



ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN ULTRASÓNICA DE VEGETALES

PACS: 43.35.Ty

De la Fuente Blanco, Susana; Riera-Franco de Sarabia, E.; Gallego Juárez, J.A.
Dpto. Ultrasonidos, Instituto de Acústica, CSIC
Serrano, 144
28006 Madrid. España
Tel: 915 618 806
Fax: 914 117 651
E-mail: susana@ia.cetef.csic.es

ABSTRACT

An ultrasonic procedure for vegetable dehydration has been developed. In order to know the process more deeply, a parametric study of the relative influence of the main physical parameters involved has been carried out. An experimental system was designed and developed. The system allows operating at direct contact between the ultrasonic vibrator (20KHz) and the product. Three different kinds of tender vegetables were used; the results show a dehydration effect of at least 40% loss in the weight of the samples when an electric power of 50W during 30 minutes of treatment was applied to the transducer.

RESUMEN

Los ultrasonidos de potencia representan una nueva herramienta cada vez más utilizada en la industria alimentaria ya que los efectos inducidos no afectan a las principales características y a la calidad de los productos. En concreto, en procesos de secado de alimentos la energía ultrasónica puede ser aplicada sola o combinada con algún otro tipo de energía, tal como aire caliente. Los resultados obtenidos en este caso muestran que los ultrasonidos ayudan a reducir el tiempo de tratamiento y el consumo energético. En esta línea, se ha desarrollado un procedimiento ultrasónico para la deshidratación de vegetales y para su mejor conocimiento se ha llevado a cabo un estudio paramétrico de la influencia relativa de los principales parámetros físicos involucrados en el proceso. Para ello, se ha desarrollado un sistema experimental que opera mediante contacto directo del producto con la superficie vibrante del transductor ultrasónico. Las pruebas experimentales se han realizado con diversos vegetales apreciándose en los casos en que se aplica una potencia eléctrica al transductor de 50W, una reducción de al menos un 40% en el peso de las muestras al cabo de los 30 primeros minutos de tratamiento.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se observa una clara tendencia al aumento del consumo de productos vegetales y más concretamente los de preparación rápida entre los que hay que destacar los productos deshidratados. La técnica convencional más económica y ampliamente utilizada para la elaboración de estos productos es el secado por aire caliente [1,2], si bien estos productos

presentan dificultades para su rehidratación debido al daño térmico producido al aplicar temperaturas elevadas. La liofilización, por el contrario, es un método de deshidratación que presenta como principal ventaja una mayor estabilidad de las características de calidad del producto [3]. Sin embargo los elevados costes de inversión y mantenimiento de los equipos, junto con el alto consumo energético, hacen que solo se aplique a productos de alto precio y que su uso sea restringido [4].

El secado por ultrasonidos presenta un gran potencial para la obtención de vegetales deshidratados; la deshidratación asistida por ultrasonidos puede llevarse a cabo a temperaturas más bajas que las empleadas en el secado por aire caliente, lo cual reduce la probabilidad de degradación del producto [5]. Una de las principales ventajas que presenta la tecnología ultrasónica es la posibilidad de separar la fase líquida de la matriz sólida sin forzar un cambio de fase [6]. Ello resulta particularmente interesante cuando se tratan materiales muy sensibles al calor, como es el caso de los alimentos. Las vibraciones ultrasónicas de alta intensidad afectan a los procesos de transferencia de masa, dando lugar a la extracción de la humedad interior. De esta forma, los procesos de secado por aire caliente asistidos por los ultrasonidos de potencia permiten aplicar temperaturas más bajas y acortar los tiempos de tratamiento. Este tipo de procesos, por tanto, resulta muy adecuado para la deshidratación de vegetales, ya que no afecta a sus principales características ni a la calidad de los mismos.

