



Diseño de un secador híbrido solar-biomasa para manzanas en el municipio de Nuevo Colón Boyacá

Design of hybrid solar-biomass Apple dryer for the municipality of Nuevo Colón Boyacá

Hernández-Moreno S¹; Torres-Díaz E²; Rúa-Ramírez E³

¹ Docente de Tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás-Tunja, Grupo de Investigación: GIDINT, saul.hernandez@usantoto.edu.co

² Docente de Tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás-Tunja, Grupo de Investigación: GIDINT, edwin.torresd@usantoto.edu.co

³ Docente de Tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás-Tunja, Grupo de Investigación: GIDINT, edwin.rua@usantoto.edu.co

Resumen: El proceso de secado de manzanas requiere un alto consumo de energía, por lo que es necesario evaluar diversas fuentes de energía que promuevan la reducción del impacto ambiental, como es el caso de las energías renovables. La energía solar y de biomasa son fuentes energéticas renovables cuya disposición es de gran beneficio en el proceso de secado de manzanas, evitando efectos negativos en el ambiente que son consecuencia de alteraciones en el clima y por consiguiente en las plantaciones. El objetivo de este trabajo es el diseño de un secador híbrido solar-biomasa, el cual se usa para secar manzanas en el municipio de Nuevo Colón Boyacá. El diseño se basa en la minimización del peso y el costo de la cámara de secado para obtener un proceso de fabricación más práctico, tomando como referencia el comportamiento térmico y fluido dinámico del secador y así poder conservar las propiedades nutritivas de la fruta por más tiempo y disminuir las pérdidas de manzanas.

Palabras clave: Biomasa, deshidratación, energía, ambiente.

Abstract: The apple drying process requires a high consumption of energy; thus, it is necessary to evaluate various energy sources that lead to the reduction of environmental impact, as is the case of renewable energies. Solar energy and biomass are renewable energy sources that bring great benefits to the process of apple drying, avoiding negative effects to the environment such as changes in the climate, and therefore, in the plantations. The goal of this work is the design of a solar-biomass hybrid dryer, which is used to dry apples in the municipality of Nuevo Colón Boyacá. The design is based on minimizing the weight and cost of the drying chamber to obtain a more practical manufacturing process, taking as reference the thermal and dynamic fluid behavior of the dryer and thus be able to preserve the nutritional properties of the fruit for a longer time and decrease the losses of apples.

Keywords: Biomass, dehydration, energy, environment.

1. INTRODUCCIÓN

El secado de frutas es un proceso importante para asegurar la calidad de éstas ya que ayuda a conservarlas para consumirlas en periodos de escasez (Almada, 2005). La principal actividad económica de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia (ver Figura 1) es el cultivo de frutales caducifolios (pera, durazno, manzana y ciruela) (Sosa, 2018), siendo la manzana uno de los frutos que más se cultiva. Esto trae como consecuencia la necesidad de diseñar dispositivos y procesos óptimos para el secado de manzanas y evitar su desperdicio al extender la vida útil de éstos frutos cosechados.

Los métodos tradicionales para el secado de las manzanas es colocar los frutos sobre una manta o tabla de madera al aire libre, o colgar las rodajas de las manzanas sobre un hilo, aprovechando el calor del ambiente (Almada, 2005) para su deshidratación y secado. Sin embargo, estos procesos son muy lentos debido al alto nivel de humedad en el ambiente de la región, ocasionando un mal secado. Muchas veces, el alto contenido de humedad en el ambiente también ocasiona la pérdida de las manzanas.

Existen diferentes tipos de dispositivos para el secado de frutas, sin embargo cada uno se ajusta a variables ambientales específicas del territorio donde se emplee el secado, como la radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, entre otras. Generalmente, para el secado de manzanas, se utilizan los mismos equipos que se usan para secar otro tipo de fruta, lo que indica un mal manejo del secado de manzanas. Por esta razón, se ha abarcado una investigación sobre las condiciones climáticas de Nuevo Colón en Boyacá, con el fin de diseñar un secador híbrido solar-biomasa, con el fin de aprovechar las energías renovables. La implementación del secado por medio de la energía calorífica producida por la biomasa,

aumenta la eficiencia del dispositivo en su proceso de secado y contribuye a reciclar los residuos de la poda de los árboles frutales que se usa para controlar el crecimiento de los mismos, garantizando la producción de la fruta. El uso de energía limpia reduce la contaminación, garantizando el benéfico económico del productor Boyacense.



