

## **DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DEL CONCENTRADO DE XILOSA Y GLUCOSA A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA**

### **DESIGN OF A PLANT FOR THE OBTAINING OF THE CONCENTRATE DE XILOSA AND GLUCOSE TO LEAVE OF THE TRASH OF CANE**

MSc. Ing. Georges González Batista

[george.gonzalez@reduc.edu.cu](mailto:george.gonzalez@reduc.edu.cu)

#### **RESUMEN.**

En el presente trabajo se realizó el diseño de una planta para la obtención del concentrado de xilosa a partir del bagazo de caña, el cual es considerado como un residual industrial. El mismo está constituido por elevados por cientos de material lignocelulósicos que sometidos a diferentes transformaciones químicas y microbiológicas brindan productos de alto valor agregado, contribuyendo así a desarrollar la industria azucarera en otras producciones para mejorar la economía cubana.

La xilosa es un endulzante que puede usarse para cultivos biológicos, en la industria de condimentos y alimentos. Es muy utilizado en la producción de fármacos para pacientes diabéticos debido a que no se necesita de insulina para degradarse. También es importante para la obtención de xilitol.

Las materias primas utilizadas y los cálculos desarrollados para determinar las dimensiones de los equipos, se obtuvieron a partir de los datos de investigación y experimentos realizados a escala de laboratorio, además con la integración de los balances de masa y energía se logró un grado adecuado de aproximación de los flujos de entrada y salida. Se realizó para cada etapa la selección de la instrumentación necesaria para los lazos de control.

El análisis económico arrojó que el costo total de la inversión fue de \$11 193 431,63 y el período de recuperación de la misma es de 1 año.

#### **ABSTRACT**

Presently work was carried out the design of a plant for the obtaining of the xylosa concentrate starting from the cane trash, which is considered as a residual one industrial. The same one is constituted had

risen by hundred of lignocelulotics material that subjected to different chemical transformations and microbiological they offer products of high added value, contributing this way to develop the sugar industry in other productions to improve the Cuban economy.

The xylosa is a sweetener that can be used for biological cultivations, in the industry of condiments and foods. It is very used in the pharmacies production for diabetic patients because one doesn't need of insulin to be degraded. It is also important for the xylitol obtaining.

The matters used cousins and the calculations developed to determine the dimensions of the teams, were obtained starting from the investigation data and experiments carried out to laboratory scale, also with the integration of the balances of mass and energy was achieved an appropriate degree of approach of the entrance flows and exit. It was carried out for each stage the selection of the necessary instrumentation for the control knots. The economic analysis threw that the total cost of the investment was of and the period of recovery of the same one is of 1 year.

## **1.Introducción.**

El presente trabajo fue desarrollado a partir del bagazo disponible en el Central Azucarero CAI Argentina de Florida, provincia de Camagüey.

El bagazo de caña tiene diversas aplicaciones, aunque sea considerado un desecho industrial. Se obtiene a partir del remanente de los tallos de las plantas después que ha sido extraído el jugo de azúcar que estas contienen, por los molinos del central. Es un subproducto lignocelulósico abundante en países como Cuba y otros, que utilizan la caña de azúcar, el mismo está constituido por 50% de celulosa, 25% de hemicelulosa y 25% de lignina, es muy utilizado como energético para la producción de vapor por su combustión en las calderas del propio central azucarero, además puede ser utilizado en la producción de pulpa, papel, furfural, tableros aglomerados, alcohol y otras.

