

Conference Paper

Diseño y Simulación de un Deshidratador Mixto Indirecto de Frutas

Design and simulation of an Indirect Mixed Fruit Dehydrator

J. Mendoza¹, R. Insuasti², O. Barrera², and M. Navarro¹¹Facultad de Ciencias Pecuarias, ESPOCH²Facultad de Mecánica, ESPOCH

Resumen

En el presente estudio se determinaron las características del diseño para un Deshidratador Mixto Indirecto (DMI) con una capacidad de 50 kg. Este deshidratador está constituido por el colector solar, placa de absorción, cubierta, ducto de succión, ventilador, resistencias eléctricas, zona de secado y ducto de aireación. Los elementos fueron diseñados mediante el programa SolidWorks, que permitió la simulación mecánica y termodinámica del proceso de secado, mediante el cual se pudieron determinar las características de los elementos del equipo. Se calculó que la temperatura óptima para la deshidratación de las frutas está entre los 40 y 70 °C. El calor específico del compartimiento de secado fue uniforme, con un valor de 2860,8 J/(kg.K); con la ayuda del ventilador se logró homogenizar el flujo del aire a la temperatura de deshidratación: a 50°C fue homogénea en la zona de secado. Los resultados obtenidos en la simulación vaticinan un correcto funcionamiento del equipo.

Abstract: The present study determined the design characteristics for an Indirect Mixed Dehydrator (IMD) with a capacity of 50 kg. The solar collector, absorption plate, cover, suction duct, fan, electric resistances, drying zone and aeration duct constitute this dehydrator. The elements were designed through the SolidWorks program, which allowed the mechanical and thermodynamic simulation of the drying process; by which it was possible to determine the elements, characteristics of the equipment. The optimum temperature for the dehydration of fruits was between 40 and 70 °C. The specific heat of the drying compartment was uniform and has a value of 2860.8 J / (kg K), with the help of the fan it is possible to homogenize the air flow at the dehydration temperature: at 50 °C it was homogeneous in the drying zone. The results obtained in the simulation guarantee the correct functioning of the equipment.

Palabras Clave: Deshidratador Mixto Indirecto, Deshidratador de Frutas, simulación mecánica y termodinámica.

Keywords: Indirect Mixed Dehydrator, Fruit Dehydrator, mechanical and thermodynamics simulation.

Corresponding Author:

J. Mendoza

mendoza9000@yahoo.es

Received: 10 January 2020

Accepted: 17 January 2020

Published: 26 January 2020

Publishing services provided by
Knowledge E

© J. Mendoza et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons](#)

[Attribution License](#), which

permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the VI Congreso Internacional Sectei 2019 Conference Committee.

OPEN ACCESS

1. INTRODUCCIÓN

La deshidratación de frutas en el mundo tiene orígenes antiguos, y es el método tradicional por excelencia para la conservación de alimentos. La deshidratación impide el deterioro de las frutas, inhibe el crecimiento de los microorganismos, reduce o detiene la actividad enzimática (1) y las reacciones químicas del propio alimento, logrando que se alargue su vida útil.

La necesidad del diseño de un DMI en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, es de vital importancia para dar un valor agregado a las frutas que cosechan los agricultores, incluyendo además el beneficio de reducir al mínimo las pérdidas, debido a precios bajos de mercado o falta de demanda del producto. Además, se debe considerar la proyección de obtener productos de exportación para lo cual se deberá garantizar la calidad necesaria con certificación internacional y ser generador de divisas; agregando el hecho de que el producto deshidratado no requiere de una cadena de frío para su conservación y la disminución en un 80 a 90 % de peso lo que hace más barato el coste de transporte.

Una vez construido el DMI se debe realizar un estudio de la deshidratación por tipo de frutas, definiendo tiempos y movimientos; de esta manera, se puede tener amplia una gama de productos comerciables.

La consistencia de la fruta deshidratada la hace un alimento atractivo para todas las edades y una alternativa saludable que puede sustituir las golosinas que no contienen aportes nutritivos. El proceso de deshidratación es complejo, que involucra la transferencia simultánea de calor y masa.

En el mundo existen muy diversos tipos de deshidratadores, con: diversas capacidades, formas, y métodos energéticos; entre ellos se encuentran los deshidratadores: Solares, Eléctricos, Mixtos, Secado por Microondas a baja presión (2). El costo de los mismos está en dependencia de la complejidad de los equipos y materiales utilizados.

Los productores de frutas en el Ecuador ven con desagrado que buena parte de sus producciones no les propician las ganancias esperadas; esto es debido a ciertos factores, entre los más importantes:

1. Una apreciable cantidad de frutas se pudre (3); incluso, nunca llegan a los mercados.
2. La venta de la producción está marcada por precios bajos.
3. Existen enormes problemas de transporte para conducir las frutas a los diferentes mercados.

Por otra parte, existe carencia de instalaciones industriales (4), semi-industriales o artesanales, que, en muchos casos, le pudieran permitir a los pequeños y medianos productores el almacenamiento o procesamiento de los excedentes de futas que, por diferentes causas, no van al mercado a ser comercializadas. La vivencia práctica ha demostrado que, todo esto trae consigo malestar e insatisfacción entre los productores, y principalmente, y muy importante, el desperdicio y no aprovechamiento de una considerable cantidad de frutas en la alimentación humana.

