

Diseño de un Sistema Mecatrónico Osmodeshidratador de Banano

Design of a Banana's Osmo-dehydratase Mechatronic System

Ruiz, C.^a; Chávez, G. C.^a; Cruz, G. W.*^a

^aFundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria,
Colombia.

Cruz.wilmer@uniagraria.edu.co

Fecha de recepción: agosto de 2018 / Fecha de aceptación: septiembre de 2018

Resumen

Este artículo expone el diseño de un sistema mecatrónico de osmodeshidratación de banano, para aprovechar las pérdidas de la fruta por fenómenos como oxidación y sobreproducción. El diseño se basó en la metodología desarrollada por Dieter, G., el cual establece seis pasos metodológicos: reconocimiento de la necesidad, la identificación del problema, recopilación de la información, conceptualización, evaluación y comunicación del diseño. Se determinó la disposición general de los diferentes componentes, a partir de la capacidad para soportar cargas de los diferentes materiales, contemplando los requerimientos establecidos por el usuario final. Así mismo, las respuestas obtenidas del controlador PID, basadas en el segundo método de Ziegler Nichols, proporcionaron variaciones relevantes al sistema, por lo que este debe ser utilizado con la presencia de un compensador.

Palabras clave: automatización, ósmosis, capacidad de carga.

Abstract

This paper exposes the design of a mechatronic system of banana osmodehydration to take advantage of fruit losses due to phenomena such as oxidation and overproduction. The design was based on the methodology developed by Dieter, G. which establishes six methodological steps; recognition of the need, identification of the problem, collection of information, conceptualization, evaluation and communication of the design. The general disposition of the different components was determined from the capacity to support loads of the different materials contemplating the requirements established by the final user. Likewise, the responses

obtained from the PID controller based on the second method of Ziegler Nichols, do not provide relevant variations to the system, so it must be used with the presence of a compensator.

Keywords: automation, osmosis, load capacity.

Introducción

Siendo Colombia un país de producción principalmente agrícola, la implementación e investigación de equipos que se rijan en la metodología de deshidratación de alimentos, juega un papel muy importante para el desarrollo de la industria. La osmodeshidratación es un método que puede llegar a maximizar la producción de fruta, debido al aprovechamiento de la cosecha que se pierde por su oxidación y sobreproducción. Esta investigación presenta una solución enfocada al

desarrollo del sector primario de la economía y de las regiones, desarrollando un sistema mecatrónico que permita el aprovechamiento de la pérdida de fruta del sector, mejorando las condiciones del producto y dándole un valor agregado con el proceso de deshidratación osmótica.

Diseño

Los criterios de diseño establecidos por el usuario final para el osmodeshidratador se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de diseño.

Parámetro				
Capacidad	Área	Peso	Posición	Material
20 kg/ciclo	1 m ²	250 N	Horizontal	Acero Inox.

La capacidad del sistema está dada por la pérdida de la fruta registrada semanalmente, durante los últimos cuatro meses. El área se establece a partir del espacio disponible para ubicar el equipo y según el Artículo 392 de la Resolución 2400 de 1979, la carga máxima que puede levantar una persona en posición de 90° a la altura de los codos no debe exceder los 250 N.

El diseño horizontal del tanque permite mantener un movimiento constante del producto, evitando la formación de capas de agua en las paredes del banano, lo que reduce la transferencia de masa de la solución osmótica y el banano (Barbosa, 2013).

A partir de las condiciones de operación y con la finalidad de garantizar la inocuidad del producto se establece al acero inoxidable austenítico como el material idóneo para construir el equipo (Wagner, 2012).

Diseño mecánico. El modelamiento mecánico del sistema se obtiene efectuando los pasos que se describen a continuación.

Análisis estático del tanque. El análisis se realiza a partir del diagrama de cuerpo libre (DCL) del tanque.

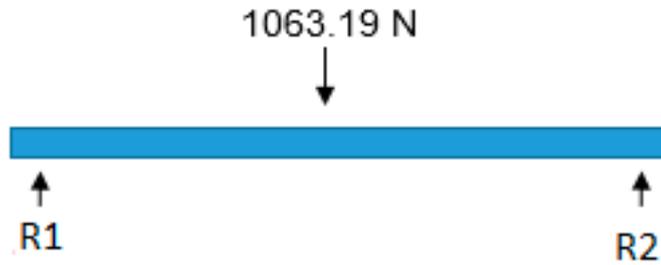


Figura 1. DCL del tanque.