La xilosa ( $C_5H_{10}O_5$ ) también llamada azúcar de madera es una pentosa que se obtiene a partir de frutas, bayas, vegetales y otros productos hemicelulósicos los cuales contienen xilano. [1]. No se encuentra libre en la naturaleza, la misma es un producto intermediario, necesario para el metabolismo orgánico del reino animal y constituye uno de los ocho azúcares esenciales para la nutrición humana y animal. Es muy utilizada en la industria alimenticia para la producción de variados alimentos con destino a pacientes portadores de trastornos metabólicos como la Diabetes Mellitus (DM), entidad esta que se caracteriza por la no producción de hormona insulina por parte del páncreas, capaz de desdoblarse a la glucosa. Este trastorno se ha difundido significativamente a nivel mundial augurándose que para el 2030 se alcanzará la 370 millones de personas afectadas por el padecimiento. En la industria farmacéutica es muy utilizada en la producción de pastas dentales para prevenir las caries. Tiene como propiedad prevenir del cáncer de colon, es un estimulante del sistema inmunológico en general y es muy eficaz en el tratamiento de algunas formas de artritis entre otros usos [2].

Se utiliza también como medio diagnósticos para determinar la absorción intestinal de los carbohidratos [3].

La glucosa con fórmula molecular  $C_6H_{12}O_6$ , es el más común y abundante de los monosacáridos y constituye el más importante nutriente de las células del cuerpo humano debido a la energía que proporciona. Es una forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas especialmente en las uvas, en la miel, en semillas (contando los cereales) y tubérculos. Su rendimiento energético es de 3,75 kilocalorías por cada gramo en condiciones estándar, por lo que es muy utilizado en la industria alimentaria donde se conoce como dextrosa término procedente de «glucosa dextrorrotatoria»[4].<sup>□</sup>

La industria azucarera debe enfrentarse a la necesidad de producción de otros edulcorantes, a la falta de eficiencia energética y a su propia contaminación. Debe optar por alternativas acertadas para utilizar al máximo cada uno de los productos y subproductos, industrializando y desarrollando sus producciones tales como el bagazo de caña, las melazas o mieles, la sacarosa, la cachaza de los filtros, las cenizas de los hornos y los gases de combustión, de esta manera, la industria azucarera se transformaría en una industria del cultivo de caña con capacidad de responder a las demandas comerciales.

Objetivo:

Diseñar la tecnología del proceso de producción del concentrado de xilosa y glucosa utilizando herramientas técnicas, económicas e informáticas para producir un producto de alto valor agregado y que beneficie todos los sectores de nuestra sociedad.

## 2. Materiales y Métodos.

Se realizó un análisis del bagazo disponible en el Ingenio azucarero Argentina en la provincia de Camagüey. A partir de este dato se fijó la capacidad de la planta. [5]

Tabla 9. Balance de bagazopresas	TM de Bagazo producir	de a para	TM Bagazo para Generar	5% pérdidas	de TM Bagazo disponible
Céspedes	80256		54577	4063	21616
Argentina	74263		57625	3713	12925
Siboney	52030		45510	2602	3918
Batalla	154978		105723	7749	41506
Total	361527		263435	18127	79965

### 2.1. Descripción del proceso.

*Etapa 1* Pre tratamiento y almacenamiento de las materias primas.

*Etapa 2* Preparación de los hidrolizados hemicelulósicos o hidrólisis del bagazo.

El reactor es alimentado con el bagazo de caña por medio de una tolva que se encuentra colocada a la boca de este. Durante la hidrólisis se forman varios azúcares, este proceso se realiza en un reactor de tanque agitado de acero inoxidable, al cual se le añade una solución de ácido sulfúrico y agua al 0,6%, donde ambos se mezclan calentándose a una temperatura de ebullición de 140°C por 40 minutos y se forma un líquido amarillo verdoso. El 42% de bagazo es hidrolizable, el 23% va hacer de pentosa y el 19% de hexosa.

*Etapa 3* Filtración.

Luego el hidrolizado pasa por un filtro rotatorio al vacío con un área de 2,41m<sup>2</sup> para eliminar las partículas sólidas no deseadas que constituyen el sólido exhausto, el cual se puede utilizar para la producción de tableros aglomerados, papel entre otras. El líquido filtrado a razón de 7,48 m<sup>3</sup>/h está compuesto por una solución de ácido, pentosas y hexosas. Se determinaron de forma experimental las constantes de filtración resultando ser

$$0,66 \frac{dm^6}{m^4 * min} = K \text{ y } 1 \frac{dm^3}{m^2} = C$$

*Etapa 4* Neutralización del hidrolizado hemicelulósicos de bagazo.