Una solución a este problema es aprovechar las bondades que brindan los procesos de deshidratación de las frutas (5); ésta podría constituir una solución viable para los medianos y pequeños productores, siempre y cuando las instalaciones sean económicamente rentables. Entre otras ventajas: posibilitan disminuir, ostensiblemente, la pérdida de frutas; coadyuvan al incremento de los precios y aseguran mejores condiciones para el transporte y almacenamiento por largos períodos de tiempo del producto obtenido (pues los productos no se dañan y guardan sus características alimenticias) (6).

En el Ecuador, la producción de fruta deshidratada (7) ha tomado un verdadero interés a partir del 2012. Actualmente, en el país existen 15 empresas que se dedican a esta actividad; de éstas, solo seis se han organizado como consorcio (para hacer frente a las altas cantidades requeridas para la exportación).

Para lograr lo anterior es necesario, la obtención de un diseño y simulación de un DMI de frutas (8), que permita la buena utilización de éstas y su rentabilidad, aprovechando al máximo la energía solar (8) y otro tipo de energía, como la eléctrica (10), asegurando el mejor desempeño del deshidratador (13).

Un estudio previo determinó que las frutas deshidratadas de preferencia en el mercado son: frutilla, manzana y durazno; aunque en realidad pueden entrar en el proceso muchas otras.

Durante el proceso de deshidratación, las frutas deben ser preparadas en capas delgadas, las cuales deben ser ubicadas en bandejas. Éstas, estarán sometidas a una temperatura de 71 °C, por 30 min (también puede usarse un deshidratador a una temperatura de 62,77 °C, por un período de 6 a 8 horas dependiendo del contenido de agua del producto que se va a deshidratar) (10). Cuando la fruta ha perdido su brillantez y al apretarla ya no libera humedad, está lista para ser empacada. Una vez deshidratada la fruta reduce el volumen hasta el 50 % y su peso hasta un 80 % (12).

En la cinética del proceso de secado, utilizando aire caliente, depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del aire de secado: la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del flujo de aire; por lo que

en general, para la deshidratación de frutas por este método se recomienda utilizar temperaturas entre 40--80 °C. En el trabajo se contempló la cinética de la deshidratación por flujo de aire caliente de la piña (*Ananas Comosus*, variedad *Cayena lisa*). Las que fueron troceadas en cubos de $1 \times 5 \pm 0,02$ cm, para ser sometidas al proceso de deshidratación por flujo de aire caliente, a una temperatura de 60 °C durante 5 horas.

De la misma forma, según Daybelis (5), el trabajo tuvo el objetivo de evaluar el comportamiento cinético de las principales propiedades de la fruta bomba (*Carica papaya* L, cv. Maradol Roja) durante los procesos agroindustriales de deshidratación por flujo de aire caliente. Las frutas se cortaron en cubos (trozos) de $2,5 \times 2,5 \times 1,0 \pm 0,02$ cm (ancho, largo y espesor) y se deshidrataron a una temperatura de 60 °C durante 5 horas.

Respecto al estudio realizado por Giraldo-Zuniga (7), éste se llevó a cabo experimentalmente con cinética del secado de la pulpa de *cupuaçu* en forma de rodajas, con espesor de 0,5 cm. El secado fue realizado utilizándose un secador laboratorial de bandejas, a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C, con una velocidad del aire de secado de 1,5 m/s. De acuerdo con los datos de la cinética del secado se puede observar que cuanto mayor es la temperatura del secado mayor es la velocidad del secado. El tiempo requerido, para secar el producto hasta una humedad del 20%, fue de: 9,2; 8,1 y 7,3 horas, para las temperaturas de secado de 50, 60 y 70 °C respectivamente.

Espinosa (8) expone que si la temperatura de secado es muy alta, especialmente al inicio del secado, el exterior de la fruta u hortaliza se seca muy rápido y se endurecerá. Esta capa dura y seca evitará la pérdida de humedad, por lo que el centro podría deteriorarse durante el almacenado.

La mayoría de los frutos se secan a 60-70 °C, hasta que tengan el contenido de humedad final deseado: 15 % convencionalmente. El secado artificial es un método controlado de secado. También es el más caro ya que requiere de una cámara de secado calentada por gas, electricidad o biomasa. Existen varios tipos y tamaños de secadores disponibles para satisfacer las necesidades de los productores. Las ventajas son que la velocidad de secado puede ser cuidadosamente controlada independientemente de las condiciones climáticas externas para lograr un producto seco de alta calidad. El costo de combustible para calentar el aire es el principal factor económico que afecta las operaciones de secado.

En el secado indirecto no se exponen los alimentos directamente a la radiación solar, para disminuir la decoloración y el agrietamiento en la superficie de estos. Los secadores solares indirectos poseen una unidad colectora solar donde ingresa el aire y una cámara de secado separada donde se almacenan los productos a secar. En el

secado solar indirecto el calor necesario para la evaporación se transfiere de forma convectiva desde el aire caliente hacia el material húmedo. Con el secado indirecto se alcanza un mayor control de las condiciones de secado, por lo que se obtiene un producto de mejor calidad.

