



DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL SECADO DE ESPIRULINA

Wilmer Cruz Guayacondo, Juana Valentina Caicedo Téllez, Juan Camilo Ramos Romero

**Universitaria Agustiniana
Bogotá, Colombia**

Resumen

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema mecatrónico para el secado de espirulina priorizando la disminución del consumo energético. Dicho proceso inicia con la definición del producto a partir de la función de calidad QFD, allí se plasman los requerimientos del proceso y su relación con las especificaciones técnicas. Luego se generan diferentes bocetos para cada una de las alternativas de diseño que se analizan mediante diferentes matrices de decisión para seleccionar el boceto que cumple en mayor proporción con los requerimientos evaluativos. Finalmente, se obtienen los dibujos de distribución general e individual, las memorias de cálculo y mediante el uso de un software interactivo, la simulación de los elementos de control y potencia. Así mismo, el sistema mecatrónico permite describir el comportamiento de las variables involucradas en el proceso de secado (energía, temperatura y humedad). El desempeño del secador se evalúa mediante un software CAE. Por lo tanto, el presente trabajo se concentra en el diseño óptimo de un sistema de secado empleando la metodología de diseño por factores e ingeniería concurrente para posteriormente extrapolar la metodología a otro tipo de equipos e instalaciones agroindustriales usadas en poscosecha, donde los fenómenos de transporte de masa, materia y energía son relevantes.

Palabras clave: sistema mecatrónico; eficiencia energética; industria agrícola

Abstract

This project consists of the development of a mechatronic system for drying spirulina, prioritizing the reduction of energy consumption. This process begins with the definition of the product from the

QFD quality function, where the requirements of the process and their relationship with the technical specifications are reflected. Then different sketches are generated for each of the design alternatives that are analyzed using different decision matrices to select the sketch that meets the evaluative requirements in the greatest proportion. Finally, the drawings of the general and individual distribution are obtained, as well as the calculation memories and, through the use of interactive software, the simulation of the control and power elements. Likewise, the mechatronic system allows describing the behavior of the variables involved in the drying process (energy, temperature, and humidity). The performance of the dryer is evaluated using different CAE software. Therefore, the present work focuses on the optimal design of a drying system using the methodology of design by factors and concurrent engineering to later extrapolate the methodology to other types of equipment and agro-industrial facilities used in post-harvest, where the transport phenomena of mass, matter and energy are relevant.

Keywords: *mechatronic system; energy efficiency; farming industry*

1. Introducción

Colombia se ha caracterizado por ser un país agrícola, productor de gran variedad de frutas, hortalizas, plantas medicinales y recientemente productos nutraceuticos como la espirulina, destinadas para consumo local o de exportación. Esta actividad está concentrada principalmente en zonas rurales, donde la infraestructura vial y energética para algunas regiones no es la adecuada, conllevando a la reducción y deterioro acelerado de sus atributos de calidad. A estos factores se adiciona el hecho del difícil acceso económico a nuevas y eficientes tecnologías de conservación, lo cual, limita las opciones para los campesinos y sus productos. Operaciones de secado, cadenas de frío, desinfección microbiana, entre otros procesos poscosecha son necesarios para aumentar la vida útil de los materiales biológicos una vez estos son cosechados (Kilcast, et al., 2010). Sin embargo, se ha reportado que, debido a diseños no óptimos de equipos agroindustriales, el gasto energético de estas operaciones es alto y la calidad del producto final se ve comprometida (Salami, et al., 2010).

Normalmente el diseño de equipos agroindustriales donde se llevan a cabo operaciones para alargar la vida útil de productos biológicos se realiza tomando como punto de partida las correlaciones empíricas o simplemente los conocimientos prácticos que, si bien son significativos, muchas veces omiten fenómenos que son importantes. Por ende, estos equipos son ineficientes tanto energéticamente, como en el rendimiento de la operación unitaria (Precoppe, et al., 2015). Con el surgimiento de nuevas tecnologías computacionales, ahora es posible el uso de diversas herramientas ingenieriles CAE para resolver problemas que involucran las ecuaciones de transporte de masa, energía y momento en el diseño asistido por computador CAD (Parpas, et al., 2018). Aunque las herramientas CAE han sido ampliamente usadas en la industria automotriz y aeroespacial, su uso se ha visto limitado en la industria agroindustrial.