En este trabajo se presenta un estudio paramétrico en el que se analiza la influencia relativa de los principales parámetros físicos involucrados en la cinética del proceso de deshidratación de vegetales (patatas, zanahorias y manzanas) por ultrasonidos. Para ello se ha diseñado y construido un dispositivo ultrasónico resonante a 20KHz, que opera mediante contacto directo entre la superficie vibrante del transductor y la muestra, con presión estática, succión y flujo de aire a temperatura moderada.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental diseñado y desarrollado para la deshidratación flexible de muestras singulares mediante ultrasonidos, con presión estática, succión y flujo de aire a temperatura moderada se muestra esquemáticamente en la Figura 1. Consta principalmente de los siguientes componentes: (i) El sistema ultrasónico utilizado en las experiencias compuesto por un transductor ultrasónico piezoeléctrico con una capacidad de 100W capaz de generar amplitudes de vibración en su punta del orden de varias decenas de micras, una caja de adaptación de impedancias y una unidad de generación electrónica. Esta unidad consta de dos partes: un amplificador de potencia y un sistema de control y seguimiento de la frecuencia de resonancia que mantiene fija la potencia aplicada al transductor durante el proceso de deshidratación. Los diferentes parámetros de la señal de excitación del transductor (frecuencia de resonancia, voltaje, corriente, fase, potencia) se capturan y almacenan en un ordenador para su tratamiento. El software desarrollado y usado en el ordenador permite la monitorización en tiempo real del comportamiento del transductor durante el proceso de deshidratación de las muestras tratadas. (ii) La muestra vegetal a deshidratar (patata, manzana o zanahoria) cortada en forma de rodaja cilíndrica. (iii) La cámara de succión, igualmente de geometría cilíndrica, dotada en su parte superior de un cierre constituido por un filtro poroso de espesor determinado sobre el cual se aloja la muestra. Dicho filtro facilita el paso de la humedad desde el material hacia el interior de la cámara, cuando se aplica una succión o depresión determinada a través de un tubo situado en la parte lateral de la cámara. La medida del valor de la succión o depresión aplicada a la cámara de vacío se lleva a cabo mediante la lectura de la presión en un medidor de presión diferencial conectado a través de la bomba de vacío. (iv) En la parte inferior de la cámara de vacío se coloca una célula de carga para medir la presión estática aplicada a la muestra. El objetivo que se persigue con este montaje es conseguir un contacto uniforme y controlado entre las interfaces transductor- muestra-filtro poroso. (v) Se aplica un flujo de aire a temperatura moderada para ayudar en la evaporación de la humedad depositada en la superficie exterior de la muestra. De esta forma se elimina la humedad que aflora desde el interior hacia la superficie exterior de la muestra por difusión, pero sin alterar las características y calidad final del producto seco alcanzado. El caudal de aire que incide directamente sobre la muestra se controla mediante un regulador y un medidor de

caudal. Finalmente, se mide la temperatura del flujo de aire forzado y del laboratorio, así como la humedad ambiente.

