoyar la toma de decisiones en el desarrollo de biorrefinerías. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.15 (3), 943-951
- Morales M., & González, E. (2009). Metodología para la reconversión en las instalaciones en la industria de procesos considerando la incorporación de la producción de biocombustibles. *Revista Tecnología Química*. XXIX (2), 100-106.
- Morales, M, & González, E. (2013). Estrategia de reconversión de la industria diversificada de la caña de azúcar para la producción conjunta de bioetanol y coproductos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 66, 189-198.

Núñez, J. y Castro, F. (2009). Producción social de conocimientos y papel de la educación superior en los sistemas de innovación. Curso *Universidad para todos: Innovación y Conocimiento para el desarrollo*. La Habana, Cuba: Editorial Academia.