El secado por convección en bandejas es el método más utilizado para frutas y verduras (Román, et al., 2018) según Nema, et al. (2015) cerca del 85% de los secadores industriales son de tipo convectivo con aire caliente como medio de secado, en estos secadores el aire usualmente se



introduce bajo la primera bandeja y posteriormente pasa a través de las demás; Esta configuración geométrica puede ocasionar problemas en la homogeneidad de la humedad final de los productos que se secan (Darabi, et al., 2015), siendo el problema más notorio en los sistemas de secado por lotes grandes, como los utilizados en la deshidratación de productos agrícolas.

En el secado convectivo, la tasa de deshidratación tiene una relación directa con la temperatura y la velocidad del aire que se utiliza en el proceso (Darabi, et al., 2015), siendo de gran importancia conocer el flujo de aire y la velocidad en la cámara de secado, motivo por el cual se requiere calcular el área de flujo de aire necesaria para realizar un secado adecuado. Sin embargo, el flujo y la velocidad del aire son difíciles de medir durante el funcionamiento del equipo, ya que se requieren varios sensores, situados en diversas direcciones del flujo de aire (Martínez, et al., 2014). Una alternativa para predecir variables de proceso de difícil medición es utilizar herramientas de simulación computacional CAE.

La disminución del porcentaje de humedad alarga la vida útil de los productos, reduciendo significativamente la acción de microorganismos y enzimas dentro de la matriz biológica (Sanghi, et al., 2018). Así mismo, se ven favorecidos los costos asociados a la cadena de suministro, como el transporte y almacenamiento, debido a que a menor humedad menor es el volumen de los productos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de secado para espirulina a partir de la ingeniería concurrente y validar su desempeño mediante un software CAE.

2. Método

El diseño del secador se lleva a cabo considerando cuatro etapas. En primer lugar, se realizó la definición del producto a partir de la función de calidad QFD (Hauser, et al., 1988), en segunda instancia se generan diferentes bocetos siguiendo la metodología de desarrollo de concepto (Ulrich, et al., 2004), en tercer lugar, mediante el uso de matrices de decisión se realiza la selección del concepto solución y la cuarta etapa corresponde al diseño de detalle.

2.1 Definición del producto

El desarrollo de la función de calidad QFD, es el método empleado para determinar las especificaciones del secador o los aspectos principales del mismo, las deficiencias en esta etapa conllevan recurrentemente a dedicar esfuerzos en aspectos secundarios, este método recoge la voz del cliente y la transforma en especificaciones técnicas. Para obtener información sobre sistemas de secado se consultaron dos grupos de interés, el primer grupo son los clientes o potenciales usuarios y el segundo, son personas vinculadas directamente a la fabricación y producción de equipos industriales. Los grupos de interés cuantificaron el nivel de importancia de 1 a 10 siendo 10 el requerimiento con mayor importancia y 1 el de menor importancia. Los requerimientos expresados por los clientes, el nivel de importancia y la categoría a la cual pertenecen, se presentan en la Tabla 1.



Tabla 1. Requerimientos del cliente

Número RC	Requerimientos del cliente RC	Nivel de importancia	Categoría
1	Capacidad del secador	8	Funcionalidad
2	Sistema de alimentación (variable)	9	Funcionalidad
3	Sistema de potencia (mecánico y eléctrico)	7	Funcionalidad
4	Sistema estructural	6	Seguridad
5	Cámara de secado (homogeneidad)	10	Funcionalidad
6	Medir las variable de operación	5	Funcionalidad
7	Costo del secador	7	Costos
8	Costo de operación	7	Costos
9	Materiales industriales	6	Manufactura
10	Mantenimiento mínimo	5	Manufactura

Las especificaciones técnicas presentadas en la Tabla 2 se establecen como respuesta a los requerimientos del cliente y se les asigna un valor objetivo hacia el cual se encaminan los esfuerzos del equipo de diseño. La dificultad relativa se obtiene al comparar la dificultad de realizar una característica técnica respecto a otra (0 = fácil de lograr y 10 = extremadamente difícil de lograr) y promediar los valores obtenidos para cada comparación.