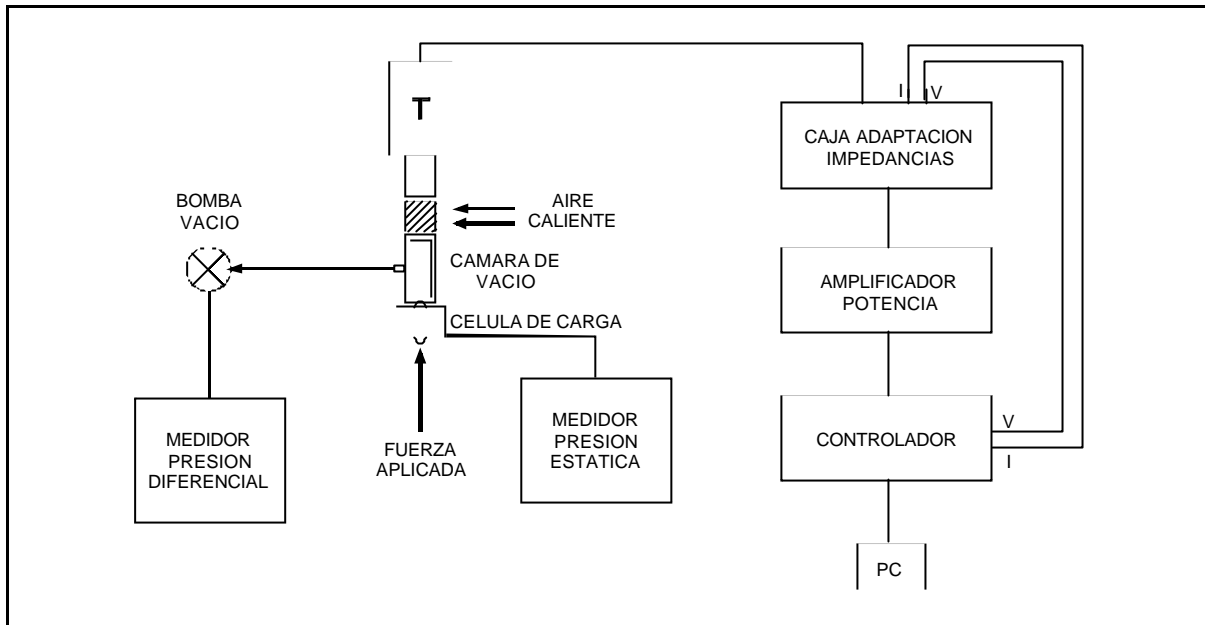


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental y de los sistemas de medida y control de los diversos parámetros involucrados en el proceso de deshidratación

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las pruebas se han realizado con tres tipos de vegetales: patata (Claustar), manzana (Granny-Smith), y zanahoria (Nantesca). Las muestras se han cortado en forma de discos de 4mm de espesor y 24mm de diámetro. Una vez cortadas y pesadas se han sometido a un proceso de escaldado en agua hirviendo. Los tiempos de escaldado empleados dependen del tipo de vegetal: 4, 3 y 0.5 minutos para la patata, zanahoria y manzana, respectivamente. Posteriormente, las muestras se sumergen en agua fría un tiempo igual a su correspondiente de escaldado con objeto de bajar su temperatura a unos 20°C. Finalmente, se seleccionan aquellas de igual peso. La variación máxima en el peso de las muestras elegidas es de ± 0.025 gramos.

A lo largo del trabajo se ha estudiado la influencia de los siguientes parámetros involucrados en la cinética del proceso de deshidratación:

- Acústicos: Frecuencia (F_r), Potencia eléctrica aplicada al transductor (P)
- Ambientales: Temperatura (T), Humedad relativa (%H)
- Mecánicos: Presión estática aplicada (P_E) (o Fuerza Equivalente (F_E)), Succión (SU), Caudal de aire (Q)

Tabla I

| Potencia (W) | Fuerza Equivalente (gr) | Succión (mbar) | Caudal (m/s) | Temperatura (°C) |
|--------------|-------------------------|----------------|--------------|------------------|
| 25 | 70 | 10 | 1.1 | 32 |
| | | 20 | | |
| | 220 | 10 | | |
| | | 20 | | |
| 50 | 70 | 10 | | |
| | | 20 | | |
| | 220 | 10 | | |
| | | 20 | | |

El procedimiento experimental consiste en medir el contenido de humedad de una muestra para cada posible combinación de los parámetros involucrados en el proceso, repitiendo la prueba con tres muestras escaldadas de un tipo de vegetal dado, con el fin de obtener un valor representativo (valor medio). El contenido de humedad de las muestras es medido por pesada, a intervalos de 10 minutos. En la Tabla I se presenta la matriz de ensayos llevada a cabo con cada vegetal una vez escaldado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta a continuación y a modo de ejemplo algunos de los resultados experimentales obtenidos.