En las consideraciones realizadas para desarrollar un modelo analítico transitorio, Teixeira (9) tuvo como tarea principal determinar las dimensiones de un deshidratador solar de cacao utilizando aire calentado por colector solar plano y almacenador térmico (el aire caliente atraviesa la cámara de secado que protege al cacao del ambiente exterior y permite la insolación solar directa). El modelo se aplicó al secado solar tradicional en patios. Las condiciones ambientales promedio de la localidad bajo estudio fueron los datos de entrada al modelo. Los resultados indicaron que el aire puede alcanzar 65 °C de temperatura y el 10 % de humedad relativa. La curva de secado modelada presentó concordancia con la curva de secado experimental.

Un secador controlado por medio de la plataforma Microsoft Visual Basic permite simular las condiciones ambientales (temperatura y humedad) de cualquier parte del país (Colombia). Para realizar la validación del equipo se hicieron curvas de secado de plátano variedad *Dominico Hartón* a dos temperaturas (50 y 70 °C) (Mauricio, 10).

Una investigación realizada por Sierra (11) consistió en establecer los valores óptimos de carga másica, temperatura y velocidad del aire en el secado de yuca, en un secador híbrido, para reducir su contenido de humedad hasta 13 %, en base húmeda. Para la evaluación del secador híbrido se desarrollaron corridas experimentales de secado a temperaturas entre 50 y 70 °C, velocidad del aire de 1 a 8 m/s y carga másica de 30 a 80 kg/m². Para la optimización del proceso se empleó el criterio de maximización de la eficiencia global de secado, basado en el estudio fenomenológico de éste. A través de los resultados se delimitó la región factible de optimización por temperaturas entre 50 y 55 °C, velocidad de aire de 1,5 a 1,9 m/s y carga másica de 47 a 67 kg/m². La máxima eficiencia global de secado obtenida fue de 65,6 % para una temperatura, velocidad de aire y carga másica de: 50°C, 1,66 m/s y 55,40 kg/m² respectivamente, empleando un tiempo de operación de 5,5 horas.

Otro estudio consistió en el diseño, la construcción y la validación de un sistema híbrido de calentamiento de aire por combustión de biomasa y radiación solar, utilizando material de cambio de fase como fuente de almacenamiento térmico, para el secado de yuca, a pequeña escala. El sistema híbrido concibió un ventilador centrífugo, dos colectores solares, un quemador de combustible sólido (cascarilla de arroz) y un secador de bandejas. La validación del sistema se realizó secando yuca. El PCM permitió seguir el proceso de secado, incluso cuando la radiación solar estuvo por debajo de 116,22 ±

31,94 W/m², logrando mantener temperaturas de aire de secado en los dos colectores solares a $46 \pm 4,29$ °C y $51 \pm 4,08$ °C durante 45 min adicionales. El tiempo de secado fue de 10 h y 45 min; la eficiencia de los colectores solares fue 43,91% y la del quemador de cascarilla de arroz de 36,72 % (13).

Según Mahecha (14), en su trabajo diseñó un prototipo funcional de un secador dinámico conformado por: túnel de secado, sistema mecánico de transporte de material en el interior del equipo y selección y diseño del sistema de suministro de aire caliente. Implementó un mecanismo de transporte sencillo, que permitió la combinación de dos disposiciones de flujo: paralelo y contracorriente. Para la evaluación del prototipo se deshidrató pulpa de mango (*Mangifera indica L.*), usando tres temperaturas en el aire de secado: 50, 60 y 70 °C y tres velocidades del aire en el interior del secador: 1,6; 2,2 y 3,4 ms⁻¹. En el proceso se utilizó combustión de gas propano para calentar el aire. El prototipo permitió deshidratar pulpa de fruta fluida con un contenido de humedad inicial de 4,26 bs hasta un contenido de humedad final de 0,11 bs, con un tiempo de secado de 8 h (temperatura y velocidad del aire de 70 °C y 3,4 ms⁻¹ respectivamente), con un espesor de pulpa de 4,5 0,5 mm, dispuesta en bandejas rectangulares de 300 x 180 mm y una altura de 15 mm. (Bajo estas condiciones se obtienen láminas de pulpa deshidratada con un espesor de 1,5 y 0,5 mm. El producto final tiene una actividad de agua (aw) de 0,60, lo que lo hace estable, con bajo contenido de agua y con características muy similares al producto fresco).

En el secado de la manzana, según Granny (15), la cinética de secado en combinación con las variables fisicoquímicas analizadas: mejor control de la oxidación, menor resistencia al corte y menor actividad de agua, muestran que la mejor metodología, en láminas de 2 mm de grosor y 6,6 cm de diámetro, es el secado convectivo, tanto a 40°C como a 60 °C, siendo más evidente la de 60 °C, debido a la eficiencia en el proceso de secado.

Ante la necesidad de optimizar el proceso de deshidratado de alimentos para productores de escasos recursos y baja escala, Rodríguez (16) diseñó un sistema de control de temperatura con técnicas de control clásico para optimizar el proceso de deshidratado en un deshidratador solar. El sistema a controlar fue de convección forzada con temperaturas de referencia de 50 a 60 °C, no obstante, se presentaron muchos inconvenientes, tales como: escasa calidad en el producto final y reducidas probabilidades de mantener sus condiciones operacionales, altas pérdidas del producto, posibilidad de contaminación y contradicciones entre las diferentes estaciones del año, principalmente en los períodos lluviosos; de lo cual se infiere que no constituye un método recomendable.

