

Aplicaciones industriales de los ultrasonidos de potencia

J.A. Gallego*, G Rodríguez, E. Riera, F. Montoya^(a), F. Vázquez, L. Elvira, E. Andrés, M. Navajas^(a), J.C. Gálvez, G. Nájera, V. Acosta, A. Blanco^(a)
Departamento de Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasonicas
Instituto de Acústica, CSIC Serrano, 144, 28006 Madrid
Tel. 91 561 88 06 - Fax. 91 411 76 51
(a) Instituto de Física Aplicada, CSIC, Serrano 144, 28006 Madrid

* Coordinador de la recopilación y redacción del trabajo

PACS: 43.35 A,B,C,T

Resumen

La actividad de investigación en el campo de los Ultrasonidos, dentro del Instituto de Acústica ha estado desde sus inicios (final de los años 60 y principio de los 70), orientada hacia la resolución de problemas reales que pudieran tener una aplicación industrial. Esto ha hecho que, a lo largo de estos años, se hayan estudiado y desarrollado en la línea de los Ultrasonidos de Potencia una serie de nuevas tecnologías, de aplicación muy variada, basadas en la utilización de la energía ultrasónica para la producción de diversos efectos. Este trabajo revisa, brevemente, el desarrollo, estado actual e incidencia industrial de estas tecnologías.

Abstract

The research activity in Ultrasonics, within the Instituto de Acústica, has been oriented since its starting period (end of the 60ths and beginning of the 70ths), to the solutions of real problems for industrial applications. As a consequence, a series of new technologies, based in the use of ultrasonic energy to produce permanent effects, have been studied and developed. This paper deals with a brief review of the development, present situation and industrial incidence of these new technologies.

Introducción

Desde sus orígenes, que se remontan al final de los años 60 y principios de los 70, la actividad en el campo de los Ultrasonidos, dentro del entonces Departamento de Acústica, estuvo orientada a la resolución de problemas que pudieran ser utilizados en aplicaciones prácticas. Esto fue así, no sólo por una filosofía de las personas involucradas en esa tarea, sino también por las características de la propia herramienta ultrasónica. Los Ultrasonidos son, como es bien sabido, ondas acústicas inaudibles que cubren un rango de frecuencias que va desde aproximadamente los 16 kHz hasta los 10^{10} ó 10^{11} Hz, es decir, hasta las frecuencias asociadas a longitudes de onda comparable con las distancias intermoleculares. Este anchísimo campo de frecuencias ofrece una gran variedad de aplicaciones cuya exploración y explotación constituye, sin duda, la base del desarrollo del campo de los Ultrasonidos. En general, las aplicaciones de los Ultrasonidos se dividen en dos categorías: baja y alta intensidad. Las aplicaciones de baja intensidad son aquellas en las que las ondas ultrasónicas son utilizadas para obtener información sobre el medio en el que se propagan sin que se produzca alteración en el mismo. En cambio, las aplicaciones de alta intensidad, o de potencia, son aquellas en las que el objetivo es producir efectos permanentes en el medio utilizando la energía ultrasónica. El límite entre la baja y la alta intensidad es muy difícil de fijar, pero puede establecerse aproximadamente, dependiendo del medio, entre 0,1 y 1 W/cm².

Mientras que las aplicaciones de baja intensidad han tenido un continuo desarrollo a lo largo de casi todo el siglo XX (ensayos no destructivos, ecografía médica, sensores, etc.), el campo de los Ultrasonidos de Potencia permanece todavía, en muchos aspectos, inexplorado. En particular, la aplicación de los ultrasonidos de alta intensidad en fluidos y medios multifásicos (gases o líquidos con partículas, gotas o burbujas en suspensión y/o sólidos porosos con fluidos en su interior) representa un área potencial de investigación de notable interés y perspectivas.