La mezcla anterior es trasladada al neutralizador donde se añaden 60,80kg/h de masa de hidróxido de calcio al 90% de pureza para eliminar la acidez del medio. Esta reacción es exotérmica por lo que debe regularse la temperatura del equipo.

*Etapa 5* Concentración del hidrolizado.

La operación se realiza en un evaporador al vacío de 0,3 atm y a una temperatura de 70°C utilizando vapor directo. Se recupera el condensado, tanto del vapor utilizado como el del medio calefactor, como

el generado en el propio equipo, el cual es almacenado en tanques y luego se utiliza en el proceso de hidrólisis. En este equipo se procesan 7,48m<sup>3</sup>/h de solución neutralizada, obteniéndose 0,79m<sup>3</sup>/h del concentrado de xilosa con una concentración de 100kg/m<sup>3</sup> y de glucosa 0,65 m<sup>3</sup>/h.

*Etapa 6 Purificación del licor del licor concentrado.*

Los licores concentrados son enviados a la etapa de purificación, la cual se realiza mediante columnas rellenas con resinas aniónicas y catiónicas. Esta es etapa es muy importante ya que es necesario obtener un sirope de xilosa y glucosa puro el cual debe cumplir los requisitos para su posterior uso.

*Etapa 7 Almacenamiento del licor de xilosa pura.*

El concentrado de xilosa se deposita en dos tanques de 5m<sup>3</sup> de capacidad para luego ser utilizado en el proceso de producción de xilitol.

*Etapa 8 Almacenamiento del licor de glucosa pura.*

El concentrado de glucosa se deposita en dos tanques de 5m<sup>3</sup> de capacidad para luego ser utilizado en el proceso de producción de sorbitol.

## 2.2. Diseño de la instalación.

El diseño se realizó utilizando la metodología clásica para cada aparato y un método integrado de balance de masa y energía, estableciendo un régimen semi-continuo y estacionario en el proceso. Se determinaron los principales parámetros de operación de cada equipo, sus dimensiones y características, así como el material de construcción, se realizó el diseño hidráulico de la planta.

En el cálculo de la pre factibilidad se determinaron los indicadores dinámicos de la inversión y se realizó un análisis de sensibilidad con una variación del 15% a las ventas, el costo de producción, al costo de inversión y un análisis combinado de las variables anteriores. [6]

## 2.3 Indicadores técnicos o tecnológicos

Consumo eléctrico

Total: 657,36 kW-h.

Índices de consumo:

Energía eléctrica.

$$ICEE = \frac{\text{Consumo eléctrico}}{\text{Producción}} = \frac{657,36 \text{ kW} - \text{h}}{(2196 \text{ kg})} = 0,30 \frac{\text{kW} - \text{h}}{\text{kg}}$$

Consumo de vapor.

$$ICV = \frac{\text{Consumo total de vapor}}{\text{Producción}} = \frac{5,42357 \frac{t}{h} * 24 h}{(2196 \text{ kg})} = 0,057 \frac{t}{\text{kg}}$$

Bagazo.

$$ICB = \frac{\text{Consumo total de bagazo}}{\text{Producción}} = \frac{0,819 \frac{t}{h} * 24 h}{(2196 \text{ kg})} = 0,009 \frac{t}{\text{kg}}$$

Consumo de Agua

$$ICH_{2O} = \frac{\text{Consumo total de agua}}{\text{Producción}} = \frac{8,2 \frac{m^3}{h} * 24 h}{(2196 \text{ kg})} = 0,09 \frac{m^3}{\text{kg}}$$

Ácido sulfúrico.

$$ICH_2SO_4 = \frac{\text{Consumo total de } H_2SO_4}{\text{Producción}} = \frac{0,044 \frac{m^3}{h} * 24h}{(2196kg)} = 0,0005 \frac{m^3}{kg}$$

Hidróxido de calcio.