Por último, con el objetivo de comparar y validar el dispositivo automatizado, respecto de la metodología tradicional Saavedra (17), procedió a realizar pruebas de secado de cilindros de manzana *Granny Smith* de 2,2 cm y un centímetro de diámetro, considerando tres temperaturas de trabajo: 45, 55 y 65 °C, y una velocidad de aire de 2,4 m/s hasta alcanzar una humedad aproximada del 17 %.

El objetivo de la deshidratación de la fruta es la de eliminar el contenido de agua de la fruta sin perder los nutrientes y preservándoles en el tiempo (12), pues estos no se pudren, sin embargo, debe estar acompañados de un debido almacenamiento, evitando contaminación (18) y absorción de humedad. La deshidratación por medios eléctricos es más rápida pero un poco más costosa debido al consumo de energía; pero, considerando que la energía en el Ecuador es relativamente económica se prefiere la utilización en el diseño de resistencias eléctricas, a la deshidratación por microondas ya que ésta es una tecnología muy costosa y de mantenimiento especializado (19).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las frutas ha deshidratar, preferentemente son: frutilla, manzana y durazno, debido a que éstas tienen mayor aceptación en el mercado local: Riobamba y en la provincia de Chimborazo en general.

El método usado en la investigación se cimentó en la búsqueda de la mejor variante de diseño utilizando la plataforma SolidWorks, que permitió la simulación (20), y obtención de una (potencial) adecuada funcionalidad del deshidratador, a partir de la modificación de determinados parámetros, con vistas a mejorar su rendimiento. La simulación permitió determinar la forma y los materiales del deshidratador para una capacidad de 50 kg de frutas. Se realizó un diseño geométrico, al cual se integraron las resistencias y el ventilador (para el desplazamiento del aire caliente en la cámara de secado).

La simulación contempló la variación de las capacidades de las resistencias y el flujo de aire del ventilador, encontrándose, luego de varias corridas, los valores para obtener una temperatura de secado dentro del rango recomendado; los cuales son: temperatura de trabajo de la resistencia: 70 °C; el flujo de aire del ventilador: 1,68 m³/s; la temperatura de secado: 50 °C, y el calor específico de 2860,8 J/(kg.K). Los factores que pueden ser modificados en la simulación del proceso de secado de las diferentes frutas, son principalmente la temperatura de ingreso y la velocidad del aire los cuales fueron controlados en la simulación (21).

El equipo deshidratador diseñado fue un DMI: su fabricación está prevista en lámina de acero inoxidable AISI 304 y la estructura de soporte de perfil de aluminio 80x80x5; el exterior recubierto con pintura negro mate, para favorecer el calentamiento.

El diseño se basó en la transferencia de calor que se produce con la entrada de aire a temperatura ambiente; y, ésta se incrementa con la radiación de la energía solar (22) y la absorción en las placas.

2.0.1. Conducción

Es el flujo de calor a través de medios sólidos en contacto por medio de vibración interna de las moléculas y electrones libres y por choques entre ellos. El modelo matemático que se ajusta a este tipo de transferencia de calor es la Ley de Fourier (Ercoli, 2014) cuya ecuación para una placa normal es:

$$qc = -\frac{kdT}{dx} \quad (1)$$

donde:

qc = Flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área.

k = Constante de proporcionalidad o conductividad térmica del material de la pared

dT/dx = Gradiente de temperatura en la dirección x

Para una placa normal se tiene:

$$qc = \frac{kA(T_{s1} - T_{s2})}{L} \quad (2)$$

donde:

A = Área de la pared

T_{s1} = Temperatura de la superficie 1

T_{s2} = Temperatura de la superficie 2

L = Espesor de la placa

La figura 1 muestra detalles del referido cálculo.

Convección

El flujo de calor se produce a través de un fluido, en este caso aire (25) y una superficie.

$$qv = hA(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

donde:

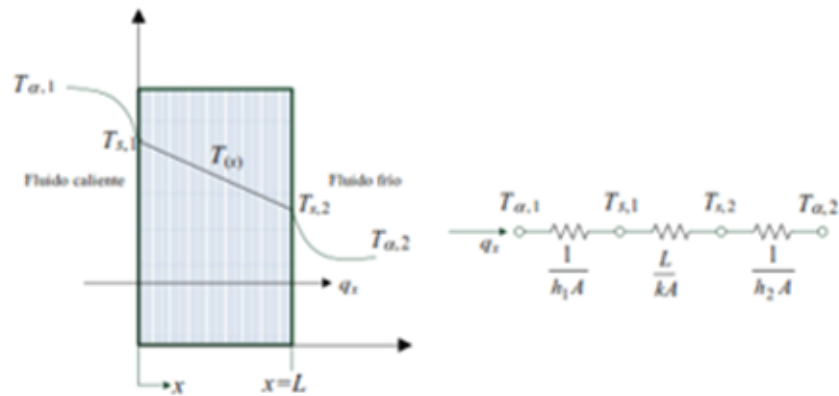


Figure 1: Transferencia de calor a través de una pared plana.