Figura 1. Localización global del municipio de nuevo Colón (Sosa, 2018).

En la cámara de secado se plantó minimizar el peso y el costo de la cámara de secado, facilitando su traslado y su proceso de fabricación. El comportamiento térmico y fluido dinámico en el secador son usando como base para el análisis. Inicialmente se realiza una optimización paramétrica estructural del secador. Ésta optimización aumenta el desempeño del secador reduciendo costos, por medio de la combinación de parámetros de entrada y variables de diseño. La función objetivo es definida en base a la superficie de la carcasa de la cámara de secado, sujetándola a restricciones de los análisis previos de diseño, cumpliendo con las características de funcionamiento y homogeneidad de temperatura.

La energía solar y de biomasa son fuentes energéticas renovables cuya disposición es de gran beneficio en el proceso de secado de manzanas, debido a que este tipo de

54

energías no contaminan o su producción de CO₂ es mínima, evitando efectos negativos en el ambiente, tales como alteraciones en el clima, y por consiguiente, en las plantaciones.

La deshidratación de frutas es una rama de la agroindustria que ha sido muy poco explorada en Colombia, debido a la permanente oferta de frutas frescas en el mercado nacional, existiendo una tasa de penetración de importaciones del 84,4%, de acuerdo al reporte del Observatorio Agrocadenas de Colombia del 2003, (Mahecha, 2011).

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Se utilizó una metodología de diseño conceptual (López, 2016), manejando métodos novedosos para realizar un mejor diseño y así obtener un sistema mecánico más competitivo. Es importante enunciar el problema de investigación, para analizarlo en pequeñas partes o formular una pregunta con precisión, así mismo el grupo de diseño se concentra en la identificación y el análisis de la necesidad del problema ya que son fundamentales antes de empezar el diseño del dispositivo. Con frecuencia no se disponen de datos suficientes para determinar la importancia y definir el problema. De esta forma se debe clarificar la situación problemática definiéndola en términos objetivos, mediante indicadores medibles correspondientes al estado inicial.

Una vez se define el sistema a diseñar en términos un poco abstractos, revisando normas aplicadas, limitaciones tales como, resultados esperados, costos, tecnologías disponibles y otras consideraciones, se realizó un estudio del estado del arte y de la técnica, buscando principalmente las patentes cercanas a la idea del diseño propuesto, con el fin de generar ideas a la solución del problema. Utilizando el método

de generación de ideas como se indica en la Figura 2. Es importante que el grupo de participantes exista un moderador, quien estará a cargo de manejar el tiempo y comunicar las reglas, como no permitir críticas y libertad de pensamiento de algunas ideas, ya que todas las ideas tienen potencial para generar más ideas. El grupo de diseño generó varias alternativas de solución las cuales fueron evaluadas mediante unos criterios de selección correspondientes a las criterios de diseño propuestos por el grupo, tales como, Transportable, ergonómico, seguro, fácil de fabricar y tiempo de construcción, novedoso, económico, entre otros.

En una siguiente etapa se seleccionó entre todas las ideas propuestas un conjunto de soluciones factibles y se sometieron en una matriz de decisión con los criterios de diseño ya mencionados, obteniendo una idea ganadora, en la que se desarrolló un análisis de ingeniería más detallado.

