



NUEVAS TECNOLOGIAS ULTRASONICAS DE POTENCIA

Juan. A. Gallego-Juárez
Instituto de Acústica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
Serrano, 144, 28006 Madrid, España
tel: 91.561.88.06
fax: 91.41.76.51
email: jgallego@fresno.csic.es

SUMMARY

The applications of ultrasonic waves are generally classified into two groups: low and high intensity. High intensity applications are those wherein the ultrasonic energy is used for producing permanent effects in the treated medium.

Power ultrasound, which is related with high-intensity applications, is a promising field insufficiently exploited. This is probably due to the difficulties in the efficient generation of the ultrasonic energy and the complexity of the mechanisms involved. This paper deals with new technologies for power ultrasound generation and with their application to some industrial areas.

INTRODUCCION

Las aplicaciones de los ultrasonidos de alta intensidad son aquellas en que la energía ultrasónica se utiliza para producir efectos permanentes en el medio tratado. El uso de ultrasonidos de potencia en la industria es un campo que permanece todavía, en muchos aspectos, cerrado. En particular, la aplicación de los ultrasonidos de alta potencia en fluidos y en medios multifásicos (gases o líquidos con partículas, gotas o burbujas en suspensión y/o sólidos porosos con gas y/o líquido en su interior) constituye un área potencial que no ha sido suficientemente explotada. Esto se debe probablemente a los problemas relativos a la complejidad de los mecanismos básicos involucrados y a las dificultades existentes en la generación de ultrasonidos de alta intensidad.

Los efectos permanentes producidos en el medio tratado con ondas ultrasónicas de alta intensidad se deben principalmente a las variaciones de presión de gran amplitud. Este fenómeno básico conduce a una serie de efectos, tales como: presión de radiación, corrientes acústicas, cavitación, calor, agitación, inestabilidades en las interfases, fricción, difusión y rotura mecánica.

Para la generación y aplicación de los ultrasonidos de alta intensidad en distintos medios, se precisan transductores de potencia especiales que cumplan con los requerimientos adecuados. En particular, los medios fluidos (especialmente los gases) presentan una impedancia acústica específica baja y una elevada absorción. Por tanto, para conseguir una transmisión de energía eficaz, es necesario que se cubran los siguientes requisitos: buena

adaptación de impedancia entre el transductor y el medio, gran amplitud de vibración y emisión de haces focalizados o altamente direccionales para concentración de energía. Además, para aplicaciones industriales a gran escala, se requiere una área de radiación extensa en los transductores y gran capacidad de potencia. En la actualidad, la mayoría de los transductores de potencia comerciales son piezoeléctricos y se basan en el clásico transductor tipo Langevin complementado con una o varias líneas de transmisión, llamadas amplificadores mecánicos, formadas por elementos metálicos resonantes vibrando extensionalmente. Este tipo de transductores tiene muchas limitaciones para cumplir con los requisitos antes mencionados. Por tanto, se necesitan nuevas tecnologías de transducción en las que los puntos principales a considerar son el incremento de la capacidad de potencia y el rendimiento, la ampliación del área de trabajo y la mejora del diseño del radiador para alcanzar una distribución de la amplitud de vibración lo más uniforme posible.

Durante muchos años hemos trabajado en el desarrollo de nuevos tipos de generadores ultrasónicos de potencia para uso en fluidos y medios multifásicos con los que se ha conseguido alto rendimiento y directividad.

En este trabajo se presenta la estructura y características de estos generadores así como los avances recientes en su aplicación para el desarrollo de nuevas tecnologías de potencia para uso industrial.

ESTRUCTURA Y CARACTERISTICAS DEL NUEVO GENERADOR ULTRASONICO DE POTENCIA.

El nuevo generador ultrasónico de potencia se compone de un transductor con un radiador en forma de placa escalonada que vibra a flexión y un equipo electrónico para activar el transductor. La estructura básica del transductor se presenta en la Figura 1.