Resumen de las Medidas Realizadas con Manzana

Con objeto de determinar el tanto por ciento de líquido extraído de la muestra se aplicó la siguiente relación:

$$\% \text{Líquido extraído} = ((W_i - W_t) / (W_i - W_s)) * 100$$

en donde W_i representa el peso inicial de la muestra escaldada, W_t el peso de la muestra tratada al cabo de un cierto tiempo t , y W_s el peso de la muestra seca. Para medir el tanto por ciento del peso de las muestras que se debe a la materia seca, se troceó una muestra de manzana y se dejó secar durante 24 horas en el interior de un horno a una temperatura de 70°C . Esta medida se repitió en tres ocasiones. Se determinó finalmente un Porcentaje Materia Seca = 12.14% calculando el valor medio de las pesadas llevadas a cabo con las tres muestras desecadas.

Se han realizado pruebas tanto con campo ultrasónico (aplicando una potencia de 25 o de 50W) como sin él, sometiendo en ambos casos a las muestras a una fuerza equivalente F_E de 70gr y 220gr y a una succión (o depresión) SU comprendida entre los 10mbar y los 20mbar, a un flujo de aire templado de 1.1m/s y 32°C . Se extraen los siguientes resultados:

- Sin ultrasonidos, se observa que cuando se somete a las muestras a una fuerza equivalente a unos 220 gramos, se obtienen resultados similares independientemente de la succión aplicada; la succión pasa a ser la variable que controla el proceso sólo para valores inferiores de la presión estática.
- Con ultrasonidos, aplicando una potencia de 25W, se observa que tiene mayor relevancia la succión que la presión estática que se ejerce sobre las muestras. Al cabo de los 30 primeros minutos de tratamiento el contenido de humedad varía entre un 35 y un 17%, dependiendo de la presión estática y la succión aplicadas.
- En cambio, cuando se aumenta la potencia aplicada hasta los 50W, se constata que la presión estática es la variable más relevante, ya que se obtienen resultados prácticamente similares aplicando la misma presión y variando la succión. Al cabo de los 10 primeros minutos de tratamiento es cuando se obtiene la mayor diferencia en los resultados disminuyendo el contenido de humedad desde el 40 al 20%.

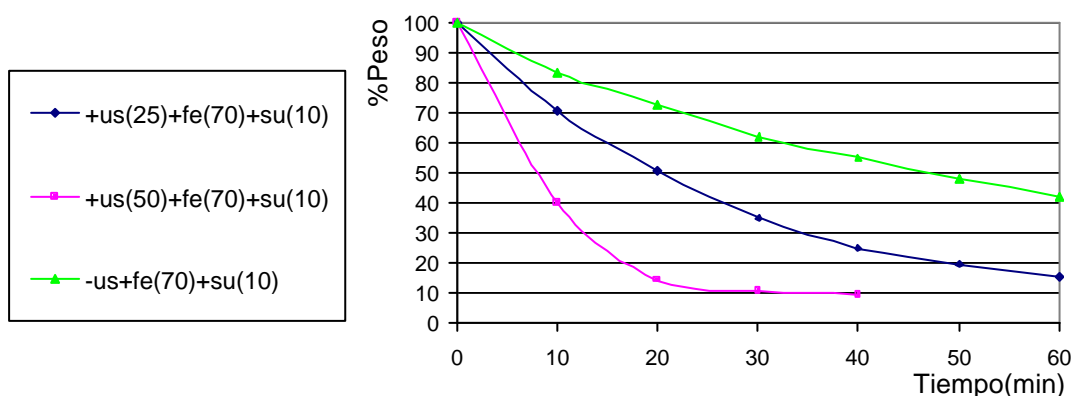


Figura 2. Comparación de los resultados obtenidos con manzana para $F_E=70\text{gr}$ y $SU=10\text{mbar}$

En la Figura 2 se presenta la comparación de los resultados obtenidos con manzana escaldada aplicando una fuerza de 70gr y una succión de 10mbar. Al cabo de los 20 primeros minutos de tratamiento se obtiene la mayor diferencia en los resultados obtenidos, dependiendo si se aplica campo acústico o no. Así, para una potencia de 25W, el contenido de humedad disminuye del 72 al 50%; mientras que si se aplica una potencia de 50W, la reducción pasa a ser del 72 al 14%. En la Figura 3 para una fuerza de 220gr y una succión de 20mbar, el contenido de humedad disminuye, al cabo de los 20 primeros minutos del proceso, del 53 al 31% cuando se aplica una potencia de 25W; mientras que para una potencia de 50W, el contenido de humedad varía del 53 al 7%.

