



<http://opn.to/a/TMhXd>

PUNTOS DE VISTA

Secadores solares artesanales para especias y control de temperatura

Solar Dryers for Spices and Temperature Control

Ing. Lieter Javier Silva-Díaz^I, Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa^{II}

^I Instituto de Ciencia Animal (ICA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. En el presente trabajo se propone el uso de controladores automáticos de temperatura basados en sistemas embebidos en secadores solares artesanales, con el fin de mejorar la calidad del producto en operaciones de secado a pequeña escala. Con este objetivo se determinó la influencia de la temperatura sobre la calidad de productos secados, como las especias, en operaciones de secado solar con fines de conservación del producto, a partir de una revisión de la literatura científica sobre el tema. Luego se estableció el empleo de controladores de temperatura como vía para disminuir las pérdidas de calidad en el secado en instalaciones solares. Finalmente se propuso el empleo de sistemas embebidos, como los basados en microcontroladores, para el desarrollo de sistemas de control de temperatura económicos y adecuados para producciones a pequeña escala en instalaciones solares artesanales.

Palabras clave: conservación de alimentos, energías renovables, energía solar, control de temperatura, sistemas embebidos.

ABSTRACT. In the present work, the use of automatic temperature controllers based on embedded systems for solar dryers is proposed, in order to improve the product quality in small scale drying operations. With this aim, from a scientific literature review, it was determined the temperature influence over the quality of the dried product, like spices, in solar drying operations for food conservation. Then, it was established the use of temperature controllers as a way to decrease the quality loses in the drying operation in solar installations. Finally, it was proposed the use of embedded systems, like microcontroller based systems, for the development of economical temperature control systems fitted to small scale solar drying productions.

Keywords: food preservation, renewable energy, solar energy, temperature control, embedded systems.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los productos agrícolas y marinos contienen gran cantidad de agua (60 a 90%) en su composición y no pueden ser almacenados a temperatura ambiente durante largos períodos. El propósito del secado es extraer el agua contenida en los productos. Cuando estos son secados hasta un 14-20% de humedad relativa, disminuye significativamente la actividad respiratoria y se controlan los microorganismos asociados, lo que permite almacenarlos en lugares cerrados por períodos de 6 a 12 meses, sin perder sus propiedades nutricionales y orga-

nolépticas (Richter *et al.*, 2013). El secado es una de las más antiguas aplicaciones de la energía solar en la conservación de alimentos.

A nivel industrial el secado se realiza usando combustibles convencionales como el petróleo, el carbón, y la biomasa, lo que contribuye a agudizar los problemas de la deforestación, la contaminación del aire y el calentamiento global. Una de las alternativas más usadas a pequeña escala es el secado solar, para lo que comúnmente se emplean

*Autor para correspondencia: Lieter Javier Silva-Díaz, e-mail: lieter@ica.co.cu

Recibido: 15/12/2018.

Aprobado: 31/05/2019.

secadores solares artesanales. Pero estos dispositivos no son concebidos para controlar la temperatura de secado, la que depende, por un lado, del diseño del secador, y por el otro, de la variación de las condiciones climáticas. Esto significa que durante el secado de un producto la temperatura va a variar dependiendo fundamentalmente de la intensidad solar. A eso se le suma que la mayoría de estos secadores solares, por ser artesanales, no tienen implementado un sistema de medición de temperatura. En el secado de productos alimenticios, como las especias, la temperatura pudiera influir en su calidad.

DESARROLLO DEL TEMA

Para la realización de este trabajo primero se efectúa una revisión de la literatura científica para determinar la influencia de la temperatura de secado en la calidad de algunos productos agrícolas, como las hierbas aromáticas y las especias. Luego se realiza una búsqueda en páginas de internet de fabricantes y proveedores de tecnologías de automatización 'tradicionales' basadas en Controladores Lógicos Programables (PLC) y Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) para establecer si es viable económicamente su empleo en instalaciones de secado a pequeña escala. Al final se valora el uso de sistemas embebidos como alternativa para el control de la temperatura en secadores solares.