Donde R_1 y R_2 son las reacciones en los apoyos, la fuerza que está actuando en el centro del tanque corresponde al peso del tanque incluido la fruta y la solución

osmótica. Conocidas las variables, se establecen las ecuaciones de equilibrio y se soluciona el sistema.

$$\sum F_y = 0 \quad R_1 + R_2 = 1063.19 \text{ N} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que las reacciones generadas por los apoyos son simétricas

respecto a la carga central, se tiene que $R_1 = R_2$ y por ende

$$R_1 = R_2 = \frac{1063.19 \text{ N}}{2} = 531.58 \text{ N} \quad (2)$$

Al considerar en el diseño 4 apoyos, la fuerza que debe soportar cada uno es de 265,8 N. **Eje soporte del tanque interno.** El eje de

soporte del tanque interno está sometido a un par torsor generado por el peso del sistema con magnitud de 219 Nm.

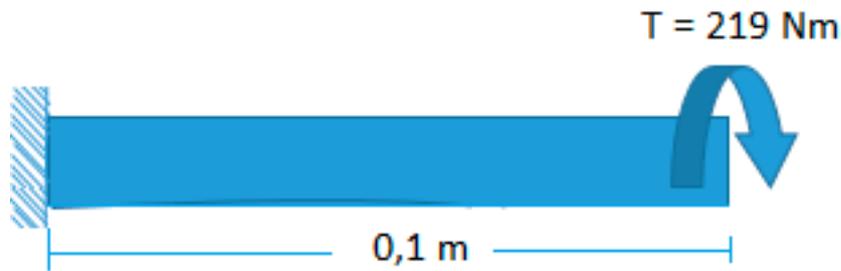


Figura 2. DCL del eje soporte del tanque interno.

El esfuerzo cortante generado por el par torsor se calcula a partir de Eq (3)

$$\tau = \frac{T r_{eje}}{\frac{\pi}{2} (r_{eje})^4} \quad (3)$$

Y la deformación angular está dada por

$$\theta = \frac{TL}{\frac{\pi}{2} (r_{eje})^4 G} \quad (4)$$

Siendo T el torque, L, la longitud del eje, r, el radio del eje y G, el módulo de rigidez. El resultado del esfuerzo cortante (τ) y de la

deformación angular (θ) para un eje de acero inoxidable AISI-316L con diámetro de 15 mm es 330,5 MPa y 0,0537 rad respectivamente.

$$FS = \frac{\tau_{permissible}}{\tau_{solicitante}} \quad (5)$$

Acorde con lo reportado por Compañía General de Aceros, la capacidad del acero AISI-316L a cortante es 485 MPa y por lo tanto, el factor de seguridad para el eje es 1,46.

Transmisión de potencia. La potencia del sistema se calcula mediante Eq (6)

$$P = T * RPM(Requeridas) * \frac{2\pi}{60} \tag{6}$$

Donde la potencia (P) está en watts y el par torsor (T) en Nm. Para una velocidad de giro de 4 rpm, la potencia necesaria es de 91,5 W [0,12 HP].

Diseño del controlador. El sistema de control desarrollado se define en el diagrama de bloques de la figura 3, se diseñó como lazo

cerrado, dado que debe responder a salidas inusuales y su mantenimiento es más eficaz. Teniendo en cuenta que el sistema desarrollado es digital, se realiza un control en tiempo discreto, donde el tiempo de muestreo es de 0,1s, de acuerdo con el PLC seleccionado de referencia TM221CE16R.