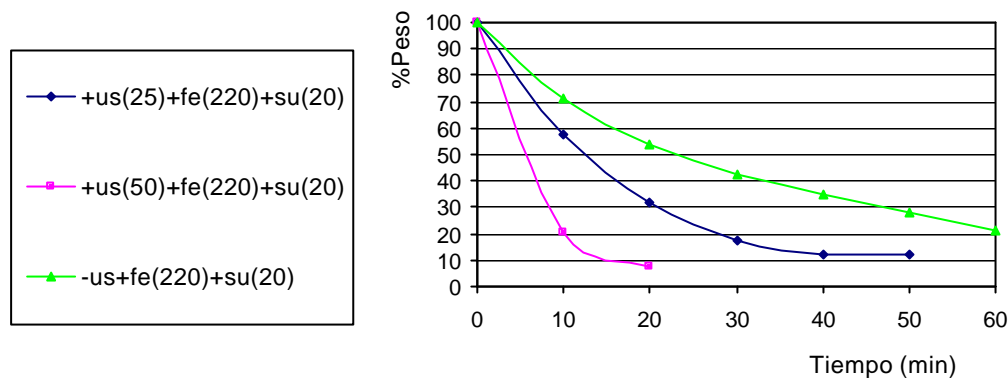


Figura 3. Comparación de los resultados obtenidos con manzana para $F_E=220\text{gr}$ y $SU=20\text{ mbar}$

Resumen de las Medidas Realizadas con Patata

Para medir el tanto por ciento del peso de las muestras que se debe a la materia seca, se troceó una muestra de patata y se dejó secar durante 24 horas en el interior de un horno a una temperatura de 70°C. Esta medida se repitió en tres ocasiones. Se determinó finalmente un porcentaje materia Seca = 18.4% calculando el valor medio de las pesadas llevadas a cabo con las tres muestras desecadas.

Repitiendo el mismo proceso que para el caso de la manzana, se obtienen los resultados siguientes:

- Sin ultrasonidos, se obtienen resultados muy similares independientemente de la succión y de la presión estática aplicada. El contenido de humedad disminuye a un 75% en los 30 primeros minutos de tratamiento.
- Con ultrasonidos, y aplicando una potencia de 25W, la succión juega un papel relevante solo para pequeños valores de la presión estática aplicada, aunque los resultados obtenidos continúan sin tener una fuerte dependencia de los valores de los parámetros involucrados en el proceso. Al cabo de los 30 minutos el contenido de humedad es del orden del 50%, mientras que en el caso de la manzana, para el mismo valor de la potencia aplicada, variaba entre un 35 y un 17%.
- Para una potencia de 50W, se constata, al igual que sucede con la manzana, que la presión estática es la variable más relevante ya que se obtienen resultados prácticamente similares aplicando la misma presión y variando la succión. Se obtiene, sin embargo, un resultado curioso que se encuentra en fase de repetición con el fin de constatar si al cabo de los 20 primeros minutos de tratamiento, para un mismo valor de la potencia y de la presión estática, el secado más rápido se obtiene aplicando una succión de 10mbar en lugar una de 20mbar.

Finalmente se presenta en la Figura 4 los resultados obtenidos con patata escaldada aplicando una fuerza de 220gr y una succión de 20mbar. Al cabo de los 30 primeros minutos de tratamiento se obtiene la mayor diferencia en los resultados obtenidos, dependiendo si se aplica campo acústico o no. Así, para una potencia de 25W, el contenido de humedad disminuye del 74 al 47%; mientras que si se aplica una potencia de 50W, la reducción pasa a ser del 74 al 17%.