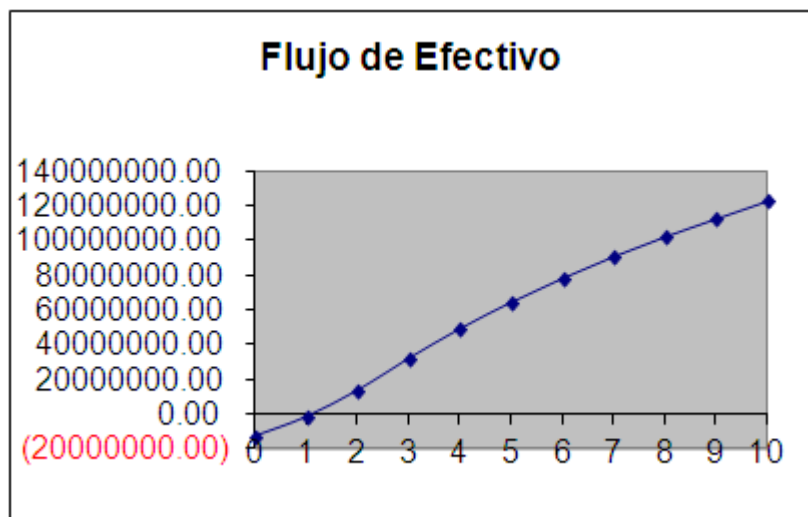
$$ICCa(OH)_2 = \frac{\text{Consumo total de } Ca(OH)_2}{\text{Producción}} = \frac{9,03 \frac{kg}{h} * 24h}{(2196 kg)} = 0,1 \frac{kg}{kg}$$

**Tabla 1.** Dimensiones y costo de los equipos.

Etapas	Material de construcción	de Posición	Cantidad de equipos	Altura o largo (m)	Diámetro (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Precios (\$)
Hidrólisis	Acero inoxidable	Vertical	2	2,80	2,35		12,14	155 200,00
Filtración	Acero inoxidable	Horizontal	1	0,54	1,75	3	7,48	310 400,00
Neutralización	Acero inoxidable	Vertical	2	2,50	2,12		8,82	93 120,00
Evaporador	Acero inoxidable	Vertical	2	3,70	1,85	21,5	9,97	124 160,00
Recipiente de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc.	PVC	Vertical	1	1,80	0,90		1,15	13968,00
Recipiente de disolución H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acero inoxidable	Horizontal	1	13	3,15		101,26	155 200,00
Recipiente de xilosa conc.	Acero inoxidable	Horizontal	2	4,60	2,30		19,10	155 200,00
Recipiente de glucosa conc.	Acero inoxidable	Horizontal	2	2,20	4,40		16,71	155 200,00

**Tabla 2.** Costo de la inversión.

Costos directos	Índice	Costos
Equipamiento tecnológico	100	\$ 2.678.524,07
Instalación	39	\$ 1.044.624,39
Instrumentación	13	\$ 348.208,13
Aislamiento	10	\$ 267.852,41
Equipamiento eléctrico	10	\$ 267.852,41
Edificaciones	29	\$ 776.771,98
Facilidades auxiliares	55	\$ 1.473.188,24
Mejoramiento del terreno	6	\$ 160.711,44
Arrancada	10	\$ 267.852,41



**Figura 1** Sensibilidad combinada

### 3. Resultados y discusión.

La materia prima que se utiliza en este proceso de producción es el bagazo seco, luego se traslada a la etapa de reducción de tamaño donde se va a utilizar un molino de martillo que tiene una potencia de motor de 130kW con una frecuencia de rotación de 12,5rev/s. La reducción y homogenización del tamaño de las partículas se realiza hasta 3 mm, garantizando mayor área superficial y por lo tanto mayor contacto en la interface ácido-bagazo, logrando además un aumento en la velocidad de la reacción de hidrólisis, con el consecuente aumento de la conversión de celulosa a pentosa y hexosa.

Para el diseño del reactor los cálculos se efectuaron a partir del bagazo húmedo debido a que el volumen que ocupa es menor, esto trae consigo una disminución en el costo del equipamiento, logrando así un menor consumo de potencia y un mayor grado de homogenización. Para garantizar esta operación se debe añadir el sólido paulatinamente.