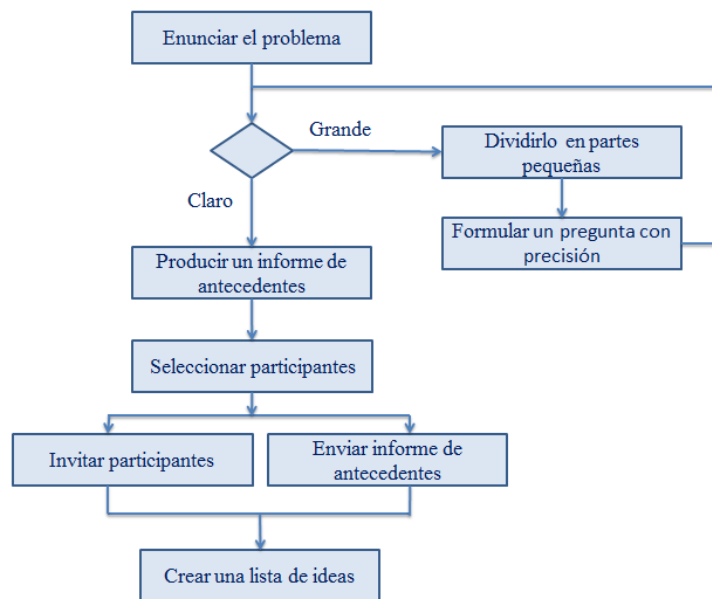


Figura 2. Diagrama de flujo de generación de ideas en el proceso de diseño (Fuente: Autor).

2.1 Diseño preliminar

A partir de la alternativa seleccionada del diseño, se procedió a evaluar la funcionalidad junto con el análisis de seguridad, evaluando los esfuerzos bajo la teoría de Von Mises, y una ideal selección de materiales.

En el desarrollo de esta etapa se incluyeron los siguientes pasos:

- Análisis funcional para que el sistema en el proceso de diseño pueda
- efectuar las funciones requeridas adecuadamente.
- Análisis de seguridad para evitar daños en su funcionamiento.
- Dibujos generales y de detalle.
- Selección de materiales.
- Cálculos preliminares de funcionalidad y esfuerzos.
- Análisis ergonómico.
- Análisis de configuración.
- Estimación de costos.

La construcción de un prototipo experimental permitirá observar el desarrollo de las funciones y medir el desempeño del dispositivo.

3. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SECADOR

El diseño del secador se basó en una cámara de secado cilíndrica, la cual disminuye el costo de fabricación y peso de los materiales utilizados. Además, la distribución del flujo del aire es importante para el secado de las manzanas. Se establece que el flujo sea laminar para garantizar un secado homogéneo. Se usa un colector solar para calentar el aire antes de entrar a la cámara de secado, ya que convencionalmente los secadores industriales usan combustibles para secar mientras que los secadores de baja temperatura utilizan energía solar y biomasa (Puertas, 2005).

3.1 Selección de la forma de la cámara de secado

Se planteó una metodología de diseño conceptual y un parámetro de optimización en el diseño estructural de la cámara de secado, buscando una mejor distribución del flujo de aire que circula en la cámara secando las manzanas.

La optimización paramétrica se plantea buscando una función objetivo para minimizarla, reduciendo el peso del material de la cámara de secado. De esta forma se elige la superficie y se encuentra una geometría que ocupa mayor área con menos material, con el fin de colocar más producto a secar. Se planteó dos propuestas en la forma de la cámara de secado, las cuales son un cilindro y un paralelepípedo. Se seleccionó un cilindro ya que se manejan menos variables para utilizar la metodología de optimización y facilitar su fabricación.

3.2 Diseño de la cámara de secado

Se eligió la forma cilíndrica de la cámara de secado, ya que se tiene mayor área para poner más rodajas de manzanas a secar, también debido a que se adapta mejor al desarrollo de la metodología de optimización paramétrica, ya que la función objetivo está en función de las variables de diseño y el cilindro tiene menos variables, como el diámetro (d), la altura (h), y el paralelepípedo tiene más variables, que son tres lados L_1 , L_2 , y L_3 . Las restricciones de diseño se plantean según las investigaciones de diseño de dispositivos para secar frutas, a partir del análisis preliminar del secador en el transcurso del desarrollo del proyecto durante un año, cumpliendo con parámetros como cantidad de trozos de manzana a secar, fácil traslado del dispositivo, fácil construcción y ergonomía. Se planteó la función objetivo en la superficie del cilindro, tal como:

$$s = \frac{\pi}{2}d^2 + \pi dh \quad (1)$$

Sujeto a restricciones

$$d \leq 80 \text{ cm} \quad (2a)$$

$$h \leq 100 \text{ cm} \quad (2b)$$

$$v \leq 300000 \text{ cm}^3 \quad (2c)$$

El volumen del cilindro se obtuvo como

$$v = \frac{\pi}{4} d^2 h \quad (3)$$

Introduciendo la Ecuación (3) en la Ecuación (1), la superficie queda expresada en función de la altura y el volumen, y la función objetivo queda tal como

$$s = 2 \frac{v}{h} + 2\sqrt{\pi h v} \quad (4)$$

Para encontrar el mínimo de la función, se derivó la superficie respecto a la altura y se igualó a cero, tal como

$$\frac{ds}{dh} = -2 \frac{v}{h^2} + h^{-\frac{1}{2}} \sqrt{\pi v} = 0 \quad (5)$$