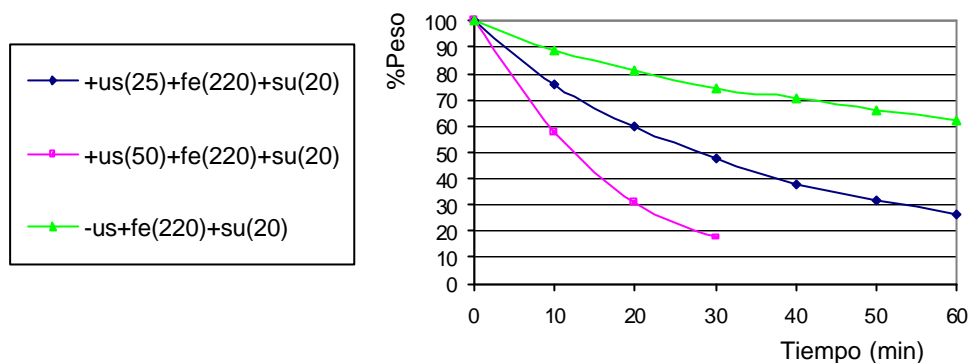


Figura 4. Comparación de los resultados obtenidos con patata para $F_E=220\text{gr}$ y $SU=20\text{mbar}$

CONCLUSIONES

Se ha presentado un estudio de la influencia relativa de los principales parámetros físicos involucrados en la cinética del proceso de deshidratación de vegetales por ultrasonidos. Para ello se ha diseñado y construido un dispositivo ultrasónico resonante a 20KHz que opera mediante contacto directo de la superficie vibrante del transductor y la muestra a deshidratar. Se ha comparado el efecto del secado por ultrasonidos sobre los vegetales con el obtenido mediante sólo aire caliente. Los resultados descritos validan que las vibraciones ultrasónicas de elevada intensidad aceleran la cinética del proceso de deshidratación de vegetales al incrementar la transferencia de líquido desde el interior hacia la superficie exterior del material, donde el flujo de aire forzado, la presión estática y la succión colaboran en el último estadio del proceso de secado, reduciendo el tiempo de tratamiento. Además la aplicación de temperaturas más bajas que las convencionales reduce la degradación del producto tras el proceso de deshidratación, como se ha podido constatar mediante técnicas de microscopía electrónica. Los resultados obtenidos constatan una reducción de al menos un 40% en el peso de las muestras al cabo de los 30 primeros minutos de tratamiento en los casos en que se aplica una potencia de 50W. El trabajo futuro inmediato se extenderá a la zanahoria, con el fin de analizar los parámetros de las pruebas con los tres vegetales indicados en este trabajo. Así mismo se establecerá una correlación entre la potencia eléctrica aplicada al transductor y el valor de la velocidad de vibración a la que se someten las muestras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto del Plan Nacional-SECUS-AGL2001-2774-CO5-02. Los agradecimientos se dirigen especialmente a Víctor M. Acosta, Fernando Vázquez y a Alfonso Blanco por el diseño y realización del dispositivo ultrasónico.

REFERENCIAS

- [1]. Mujamdar, A.S. y Menom, A.S. (1995). *Drying of solids: Principles, Classification and Selection of dryers*. En Handbook of Industrial Drying (Vol A), pages 1-40.
- [2]. Jarayaman, K.S. y Das Gupta, D.K. 1992. *Dehydration of fruits and vegetables – Recent developments in principles and techniques*. Drying Technology, 10(1), 1-50.
- [3]. Brown, M. 1999. *Focusing on freeze drying*. Food Manufacture, 74(9), 34-36.
- [4]. CDTI. 1993. *Cuadernos del CDTI*. Memorias. Ministerio de Industria, 202-228.
- [5]. Mason, T.J. 1998. *Power ultrasound in food processing-the way forward*. In: Ultrasounds in food processing. Ed.Povey, MJW y Mason, T.M. Blackie academic and Professional, London.
- [6]. Gallego-Juárez, J.A., Vázquez-Martínez, F., Yang T.S., Gálvez-Moraleda, J.C., Rodríguez-Corral, G. 1996. *Procede et dispositif de déshydratation*. Patente Internacional nº PCT/EP9601935.