Tabla 2. Especificaciones técnicas

Número RC	Especificaciones técnicas ET	Valor objetivo	Dificultad
1	Cámara de secado (Área de secado)	500 kg de matriz	10
2	Sistema flexible (disposición de la matriz)	3 posiciones	8
3	Potencia (mecánica y eléctrica)	Sistema regulable	5
4	Resistencia a la fluencia de los materiales	9,81 kN	5
5	Aislamiento térmico, flujo de aire (circulación)	Homogeneidad	10
6	Sistema de adquisición de datos	Registrar T y H	6
7	Prototipo a escala	COP \$ 10.000.000	10
8	Sistema de operación inteligente	Consumo de kW/h	7
9	Materiales acordes a la industria	Acero inoxidable	7
10	Tiempo de mantenimiento	1 h/mes	4

Para identificar las ventajas o desventajas que pueda tener el secador frente a productos similares que se ofertan en el mercado, se realiza una comparación competitiva “benchmarking” frente a tres empresas extranjeras. Cada producto de la competencia se evalúa respecto a los requerimientos expresados por los clientes y los resultados se muestran en la Figura 1.



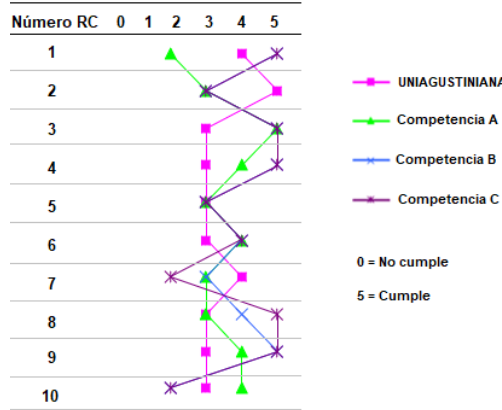


Figura 1. Comparación competitiva de productos relacionados

En la Figura 2, se muestra la matriz asociada al QFD, donde se relacionan los requerimientos del cliente con las características técnicas que los satisfacen.

