

DISEÑO DE UN TANQUE AGITADO PARA LA ETAPA DE HIDRÓLISIS EN LA PRODUCCIÓN DE MIEL DE AGAVE

Karen Itze Torres Colunga (1), María del Refugio González Ponce (2)

1 [Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | Dirección de correo electrónico: [kitc.2801@gmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Bioquímica, campus Irapuato, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | Dirección de correo electrónico: [refugio.gonzalez@itesi.edu.mx]

Resumen

El jarabe o miel de agave es definido de acuerdo a la NMX-FF-110-SCF-2008 como la sustancia dulce natural producida por la hidrólisis de los oligosacáridos del agave. Durante los últimos años ha tenido mucho auge debido a sus múltiples propiedades y ventajas frente a otro tipo de mieles, como son su bajo índice glucémico, capacidad antioxidante y propiedades antibacterianas. Actualmente productores del estado de Guanajuato han iniciado con la producción de miel de agave a nivel industrial, enfrentándose a diversos problemas que impactan directamente en la calidad del producto, principalmente por el mal diseño de los equipos y la falta de capacitación en el proceso, indicando como principal problemática la etapa de hidrólisis. En este trabajo se diseñó un tanque tipo agitado de acero inoxidable con un volumen de 4.2L, para llevar a cabo tanto hidrólisis térmica, enzimática como ácido-térmica. El tanque cuenta con un sistema de calentamiento a través de una resistencia de inmersión de 2000 W para lograr temperaturas constantes de 50, 80 y 95°C con un sistema de control que incluye un termostato, voltímetro y autotransformador, así mismo posee un agitador tipo rushton conectado a un motor reductor con variador de frecuencia para lograr la agitación deseada.

Abstract

The syrup or agave nectar is defined according to the NMX-FF-110-SCF-2008 as the natural sweet substance produced by the hydrolysis of the oligosaccharides of agave, in recent years has increased because of its many properties and advantages compared to other honeys, such as low glycemic index, antioxidant capacity and antibacterial properties. Currently many producers in the Guanajuato state have started with the production of agave nectar to industrial level, facing many problems that directly impact to the product quality, mainly by the bad design of equipment and lack of training in the process, indicating the main problem in the hydrolysis step. In this paper was a designed a tank type stirred made of the stainless steel with a volume of 4.2L, to carry out thermal, enzymatic and acid-thermal hydrolysis. The tank has a heating system through an immersion resistance of 2000 W to reach constant temperatures of 50, 80 and 95 ° C with a control system including a thermostat, voltmeter and autotransformer, also has a stirrer rushton type connected to a gear motor with frequency to reach the desired agitation.

Palabras Clave

Hidrólisis, Miel de agave, Diseño, Tanque

INTRODUCCIÓN

El jarabe o miel de agave es definido de acuerdo a la NMX-FF-110-SCF-2008 como la sustancia dulce natural producida por la hidrólisis de los oligosacáridos del agave. Actualmente se tiene una alta demanda de jarabe de agave como sustituto del azúcar debido a su bajo índice glucémico [1], su capacidad antioxidante [2] y las propiedades antibacterianas [3].

Una de las características que identifica a la miel de agave sobre otro tipo de miel es su color, el cual está determinado por reacciones de oscurecimiento no enzimático como la caramelización, que se origina al calentar los azúcares por encima de su punto de fusión a pH ácidos y alcalinos, generando sabor amargo y coloración que va del amarillo, café, café rojizo y negro [4]. Actualmente se emplean tres procesos para la obtención de jarabes fructosados a partir de agave: Hidrólisis térmica, evaporación y concentración de extractos obtenidos de la cocción y prensado de piñas de agave; hidrólisis ácido-térmica, evaporación y concentración de hidrolizados con ácidos minerales [5]; hidrólisis enzimática, evaporación y concentración de hidrolizados con enzimas comerciales denominadas inulasas [6]. De estos, los productos de piñas cocidas e hidrólisis ácida presentan la limitante de obtener jarabes de baja pureza y tóxicos celulares (hidroximetilfurfural) y los hidrolizados enzimáticos presentan desventajas asociadas al costo parcialmente elevado del uso de enzimas comerciales.