En la etapa de hidrólisis se tuvo en cuenta diferentes parámetros reportados en la literatura como son: la temperatura que tiene que ser de 140°C, con una concentración del ácido sulfúrico de 0,6% en volumen,

un tiempo de la hidrólisis de 40 minutos, con un rendimiento del 42% hidrolizable y una relación líquido –sólido de 10/1. El uso de estos parámetros no comprobado experimentalmente en nuestro estudio, pero sí reportados en la literatura, puede ocasionar pequeños errores que serán corregidos oportunamente, pero en esta etapa de la investigación brinda la oportunidad de avanzar en la propuesta o dimensionamiento de los equipos.

El equipo que se utiliza en la hidrólisis es un reactor de tanque agitado el consta de una chaqueta por la cual circula un flujo de vapor previamente acondicionado para este fin, lográndose la temperatura de trabajo requerida.

Esta constituye la etapa de mayor importancia en el proceso, puesto que del grado de extracción de pentosa de que se logre 79,12kg/h, depende del rendimiento final del producto deseado. Se debe controlar estrictamente la temperatura y el tiempo en la hidrólisis así como la concentración del ácido utilizado, debido a que si ocurre algún cambio de las variables, puede originar la hidrólisis completa del bagazo obteniéndose furfural.

Se utilizó un agitador de ancla y marco en la etapa de hidrólisis debido a que son más efectivos en mezclas muy viscosas lo que favorece una mejor homogenización.

Se utilizó un filtro rotatorio pues existe gran experiencia de su uso utilizando como materia prima el bagazo de caña con resultados favorables.

Para la determinación de las constantes se realizaron experimentos a escala de laboratorios, donde se tomaron datos de presión, volumen y tiempo, obteniendo como resultados que  $C =$

$1 \frac{dm^3}{m^2}$  y una  $K = 0,66 \frac{dm^6}{m^4 * min}$ , las mismas no han sido reportadas en la literatura revisada sobre este

tema y constituye un aporte valioso de este trabajo .

El bagazo exhausto que sale del filtro se puede utilizar para la producción de alcohol, tableros aglomerados y papel entre otros.

En la etapa de neutralización se propone el uso de hidróxido de calcio con un 90% de pureza debido a que la misma es una sustancia que se produce en nuestra provincia y es de fácil transportación y almacenaje, tiene un elevado carácter básico y además la concentración de ácido en la solución de nuestro trabajo no es elevada, todo esto favorece el completamiento de la reacción deseada y la disminución del costo de la operación. El residual que se obtiene sulfato de calcio puede ser utilizado en la industria de la construcción, en la industria médica, en la purificación de gases y en la neutralización de suelos ácidos.

Se empleó un agitador de hélice y propela por ser según la bibliografía, adecuados para este tipo de mezclas y los menos consumidores de energía.

En la etapa de concentración se realiza el dimensionamiento de un evaporador al vacío que opera a una temperatura de 70°C lográndose una disminución en el consumo energético del proceso. Se considera además un exceso en el dimensionamiento del aparato para la acumulación del vapor que se produce en el mismo. En el cálculo del área de transferencia de calor se utiliza propiedades físicas y termofísicas del agua por ser el componente de mayor presencia y además por carecer de las propiedades de las sustancias de trabajo. Se propone dos recipientes para el almacenamiento de glucosa y xilosa evitando la paralización por capacidad.

En el tanque de disolución el volumen calculado resultó ser muy alto por lo que se utilizaron dos recipientes para obtener dimensiones aceptadas y facilitar la distribución en planta del equipamiento.

De forma general se propone como material de la construcción el acero inoxidable en todos los equipos, a causa del elevado carácter corrosivo de las sustancias utilizadas en el proceso de producción. Esta condición encarece la instalación, pero se justifica por la durabilidad de los equipos.