El transductor consiste principalmente de una placa vibrante de perfil escalonado pilotada por un vibrador piezoeléctrico. El vibrador se compone de un elemento piezoeléctrico de transducción en una configuración tipo sandwich y un amplificador mecánico de la vibración. La vibración extensional generada por el elemento de transducción y amplificada por el amplificador mecánico, excita la placa radiante que vibra a flexión en uno de sus modos. La superficie extensa de la placa incrementa la resistencia de radiación y da al vibrador una buena adaptación de impedancia con el medio. Además, el perfil especial de la placa permite el control de la amplitud de vibración y de la distribución de la emisión de forma que puede obtenerse radiación focalizada o altamente direccional para producir niveles acústicos de alta intensidad. La idea de diseño del perfil escalonado es la siguiente: un radiador de placa plana presenta en general una directividad pobre debido a los efectos de cancelación de fase; sin embargo, si los elementos de superficie que vibran en contrafase a ambos lados de las líneas nodales se desplazan alternativamente a lo largo del eje acústico en media longitud de onda del sonido en el medio de propagación, la radiación producida estará en fase a lo largo de todo el haz, obteniéndose un diagrama de directividad equivalente al del pistón teórico.

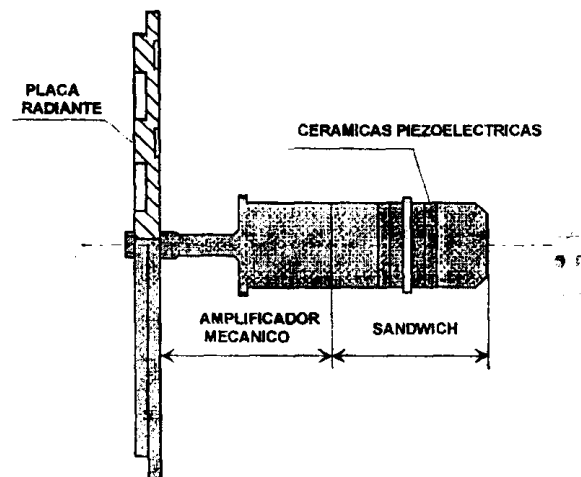


Figure 1: Estructura del transductor de placa escalonada

Siguiendo un procedimiento similar es posible alcanzar, con desplazamientos adecuados de las distintas zonas de la placa, cualquier configuración de campo acústico. Así, se diseñaron y construyeron radiadores focalizados.

Se han desarrollado distintos prototipos de transductores de placa escalonada, direccionales y focalizados para frecuencias de 10 a 40 kHz y potencias desde 100 W a 1 kW [1, 2, 3, 4]. Se han alcanzado anchuras de haz emitido (a 3 dB) de 1.5° y rendimientos electroacústicos del 80%.

El sistema electrónico para activar el transductor fue diseñado con el fin de producir una señal que, durante todo el tiempo de trabajo, se mantiene dentro de la banda correspondiente a la frecuencia de resonancia del transductor. Puesto que esta frecuencia puede variar por cambios de la carga mecánica, el circuito electrónico debe ser capaz de corregir automáticamente la frecuencia de la señal generada. El procedimiento aplicado fue mantener en fase el voltaje y la corriente en el transductor, siguiendo el principio de que los transductores piezoeléctricos tienen una impedancia eléctrica puramente resistiva en resonancia (si se compensa la capacidad interelectrónica) [5].

APLICACIONES INDUSTRIALES

Utilizando los nuevos generadores ultrasónicos de potencia, hemos investigado y desarrollado una serie de aplicaciones de los ultrasonidos de alta intensidad en fluidos y en medios multifásicos, tales como la eliminación de partículas finas en humos industriales, la desespumación industrial, la deshidratación de alimentos y el lavado de textiles.

Eliminación de partículas finas en humos industriales.

La energía acústica de alta intensidad puede producir la aglomeración de partículas finas en suspensión en un gas. Este proceso se está desarrollando actualmente para su aplicación a la precipitación de humos en las centrales térmicas de carbón, donde las partículas micrónicas y submicrónicas representan una fracción importante de las emisiones de partículas [6].