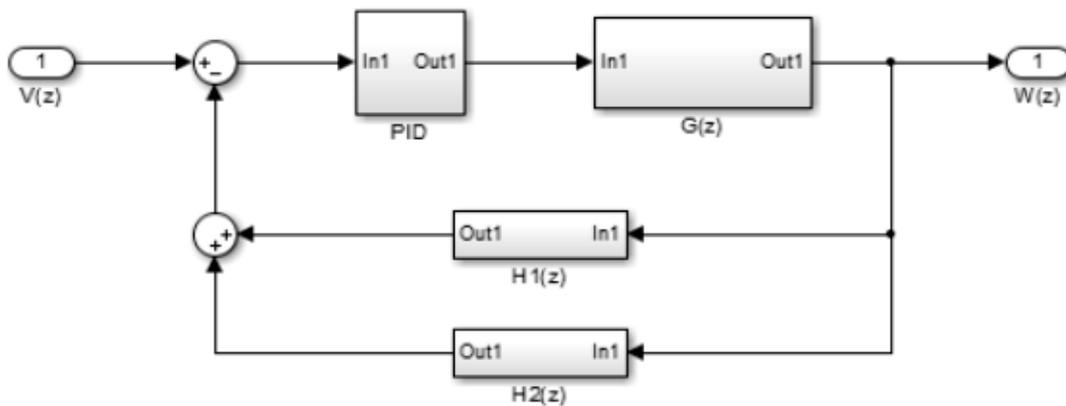


Figura 3. Diagrama de bloques específico.

Para establecer las condiciones del sistema, es necesario analizar la respuesta de este. Por tal motivo, se realizó el modelo matemático del sistema general. La definición de la función de transferencia del sistema general se desarrolló a partir del

diagrama de bloques. Figura 3, iniciando con el desarrollo del paralelo de los sensores H₁(z) y H₂(z) y el motor. Obteniendo como resultado la Eq (7) que representa la función de transferencia del sistema general.

$$\frac{W(z)}{Vo(z)} = \frac{0.28 z^{18} - 5.04 z^{17} + 42.84 z^{16} - 228.5 z^{15} + 856.8 z^{14} - 2399 z^{13} + 5198 z^{12} - 8911 z^{11} + 1.225e04 z^{10} - 1.361e04 z^9 + 1.225e04 z^8 - 8911 z^7 + 5198 z^6 - 2399 z^5 + 856.8 z^4 - 228.5 z^3 + 42.84 z^2 - 5.04 z + 0.28}{0.0138 z^{21} + 0.4106 z^{20} - 9.571 z^{19} + 86.33 z^{18} - 468 z^{17} + 1753 z^{16} - 4858 z^{15} + 1.039e04 z^{14} - 1.764e04 z^{13} + 2.442e04 z^{12} - 2.834e04 z^{11} + 2.85e04 z^{10} - 2.565e04 z^9 + 2.097e04 z^8 - 1.538e04 z^7 + 9745 z^6 - 5107 z^5 + 2126 z^4 - 660.1 z^3 + 144.8 z^2 - 19.82 z + 1.266} \tag{7}$$

Resultados

osmodeshidratador se realiza mediante el software Solid Works® y el correspondiente ensamble se muestra en la figura 4.