El secado como método de conservación de alimentos

Dauthy (1995) y Okos *et al.* (2006), definen el secado como un método de remoción de humedad mediante un proceso de transferencia de masa y calor. La transferencia de calor desde el ambiente circundante evapora la humedad de la superficie. La humedad puede ser transportada hacia la superficie del producto y entonces ser evaporada, o bien, puede ser evaporada internamente en una interfaz líquido-vapor y luego ser transportada como vapor a la superficie.

El secado es uno de los métodos más usados de conservación de alimentos, con el cual se reduce el contenido de humedad evitando el crecimiento de microorganismos que causan la descomposición de los alimentos. Este método ayuda en la reducción de la masa y el volumen del producto, lo que reduce gastos en transporte y almacenamiento y también permite almacenar el alimento a temperatura ambiente (Aravindh y Sreekumar, 2015).

Las instalaciones de secado a nivel industrial son grandes consumidoras de energía a escala global y son contribuidores significativos a la producción de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, una publicación relativamente reciente estima que en Reino Unido se consumen aproximadamente $3,486 \cdot 10^{17}$ J en operaciones de secado. Esto equivale al 17,7% del consumo industrial de energía del país. Además, registros históricos de la década de 1970, indican que este porcentaje se ha ido incrementando progresivamente (Akritidis *et al.*, 1998). Chua *et al.* (2000), reportaron que el consumo del proceso de secado está entre el 10 y el 15% de toda la demanda industrial.

En la mayoría de los países industrializados, la energía

usada en el secado se encuentra entre los valores de 7 y 15% de la energía de uso industrial del país, a menudo con una baja eficiencia térmica, que se encuentra entre el 25 y el 50%. Chua *et al.* (2000) y Kirk (2015), también reportaron que el proceso de secado consume por encima del 70% de la energía total en la manufactura de productos de la madera, el 50% de la energía empleada en fábricas textiles y por encima del 60% de la producción agrícola de maíz.

El secado es un proceso con alto requerimiento de energía que forma alrededor del 60% de la necesidad energética total para la producción de cereales, por ejemplo. Esta cantidad de energía consumida es considerable en comparación con las cifras de consumo medio de energía en labranza (16%), siembra y protección de plantas (12%), cosecha (6%) y transporte (6%) (Brooker *et al.*, 1992).

Estos datos dan cuenta del alto consumo energético del secado a nivel industrial, para lo cual muchas veces se emplean combustibles convencionales como el petróleo, el carbón, y la biomasa. Los que aumentan el costo del producto secado al invertir elevadas cantidades de dinero en la tecnología y el combustible y contribuyen con la contaminación del medio ambiente y el cambio climático. Además de que estos crean dependencia del combustible quedando expuestos ante cambios en los precios del barril de crudo en el mercado internacional. Debido al alto costo de esta tecnología no es común su empleo en países en vías de desarrollo. Por tal razón se considera adecuado el uso de energías renovables como la energía solar, que como plantea Richter *et al.* (2013) es limpia, abundante y libre de costos.

La energía solar irradiada en la superficie de la tierra es 14000 veces mayor que el consumo de global de energía (Krauter, 2006). Según Kirk (2015) el sol genera aproximadamente $3,8 \cdot 10^{26} \text{ Js}^{-1}$ ($3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$), de los cuales la Tierra recibe en promedio $1,7 \cdot 10^{18} \text{ W}$ del Sol, de la que por ejemplo la radiación solar anual promedio en Holanda es 1000 kWh/m^2 , mientras que en el Sahara el valor promedio es 2200 kWh/m^2 (Smets *et al.*, 2016).

El secado solar es un método importante de conservación de alimentos con grandes requerimientos energéticos, usado principalmente en países en vías de desarrollo. Se considera que se puede extender su uso en estos países y aprovechar el potencial de la energía irradiada desde el Sol y aprovechar en países desarrollados con sistemas asistidos mediante otras fuentes energéticas para al menos disminuir el consumo de los combustibles convencionales.