Los filtros convencionales, tales como los precipitadores electrostáticos, son generalmente ineficaces para retener partículas micrónicas y submicrónicas. Un sistema de preacondicionamiento mediante la aglomeración acústica incrementa el rendimiento de estos sistemas al desplazar el tamaño de las partículas hacia rangos mayores que pueden ser capturados fácilmente por filtros electrostáticos. Para que se alcance un desplazamiento satisfactorio en la distribución de las partículas, se deben emplear campos acústicos muy intensos (niveles de presión acústica de 140-165 dB). Por tanto, son necesarios transductores de alta potencia para el tratamiento de grandes volúmenes. Otro factor importante es la homogeneidad del campo acústico dentro de la cámara de aglomeración. Por otra parte, la frecuencia acústica determina en qué tamaño de partículas el preacondicionamiento es más eficaz: frecuencias sónicas y ultrasónicas dan los mejores resultados en los intervalos micrónico y submicrónico. La eficacia del proceso de aglomeración viene además conformada por otros parámetros tales como el tiempo de tratamiento en el aglomerador y la concentración de partículas.

Tras construir y probar varios aglomeradores de laboratorio, hemos desarrollado recientemente un sistema de preacondicionamiento acústico a escala piloto para tratamiento de humos en una planta de combustión de carbón en lecho fluidizado de 0.5 MW_t (Figura 2). La cámara de aglomeración con una longitud de 3,5 m y una sección rectangular de 0,7 x 0,5 m incluye cuatro transductores de placa escalonada dispuestos a lo largo de la cámara para alcanzar una distribución homogénea del campo acústico así como un tiempo de residencia de los humos suficiente. Se han empleado dos modelos distintos de transductores de placa escalonada para 10 y 20 kHz, permitiendo operar con frecuencias sónicas y ultrasónicas. Los campos acústicos dentro de la cámara de aglomeración presentan niveles de presión medios de 149 dB y picos de 165 dB.

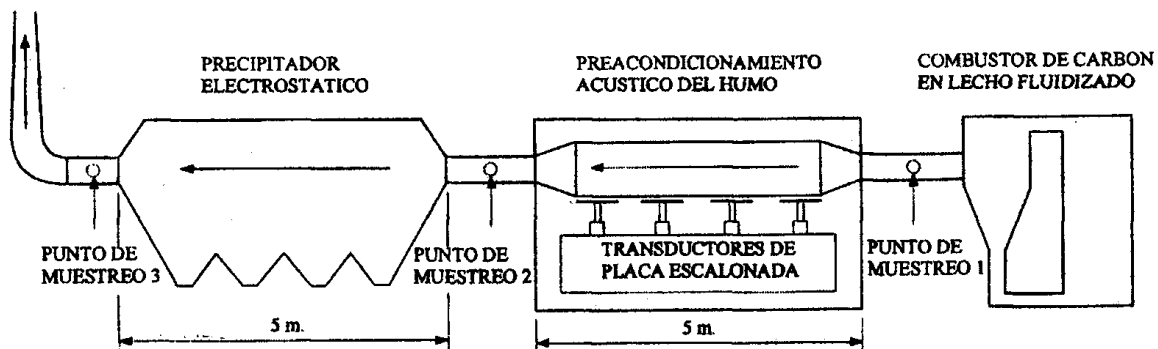


Figura 2: Preacondicionamiento de una planta piloto de proceso de humos de combustión de carbón en el fluidizado

Las Figuras 3a y 3b muestran una distribución representativa del tamaño de las partículas medida a la salida del precipitador electrostático en los intervalos submicrónicos y micrónicos respectivamente. El humo se introduce en la cámara de aglomeración a 250°C con una concentración de unos 5g/m³ y un flujo de unos 1600 m³/h.

