

PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL GUARAPO DESHIDRATADO EN POLVO

Emir Cabrera Rodríguez, José Gandón Hernández, Armando Díaz Concepción
Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” CUJAE., Instituto Cubano de Investigaciones de los
Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA

Como es sabido, a nivel mundial, cada día se incrementa la preferencia por los productos alimenticios calificados como naturales. La industria azucarera cubana con sus planes de diversificación tiene una participación activa en la fabricación de edulcorantes sanos, entre los que se encuentran diferentes tipos de azúcares y el guarapo deshidratado en polvo. El proceso tecnológico de obtención de este último producto requiere la concentración por evaporación de los jugos frescos de la caña de azúcar y posteriormente de un proceso de secado. Para su almacenamiento deben garantizarse condiciones adecuadas de temperatura, humedad y circulación del aire. En este sentido se deben diseñar envases e instalaciones apropiadas, haciendo uso de las propiedades termofísicas del producto en cuestión. En este trabajo se realizó un estudio de dichas propiedades, determinándose experimentalmente la conductividad y la capacidad térmica a diferentes temperaturas (30, 35, 40 y 45 °C), y evaluándose las correspondientes difusividades térmicas.

Palabras clave: guarapo deshidratado, conductividad térmica, capacidad térmica, difusividad térmica.

It is worldwide known about the increasing of the natural food preference day by day. Sugar Cuban industry and its diversification plans have an active participation on the manufacture of healthy sweeteners, like different kind of sugars and dehydrated sugar-cane juice as powder. The technological process of this last product needs concentration of the sugar-cane fresh juices and after a drying process. Suitable conditions such as environmental temperature and humidity and an adequate air speed should be guaranteed in the storage. For this reason the design of packages and store rooms should take into account the thermophysical properties of product. The aim of this paper was to carry out a study of those properties, through the experimental evaluation of both thermal conductivity and thermal capacity at different temperatures (30, 35, 40 and 45 °C). The thermal diffusivity was also evaluated.

Keywords: dehydrated sugar-cane juice, thermal conductivity, thermal capacity, thermal diffusivity.

Introducción

Cada año se incrementa notablemente el consumo mundial de alimentos sanos, entre los que se incluyen los edulcorantes extraídos, empleando como procedimiento solamente la remoción de agua de los jugos frescos de caña, sin que se aplique refinación, depuración o cualquier otro tipo de proceso químico. /4/ Esta preferencia sobre los edulcorantes convencionales, se justifica por la ausencia de sustancias químicas perjudiciales a la salud de los consumidores, lográndose con ello la conservación de las vitaminas y minerales presentes en la caña de azúcar. Un ejemplo de este tipo de producto es la Panela producida en países de América Latina, la que se caracteriza por conservar todos los nutrientes de la caña de

azúcar, aportando cantidades apreciables de las vitaminas A, algunas del grupo B, C, D y E.

Respecto a los minerales, se destacan entre otros: calcio, hierro, potasio, fósforo, magnesio, cobre, zinc y manganeso. La Panela contiene cinco veces más minerales que el azúcar moreno y cincuenta veces más minerales que el azúcar blanco. /3/

Los países productores de azúcar, en su diversificación de la industria han dirigido sus esfuerzos a la reducción de los costos de producción mediante el desarrollo de productos paralelos al proceso de producción de azúcar. La industria azucarera cubana ha sido receptiva a estas tendencias de disminución de los costos de producción mediante el aumento del recobrado y la producción de diferentes tipos

de azúcares de mayor valor agregado. Con este objetivo los científicos del ICIDCA, han desarrollado una tecnología para producir guarapo deshidratado en polvo. La misma requiere de un proceso relativamente simple en comparación con el de fabricación de azúcar, puesto que reduce el número de operaciones, equipos, productos químicos, mano de obra y con ello los consumos de agua y energía. Esta tecnología garantiza la preservación prácticamente de todos los azúcares y nutrientes, obteniéndose un edulcorante más saludable que contiene carbohidratos, proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales y microelementos digestibles, mediante un proceso que no genera melazas y cachaza como subproductos.