Disponibilidad solar y efecto de la temperatura en la calidad del producto secado

Una de las dificultades de la energía solar es que no siempre está disponible cuando se necesita (Camacho *et al.*, 2012). Por ejemplo en las noches o días nublados la disponibilidad solar es nula o es muy baja para realizar el secado del producto con la eficiencia necesaria. Debido a esta situación se cree precisa la utilización de un sistema que emplee una fuente auxiliar capaz de suministrar la energía suficiente para la realización correcta del proceso de secado en un tiempo menor.

Priestley (1979), Aurand *et al.* (1987), Márquez *et al.* (2003), Belén-Camacho *et al.* (2004) y Villota y Hawkes (2006) reportaron que la temperatura influye en las propiedades físico-químicas del producto y las pérdidas de nutrientes. Esto significa que influye en la calidad del producto secado, por ejemplo en el secado de especias destinadas a la alimentación humana y otras producciones para la industria farmacéutica. Esto se considera un efecto no deseado por lo que se deben tomar medidas para disminuir este efecto durante el secado solar.

Hincapié *et al.* (2010) plantearon que el proceso de deshidratación puede acelerarse realizándose a elevadas temperaturas, pero esto produciría una pérdida de la calidad del producto, lo cual no compensaría la reducción de tiempo del proceso. Se considera este enfoque adecuado, ya que no se puede intentar aumentar la eficiencia del proceso a expensas de la calidad del producto. Debido a esto es necesario encontrar un punto de equilibrio para garantizar un producto con una calidad adecuada y un tiempo de secado que favorezca una eficiencia aceptable. Es preciso alcanzar un estado en el que la temperatura se encuentre en un intervalo con un valor máximo que no afecte la calidad del producto y un valor mínimo que no atente contra la eficiencia del proceso.

Los secadores solares, debido a su propia concepción como tecnología económica y dependiente solo de la energía solar, no poseen un mecanismo interno que permita regular o controlar la temperatura de secado y mantenerla en el intervalo o valor adecuado establecido para cada producto. Para lograr esto normalmente se implementa un sistema de control de temperatura. La solución tradicional se implementa con tecnología de automatización aplicada en la industria, la que según el sondeo realizado en las páginas en internet, un sistema de control de temperatura que incluya un sensor de temperatura, un Controlador Lógico Programable (PLC) y un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) puede costar alrededor de \$1300 USD. Esto se considera un costo excesivo para el secado de productos a pequeña escala y no se justifica su aplicación. Por lo que se hace necesario buscar alternativas y una de las más importantes es el desarrollo de controladores basados en sistemas embebidos, tecnología mucho más económica, sencilla y que pudiera ser de más fácil asimilación por parte de los productores.

Un sistema embebido es un sistema con una computadora aplicada, que se distinguen de otros tipos de computadoras como las computadoras personales (PC) o supercomputadoras (Noergaard, 2005). Es decir un sistema electrónico que usa un chip de computadora, por ejemplo un microcontrolador, como 'núcleo' para controlar un proceso. Según el sondeo realizado en las páginas en internet los precios de los microcontroladores pueden variar entre \$0,30 USD y \$15USD. Se considera que un sistema de control basado en sistemas embebidos, por ejemplo con microcontroladores, sería mucho más económico que otro basado en tecnología de automatización tradicional (basado en PLC y SCADA). Por lo que pudiera ser justificable el empleo de sistemas de control basados en sistemas embebidos en secadores solares para el secado de productos agropecuarios a pequeña escala.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El secado es una técnica altamente consumidora de energía, empleada en la conservación de alimentos, productos agropecuarios, etc. En los países desarrollados generalmente se emplean técnicas de secado industrial a base de combustibles convencionales, mientras que en los países en vías de desarrollo habitualmente se utiliza la energía solar por ser más económica. Se considera que, independientemente del país, la energía solar es una alternativa adecuada para el secado de productos, ya que esta es libre de costos, abundante, no produce contaminación ambiental y disminuye la dependencia de los combustibles fósiles. Se ha encontrado que el uso de instalaciones solares artesanales ha ganado en popularidad para el secado de productos alimenticios destinados al consumo humano como las especias. Pero en la revisión de la literatura sobre el tema se encontró que la temperatura de secado influye en la calidad del producto secado. Esto generalmente no se tiene en cuenta en las instalaciones de secado solar, ya que los secadores solares artesanales no poseen un mecanismo interno que permita regular la temperatura y llevarla al valor o intervalo de temperatura adecuado para cada producto, ya que no fueron concebidos para estos fines.