Para disminuir los costos de operación se propone la reutilización del vapor calefactor en la etapa de hidrólisis y del evaporador el cual se puede utilizar en la disolución del ácido sulfúrico después de haber .....<sup>3</sup>/h de agua químicamente pura que no necesita tratamiento y con una temperatura superior a la atmosférica por lo que al mismo tiempo se disminuye el consumo de combustible.

En el diseño hidráulico se nominalizaron los diámetros de las tuberías utilizadas, facilitando su adquisición en el mercado internacional. Las longitudes de las tuberías fueron calculadas según la distribución de los equipos, tomando consideraciones que contribuyen al aprovechamiento de la energía potencial gravitatoria y disminuyendo los consumos de energía eléctrica por concepto de bombeo. Además se verificó en cada caso que esta longitud fuera superior a la longitud mínima permisible para que se desarrolle la capa límite del fluido y se establezca de forma estable el régimen de flujo del mismo.

Para la selección de las bombas se utilizó el catálogo de bomba FLYGT, seleccionando las mismas en relación al flujo y la carga del sistema hidráulico. Durante la selección se fue riguroso con la eficiencia en el bombeo, las bombas todas están todas por encima del 60% de eficiencia, este indicador tiene que ser mayor del 50%. En las bombas seleccionadas no se producirá el fenómeno de la cavitación, ya que todas están situadas por debajo de los recipientes de almacenamiento de los fluidos que serán succionados. La distribución racional de los equipos favorece el transporte del fluido empleando la energía potencial de las bombas.

Para la estimación del costo de adquisición de los equipos y accesorios, así como su actualización se parte de la utilización de ecuaciones y por cientos propuestos por Max Peter.

En el análisis de sensibilidad por las ventas se tuvo en cuenta una disminución en el primer año del 50%, así como la disminución del precio de venta en un 15%, en el segundo año se afectó solo al 75%, manteniendo el 85% del precio, a partir de este periodo se mantiene el total de la demanda y la afectación en el precio del producto, este análisis no arrojó cambios significativos en el período de recuperación de la inversión, manteniéndose dentro del primer año y el mismo resultado se verificó en la tasa interna de retorno, manteniéndose por encima del 100%, consolidando el resultado de que la inversión es factible desde el punto de vista económico.

El análisis de sensibilidad por el costo de producto, por el costo de la inversión y el análisis de sensibilidad combinado de todos los anteriores arrojaron un resultado similar al referido anteriormente.

El corto período de recuperación de la inversión, a pesar del costo de la misma, se debe principalmente al bajo costo de la materia prima fundamental, bagazo de caña, y a la integración energética del sistema.

### **Conclusiones.**

1. Se obtuvieron datos de las constantes de filtración para las condiciones del proceso, no registradas en la literatura.
2. Se determinaron los indicadores técnicos y económicos fundamentales para el control de los consumos de las materias primas y portadores energéticos presentes en el proceso.
3. El proceso tecnológico de producción del concentrado de xilosa y glucosa es técnica y económicamente eficiente.
4. La inversión propuesta se recuperará en 1 año.
5. La etapa determinante en la calidad del producto es la hidrólisis.
6. Los residuales generados pueden ser utilizados en otras producciones.

### **Bibliografía**

- [1] *Métodos de obtención de la Xilosa.* (s.f.). Recuperado el 15 de marzo de 2012, de <http://www.patentes.com>
- [2] *Beneficios.* (s.f.). Recuperado el 15 de marzo de 2012, de <http://www.pdfactory.com>
- [3] Racioppi et al. (1998). *Xilosa.* [en línea]. Recuperado el 15 de marzo de 2012, de <http://es.wikipedia.org>
- [4] *Glucosa.* (s.f.). Recuperado el 15 de marzo de 2012 <http://www.zonadiet.com/nutricion/hidratos.html>
- [5] Balance de bagazo, CAI Argentina 2012.
- [6] Peters, M., & Timmerhaus, K. (1990). *Plant Desing and Economics for Chemical Engineers.* (3a. ed., Vol. 1). La Habana: Ediciones Revolucionarias.