

Low temperature drying process intensification by application of power ultrasound. Design and development of ultrasonic drying equipment and systems

Tribunal:

Presidente: Dr. D. Jesús Félez Mindan (UPM)

Vocal 1º: Dr. D. José J. Benedito Fort (UPV)

Vocal 2º: Dr. D. Andrew Mathieson (Thales/University of Glasgow)

Vocal 3º: Dr. D. Antonio Ramos Fernández (CSIC)

Secretario: Dr. D. Guillermo de Arcas Castro (UPM)

Resumen:

Está probado que la aplicación de ultrasonidos de potencia en diversos procesos industriales, como despumación, aglomeración de partículas, extracción en fluidos supercríticos o deshidratación, es beneficiosa en términos de aceleración de los procesos con menor consumo energético y resultados óptimos.

El proceso de secado de alimentos consiste en la transferencia de la humedad adherida a la matriz sólida del alimento al medio gaseoso externo. Este proceso de transferencia de masa está influenciado por dos parámetros: resistencia interna y resistencia externa. La resistencia interna es resultado de las características de la matriz sólida y la temperatura, mientras que la resistencia externa depende principalmente del espesor de la capa límite.

Actualmente, el secado convectivo es la técnica más comúnmente utilizada para extender la vida del producto. Sin embargo, es un proceso térmico de larga duración y alto consumo, que también afecta negativamente a la calidad del pro-



Autor:

D. Roque Rubén Andrés García

Directores:

Dr. D. Enrique F. Riera Franco de Sarabia (CSIC),

Dr. D. Manuel Recuero López (UPM)

Exposición:

20 de enero de 2021

Lugar:

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la UPM

ducto deshidratado respecto al color, textura, sabor, capacidad de rehidratación o contenido de vitaminas y otros nutrientes. La aplicación de ultrasonidos de potencia en sistemas de secado puede superar estas limitaciones acelerando la cinética del proceso, aunque este se produzca a baja temperatura. La liofilización es una técnica de deshidratación de alimentos que involucra la congelación del producto, generación de vacío y eliminación de humedad mediante sublimación. Por otro lado, la liofilización asistida por ultrasonidos necesita un medio gaseoso para que la propagación

de las ondas ultrasónicas. A este proceso se le conoce como liofilización a presión atmosférica.

El uso de transductores ultrasónicos con radiador extenso permite la generación de campos ultrasónicos de alta intensidad alrededor de las muestras, necesarios en los procesos de deshidratación asistida por ultrasonidos, además de superar las dificultades asociadas a la propagación de ultrasonidos a través del medio gaseoso.

El radiador extenso, vibrando con grandes desplazamientos, es capaz de suministrar gran energía acústica a las muestras, aunque esto conlleva la posibilidad de que se generen efectos no lineales no deseados, que pueden afectar al rendimiento del transductor. El desarrollo de transductores ultrasónicos de potencia con radiador extenso debe garantizar que el sistema es capaz de trabajar a alta potencia, generando el campo ultrasónico requerido sin experimentar indeseados efectos no lineales. En este caso, una nueva tecnología ultrasónica se ha diseñado específicamente para mejorar los procesos de liofilización a presión atmosférica. El desarrollo de esta tecnología ha seguido los siguientes pasos:

- Diseño numérico.- Mediante el uso de modelos de simulación por elementos finitos, de forma que cada componente esté sintonizado para vibrar a frecuencia y modo deseados sin estar afectado por interacciones modales.

- Caracterización experimental.- Tras el montaje del transductor, su comportamiento debe caracterizar-

se para confirmar que es capaz de trabajar a alta potencia sin presentar efectos no lineales críticos.

- Validación experimental.- La última etapa consiste en determinar la eficiencia del transductor en procesos de liofilización a presión atmosférica a nivel de laboratorio.

Este trabajo está centrado en el desarrollo de dos transductores ultrasónicos de potencia con radiador extenso, obteniendo una buena caracterización con potencia en ambos casos, y una mejora muy notable en procesos de liofilización a presión atmosférica de alimentos, logrando reducciones del tiempo de tratamiento del orden del 50%, lo que confirma el gran potencial de esta nueva tecnología para el secado de productos a baja temperatura en el campo agroalimentario.

Abstract:

The application of power ultrasonics in several industrial processes (defoaming, debubbling, particle agglomeration, supercritical CO₂ extraction, or food dehydration) has been proved to be beneficial in terms of acceleration of the process with lower energy consumption and an optimal result.

Food dehydration processes consist of transferring the moisture attached to the solid matrix of the food to the external gas media. This mass transfer process is influenced by the internal and the external resistances. Internal resistance results from the characteristics of the solid matrix and temperature while external resistance mainly depends on the boundary layer thickness.

Currently, convective hot-air drying is one of the most common drying techniques used to extend the shelf life of food products. However, this is a highly time and energy-consuming thermal process, which also negatively affects the final quality properties of the dehydrated product such as color, texture, flavor, rehydration capacity, the content of vitamins, or other nutrients.

Airborne power ultrasound (APU) application in drying systems may overcome some of these limitations by increasing the drying rate of the process even if it takes place at lower temperatures. Freeze drying is a food dehydration operation that involves freezing the products, minimizing the environmental pressure and removing the wet content by sublimation. On the other hand, freeze drying assisted by power ultrasound needs a gas media for the ultrasonic waves to propagate, so, the environmental pressure is in this case atmospheric pressure. Hence, this process is known as atmospheric freeze drying. Food dehydration processes assisted by power ultrasonics need high energy ultrasonic field around the samples. This requirement carries a series of issues, related to the difficulties of ultrasonic propagation through gas media, that the transducer needs to solve.

APU transducers with extensive radiator are the tools capable of generating the high-intensity ultrasonic field. An extensive radiator with a certain surface design and vibrating with high displacements is capable to provide high acoustic energy at the samples, although it carries other consequences to solve

like the appearance of undesired nonlinear effects that may affect the performance of the transducer.

The development of airborne power ultrasonic transducers with extensive radiators has to guarantee that the system is capable to operate under a high-power regime, generating the required ultrasonic field and without suffering from undesired nonlinear effects. In this case, a novel ultrasonic technology has been specifically developed to improve atmospheric freeze drying processes. The development of this technology has followed the next steps:

- Numerical design.- Using FEM methods to tune all components of the transducer to vibrate at the desired frequency and with the desired mode, without expecting modal interactions.

- Experimental characterization.- After the transducer has been built, it must be tested to confirm that the system is capable to operate under a high-power regime without showing critical nonlinearities.

- Experimental validation.- Determination the efficiency of the transducer in food dehydration.

This work deals with these steps of the development of two airborne power ultrasonic transducers with extensive radiator, obtaining a good characterization of both cases, and an enhancement of freeze drying of food samples, obtaining a process acceleration of almost 50%, which confirms the great potential of this technology in freeze drying in the food industry.