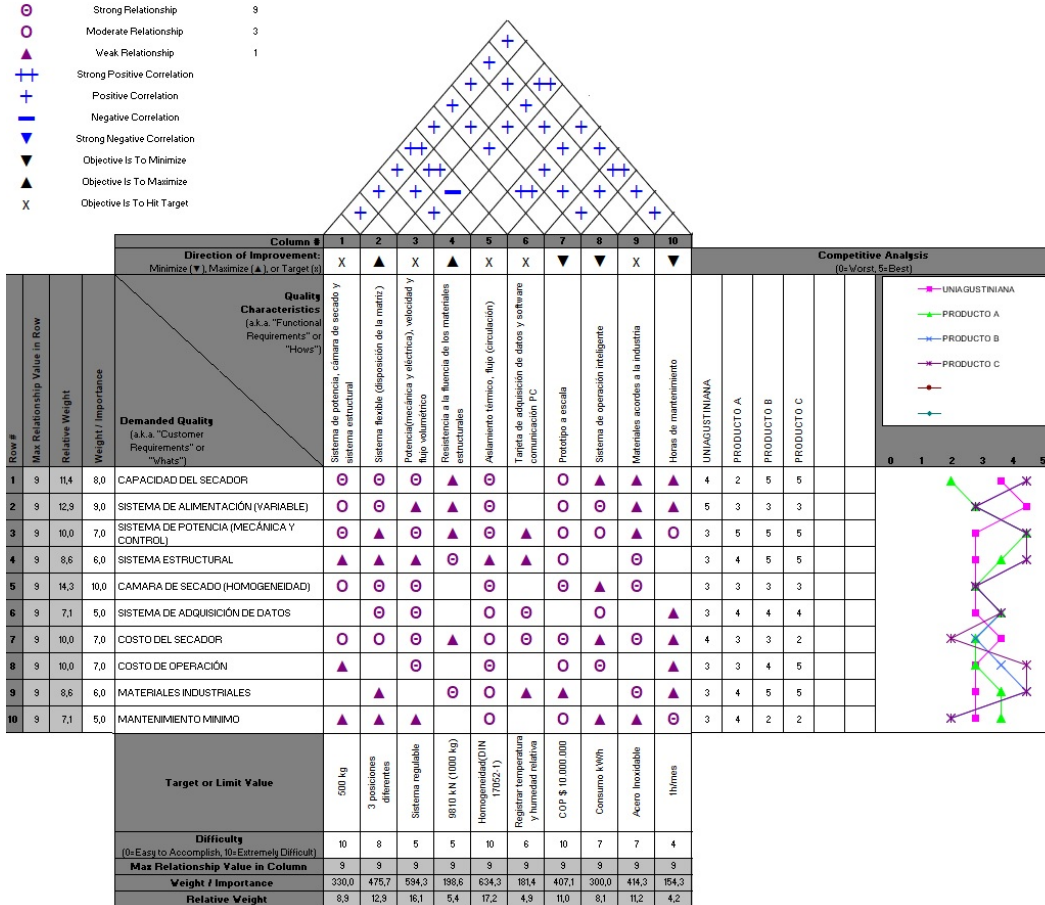


Figura 2. QFD para el secador

El producto a desarrollar tiene dos ventajas frente a la posible competencia en los requerimientos "Sistema de alimentación variable y el costo del secador". Las características funcionales "Sistema de potencia, cámara de secado y sistema estructural, aislamiento térmico, flujo de aire (circulación)



y prototipo a escala”, presentan mayor dificultad para cumplirlas. Así mismo, las especificaciones técnicas 2, 3, 5, 7 y 9 representan el 68% de la contribución para satisfacer los requisitos del cliente y sobre la base de esta información, se realiza el diseño conceptual del secador.

2.2 Diseño conceptual

El diseño conceptual realiza una descripción aproximada de la tecnología, los principios de trabajo y la forma del secador. Para generar los conceptos se aplicó la metodología presentada por Ulrich, et al., (2004), la cual considera definir el problema, buscar una solución externa e internamente y explorar sistemáticamente posibles soluciones. Las soluciones potenciales al problema general se forman al combinar las posibles soluciones encontradas.

En el concepto de solución A, se realiza el secado mediante el flujo forzado de aire caliente a través de la espirulina dispuesta en bandejas verticales, el aire frío ingresa por el costado izquierdo y mediante varios ductos atraviesa un sistema de resistencias que aumentara su temperatura, el aire ya caliente pasa por la cámara de secado que contiene las bandejas con espirulina húmeda. El diseño contempla varios sensores dispuestos de forma vertical que registran la temperatura, la humedad relativa y la masa en la cámara de secado, la información recolectada se almacena para su posterior tratamiento.

Subproblema	Concepto de solución
Convertir energía en energía térmica	Efecto termoeléctrico
Entregar energía térmica	Trasladar moléculas - forzada
Eliminar agua de la espirulina	Secado por bandeja

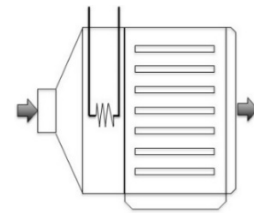


Figura 3. Combinación de conceptos y concepto de solución A

En el concepto de solución B, las bandejas con espirulina húmeda se desplazan mediante un movimiento rotatorio, en dos puntos de la trayectoria la espirulina se somete a un chorro de aire caliente emanado por ductos y el aumento de la temperatura del aire se logra en la parte externa del secador.