De la Ecuación (5), se despeja la altura en función del volumen, obteniendo como resultado

$$h = \left(\frac{4v}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

El volumen se reemplaza en la Ecuación (6), obteniendo como resultado el valor óptimo global de la altura con la que se tiene una superficie mínima. Así mismo, se reemplaza el valor de la altura óptima, para encontrar el valor óptimo del diámetro, obteniendo como resultado

$$h = 72.5 \text{ cm} \quad (7a)$$

$$d = 72.5 \text{ cm} \quad (7b)$$

$$s = 24808 \text{ cm}^2 \quad (7c)$$

La Figura 3, muestra la curva del valor de la superficie y su valor óptimo.

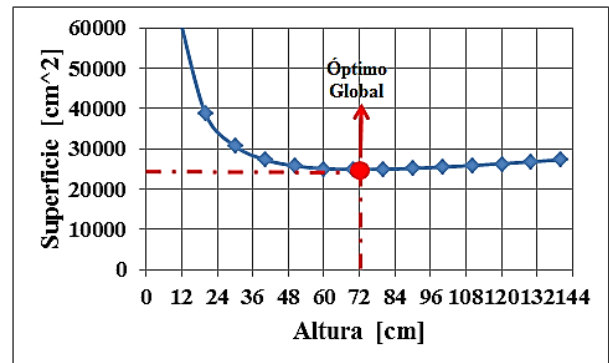


Figura 3. Valor óptimo global para la superficie (Fuente: Autor).

Una vez se encontró los valores óptimos de las dimensiones de la cámara de secado, se realizó un dibujo más detallado en el software CAD Autodesk en Inventor®, ver Figura 4. El tamaño de colector solar se dimensiono de tal forma que calentara el flujo de aire a una temperatura ideal y estuvo sujeto a cambios según los resultados de las simulaciones en el análisis térmico.

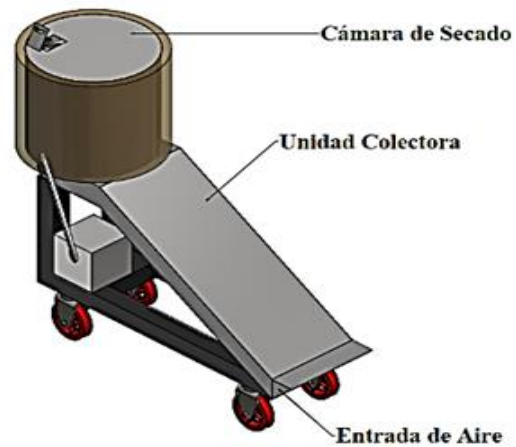


Figura 4. Propuesta de diseño del secador (Fuente: Autor).

La cámara de secado tiene una capa externa en la que pasara el aire caliente producto de la combustión de la biomasa, esto con el fin de mejorar las condiciones de secado y mantener una temperatura ideal en la cámara de secado.

3.3 Análisis térmico del flujo de aire en la cámara de secado

En el análisis por elementos finitos no se abordaron todas las variables que influyen en el secado de la fruta y en el diseño del secador. En cambio, el secador se analizó de una forma idealizada donde se controlaron las variables de mayor importancia (temperatura y velocidad del flujo de aire).

De acuerdo a parámetros utilizados en simulaciones de termo-fluidos para secadores con forma de paralelepípedos, con entrada de aire de 1 m/s y condiciones ambientales idealizadas (Diana, 2017), se realizó un modelo CAD del diseño estructural del secador. Con esto se determinó el volumen interno de la cámara y se utilizó un mallado con topología 3D en el software Siemens NX®.

Para discretizar el volumen del flujo del aire de la cámara interna se generó una malla de tipo 3D tetraédrica de 4 nodos, en la cual se obtiene un número total de elementos de malla de 1'674.846, ver Figura 5.