Las curvas de la Figura 3a describen la distribución de tamaños sin tratamiento acústico (0W) y con niveles acústicos máximos (cuatro transductores de 400 W cada uno) en el rango submicrónico. La Figura 3b cuantifica el cambio de la concentración numérica de partículas en función de los distintos niveles de potencia acústica aplicada, por ejemplo, con dos transductores a 400 W cada uno (2x400W) y con cuatro transductores a 80 W (4 x 80 W) y 400 W (4 x 400 W). Está claro que mayores intensidades acústicas generan más aglomeración entre las partículas y, por tanto, implican cambios más significativos en la distribución de partículas. En general en nuestros experimentos se han obtenido reducciones del número de partículas en el rango submicrónico de hasta el 30% y en el rango micrónico de hasta el 70%.

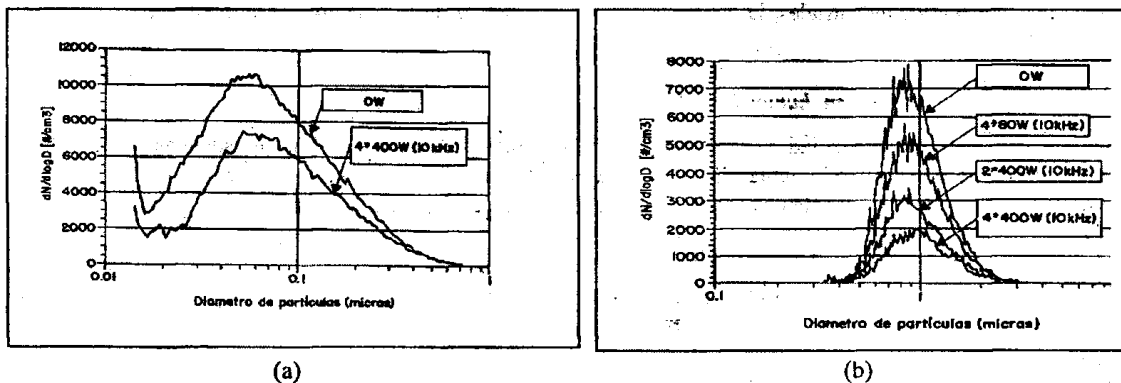


Figura 3. Distribución de tamaño de partículas sin y con pre-acondicionamiento acústico

Desespumación

La espuma es una dispersión de gas en un líquido en la que las distancias entre las burbujas individuales son muy pequeñas. En las espumas la proporción de gas en el líquido es muy alta y la densidad de la masa se aproxima a la del gas.

Las espumas se producen frecuentemente en numerosos procesos industriales. La dispersión de gases en líquidos puede ser generada por inyección de gas en el cuerpo del líquido o, si el gas está ya disuelto en el líquido, por cualquier otro procedimiento (calor, depresión...) que favorezca la coalescencia de las moléculas de gas. La generación de espuma puede también resultar de la vaporización de una fase líquida. Otro procedimiento de generación de espuma es la utilización de agentes biológicos o químicos que desprenden gas después de cierta reacción.

La espuma puede causar, en general, dificultades en el control del proceso y en el manejo de equipos. Un ejemplo típico es el de la fermentación industrial donde la espuma representa uno de los mayores problemas.

Existen distintos métodos convencionales de desespumación que emplean efectos térmicos, químicos, eléctricos y mecánicos. Los métodos térmicos se basan en la aplicación de gradientes térmicos para producir la ruptura de las burbujas. Esto implica calentamientos o enfriamientos de la espuma de distintas formas, que suelen ser, en general, procedimientos difíciles y caros. Los métodos de desespumación química emplean agentes antiespumantes que producen una disminución de la tensión superficial. Los agentes químicos de desespumación son, en general, muy eficaces pero tienen el inconveniente de contaminar el proceso. Los métodos eléctricos utilizan corriente eléctrica que pasa a través de la espuma. Las fuerzas creadas actúan de forma distinta en el líquido y en el gas. Estos métodos no son todavía bien conocidos y están poco experimentados. En consecuencia, su uso es muy restringido. Los métodos mecánicos intentan producir la ruptura de burbujas con ayuda de choques mecánicos. Distintos dispositivos rotatorios, tales como los ciclones, chorros de líquido o aire, sistemas de vacío, etc., se utilizan para romper la espuma mecánicamente. En general, los métodos mecánicos son eficaces para espumas con burbujas de diámetro grande.