El almacenamiento y empaque del guarapo deshidratado en polvo requerirá del diseño de instalaciones que garanticen condiciones apropiadas de temperatura, humedad y circulación del aire, haciendo uso de las propiedades termofísicas de este producto. /7/

Por ello, en este trabajo se presenta un estudio de estas propiedades, mediante las determinaciones experimentales de la conductividad térmica y la capacidad térmica y las estimaciones de las correspondientes difusividades térmicas, en el intervalo de temperatura desde 30 °C hasta 45 °C.

Fundamento teórico

Conductividad térmica:

La conductividad térmica es la capacidad que tiene un material para conducir el calor. Depende, fundamentalmente, de la temperatura, la presión, la humedad, la densidad y la estructura de cada sustancia.

Se determina por lo general experimentalmente, existiendo varios métodos con este objetivo, la mayoría se basan sobre la medición de la densidad de flujo de calor y del gradiente de temperatura, calculándose mediante la relación siguiente:

$$k = \frac{|q|}{|\text{grad } T|} \quad (1)$$

De la ecuación anterior se deduce que la conductividad térmica es numéricamente igual a la cantidad de calor que atraviesa la unidad de área de superficie isotérmica, en la unidad de tiempo, cuando el gradiente de temperatura es la unidad. /6/

Los alimentos en su gran mayoría son malos conductores del calor; ésta es la razón por la que los procesos de transferencia de calor, donde la conducción es el mecanismo predominante, son lentos. /8/; esta propiedad se encuentra influenciada por varios factores como: la temperatura, la composición, la densidad, la humedad y la porosidad. /8/

Para realizar la determinación experimental de la conductividad térmica, existen diferentes métodos y sus diferencias están dadas por sus características y principios de funcionamiento. Entre los métodos directos en estado estacionario está el Método del Cilindro. Este está basado en la Ley de Fourier, que describe la conducción del calor a través de una pared cilíndrica, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Q \ln(r_i - r_e)}{2 \pi L(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

El material para investigar, reviste a un tubo, dentro del cual hay una resistencia eléctrica u otro elemento que disipe o absorba calor. Cuando se alcanza el estado estacionario, el calor generado por el calentador pasa a través de la pared del tubo y del material experimental y se pierde a los alrededores. En este método es sumamente importante garantizar que las pérdidas en la dirección axial sean nulas o prácticamente despreciables, lo que se logra trabajando con relaciones entre la longitud y el diámetro relativamente grandes. /9,11/

Capacidad térmica

La capacidad térmica se define de forma general como la cantidad de calor necesaria para modificar la temperatura de la unidad masa de una sustancia en un grado. /13/

La capacidad térmica de los productos alimenticios es una propiedad importante, ya que permite determinar la cantidad de calor que es necesario

extraer o suministrar para llevar el alimento a la temperatura deseada. Dicha capacidad depende, fundamentalmente, de la cantidad de agua presente en el alimento; así como de su estado físico, por lo que esta propiedad ha sido modelada por ecuaciones de la forma: /1/

$$C_p = C_1 + C_2 W \quad (3)$$

Son numerosos los métodos y equipos usados para medir la capacidad térmica de productos alimenticios; los más utilizados son los métodos de mezclas y sus modificaciones, el calorímetro adiabático con calentamiento interno y la calorimetría diferencial de barrido (DSC). /1/

En este último método se mide la energía requerida para establecer una diferencia de temperatura de valor cero entre el producto alimenticio y el material de referencia, a partir de lo cual se calcula la capacidad térmica. El tamaño de la muestra es muy pequeño, y el material debe ser cuidadosamente homogeneizado. Los equipos llamados calorímetros diferenciales de barrido son complejos y de precios altos, según el modelo y la precisión que ofrezcan. /1/

Difusividad térmica

La difusividad térmica, desde el punto de vista físico, no es más que la relación que existe entre la habilidad del material para conducir el calor y su habilidad para almacenarlo, dando una medida de la rapidez con que cambia la temperatura cuando hay un calentamiento o un enfriamiento. /8,10/

La difusividad térmica se define como la relación que existe entre la conductividad térmica, la capacidad térmica y la densidad, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{k}{\rho * C_p} \quad (4)$$

Partiendo de esta ecuación, y conociendo los valores de las otras propiedades, puede ser calculado el valor de la difusividad térmica. Esta propiedad difiere para cada sustancia y depende, principalmente, de la humedad y de la temperatura, pero también puede variar con la composición y la porosidad.