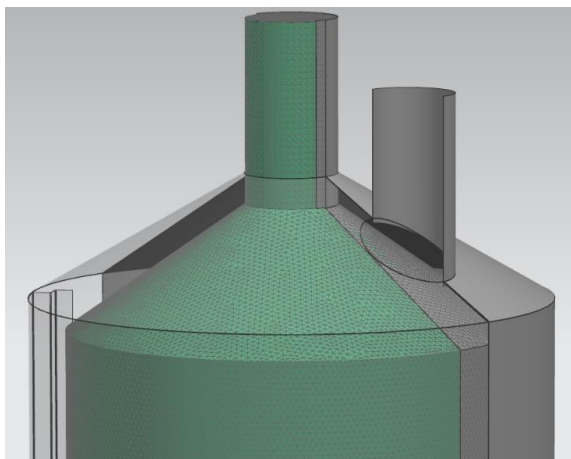


Figura 5. Mallado del volumen del aire en la cámara de secado (Fuente: Autor).

Para las restricciones del modelo numérico, se considera que el cuerpo negro del panel solar está a una temperatura constante de 100 °C. Adicionalmente, se considera una temperatura en las paredes internas de la

cámara de secado de 40 ° C y unas condiciones de borde en la velocidad del fluido de 1 m/s en la entrada del secador y una salida de aire a presión atmosférica. La Figura 6, muestra las condiciones de borde del volumen del aire en la cámara de secado.



Figura 6. Condiciones de borde del volumen del aire en la cámara de secado (Fuente: Autor).

3.4 Análisis de resultados del comportamiento del flujo de aire en la cámara de secado

Se realizó la simulación térmica y del flujo de fluido, y estableciendo consideraciones ideales en el sistema, se solucionó el modelo en un estado estacionario, con un tipo de solución de flujo térmico acoplado, y control de convergencia de 50 iteraciones. Con esto se obtuvieron los resultados de velocidad y temperatura del fluido. Como resultado, se encontró en la cámara de secado una temperatura aproximada de 45°C, la cual es homogénea en toda la cámara de secado, lo que indica que las rodajas de la manzana se secan homogéneamente y a una temperatura controlada, ya que esta fruta no debe ser expuesta a más de 50 °C. El comportamiento del colector solar se mantiene en las condiciones de 100 °C, esto en el cuerpo negro por efectos de la radiación solar, ver Figura 7.

Adicionalmente se observó que independiente de la temperatura, los efectos de la velocidad del flujo están dadas por la forma y altura del diseño del equipo, estas variaciones de velocidad tienen un comportamiento distinto en las condiciones de secado, que mediante un análisis experimental se puede validar la mejor forma de mantener un flujo laminar o turbulento, ver Figura 8.

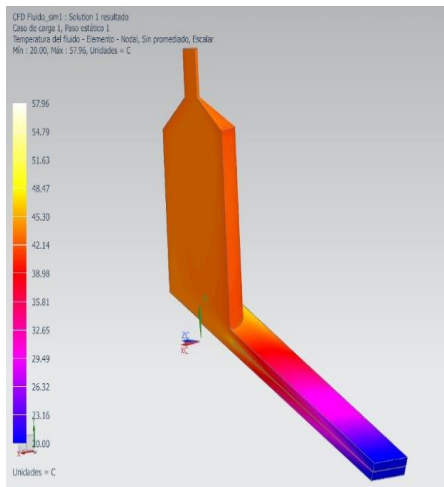


Figura 7. Distribución de la temperatura en el secador (Fuente: Autor).

Se realizaron simulaciones utilizando unas rampas en la entrada del aire en la mara de secado, lo que mostro una flujo laminar en la cámara, ya que se desea que no se torne turbulento para controlar más homogéneamente el secado de las manzanas. Sin embargo la geometría seleccionada arroja mejores resultados que los análisis anteriores con formas cuadradas y paralelepípedos en la cámara de secado.