La popularidad de la miel de agave ha llevado al desarrollo de nuevas estrategias que buscan optimizar el proceso de elaboración mediante la mejora de la etapa de hidrólisis. De ahí la importancia de contar con un tanque para dicha reacción a nivel piloto y así poder establecer mediante pruebas las mejores condiciones de operación.

Los tanques agitados han sido ampliamente utilizados en la industria alimenticia, la química y la biotecnológica, constituyendo el tipo de reactor considerado por excelencia, ya que mediante la agitación se aceleran los procesos de transferencia de calor y masa, consiguiendo que la energía cinética que posee el impelente se

transfiera al fluido provocando su movimiento [7]. Así mismo es importante contar con un sistema de control para proporcionar el ambiente adecuado ya que su interior debe permitir una óptima actividad catalítica, teniendo un importante efecto sobre algunos parámetros como la temperatura, el pH, velocidad de agitación, entre otros [8].

Actualmente son pocas las investigaciones sobre el proceso de producción de miel de agave que aportan condiciones para disminuir el oscurecimiento no enzimático, por ello, uno de los objetivos de este trabajo es el diseño a nivel planta piloto de un tanque donde se puedan llevar a cabo los tres tipos de hidrólisis descritas con anterioridad, considerándose para su diseño las condiciones de operación y los puntos críticos del proceso de hidrólisis en base a criterios tanto técnicos como económicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Parámetros reológicos de la mezcla.

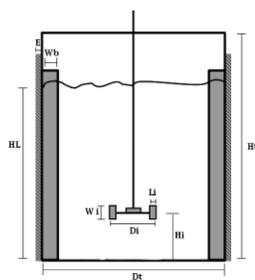
Con la finalidad de determinar la viscosidad y densidad de la mezcla, se simuló el jarabe de agave a partir de inulina de agave azul marca Preventy®. La solución se preparó al 30% P/V.

Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del tanque se utiliza como relación inicial 1:1 (altura de trabajo: diámetro del tanque) y forma cilíndrica con fondo elíptico con el fin de evitar la existencia de puntos muertos durante el proceso de reacción. Los parámetros de diseño considerados fueron: diámetro del impulsor, diámetro interno del tanque, altura del nivel del líquido, altura y ancho del impulsor, de acuerdo a la imagen 1 y partiendo de la fórmula de volumen de un cilindro.

$$V = \frac{\pi D_t^2}{4} * H \quad (1)$$

En la tabla 1 se muestran las dimensiones del tanque, note que la capacidad del tanque es en realidad de 4182.088 cm³, considerándose 4.2 L para términos prácticos.



DONDE:
 Ht: Altura del tanque
 HL: Altura de trabajo
 Hi: Altura del agitador
 respecto al tanque
 Dt: Diámetro del tanque
 Di: Diámetro del
 agitador
 Wi: Ancho de la paleta
 Li: Longitud de la paleta
 Wb: Ancho de los baffles
 E: Espesor del tanque

Imagen 1. Definiciones de dimensiones de tanques según Doran, 1998.

Para el volumen final del tanque se consideró un factor de seguridad del 30%, garantizando que el vórtice ocasionado por la agitación no rebose los límites del reactor y de libertad de dirección de flujo.

Diseño mecánico

Agitación

La viscosidad es el principal parámetro a considerar para la elección del tipo de agitador. De acuerdo a lo reportado por Geankoplis [9] las turbinas pueden usarse por debajo de unos 100 Pa*S al igual que los propulsores que se utilizan en viscosidades menores a 3 Pa*s, debido a las múltiples ventajas tanto de agitación como económicas, la turbina es una mejor opción. Para determinar el patrón de flujo, se utilizó el software Viximix turbulent SV®.

De igual manera el número de Reynolds se debe tomar en cuenta para lograr la agitación deseada, el número de potencia para el impulsor, así como la potencia del motor, los cuales se calculan de la siguiente manera [9]:

$$N_{Re} = \frac{(Dt^2)(N)(\rho)}{\mu} \quad (2)$$

Donde

N_{Re} : Número de Reynolds [adimensional]

Dt : Diámetro del impulsor.