En el trabajo se analiza la posibilidad de emplear controladores de temperatura para evitar la pérdida de calidad del producto secado en secadores solares artesanales. Con este fin se analiza la posibilidad de aplicar tecnología de automatización tradicional basada en PLC y SCADA, encontrándose que resulta muy costosa y no se justifica su aplicación en el secado solar a pequeña escala. Se presenta como alternativa el empleo de sistemas embebidos, por ejemplo basados en microcontroladores, para el desarrollo de controladores de temperatura para secadores solares artesanales. Esta opción resulta mucho más económica que la basada en la tecnología tradicional. Por lo que se considera adecuado implementar sistemas de control de temperatura basados en sistemas embebidos en secadores solares a pequeña escala destinados al secado de productos alimenticios y agropecuarios, para evitar pérdidas de calidad.

CONCLUSIONES

- Se determinó, a partir de una revisión de la literatura científica sobre el tema, que la temperatura de secado influye en las propiedades físico-químicas del producto y las pérdidas de nutrientes de productos agropecuarios destinados a la alimentación humana, como las especias y producciones farmacéuticas, por lo que tiene influencia directa en la calidad del producto a secar.
- Se estableció el empleo de controladores de temperatura como medio para disminuir las pérdidas de calidad del producto durante el secado en instalaciones solares.
- Se propuso el empleo de sistemas embebidos, como los basados en microcontroladores, para el desarrollo de sistemas de control de temperatura económicos y adecuados para producciones a pequeña escala en instalaciones solares artesanales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKRITIDIS, C.B.; MUJUMDAR, A.S.; MARINOS-KOURIS, D.; SARAVAKOS, G.D.: *Drying 98: Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS '98) Held in Halkidiki, Greece, August 19-22, 1998*, [en línea], Ed. Ziti Editions, 1998, ISBN: 978-960-431-467-6, Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?id=VVzPMgEACAAJ>.
- ARAVINDH, M.A.; SREEKUMAR, A.: "Solar Drying-A Sustainable Way of Food Processing", [en línea], En: Sharma, A. y Kar, S.K. (eds.), *Energy Sustainability Through Green Energy*, Ed. Springer India, New Delhi, pp. 27-46, 2015, DOI: 10.1007/978-81-322-2337-5_2, ISBN: 978-81-322-2336-8, Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-81-322-2337-5_2, [Consulta: 2 de octubre de 2017].
- AURAND, L.W.; WOODS, A.E.; WELLS, M.R.: *Food Composition and Analysis*, [en línea], Ed. Springer Netherlands, Dordrecht, 1987, ISBN: 978-94-015-7400-6, Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-7398-6>, [Consulta: 9 de octubre de 2017].
- BELÉN-CAMACHO, D.R.; MORENO-ÁLVAREZ, M.J.; ALEMÁN, R.; ÁLVAREZ, F.: "Efecto de la temperatura de secado sobre la degradación de carotenoides en frutos de Coroba", *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(3): 206-210, julio de 2004, ISSN: 1135-8122, DOI: 10.1080/11358120409487762.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W.: *Drying and storage of grains and oilseeds*, no. solc. SB189.77.B76 1992, Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 450 p., 1992, ISBN: 978-0-442-20515-7.