q_v = Flujo de calor por convección

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección (superficie y aire)

A = Área de la superficie

T_s = Temperatura de la superficie

T_∞ = Temperatura del aire

2.0.2. Radiación

En la radiación (25) las superficies no deben estar en contacto si no que pueden estar separadas por aire (o vacío), la transferencia de calor se realiza a través de ondas electromagnéticas. La energía irradiada se mueva a la velocidad de la luz. La radiación es aprovechada por el colector solar del deshidratador (De la Vega Sánchez, sf). Se calcula mediante:

$$q_r = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{air}^4) \tag{4}$$

donde:

q_r = Flujo de calor por radiación

ϵ = Emisividad (0,23 correspondiente a chapa galvanizada y bruñida)

σ = Constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^2$)

T_s = Temperatura de la superficie

T_{air} = Temperatura del aire que se encuentra cercano a la superficie

Síntesis de componentes del deshidratador

El deshidratador está compuesto por los elementos siguientes:

- Panel solar
- Ductos de entrada y salida de aire
- Cámara de calentamiento y flujo de aire
- Cámara de secado

Análisis y alternativas de diseño

Las variables consideradas para el diseño del deshidratador se presentan en la Tabla 1.

TABLE 1: Variables consideradas para el diseño del DMI.

	Variables	Características	Parámetros
1	Características físicas	Tipo Área del colector Capacidad de secado Área y número de bandejas	Indirecto Mixto 1 m ² 50 kg de fruta fresca 1 m ² -- 32 bandejas
2	Comportamiento térmico	Radiación solar local Tiempo de secado y velocidad de secado Temperatura del aire Flujo del aire	8 -- 10 UV Variable de acuerdo a la fruta 15 ° C promedio 1,68 m ³ /s
3	Características del secado del producto	Contenido inicial de humedad Contenido final de humedad Temperatura máxima de secado Tiempo de secado	Variable de acuerdo a la fruta Variable de acuerdo a la fruta 70 °C Variable de acuerdo a la fruta

La simulación del diseño se realizó con las siguientes alternativas:

- Cambio de posición del ventilador: antes de la cámara de calentamiento de aire y después de esta cámara.
- Variación del flujo de aire proporcionado por el ventilador.
- Variación de la temperatura en el panel solar.
- Estudio del comportamiento térmico de la cámara de secado con y sin aislamiento en lana de vidrio.
- Modificación de las dimensiones: materiales y forma de las cámaras.
- Selección de diferentes temperaturas de resistencias.

Colector solar

Constituido por:

- Caja aislada: provee aislamiento térmico del colector (13).
- Placa de absorción: absorbe la mayor cantidad de radiación (27).
- Cubierta: empleada para reducir las pérdidas de calor (14); permite que la radiación pase a la placa de absorción y refleje la radiación térmica emitida por la placa.

Parámetros de diseño

La temperatura, en el interior del cuerpo del deshidratador debe estar entre 40 a 70 oC; para conseguir esto fue necesario la selección de sensores de temperatura para regular a una temperatura constante (que depende del tipo de fruta y del tiempo de secado, sin perder las características alimenticias de la misma). La carga de frutas en el deshidratador fue de 50 kg. Las frutas fueron cortadas en rebanadas (si es caso) para facilitar el secado.

Aire forzado:

Se seleccionó un ventilador (Fuentes, sf) apropiado para la circulación del aire caliente (necesario para la deshidratación apropiada de las frutas) (26)). Se consideró que el fluido de trabajo es aire limpio, sin partículas abrasivas (clase 1) y la velocidad máxima del ventilador recomendada para el deshidratado de frutas y vegetales es de 1200 rpm.

Simulación en SolidWorks

La simulación realizada, contempló algunos parámetros considerados en el secado de frutas (15), como fueron: la velocidad y temperatura del aire en la entrada al deshidratador, la temperatura de deshidratación en la zona de secado (23), la temperatura de resistencias y el flujo de aire generado por los ventiladores. (La simulación realizada a priori puede cambiar en función principalmente del tipo de ventilador que se encuentra disponible en el mercado (16). Los parámetros utilizados en la simulación fueron (28):

- Temperatura de aire en la entrada: aproximadamente 20 °C
- Velocidad del ventilador: 1200 rad/s

- Temperatura de las resistencias: 70 °C
- Flujo de aire en la entrada del deshidratador: 1,68 m³/s
- Presión atmosférica: 101 325 Pa.

3. RESULTADOS

Se realizó el diseño del deshidratador de frutas (DMI), utilizando la plataforma SolidWorks, como se puede observar en la secuencia de las Figuras de la 2 a la 6:

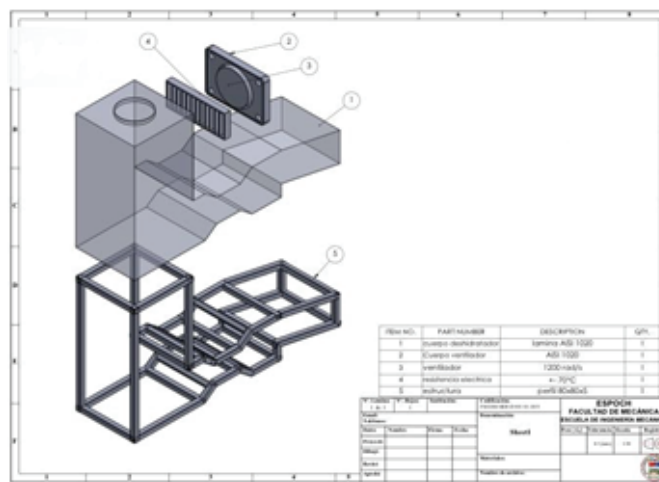


Figure 2: Vista del diseño del Deshidratador Mixto Indirecto de Frutas (DMI), utilizando la plataforma SolidWorks.