Esta situación, con la que nos encontramos al final de los años 60, fue una de las motivaciones básicas para adentrarnos en este campo. Otra motivación importante residió en los buenos resultados obtenidos en el desarrollo de un nuevo tipo de generador ultrasónico de potencia para aplicaciones en fluidos (transductores de placa escalonada) que presentaba excelentes características de rendimiento y direccionalidad (ver artículo sobre el desarrollo de estos transductores en este mismo número de la Revista de Acústica). Utilizando este nuevo tipo de generador se han investigado y desarrollado una serie de aplicaciones de los ultrasonidos de alta intensidad en medios multifásicos tales como: la precipitación de partículas finas en humos industriales, la eliminación de espumas, la deshidratación de alimentos, la desecación de pastas en la extracción de minerales, el lavado de textiles y la atomización de capas líquidas.

Se han investigado también otras aplicaciones que, aunque por su naturaleza pudieran pertenecer al campo de los ultrasonidos de baja intensidad, por sus requerimientos obligaban a disponer de altas intensidades. Este es, por ejemplo, el caso del empleo de señales sónicas y/o ultrasónicas para ecolocalización y sondeos atmosféricos. Esta aplicación, muy ligada a la alta directividad de los transductores de placa escalonada, viene reseñada en el artículo que este mismo número de la Revista de Acústica se ha dedicado a estos transductores, por lo que aquí solo nos limitamos a mencionarla.

En general, las aplicaciones investigadas han estado orientadas a la resolución de problemas concretos existentes en la industria, por lo cual se han desarrollado a escala semi-industrial e incluso, en algunos casos industrial, en conexión con las empresas o sectores interesados. Esto ha dado lugar al establecimiento en los últimos quince años, de más de 20 contratos de investigación con empresas y entidades nacionales (40%) y extranjeras (60%) de muy diverso tipo, tales como ENDESA, Xerox, Guinness, Outokumpu, European Vinyls Corporation, British Steel, etc.

En este artículo, revisaremos brevemente las aplicaciones más importantes, mencionando especialmente los desarrollos tecnológicos realizados y los objetivos alcanzados.

Separación y precipitación de partículas finas en humos industriales (1)

Esta aplicación es consecuencia directa del fenómeno de la aglomeración de partículas en suspensión por la acción de campos acústicos de alta intensidad. Dada la importancia e interés de esta línea de investigación y la profundización y avances en ella logrados a lo largo de estos 25 años, tanto en los aspectos teóricos como en los experimentales y aplicados, se ha considerado conveniente dedicarle un artículo específico en este número de la Revista de Acústica. Por tanto, para mayor información, remitimos al posible lector interesado al artículo titulado "Aglomeración Acústica de Aerosoles"

Eliminación de espumas industriales (2,3,4,5)

Las espumas que son dispersiones de gas en un líquido, se producen frecuentemente en numerosos procesos industriales (industrias química, farmacéutica, alimentaria, etc.) y, en general, pueden causar dificultades en el control del proceso, en la utilización de la capacidad instalada y en el manejo de equipos. Un ejemplo típico es el de la fermentación industrial donde la eliminación del exceso de espuma representa uno de los mayores problemas.

Existen diversos métodos convencionales de desespumación basados en efectos térmicos, químicos y mecánicos. Los métodos térmicos consisten en aplicar calentamientos y enfriamientos rápidos para romper las burbujas. Estos procedimientos son, en general, difíciles y caros. Los métodos químicos emplean agentes antiespumantes que producen una disminución de la tensión superficial. Estos suelen ser muy eficaces pero tienen el inconveniente de que contaminan el proceso. Finalmente, los métodos mecánicos tratan de producir la ruptura de la burbuja mediante choques mecánicos con dispositivos rotatorios, chorros de fluidos, vacío, etc. Estos métodos sólo suelen ser eficaces con espumas de burbuja grande.

La aplicación de los ultrasonidos de alta intensidad representa una nueva aproximación limpia al problema de la desespumación industrial. La energía ultrasónica es capaz de producir ruptura de las burbujas tanto por los cambios de presión como por los efectos no lineales (presión de radiación, viento acústico, etc.) ligados a las altas intensidades.