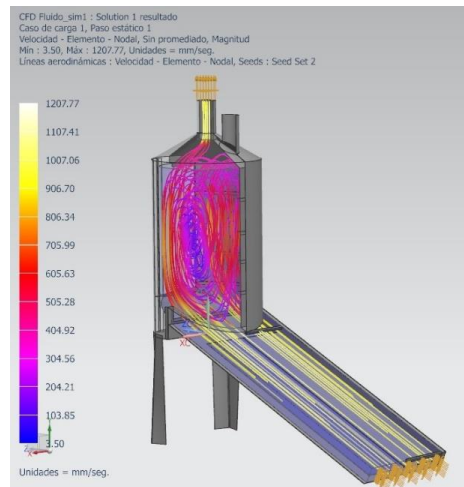


Figura 8. Velocidad del flujo de aire en el secador (Fuente: Autor).

4. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y se modeló en un software CFD un secador de manzanas para ser utilizado en el Municipio de Nuevo Colón, Boyacá, Colombia.
2. Se logró reducir la cantidad de material, gracias a la optimización aplicada en la cámara de secado, reduciendo así el costo de fabricación del dispositivo y mejorando la producción final.
3. Se comprobó que la metodología de optimización fue acertada, en el resultado obtenido.
4. La distribución de la temperatura en la cámara de secado es homogénea, lo cual es importante mantener para un buen secado de la manzana.
5. El flujo del aire se torna turbulento en algunas zonas de la cámara, generando unas zonas donde secará más que otras las manzanas, de esta forma se corrigió redirigiendo el flujo de aire en la salida del colector solar, haciendo que el aire entre de forma laminar a la cámara de secado.

Referencias Bibliográficas

Almada, F. C. (2005). Guía de uso de secadores solares para frutas. *UNESCO-Montevideo*.

Arévalo A.; Villamizar D.; Ramón B. *Physicochemical characterization of the residual biomass obtained from oil palm (Elaeis Guinnensis) for possible uses in the manufacture of particle boards*. Revista Bistua. 2019 17(1):59-64.

Diana Carolina Rueda Martín, J. X. (2017). Simulación del Compaortamiento Térmico y Fuido-Dinámico de un Secador Hibrido Solar-Biomasa. *VIII Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*.

Mahecha, P. V. (2011). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador dinámico para la obtención de pulpas de frutas deshidratadas laminadas. *Ingeniería e Investigación Vol. 31*.

Johnson, R. C. *Mechanical design synthesis with optimization applications*.

López, L. A. (2016). *Diseño conceptual y óptimo de sistemas mecánicos*.

Pedro Julián García, J. L. (2017). Modelado Numérico del Proceso de Secado Solar de Manzanas en el Municipio de Nuevo Colon Boyacá. *Revista UIS Ingenierías*.

Puertas, I. M. (2005). *Modelado y Construcción de un Secador Solar Hibrido para Residuos Biomásicos*. Badajoz: Universidad de Extremadura.

Sosa, A. (20 de 09 de 2018). *Turismo Rural Nuevo Colón Boyacá*. Obtenido de <http://infoturismonuevocolon.blogspot.com/>

Tirupathi R., A.D. (1999). *Elemento Finito en Ingeniería*. Pearson Education.

Autores:

Hernández, Saúl A. Ingeniero Electromecánico (2015) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Magister en Ingeniería Mecánica (2017) Universidad de Guanajuato México. Profesor de tiempo completo en la Universidad Santo Tomás

- Tunja, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación: GIDINT.

Torres, Edwin. Ingeniero Electromecánico (2014) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Magister en Metalurgia y Ciencia de los Materiales (2018) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Profesor de tiempo completo en la Universidad Santo Tomás - Tunja, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación: GIDINT.

Rúa, Edwin B. Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Mecánica, Magister en Gerencia de Empresas, Estudiante de Doctorado en Proyectos. Profesor de tiempo completo en la Universidad Santo Tomás - Tunja, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación: GIDINT.

*Para citar este artículo: Hernández-Moreno S; Torres-Díaz E; Rúa-Ramírez E.. Design of hybrid solar-biomass Apple dryer for the municipality of Nuevo Colón Boyacá. Revista Bistua.2019.17(3):52-59

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Hernández-Moreno S. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás-Tunja, Grupo de Investigación: GIDINT, saul.hernandez@usantoto.edu.co

Recibido: Octubre 28 de 2018

Aceptado: Enero 24 de 2019