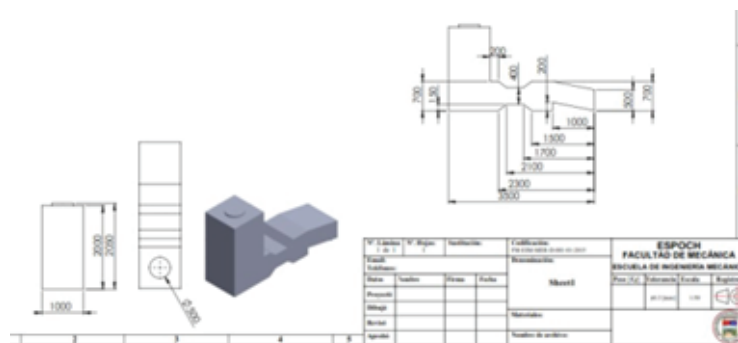


Figure 3: Dimensionamiento del Deshidratador Mixto Indirecto (DMI) (toma restringida).

El calor específico del compartimiento de secado fue uniforme y tuvo un valor de 2860,8 J/(kg.K).

Como se puede observar, durante la simulación se logró obtener una temperatura y calor específico constantes (lo que permitirá una deshidratación de la fruta en forma homogénea sin la pérdida de las características alimenticias).

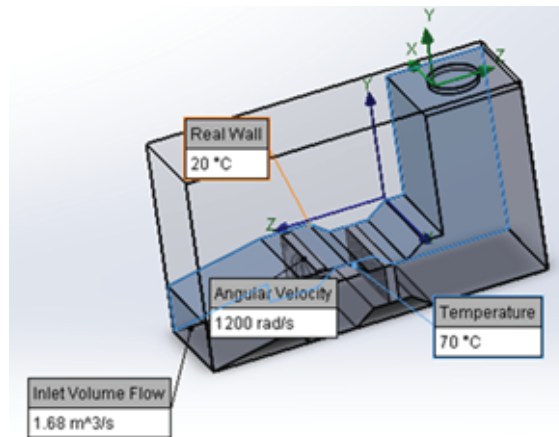


Figure 4: Parámetros de diseño y configuración del Deshidratador Mixto Indirecto (DMI).

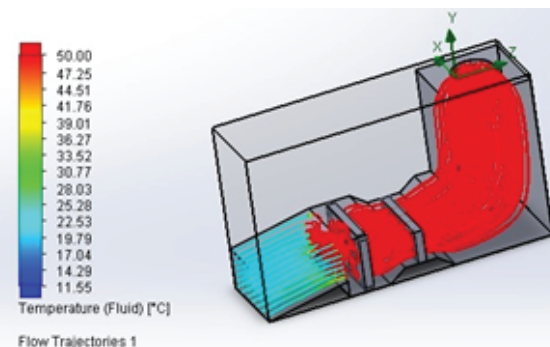


Figure 5: Distribución de Temperaturas en la zona de deshidratación del DMI.

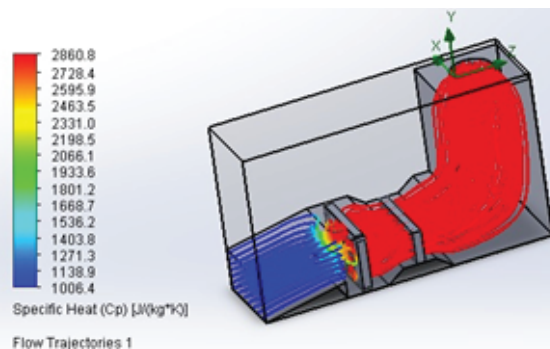


Figure 6: Distribución del calor específico en la zona de deshidratación

4. DISCUSIÓN

El diseño que se propone asegura la deshidratación homogénea de las frutas, manteniendo las características alimenticias de las mismas en relación con otras propuestas de estudios importantes. Además, en el diseño, complementariamente, se concibió el calentamiento del aire mediante resistencias eléctricas, lo que asegura un funcionamiento continuo del equipo; lo cual redundará en una mayor producción de frutas deshidratadas. Se tuvo en cuenta también, y de forma determinante, la utilización

estricta de materiales adecuados en el deshidratador (acero inoxidable), para asegurar la asepsia del proceso de deshidratación de frutas.