El uso de los ultrasonidos de potencia para desespumación se conoce experimentalmente desde hace tiempo. Sin embargo, pocos sistemas se mencionan en la literatura técnica y aparentemente ninguno de ellos ha sido utilizado en plantas industriales a gran escala. Esto ha sido debido posiblemente a las dificultades planteadas por las fuentes acústicas de potencia utilizadas que, generalmente, son de tipo aerodinámico. Esas fuentes, accionadas por chorros de aire o gas, necesitan disponer de gran cantidad de fluido y además plantean problemas para su esterilización y control.

Ante esta situación, se diseñó y desarrolló un nuevo sistema de desespumación basado en los transductores de placa escalonada, objeto de otro artículo en este número de la Revista. Se trata de un sistema de tipo piezoeléctrico, potente y compacto, sin partes móviles, sin flujo de aire, por tanto, sin interferencia en el proceso y que, además, se puede esterilizar fácilmente. Este nuevo sistema se ha desarrollado en equipos de 20 kHz con potencias de 200 y 400 W y se ha aplicado con éxito en el control del exceso de espuma producido en cadenas de embotellado y enlatado de bebidas carbónicas a alta velocidad y en la disipación de espumas en fermentadores y reactores industriales.

Este sistema de desespumación ultrasónica se encuentra actualmente en la fase de desarrollo comercial.

Deshidratación de alimentos (6,7,8,9)

La deshidratación es un método para conservar alimentos y, en la actualidad existen prácticamente dos procedimientos para llevarla a cabo: el aire caliente y la liofilización. El aire caliente, que es un método ampliamente utilizado, tiene el inconveniente de producir deterioro en el alimento. En la liofilización, basada en la congelación y posterior sublimación del producto, la calidad del alimento se mantiene pero el proceso resulta costoso.

La energía ultrasónica ha sido utilizada en procesos de secado en combinación con aire caliente, permitiendo la utilización de temperaturas más bajas. La radiación ultrasónica a través del aire introduce variaciones de presión en la interfase gas / líquido aumentando la tasa de evaporación. Por otra parte se produce una extracción de líquido durante la fase negativa del ciclo acústico que no vuelve a penetrar en la fase positiva del ciclo. Además, los ultrasonidos favorecen la disminución de la capa límite de difusión. No obstante, la utilización de la energía ultrasónica por vía aérea en procesos de secado, ha sido muy limitada, probablemente porque las mejoras obtenidas han sido relativamente escasas.

En el Instituto de Acústica hemos desarrollado un nuevo procedimiento de deshidratación ultrasónica basado en la aplicación de la vibración ultrasónica en contacto directo con las muestras y en combinación con una presión estática. Los resultados obtenidos con esta nueva técnica han sido extraordinariamente positivos: el efecto del secado no sólo es de dos a tres veces más rápido que con el aire caliente, sino que además es más potente: el contenido final de humedad puede ser menor del 1%. Por otra parte, la calidad del producto se mantiene intacta.

Este procedimiento, que ha sido patentado, fue desarrollado para una industria europea y su aplicación puede hacerse extensiva a otro tipo de productos tales como la madera, el papel, etc.

Desecación de lodos en la extracción de minerales (10,11,12,13)

En los sistemas industriales de extracción de minerales se utilizan procedimientos de separación sólido / líquido basados en sistemas de filtración de diverso tipo. Uno de los sistemas más avanzados consiste en filtros cerámicos rotatorios activados por vacío que penetran en la suspensión concentrada de mineral y líquido, succionando el líquido y formando una pasta o capa de lodos sobre la superficie del filtro. Estos lodos mantienen un contenido residual de líquido que en general, es muy difícil de separar. La aplicación de los ultrasonidos de alta intensidad, siguiendo un procedimiento similar al empleado en la deshidratación de alimentos, ha demostrado ser muy eficaz. Así se ha desarrollado un sistema que, en conexión con los filtros convencionales, y actuando directamente sobre la torta de lodos permite eliminar gran parte de la humedad residual. Este sistema, basado en transductores ultrasónicos con un tipo especial de placa escalonada / acanalada, ha sido probado satisfactoriamente en planta piloto. Esta tecnología ha dado lugar a varias patentes que se han transferido a una empresa multinacional.