Subproblema	Concepto de solución
Convertir energía en energía térmica	Efecto termoeléctrico
Entregar energía térmica	Trasladar moléculas - forzada
Eliminar agua de la espirulina	Secado rotatorio

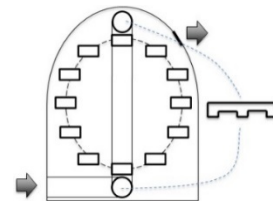


Figura 4. Combinación de conceptos y concepto de solución B

En el concepto de solución C, el secado se realiza en una cabina, por la cual pasan las bandejas con espirulina húmeda, dentro de la cabina, se hace fluir aire caliente en sentido perpendicular al movimiento de las bandejas que está a cargo de una banda transportadora. El sistema de secado cuenta con sensores antes y después de la cabina para registrar la temperatura y la humedad relativa.



Subproblema	Concepto de solución
Convertir energía en energía térmica	Efecto termoeléctrico
Entregar energía térmica	Trasladar moléculas - forzada
Eliminar agua de la espirulina	Secado continuo (túnel)

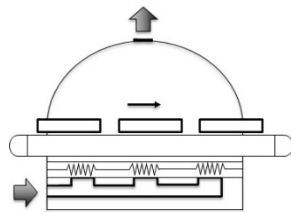


Figura 5. Combinación de conceptos y concepto de solución C

2.3 Selección de concepto

La selección del concepto de solución se realiza mediante matrices de decisión, la primera matriz corresponde a los siguientes juicios de factibilidad: ¿Es posible que funcione el concepto?, ¿Es atractivo el concepto para el equipo de diseño? y ¿Alguna norma/estándar impide el uso del concepto?, dado que los tres conceptos de solución cumplen con estos aspectos, pasan a una segunda matriz de revisión sobre la tecnología necesaria. Al aplicar la revisión sobre la tecnología necesaria a cada concepto, se valida la posibilidad de materializar cada concepto de solución y controlar su funcionalidad durante todo su ciclo de vida. En la tercera matriz, las funciones se evalúan de 0 a 10, siendo 0 el valor que refleja el no cumplimiento de la función y 10 el valor que refleja el cumplimiento pleno de la función.

Tabla 3. Matriz de revisión del cumplimiento de las funciones

Funciones	Concepto A	Concepto B	Concepto C
Convertir energía eléctrica en térmica	10	6	10
Entregar energía térmica	9	3	9
Aceptar la espirulina	10	9	10
Posicionar la espirulina	8	10	7
Eliminar agua de la espirulina	8	8	8
Activar sistemas	10	10	10
Regular sistemas	7	7	7
Detener sistemas	10	10	10
Puntuación Total	72	63	71

El 80% de la puntuación más alta, se considera como el umbral mínimo a satisfacer por cada concepto para continuar en la etapa de selección, los tres conceptos cumplen con este requerimiento. Finalmente, en la cuarta matriz se evalúan los conceptos de solución respecto a los requerimientos del cliente.

Tabla 4. Matriz de revisión del cumplimiento de los requisitos del cliente

Requerimientos del cliente RC	NI	C		
	Nivel de importancia	Concepto A	Concepto B	Concepto C
Capacidad del secador	8	7	8	7
Sistema de alimentación (variable)	9	7	6	5
Sistema de potencia (mecánico y eléctrico)	7	10	9	10
Sistema estructural	6	9	9	9
Cámara de secado (homogeneidad)	10	9	8	7
Medir las variable de operación	5	8	8	8
Costo del secador	7	9	7	9
Costo de operación	7	8	6	8



Materiales industriales	6	9	9	9
Mantenimiento mínimo	5	9	8	9
Puntuación Total Ponderado (T)		588	540	557

Una vez se evalúa de 0 a 10 (0 = no cumple y 10 = cumple) el cumplimiento de los requerimientos para cada concepto, se calcula el puntaje total para cada concepto sumando las evaluaciones ponderadas, acorde a la siguiente ecuación.

$$T_j = \sum_{i=1}^n C_{ij}N_i$$

Donde

C_{ij} = evaluación de fila del concepto j para el i -ésimo requerimiento

N_i = ponderación del i -ésimo requerimiento

n = número de requerimientos

T_i = puntaje total para el concepto j

La calificación más alta la obtiene el concepto de solución A, siendo el seleccionado para desarrollar a nivel de detalle.