En la simulación realizada para el diseño del deshidratador de frutas (DMI), utilizando la plataforma SolidWorks, la temperatura, en el interior del cuerpo del deshidratador debe estar entre 40 a 70 oC (resultado éste que coincide con los obtenidos por un sinnúmero de estudios realizados al respecto) (deshidratación por flujo de aire caliente: técnica mediante la cual el calor elimina el agua que contienen algunos alimentos, mediante la evaporación, lo que impide el crecimiento de algunas bacterias que no pueden vivir en medios secos (3).

La simulación mecánica se utilizó, solamente, para determinar la geometría del DMI, es decir, la forma y dimensiones del mismo (en la estructura y cuerpo del DMI las solicitudes de esfuerzos no son considerables, porque está sometido a presión atmosférica, y la presión del ventilador corresponde al tipo 1: que no contiene partículas abrasivas; razón por la cual no se hizo el análisis de esfuerzos, resistencia, deformaciones y desgaste abrasivo). La simulación estuvo orientada, básicamente, al aspecto termodinámico. El ventilador es centrífugo y entrega un flujo de aire de 1,68 m³/s; y fue seleccionado en base a las especificaciones del fabricante. En cuanto a la lámina de recubrimiento del deshidratador se tomó 1,2 mm (que es suficiente para soportar un esfuerzo aproximado de 150 kg, también según especificaciones del fabricante). Ésta, se encuentra sometida las condiciones ambientales, las cuales no tienen mayor incidencia en la vida útil.

El tiempo requerido para lograr el deshidratado, según Espinoza (8), con la humedad final esperada depende mucho de la superficie del producto expuesta al proceso de secado. En el DMI propuesto considera la utilización de un sistema de deshidratación por flujo de aire caliente continuo; ya que, solo la energía solar no garantiza la obtención de productos de calidad, debido a que podrían existir intervalos de tiempo en que la temperatura descienda por condiciones ambientales y el flujo de aire se vea reducido, ocasionando en la fruta adherencias de hongos o bacterias no deseables por la interrupción del proceso, mientras que la utilización complementaria de un sistema eléctrico resulta ser más aconsejable porque no habría posibilidad de interrupción del proceso.

5. CONCLUSIONES

Si bien es cierto que el deshidratador directo solar es el más económico, el producto obtenido es de baja calidad, entre otras razones por no realizarse un calentamiento

homogéneo, lo que provoca pérdidas del mismo al final del proceso. El diseño que se propone salva esta dificultad, manteniendo las características organolépticas y alimenticias de las frutas en relación con otras propuestas de estudios importantes. Además, en el diseño, complementariamente, se concibió el calentamiento del aire mediante resistencias eléctricas (dotados con sensores de temperatura y humedad: higrómetros), lo que asegura un funcionamiento continuo del equipo; lo cual redundará en una mayor producción de frutas deshidratadas. Se tuvo en cuenta también, y de forma determinante, la utilización estricta de materiales adecuados (acero inoxidable en la mayor parte del equipo), para asegurar la asepsia del proceso de deshidratación de las frutas, según las normas National Sanitation Foundation International (NSF) e ISO 22000 de seguridad alimentaria. Se tuvo especial cuidado en que el cuerpo del DMI y las bandejas porta frutas fueran de acero inoxidable SA. 240, grado 304 (AISI 304); mientras que, las placas del colector solar, que no estarán en contacto con las frutas, se concibieron de chapa galvanizada, cuya única función es la de calentar el aire a la temperatura adecuada: de 40 a 70°C, según el tipo de fruta, lo que asegura que el DMI diseñado garantice un flujo de aire caliente homogéneo, con la obtención de una mayor producción y calidad del producto.

References

- [1] Paola, J.; Castro, R.; Eduardo, C.; Cuenca, N. & Sc M. 2006. De poligalacturonasa en la corteza de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) Polygalacturonase Activity in Yellow Pitaya Peel (*Acanthocereus pitajaya*).
- [2] Instituto Tecnológico de Kyūshū. Innovación puntera para una mejor deshidratación de alimentos. 2012. [Citado el 4 de Abril de 2018.] Recuperado de: https://www.japan.go.jp/_src/296515/newyear16es_26-27.pdf.
- [3] Pereira, A. G.; Becerá, S. M.; Gómez, A. H.; González, L. M. & Valdes, D. F. 2013. Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de la piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa). *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 22(1), pp.62--69.
- [4] Pérez, D.; Otto, T. & Castro, R. C. (n.d.). Calidad y Fiabilidad en la Proyección de Plantas Industriales Introducción. pp. 97--111.
- [5] Daybelis, I.; Valdés, F.; Sahylin, M. y otros. 2015. Postharvest: biology and technology Cinética de secado de fruta bomba (*Carica papaya L.*, cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente Kinetic of drying papaya fruit (*Carica papaya L.* cv. Maradol Roja) by means osmotic dehydration and