N : Velocidad nominal del motor.

ρ : Densidad de la mezcla.

μ : Viscosidad de la mezcla

$$Np = \frac{P}{(\rho)(N^3)(Dt^5)} \quad (3)$$

$$P = (Np)(\rho)(N^3)(Dt^5)$$

Dónde:

Np : Número de potencia [obtenido de grafica]

P : Potencia

Dt : Diámetro del tanque

N : Número de revoluciones por segundo

ρ : Densidad de la mezcla

Por la capacidad y tamaño del tanque se consideró utilizar 150 rpm como velocidad de mezclado, esto como resultado de simulación a nivel matriz y posteriormente con el software de simulación.

Material de construcción

Como material de construcción se eligió acero inoxidable serie 304 por ser el material más recomendable para la industria de alimentos por su alta resistencia a la corrosión y rotura. Es indispensable conocer el espesor del material (E) que viene dado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{(\gamma)(H_L)(r)}{(\sigma_t)(E_s)} \quad (4)$$

Donde

E : Espesor del tanque.

γ : Peso específico del producto almacenado.

H_L : Nivel máximo de producto almacenado.

r : Radio del cilindro.

σ_t : Tensión máxima admisible del material.

E_s : Eficiencia de soldadura, según tipo de soldadura.

Calentamiento

Para llevar a cabo los tres tipos de hidrólisis, se requiere mantener temperaturas de 95°C, 80°C y

50°C, para este fin se usará una resistencia eléctrica sumergible. Para determinar la potencia es necesario realizar los balances de energía considerando las posibles pérdidas de calor. Se considera principalmente la transferencia de calor por convección (Ecuaciones 5-8):

$$Q = mC_p\Delta T \quad (5)$$

$$R_c = \frac{1}{\bar{h}_c A} \quad (6)$$

$$h_c = 1.42 \left[\frac{T_{sup} - T_{amb}}{L_{carac}} \right]^{0.25} \quad (7)$$

$$q = UA\Delta T_{total} \quad (8)$$

Sistema de control

Contará con un tablero de control para temperatura y regulador de velocidad. Para el primer parámetro se montará un sistema de resistencia de inmersión con termostato, voltímetro y autotransformador a fin de regular el voltaje y conseguir la temperatura deseada, y para regular la velocidad del motor se instalará un motor reductor con variación de frecuencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los parámetros reológicos se determinó una densidad de 1111 Kg/m³ y una viscosidad de 1 cp. Las especificaciones de diseño se muestran en la tabla 1.

Durante el dimensionamiento del motor debido al tamaño del tanque y la baja velocidad de agitación el resultado de la potencia fue muy bajo, teniéndose que adecuar a las especificaciones comercialmente existentes, por eso se eligió una potencia de 1/10 Hp mismo que ya ha sido utilizado para reactores de tamaño y mezcla similares. Así mismo el espesor del tanque se ajustó a las normas API (American Petroleum Institute) y tomando en cuenta el diámetro del tanque la norma marca un espesor mínimo nominal de 3/16 in.

Tabla 1: Especificaciones del tanque de hidrólisis calculadas a partir de los criterios de diseño establecidos.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Tapa	Acero inoxidable serie 304 Diámetro 0.16m Área 0.0201m ² . 6 orificios (1/2", 0.702cm, 1/4").
Tanque	Acero inoxidable 304, espesor 3/16 in. Diámetro interno 16 cm, altura 21 cm. Volumen 4182.088 cm ³ . Presión total de 2071.442 Pa. Altura de trabajo 16 cm. Volumen de trabajo 3316.990 cm ³ . 4 baffles (1.16 cm X 17.6 cm c/u).
Agitador	Tipo Rushton, 150 rpm. Diámetro a 90°, 5.33 cm. Diámetro del disco 4 cm. 6 paletas (1.33cm de ancho, 1.066 cm de largo).
Sistema de calentamiento	de Resistencia de inmersión con termostato 2000 W, tubo 8 mm de cobre niquelado, paso de rosca 3/4", 230 V.
Sistema de agitación	IKA EW-50701-10 de 60 a 500 rpm, motor de 1/10 HP; voltaje 115 VAC; display 1/2" LCD.
Sistema de control	Tablero de control para temperatura y velocidad. Variador de tensión monofásico 50-60 Hz, 235 ^a 45VEI 350 VA, 1.5 A Voltímetro-amperímetro digital Andoer AC80-300V 0-50.0A Voltímetro Digital Medidor de Voltaje LCD Amperímetro con Transformador de corriente Dual visualización en la pantalla.
	Medidor de pH portátil HI 991003 HANNA® Instruments, pH de -2 a 16, temperatura de -5°C a