Modelo CAD. El modelado 3D de los 18 componentes que hacen parte del

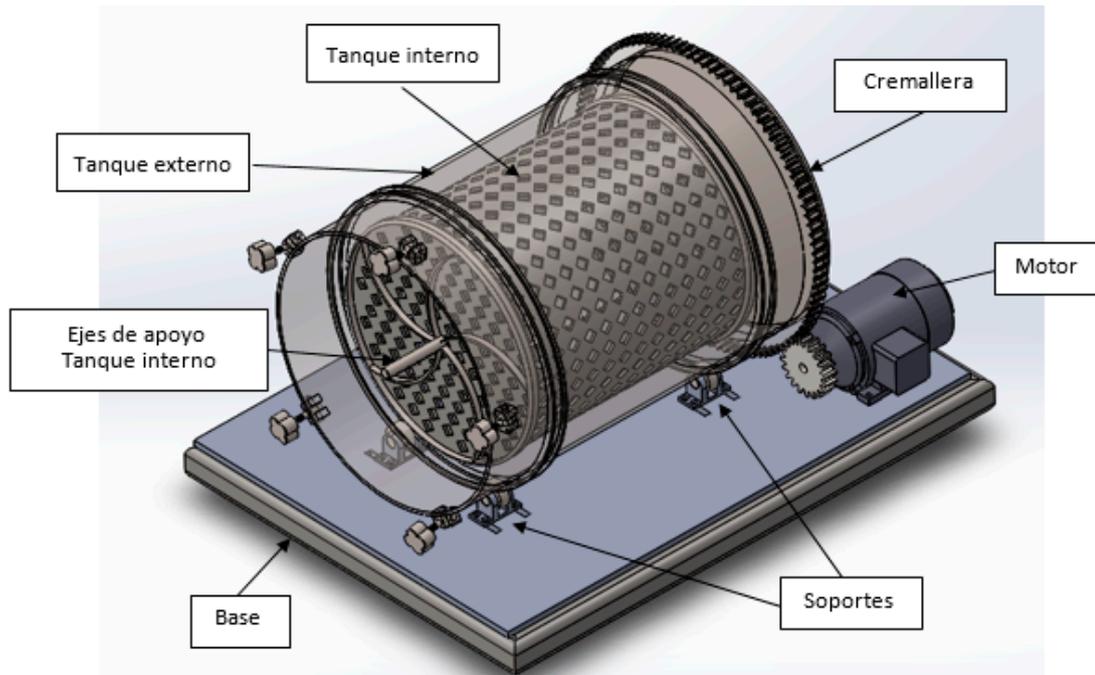


Figura 4. Isométrico del osmodeshidratador.

El motor transmite el movimiento giratorio al osmodeshidratador, a través de la cremallera fija ubicada en la periferia del tanque externo. El tanque externo es solidario al tanque interno, es decir, giran simultáneamente, permitiendo que la solución osmótica se desplace libremente y entre en contacto con el producto dispuesto en el tanque externo. La solución osmótica y el producto se cargan por la parte frontal del tanque externo que cuenta con cierres de seguridad herméticos para impedir filtraciones del tanque al entorno. Así mismo,

el osmodeshidratador cuenta con sensores para el posicionamiento del tanque en las funciones de llenado y vaciado.

Controlador. En la figura 5 se aprecia la respuesta del sistema a una entrada escalón, el diagrama de bode y el lugar geométrico de las raíces, se puede establecer que el sistema es oscilatorio e inestable. Luego, no tiene tiempo de estabilización y presenta un error de estado estable del 100%, por lo que se decide usar un controlador PID que permita corregir esas características.

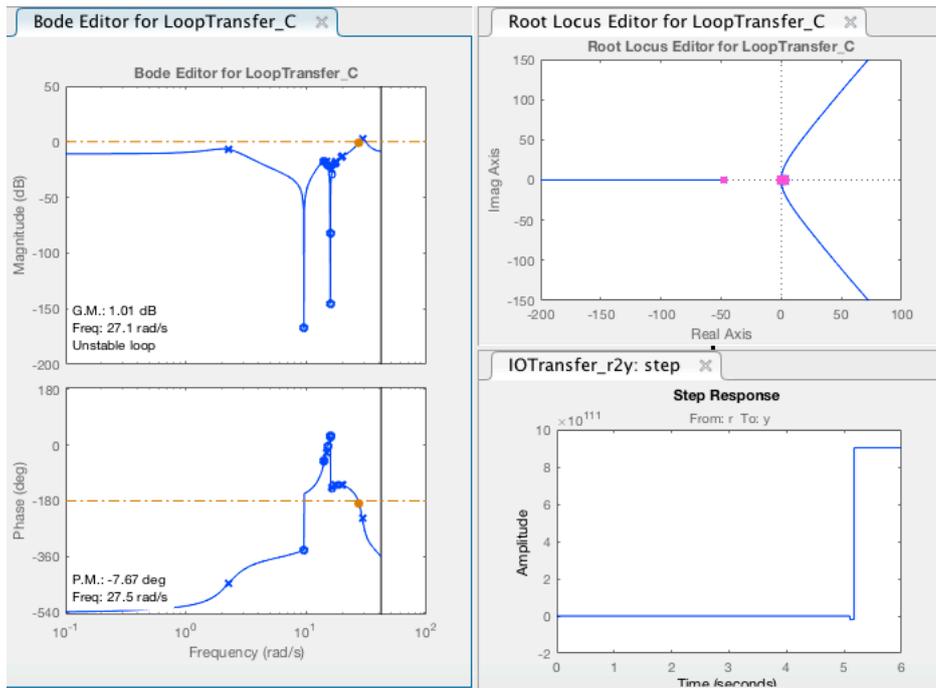


Figura 5. Respuesta del sistema a una entrada escalón.