Materiales y métodos

Para la obtención del lote de guarapo investigado se utilizó jugo de caña de la variedad C-1 051-73; cepa Frío 2001 de trece meses de edad y rendimiento 140 800 @ por caballería.

La caña se raspó previamente, y la extracción del jugo se realizó en un trapiche comercial de tres pares de mazas cilíndricas de diferente tipo de rayado de 100 mm de diámetro y 150 mm de largo; posteriormente, se concentró en un evaporador al vacío y después el guarapo concentrado se secó por aspersión. /2/

El producto así obtenido, con densidad de bulto de 730 kg/m³ y humedad de 5,1 %, fue estudiado aplicando el método del cilindro en estado estacionario para determinar su conductividad térmica a cuatro temperaturas (30, 35, 40 y 45 °C). Este método es apropiado para este tipo de producto, aunque debe tenerse en cuenta que los valores de conductividad térmica obtenidos deben reportarse como aparentes. /12/ Los experimentos se llevaron a cabo realizando cuatro réplicas para cada valor de temperatura.

La determinación experimental de las capacidades térmicas se efectuó de igual forma que para la conductividad térmica, utilizando en este caso un calorímetro diferencial de barrido Mettler TA 4000.

Para la estimación de la difusividad térmica se empleó su relación con la conductividad térmica, la capacidad térmica y la densidad del producto en cuestión.

Resultados y discusión

Los valores medios obtenidos para cada una de las propiedades se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1
Propiedades termofísicas del guarapo deshidratado en polvo

T (°C)	k (W/m.K)	C _p (J/g.K)	α .10 ³ (m ² /s)
30	0,345 5 ± 0,020 7	1,050 0 ± 0,029 4	4,507 5
35	0,378 5 ± 0,017 0	1,260 1 ± 0,025 2	4,115 0
40	0,431 5 ± 0,021 6	1,600 1 ± 0,036 8	3,694 3
45	0,504 5 ± 0,034 3	1,850 0 ± 0,046 3	3,563 1

La evolución de cada una de las propiedades termofísicas, determinadas como una función de la temperatura, se representan en la figura 1. Resulta evidente que con el aumento de la temperatura en el rango estudiado se incrementan la conductividad y la capacidad térmicas, lo cual es característico de los

productos no homogéneos de naturaleza vegetal. /5/ La variación de la temperatura tiene mayor influencia sobre la capacidad térmica, ocasionando mayores incrementos en dicha propiedad que en la conductividad térmica, lo que trae como consecuencia que la difusividad térmica disminuya con el aumento de la temperatura.