Instrumentación adicional	105°C. Manómetro de baja presión marca SOLFRUNT® Modelo 1929 de 4-1/2 pulg de 0-3 psi.
----------------------------------	---

En la siguiente Figura, se puede apreciar un esquema del diseño final.

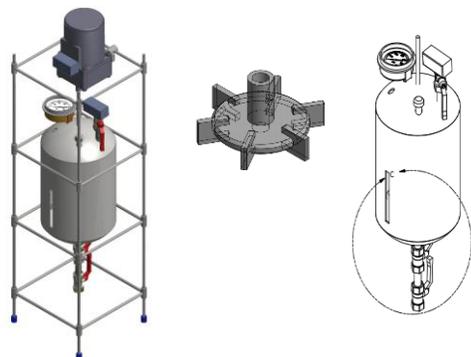


Imagen 2. Esquema de tanque de hidrólisis a nivel planta piloto mediante Autodesk Inventor® de acuerdo al diseño establecido.

Este tanque requiere de suministro de energía eléctrica para alimentar el motor y la resistencia. Para los cálculos se consideró una entrada de 120 V como fuente principal de corriente directa, regulándola mediante un autotransformador. La salida del producto se realiza por un sistema de doble válvulas ubicado en la parte inferior del tanque, con el fin de evitar contaminación en el producto durante la toma de muestra.

CONCLUSIONES

Existe una gran diversidad de configuraciones geométricas apropiadas en el diseño, de acuerdo a los criterios establecidos se puede aseverar que se logró un buen diseño teórico del tanque de hidrólisis para la producción de miel de agave, sin embargo es necesario llevar a cabo pruebas en él una vez construido a fin de evidenciar su funcionamiento y comparar los datos teóricos con los experimentales, pero debido a la falta de infraestructura la construcción del equipo está pendiente, teniendo por el momento una cotización del orden de los \$15, 000 por parte de la empresa Diseños en metal Ingeniería y construcción.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato CONCYTEG por el recurso otorgado en la participación del 8° verano estatal de investigación 2015.

REFERENCIAS

- [1] K. Foster-Powell, S.H.A. Holt, J.C. Brand-Miller. (2002). *International table of glycemic index and glycemic load values*. The American Journal of Clinical Nutrition, 76, pp. 5–56.
- [2] K. M. Phillips, M.H. Carlsen, R. Blomhoff. (2009). *Total antioxidant content of alternatives to refined sugar*. Journal of the American Dietetic Association, 109, pp. 64–71.
- [3] Davidson J. R., Ortiz de Montellano B.R. (1983). *The bacterial properties fan aztec wound remedy*. J.Ethnopharmacol.8:149-161.
- [4] Santos M., A. (1995). *Química y bioquímica de alimentos*. Editorial UCh. México.
- [5] Ávila-Fernández, A., Rendón-Poujol, X., Olvera, C., González, F., Capella, S., Peña- Álvarez, A. (2009). *Enzymatic hydrolysis of fructans in the tequila production process*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(12), 5578–5585.
- [6] Muñoz-Gutiérrez, I., Rodríguez-Alegría, M. E., & López Munguía, A. (2009). *Kinetic behaviour and specificity of beta-fructosidases in the hydrolysis of plant and microbial fructans*. Process Biochemistry, 44, 891–898.
- [7] García-Cortés D., Jáuregui-Haza U. (2006). *Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas*. Facultad de Ingeniería No. 38.pp. 97-113.
- [8] Doran, P. (1995). *Bioprocess engineering principles*. Maryland: Elsevier Science and technology books.
- [9] Geankoplis C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, 3° edición. Compañía Editorial Continental, México.