2.4 Diseño de detalle

El método para la generación detallada del secador (De la Peña, 2011), se describe a continuación:

- *Encontrar componentes normalizados*, los fabricantes de este tipo de componentes cuentan con la experiencia y las máquinas herramientas adecuadas para lograr un componente con las especificaciones necesarias para emplearse en el secador, este es el caso de la turbina y sus accesorios (ductos, conectores, etc.), los elementos de unión (Tonillos, tuercas, arandelas, remaches, etc.), la perfilería (Tubos, ángulos, etc), las láminas para forrar el secador, el aislante térmico y por supuesto los sensores y la tarjeta de adquisición de datos.
- *Seleccionar materiales y las técnicas de producción*, a partir de la disponibilidad, el costo de la materia prima, el volumen de producción y la experiencia, se selecciona el material y el proceso de fabricación para cada uno de los componentes del diseño y se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Materiales y técnicas de producción

Componente	Material	Técnica de producción
Sistema estructural	Tubo cuadrado de 38.1 mm x 2 mm de espesor en Acero HR (Estructura)	Corte, unión por soldadura y pintura
	Tubo cuadrado de 25.4 mm x 2 mm de espesor en Acero HR (Puerta) con vidrio templado de 2 mm de espesor.	Corte, unión por soldadura, pintura y pegado de vidrios
Cámara de secado	Lamina de acero inoxidable 304 cal 22 (Forrado)	Corte, doblado, unión por remaches
	Fibra de vidrio (Aislante)	Corte y unión con adhesivo
Sistema de alimentación	Ángulo de 25.4 mm x 3.175 mm de espesor en acero inoxidable 304. (Portabandejas)	Corte y unión por soldadura
	Malla con perforaciones en acero inoxidable 304 cal 16 (Bandejas)	Corte, doblado y unión por soldadura



- *Definir las restricciones espaciales*, el secador tiene 1 m de ancho, 1.5 m de alto y 0.65 m de profundidad y es necesario disponer de 1.3 m² libres, además se debe ubicar en un lugar cubierto (bajo techo) con un ambiente libre de polvo excesivo y cerca de una fuente de 220 V.
- *Identificar los componentes independientes*, en la Figura 6 se presenta la arquitectura del secador que contempla un sistema estructural (a), una cámara de secado (b), un sistema de adquisición de datos y control (c), un sistema de potencia mecánica y eléctrica (d), un sistema de alimentación (e) y la interfaz con el usuario (f), sin embargo, el sistema de potencia concentra la mayor atención, teniendo en cuenta que es allí donde se produce el aumento de velocidad y temperatura del aire.

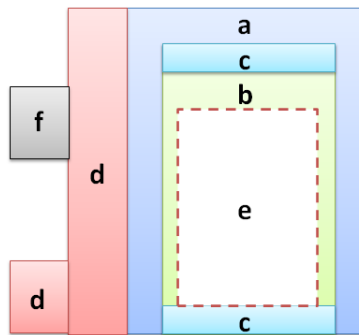


Figura 6. Arquitectura del secador

- *Crear y definir las interfaces donde se desarrollan las funciones y conectarlas con los factores críticos de diseño*, en la Tabla 6 se describe la forma como se va a satisfacer cada una de las funciones del secador, además de identificar el parámetro crítico de diseño.