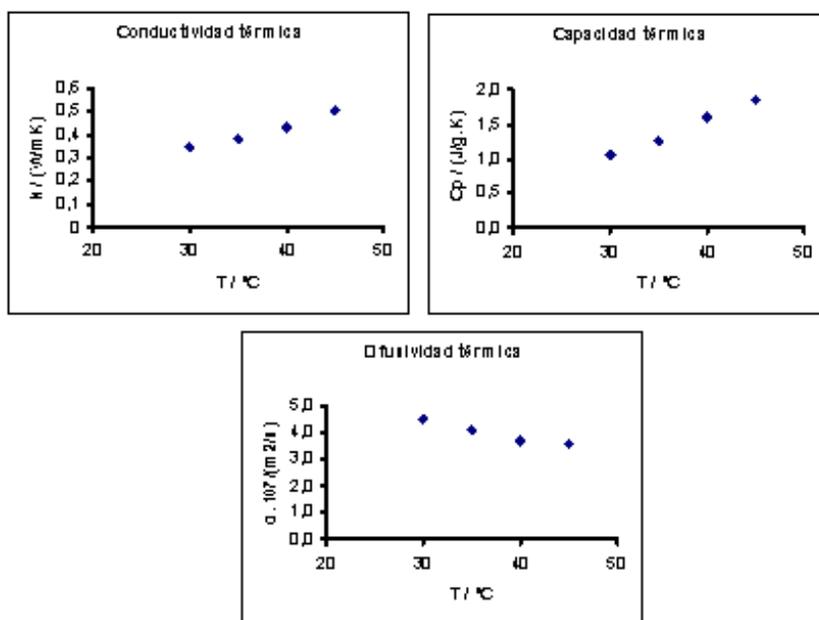


Fig. 1 Variación de las propiedades térmicas con la temperatura.

Conclusiones

Con el objetivo de emplear los valores de las propiedades termofísicas del guarapo deshidratado en polvo en el diseño de instalaciones para su almacenamiento fueron determinadas la capacidad, la conductividad y la difusividad térmicas en el intervalo de temperatura desde 30 hasta 45 °C, resultando que la conductividad y la capacidad térmicas se incrementan con el aumento de la temperatura, variando de 0,3455 a 0,5045 W/m.K, y desde 1,0500 hasta 1,8500 J/g.K, respectivamente, mientras que la difusividad térmica disminuye de $4,5075 \cdot 10^{-7}$ a $3,5631 \cdot 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$. Estos resultados a la vez que útiles resultan novedosos pues constituyen las primeras referencias sobre las propiedades termofísicas de este tipo de producto.

Nomenclatura

k: conductividad térmica, W/m.K
q: densidad de flujo de calor, W/m²
L: longitud del tubo, m
r_e: radio exterior, m
T₁ y T₂: temperaturas medidas en los radios r_i y r_e, respectivamente, °C
W: fracción másica de agua
α: difusividad térmica, m²/s
Q: flujo de calor, W
grad T: gradiente de temperatura, °C/m
T: temperatura, °C
r_i: radio interior, m
C₁ y C₂: constantes que varían según el producto y el autor.
Cp: capacidad térmica, J/g.K
ρ: densidad, kg/m³

Referencias

1. Alvarado, J. D. y J. M. Aguilera, Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos, Editorial Acribia S. A., Zaragoza, España, 2001.
2. Campos, F.; A. Díaz ; C. Coronado, Deshidratación de jugo de caña y jugos de frutas, Aspectos técnicos, económicos y de mercado. Reseña bibliográfica, Subdirección: Cuba 10-ICIDCA, La Habana, Cuba, 2005.
3. <http://alimentacion.interbusca.com> (20/01/08)
4. <http://www.moyobamba.net/chancaca> (14/12/06)
5. <http://www.rpaulsingh.com> (20/01/08)
6. Isachenko, V., Transmisión de calor. t.1, Editorial Pueblo y Educación, 1973.
7. Jowitt R., *et al.*, Physical Properties of Foods. Applied Science Publishers, New York, 1983.
8. Lewis, M. J., Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado, Editorial Acribia S. A., Zaragoza, España, 1993.
9. Mikheyev, M., Fundamentals of heat transfer. Peace Publishers, Moscow, 1956.
10. Rao, M. A.; S. S. H. Rizvi, Engineering properties of foods, Marcel, Dekker, Inc. New York, Basel, 1986.
11. Riedy, G. A.; A. L. Rippen, "Methods for determining thermal conductivity in foods". No. 2. vol. 30, TRANS, of the ASAE, 1987.
12. Sweat, V., Thermal properties of foods. In M.A.Rao and S. S. Rizvi. Engineering properties of food, New York, 1986.
13. Watson, M. K.; A.R. Ragatz, Principios de los procesos químicos, vol. 1, Editorial Reverté S. A., Madrid, 1976.