- hot air flow, *24*(1), pp. 22--28.
- [6] Behavior, P.; Isabel, K. & Regino, C. 2011. Comportamiento poscosecha y evaluación de calidad de fruta fresca de guayaba en diferentes condiciones de almacenamiento, *64*(2), pp.6207--6212.
- [7] Giraldo-Zuniga, A. D.; Arévalo-Pinedo, A.; Silva, A. F.; Silva, P. F.; Valdes-Serra, J. C.; Cristina, M. & Pavlak, D. M. 2010. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas Kinetic drying experimental data and mathematical model for cupuaçu pulp (*Theobroma grandiflora*) slices, *30*(1), pp.179--182.
- [8] Espinoza, J. 2016. Innovación en el deshidratado solar Innovation on solar dehydrator, *24*, pp.72--80.
- [9] Teixeira, J.; Malpica, F. 2016. Desarrollo de un modelo matemático para dimensionar un deshidratador solar directo de cacao Development of a mathematical model to determine the proportions a direct solar dehydrator of cacao Métodos y Materiales, *19*(1), pp.30--39.
- [10] Mauricio, E.; Solano, V.; Mauricio, E.; Solano, V. & Alexander, F. 2010. Montaje y puesta en marcha de un secador por lotes semiautomático de bandejas por aire caliente Designing, assembly and start up for a semiautomatic hot-air tray dryer, *30*(2), pp.43--51.
- [11] Sierra, M. J. 2016. Evaluación y Optimización de Secador Híbrido para Yuca Evaluation and Optimization of Hybrid Dryer of Cassava, *27*(2), pp.77--86. Recuperado de: <http://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200010>Tecnolog, S. (n.d.).
- [12] Borsini, A.; Kaki, D. 2016. Aplicación de diferentes técnicas de Secado en frutas de Diospyros kaki var. "Fuyu."
- [13] Pedro, J. & Keimer, A. 2017. Diseño y construcción de un sistema híbrido de calentamiento de aire por combustión de biomasa y radiación solar, utilizando PCM como fuente de almacenamiento térmico, para secado de yuca Design and construction of a hybrid system.
- [14] Mahecha, P. V.; Parra-Coronado, A.; Mahecha, P. V.; Parra-Coronado, A. 2011. Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador dinámico para la obtención de pulpas de frutas deshidratadas laminadas Designing, constructing and evaluating a dynamic prototype dryer for obtaining rolled dehydrated fruit pulp, *31*(1), pp.163--170.
- [15] Granny Smith. Cinética de la deshidratación y control de la oxidación en manzana, mediante la aplicación de diferentes métodos de secado. (n.d.), pp.7--16.

- [16] Rodríguez, B; Villanueva, E.; Partida, A.; Avitia Patricia. 2017. Diseño de un control de temperatura con técnicas de control clásico, para optimizar el proceso de deshidratado en un deshidratador solar. *3(10)*, pp.37–46.
- [17] Saavedra, J. A.; Puente, L. A.; González, G. A. 2008. Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos Automation of a Convective Hot Air Dryer for Teaching in Food Engineering, *19(4)*, pp.3–10.
- [18] Palomo, I.; Gutiérrez, M.; Torres, S.Y Otros, S. M. 2009. Efecto antioxidante de frutas y hortalizas de la zona central de Chile, *36*, pp.152--158.
- [19] Urfalino, D., Worlock, J. Optimización de hornos industriales para deshidratado de ciruelas. 2014. *(40)*, pp.60--66.
- [20] Minerva, D.; Nava, R.; Diana, M.; Nava, R.; Alfonso, C. R.; Carbonell, G.; Sánchez, C. A. 2017. Simulación computacional como herramienta para disminuir los costos asociados al diseño mecánico, *11(1)*, pp.82--93.
- [21] García-Paternina, M.; Alvis-Bermudez, A.; García-Mogollon, C. A. 2015. Evaluación de los Pretratamientos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins). Evaluation of the Osmotic Dehydration Pretreatment and Microwave in the Obtaining of Flakes of Mango (Tommy Atkins), *26(5)*, pp.63--70.
- [22] Análisis y diseño de un sistema de generación eléctrica termosolar con concentrador de disco parabólico y motor stirling de 2,7 kw enfriado por aire. Analysis and Design of a Dish / Stirling System for Solar Electric. (2012), *XIII*, pp. 43--53.
- [23] Ercoli, L. G. 2014. Análisis de Fourier aplicado a la resolución de la Ecuación del Calor. (3), pp.3--6.
- [24] Fuentes, Fabricio, César, Marín Y Deyabira, Muñoz. (s.f). Comportamiento de la temperatura del flujo... Scielo.
- [25] Chamorro, M. V. & Viana, L. A. 2015. Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de La Guajira-Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica Quantification and characterization of solar radiation at the department of La Guajira-Colombia by calculating atmospheric transmissivity.
- [26] De La Vega Sánchez, F. (s.f). Diseño y construcción de un deshidratador de plátano.
- [27] Enrique, A.; Gómez, Á.; Mario, J.; Fandiño, M.; Fernando, J. & Sarmiento, B. 2010. Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. Energy assessment of a double cover flat-plate solar collector.
- [28] Sabroso, V., Alberto, C. 2015. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

- [29] Márquez, C. A.; Michelis, A. D. E. 2008. Propiedades de lechos fijos durante la deshidratación convectiva de cerezas, guindas y rosa mosqueta. Cambios de volumen y porosidad, 1950 (8430). pp 311--316.
- [30] Moraga, N. O.; Zambra, C. E.; TORRES, P. B. & LEMUS-MONDACA, R. A. 2011. De calor y masa en procesos agroalimentarios por método de volúmenes finitos fluid dynamics, heat and mass transfer modeling by finite volume method for agrofood processes, *M*, pp.140--149.