Lavado de textiles (14,15,16,17)

El lavado de materiales sólidos rígidos es probablemente la aplicación más conocida de los ultrasonidos de alta intensidad. La acción de la energía ultrasónica se debe principalmente a los efectos erosivos asociados a la cavitación. Sin embargo, el uso de ondas ultrasónicas en el lavado de textiles presenta notables problemas dado que, al ser las fibras flexibles, el efecto erosivo es menor y, por otra parte, la estructura reticulada de los textiles favorece la formación de capas de burbujas que impiden la penetración de la energía ultrasónica.

Durante varios años, en conexión con un grupo de empresas europeas del sector, trabajamos en el estudio de la viabilidad del uso de los ultrasonidos en el lavado doméstico de tejidos. Como consecuencia de aquella primera fase, se demostró que, con la adecuada aplicación de la energía ultrasónica, se podía alcanzar un lavado más profundo en un tiempo más corto, siempre que se mantuviese por debajo de un cierto valor el contenido de gas disuelto en el líquido y se utilizase un detergente específico. Se requería además una alta proporción de líquido respecto a la carga textil para obtener un lavado homogéneo.

En una segunda fase, una vez conocidas las posibilidades y los problemas, se dedicaron los esfuerzos al diseño de un sistema en el que se pretendía superar los requisitos de desgasificación y proporción elevada de líquido. Con esta idea se desarrolló un dispositivo en el que el tejido se expone a la energía ultrasónica en formato plano y en continuo. Se cons-

truyó un transductor de placa rectangular, especialmente diseñado, de forma que durante el proceso de lavado el tejido se mantiene en contacto o muy próximo a la placa vibrante. El tejido va sumergido en una capa somera de la solución detergente que no necesita ser desgaseada.

Los resultados de lavado obtenidos con este sistema para una serie de tejidos y manchas representativas, han demostrado que se obtiene un mayor grado de limpieza que con un sistema convencional, con un consumo energético que puede ser hasta tres veces inferior y un gasto de agua y detergente notablemente más moderado.

El sistema realizado está a escala de laboratorio y se mantienen conversaciones con empresas interesadas para poner en marcha un proceso de desarrollo.

Perspectivas futuras

El desarrollo de las tecnologías descritas, y de otras que por motivos de confidencialidad no hemos presentado aquí, ha servido para proporcionar al grupo de trabajo una profunda experiencia en la resolución de problemas industriales. De hecho, las posibilidades de aplicación de las nuevas tecnologías y herramientas de las que se dispone están en continuo

crecimiento. El principal problema, en esta etapa, reside en superar las dificultades que presentan los cambios de escala y la adaptación del producto de laboratorio o semi-industrial a ambientes y situaciones industriales. Para ello sería bueno, contar con centros tecnológicos que fuesen capaces de conectar la investigación con la industria. Pero esto no existe en España, al menos en el campo de los Ultrasonidos de Potencia. Así pues nos toca también a nosotros llevar a cabo esta tarea si queremos que los avances logrados se consoliden en aplicaciones industriales

Por otra parte, el desarrollo de aplicaciones debe estar siempre basado en un profundo conocimiento de los fenómenos básicos que las sustentan, en concreto para nuestro caso, los fenómenos no lineales ligados a altas intensidades ultrasónicas. Así pues, es necesario profundizar en el conocimiento y cuantificación de estos fenómenos.

En resumen, nuestras perspectivas están en continuar la línea de realización lo más completa posible del ciclo de investigación, desarrollo e innovación en la aplicación de los Ultrasonidos de Potencia a medios multifásicos. En esta línea creemos que, entre los campos explorados, el sector alimentario, es posiblemente uno de los que ofrece más perspectivas para nuestras capacidades y competencias, al tiempo que es de gran interés industrial.