- CAMACHO, E.F.; BERENGUEL, M.; RUBIO, F.R.; MARTÍNEZ, D.: *Control of Solar Energy Systems*, [en línea], ser. *Advances in Industrial Control*, Ed. Springer London, London, 2012, ISBN: 978-0-85729-915-4, Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-85729-916-1>, [Consulta: 19 de septiembre de 2017].
- CHUA, K.J.; MUJUMDAR, A.S.; CHOU, S.K.; HAWLADER, M.N.; HO, J.C.: "Convective drying of banana, guava and potato pieces: Effect of cyclical variations of air temperature on kinetics and color change", *Drying Technology*, 18(4-5): 907-936, 2000, ISSN: 1532-2300, e-ISSN: 0737-3937, DOI: 10.1080/07373930008917744.
- DAUTHY, M.E.: *Fruit and vegetable processing*, ser. *FAO agricultural services bulletin*, 119, Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 382 p., 1995.
- HINCAPIÉ, L.G.A.; OMAÑA, Y.M.M.; HINCAPIÉ, L.C.A.; ARIAS, G.Z.; VÉLEZ, A.L.M.: "Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa", *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2): 85-93, 2010, ISSN: 1794-4449.
- KIRK, A.P.: *Solar Photovoltaic Cells*, ser. *Photons to Electricity*, Ed. Elsevier Inc, London, UK, 2015, ISBN: 978-0-12-802603-8.
- KRAUTER, S.C.W.: *Solar Electric Power Generation. Photovoltaic Energy Systems*, [en línea], ser. *Modeling of Optical and Thermal Performance, Electrical Yield, Energy Balance, Effect on Reduction of Greenhouse Gas Emissions*, Ed. Springer, 1.^a ed., Berlin, 2006, ISBN: 978-3-540-31345-8, Disponible en: springer.com.
- MÁRQUEZ, C.J.; CIRO, H.J.; ROJANO, B.A.: "Efecto de un proceso de deshidratación con aire forzado en la composición química y nutricional de la mora de castilla (*Rubus glaucus*)", *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 56(1): 1865-1876, 2003, ISSN: 2248-7026.
- NOERGAARD, T.: *Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers*, [en línea], Ed. Elsevier Inc., 2005, ISBN: 0-7506-7792-9, Disponible en: www.books.elsevier.com.
- OKOS, M.; CAMPANELLA, O.; NARSIMHAN, G.; SINGH, R.; WEITNAUER, A.: *Food Dehydration*, [en línea], Ed. CRC Press, Dennis Heldman y Daryl Lund, *Handbook of Food Engineering*, Second Edition ed., vol. 20062038, 601-744 p., 2006, ISBN: 978-0-8247-5331-3, Disponible en: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420014372.ch10>, [Consulta: 2 de octubre de 2017].
- PRIESTLEY, R.J.: "Effects of Heating on Foodstuffs.", *International Journal of Dairy Technology*, 32(3): 165-165, julio de 1979, ISSN: 1364-727X, 1471-0307, DOI: 10.1111/j.1471-0307.1979.tb01435.x.
- RICHTER, C.; LINCOT, D.; GUEYMARD, C. (eds.): *Solar energy*, no. solc. TJ810.S596 2013, Ed. Springer, New York, 744 p., 2013, ISBN: 978-1-4614-5805-0.
- SMETS, A.H.; JÄGER, K.; ISABELLA, O.; ACMM VAN SWAAIJ, R.; ZEMAN, M.: *Solar energy*, ser. *The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*, Ed. UIT Cambridge, Cambridge, England, 2016.
- VILLOTA, R.; HAWKES, J.: "Reaction Kinetics in Food Systems", [en línea], En: Heldman, D. y Lund, D. (eds.), *Handbook of Food Engineering*, Second Edition, Ed. CRC Press, vol. 20062038, pp. 125-286, 6 de noviembre de 2006, ISBN: 978-0-8247-5331-3, Disponible en: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420014372.ch2>, [Consulta: 9 de octubre de 2017].

Lietter Javier Silva-Díaz, Investigador, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Carretera central km 47½, Mayabeque, Cuba. e-mail: lietter@ica.co.cu

Yanoy Morejón-Mesa, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: yymm@unah.edu.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.