El desarrollo del controlador se realizó por el segundo método de sintonización de controladores de Ziegler Nichols, en la cual

se establecen las constantes del controlador, en función de K_{cr} y P_{cr} , obteniendo la Eq. (8) del controlador en términos de Z (figura 6).

$$C(z) = 2.052 + \frac{10}{z} + 0.025Z \tag{8}$$

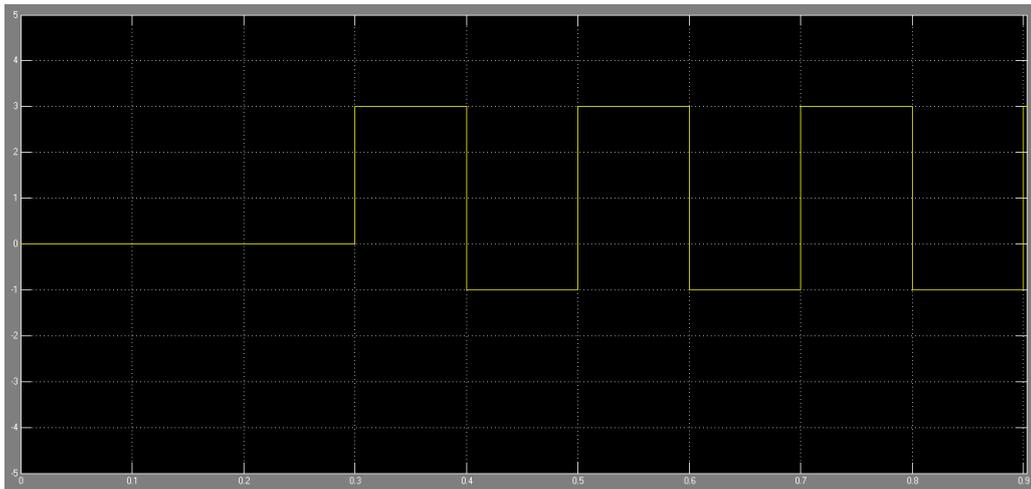


Figura 6. Respuesta del sistema a una entrada escalón con el controlador.

Sistema eléctrico. El sistema eléctrico está constituido por dos etapas: la etapa de potencia que cuenta con una protección termo magnética Q_1 , dos contactores KM_2 y KM_3 para la inversión de giro del motor y un contactor KM_1 asociado a una protección térmica F_1 como sistema de activación y seguridad del motor y la etapa de control a 24 VDC. Esta es la encargada de controlar principalmente el sentido de giro del motor, de modo temporizado para garantizar el

movimiento oscilatorio del tanque, así mismo está controlada desde el PLC (OUT_1). Igualmente, desde el PLC (OUT_2) se controla el arranque del motor para las funciones de llenado y vaciado. Y finalmente entrega las señales de los sensores al PLC para la ejecución de determinadas acciones. Es así como, en la figura 7 se muestra la interfaz del sistema eléctrico y cómo es posible manipular el sistema de control.



Figura 7. Interfaz del sistema eléctrico y sistema de control.

Conclusiones

El diseño cuenta con la suficiente seguridad para garantizar que no va a sufrir fallas por esfuerzos, debidos a las fuerzas aplicadas y dado que la potencia se transmite por engranajes rectos, se permite obtener un control eficiente.

La respuesta del controlador PID basada en el segundo método de Zigler Nichols, no proporcionan variaciones relevantes al sistema. Por lo tanto, se recomienda agregar un compensador.

En la interfaz del sistema, no se permite realizar el control de la variable de humedad

del banano, debido a que para efectuar este proceso, es necesario retirar la fruta de la solución osmótica y aplicar la prueba directamente al producto.

Referencias Bibliográficas

Artículo 392 de la Resolución 2400 de 1979. Del manejo y transporte de materiales. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Bogotá, Colombia.

Barbosa, J., Villada, D. & Mosquera, S. (2013). Diseño y construcción de un equipo osmodeshidratador para el desarrollo de nuevos productos agroalimentarios.

Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 37-46.

Compañía General de Acero (2018). *Aceros inoxidables austenítico*. Recuperado de <www.cga.com.co>. [Último acceso: 27 08 2018].

Wagner (2012). *Libro blanco de seguridad alimentaria*. Festo AG y Co KG.

Zapata, J. & Castro, G. (1999). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 52 (1), 451-466.