Bibliografía

- 1.- Para bibliografía sobre esta aplicación ver artículo "Aglomeración acústica de partículas" en este mismo número de la Revista de Acústica.
- 2.- G. Rodríguez, J.A. Gallego, A. Ramos, E. Andrés, J.L. San Emeterio, F. Montoya "High power ultrasonic equipment for industrial defoaming" Ultrasonics International 85, Conference Proceedings, pp. 506-511, London 1985
- 3.- G. Rodríguez, J.A. Gallego, E. Andrés "Eliminación y control de espumas industriales mediante ultrasonidos" Química e Industria 32 (1986) G6-2
- 4.- J.A. Gallego "New technologies in high power ultrasonic industrial applications" Conferencia invitada Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, Cannes Francia, 1994, Vol. 3, pp. 1343-1352
- 5.- J.A. Gallego "Some applications of air-borne power ultrasound to food processing" "Ultrasonic in food processing" Ed. Malcom J.W. Povey and Timothy J. Manson, ed. Thomson Science, London, 1998, pp. 127-143. ISBN: 075140429
- 6.- J.A. Gallego, T. Yang, F. Vázquez, J.C. Gálvez, G. Rodríguez "Procédé et dispositif de déshydratation" Patente belga, N° solicitud 9500420, 9/5/95 Patente internacional PCT/EP9601935
- 7.- J.A. Gallego, G. Rodríguez, J.C. Gálvez, T. Yang "Deshidratación de alimentos mediante ultrasonidos de potencia" TECNIACUSTICA 95, Jornadas Nacionales de Acústica, La Coruña 8-10 Noviembre 1995, Comunicaciones pp. 125-128
- 8.- J.A. Gallego, G. Rodríguez, J.C. Gálvez, T. Yang "High intensity ultrasound for food dehydration" World Congress on Ultrasonic 1995, Berlín, 3-7 Septiembre 95. WCU 95 Proceedings, ed. Gesellschaft für angewandte Ultraschallforschung (GEFAU), Duisburg (ISBN 3-9805013-0-2), pp. 761-764. (ISBN 3-9805013-0-2)
- 9.- J.A. Gallego, G. Rodríguez, J.C. Gálvez T. Yang "A new high intensity ultrasonic technology for food dehydration" Drying Technology, (special issue on Drying and De-watering in Energy Fields) Vol. 17, N° 3, pp. 597-608, 1999
- 10.- J.A. Gallego, G. Rodríguez, L. Elvira "Dispositivo ultrasónico para la mejora de procesos de separación sólido-líquido en suspensiones" Patente Internacional PCT/ES98/00304
- 11.- J.A. Gallego, G. Rodríguez, L. Elvira, B. Ekberg, G. Norrgard "Menetelma kuivauksen tehostamiseksi" (Método para aumentar la eficiencia del secado con un aparato) Patente finlandesa N° 981292, 5/6/98
- 12.- L. Elvira, G. Rodríguez, J.A. Gallego "Ultrasonic assisted deliquoring of fine particles slurries" Acústica / Acta Acústica Vol. 86 (2000) 179-180
- 13.- E. Riera, J.A. Gallego, G. Rodríguez, L. Elvira, I. González "Application of high-power ultrasound to enhance fluid / solid particle separation processes" Ultrasonics Vol. 38 (2000) 642-646
- 14.- J. A. Gallego, G. Rodríguez, J.C. Gálvez "Investigaciones sobre la limpieza ultrasónica de textiles" Tecniacústica, Valladolid Nov. 93, Libro de Comunicaciones: Jornadas Nacionales de Acústica. Ed Univ. Valladolid y SEA, pp. 275-278
- 15.- J. A. Gallego, G. Rodríguez, M. Warmoeskerken "Sistema ultrasónico para lavado de textiles" Patente española, N° solicitud: 9401960, Sept. 1994
- 16.- J.A. Gallego, G. Nájera, G. Rodríguez, F. Vázquez, P. Van der Vlist "Procedimiento y dispositivo para lavado ultrasónico de textiles en continuo" Patente española, solicitud N° 9602092, Oct. 1996. Aprobada N° 2116930
- 17.- J.A. Gallego, G. Nájera, G. Rodríguez, F. Vázquez, P. Van der Vlist "Sistema ultrasónico para el lavado continuo de textiles" Tecniacústica, 96, Barcelona, 23-25 Octubre 1996 Revista de Acústica, Núm. Extraordinario, pp. 291-294