Tabla 6. Interfaz funcional y factor crítico de diseño

Función	Concepto	Interfaz	Factor de diseño
Convertir energía eléctrica en térmica	Sistema de potencia (mecánica y eléctrica)	Resistencias eléctricas	Potencia eléctrica necesaria
Entregar energía térmica	Cámara de secado	Convección forzada de aire caliente	Flujo de aire necesario y cte.
Aceptar espirulina	Sistema de alimentación	Puerta del secador	Área necesaria para permitir el paso libre del estante
Posicionar espirulina	Sistema de alimentación	Estante con bandejas	Capacidad y disposición de las bandejas
Eliminar agua de la espirulina	Cámara de secado	Secado por bandejas	Hermeticidad y permitir el flujo libre del aire
Activar sistemas	Sistema de adquisición de datos y control	Accionamiento de un pulsador	Normatividad asociada
Regular sistemas	Sistema de adquisición de datos y control	Regulador de potencia eléctrica y mecánica	Margen de maniobra (+/-)
Detener sistemas	Sistema de adquisición de datos y control	Accionamiento de un pulsador	Normatividad asociada



3. Resultados y análisis

La estructura del secador está formada por tubería cuadrada en acero estructural HR con 345 MPa de límite de fluencia, el forrado externo e interno se realiza con lamina de acero inoxidable y como elemento aislante se utiliza la fibra de vidrio. La puerta cuenta con dos vidrios templados y un sistema de cierre hermético para minimizar la pérdida de calor. El flujo de aire está a cargo de una turbina centrífuga con potencia de 0.07 kW y una velocidad máxima de 984 rpm, alcanzando un flujo volumétrico de 1230 m³/h en vacío. El sistema de resistencias tiene una capacidad de 20 kW y permite elevar la temperatura del aire hasta 343 K. El sistema de alimentación permite ubicar 19 bandejas de forma simultánea en tres configuraciones diferentes.

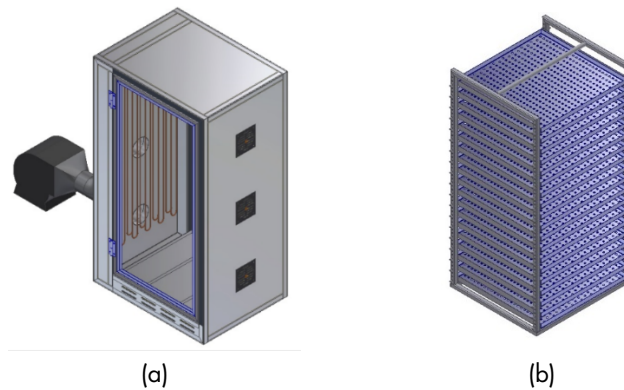


Figura 7. (a) Modelo 3D del secador y (b) Sistema de alimentación

El sistema de adquisición de datos consta de 5 sensores de temperatura y humedad, 4 celdas de carga y un microcontrolador. El sensor 1 estará a la salida del sistema de resistencias con la finalidad de medir las propiedades a la entrada de la cámara de secado, los sensores 2, 3 y 4 se ubicarán uniformemente en la cámara de secado y el sensor 5, estará a la salida de la cámara de secado para medir las propiedades del aire una vez se ha realizado el proceso de secado. La medición de peso se llevará a cabo mediante cuatro celdas de carga, sobre las cuales reposa la cámara de secado y el microcontrolador es el encargado de recibir y transmitir las señales de los sensores y las celdas de carga para su posterior procesamiento. La simulación del sistema de control y potencia se realiza mediante el software Cadezimu, donde se puede evidenciar los componentes que se requieren para realizar el prototipo y el comportamiento del mismo.

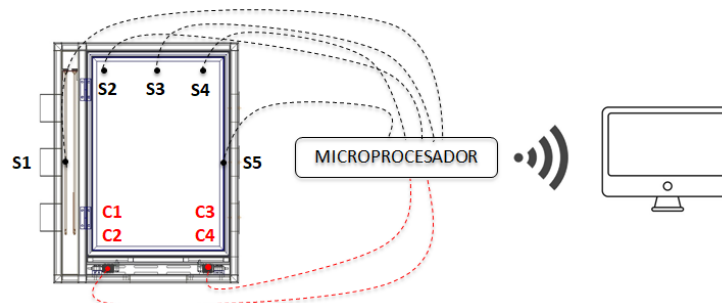


Figura 8. Diagrama esquemático de la disposición de los sistemas de medición



El sistema de control permite regular la velocidad de la turbina y la temperatura del aire que ingresa a la cámara de secado, además de contar con todos los elementos que protegen el circuito de sobrecargas de tensión. El consumo eléctrico se estima en 25 kW/h.

4. Conclusiones

Al aplicar la metodología de diseño, se evidencia la facilidad con la cual se obtiene el modelo conceptual, ya que esta técnica explora sistemáticamente las posibles soluciones para cada una de las funciones del producto y las transforma en los componentes básicos, que a su vez satisfacen los requerimientos del usuario final.

El diseño resultante satisface en mayor proporción los requerimientos establecidos por el usuario final, sin embargo, se debe revisar el costo de fabricación en función del presupuesto y de ser necesario, contemplar un rediseño que involucre los materiales estructurales, de forrado y aislamiento térmico en cuanto a su espesor, debido a su impacto en el costo final.

El sistema de alimentación flexible o multiposicional de las bandejas es sencillo y práctico, lo cual permitirá innovar en los equipos de secado para microalgas. El modelo de contacto aire-superficie-espirulina en flujo horizontal o transversal, permite que la operación no sea agresiva y minimiza los cambios desfavorables que una operación de secado puede ocasionar en las microalgas.

En la actualidad el proyecto está en fase de adquisición de materiales para la construcción del prototipo, donde se busca corroborar experimentalmente los resultados teóricos.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Darabi, H., Zomorodian, A., Akbari, M. H., & Lorestani, A. N. (2015). Design a cabinet dryer with two geometric configurations using CFD. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 359–366.
- Hauser J., et al. (1988). The House of Quality. *Harvard Business Review*, 66:63-73
- Martínez Z., N., & Menacho P., Z. (2014). Food loss in a hungry world, A problem? *Agronomía Colombiana*, 32, 283–293.
- Nema, P., Kaur, B., & Mujumdar, A. (2015). *Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications*.
- Pappas, D., Amaris, C., & Tassou, S.A. (2018). Investigation into air distribution system and thermal environment control in chilled food processing facilities. *International Journal of Refrigeration*, 87, 47-64.
- Precoppe, M., Janjai, S., Mahayothee, B., & Müller, J. (2015). Batch uniformity and energy efficiency improvements on a cabinet dryer suitable for smallholder farmers. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 4819–4829.
- Román, F., Mbugu, D. O., & Hensel, O. (2018). Modeling the effect of a superabsorbent polymer material as desiccant in maize drying using CFD. *Drying Technology*, 1–13.
- Salami, P., Ahmadi, H., Keyhani, A., & Sarsaifee, M. (2010). Strawberry post-harvest energy losses in Iran, *Researcher* 4, 67-73.
- Sanghi, A., Ambrose, R. P. K., & Maier, D. (2018). CFD simulation of corn drying in a natural convection solar dryer. *Drying Technology*, 36(7), 859–870.



Libros

- Arzola de la Peña, N. (2011). Metodología de diseño para ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. 1:470.
- Ulrich K. et al, (2004). Diseño y Desarrollo de Productos. Enfoque Multidisciplinario. McGraw Hill, 5:119-143, 2004.

Sobre los autores

- **Wilmer Cruz Guayacundo:** Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Mecánica, Profesor Asociado de la Universitaria Agustiniiana - Uniagustiniana. wilmer.cruz@uniagustiniana.edu.co
- **Juana Valentina Caicedo Téllez:** Estudiante de Ingeniería Mecatrónica. juana.caicedot@uniagustiniana.edu.co
- **Juan Camilo Ramos Romero:** Estudiante de Ingeniería Mecatrónica. juan.ramosr@uniagustiniana.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