El método ultrasónico puede ser incluido dentro de los métodos mecánicos. Las ondas sónicas y ultrasónicas de alta intensidad constituyen un medio limpio para romper espumas. El mecanismo de desespumación acústica, puede considerarse una combinación de los siguientes efectos [7]: presiones acústicas altas, presión de radiación,

resonancia de las burbujas y corrientes acústicas. Otros factores, tales como la atomización de la superficie de la burbuja, puede también contribuir en este fenómeno.

El uso de los ultrasonidos de potencia para desespumación se conoce desde hace varias décadas. Sin embargo, pocos sistemas de desespumación se mencionan en la literatura técnica y aparentemente ninguno de ellos ha sido utilizado en plantas industriales a gran escala. La mayoría están basados en fuentes acústicas aerodinámicas de varios tipos tales como el silbato de Hartmann, la sirena rotatoria, etc. Las principales dificultades con estos sistemas provienen de: problemas de ruido (trabajan generalmente a frecuencias sónicas), necesidad de una gran capacidad de generación de aire, control y esterilización del flujo de aire y alto consumo de energía.

Un nuevo sistema de desespumación ultrasónico ha sido desarrollado utilizando el transductor de placa escalonada. Se trata de un equipo piezoeléctrico potente y compacto sin partes móviles, sin flujo de aire y por tanto sin interferencia con el proceso y que, además, se puede esterilizar fácilmente. Este nuevo sistema se ha aplicado con éxito en el control del exceso de espuma producido en cadenas de embotellamiento y enlatado de bebidas carbónicas a alta velocidad y en la disipación de espumas en reactores.

En cadenas de embotellamiento y/o enlatado, la radiación ultrasónica en aire se enfoca en el área de trabajo donde el exceso de espuma es destruido rápidamente para evitar pérdidas de líquido (Figura 4). El nuevo sistema se ha aplicado con éxito para controlar la espuma en operaciones de envasado a una velocidad de más de 20 latas por segundo. Se utilizaron dos transductores focalizados trabajando a 20 kHz en paralelo para conseguir una operación eficiente y rápida, a fin de cubrir ampliamente la superficie de la lata con altos niveles de presión acústica (unos 165 dB). La potencia aplicada a cada transductor fue de solo 150 W, resultando un consumo de energía de tan solo unos 5 mW.h/lata.

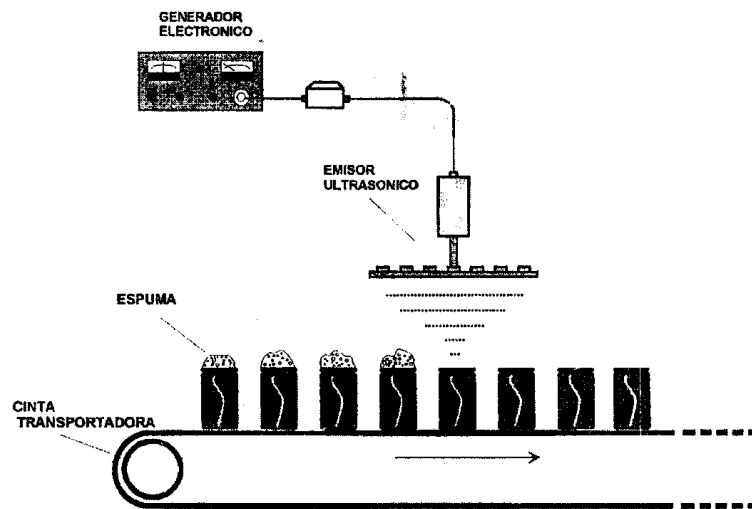


Figura 4: Control de espuma en una cadena de embotellamiento

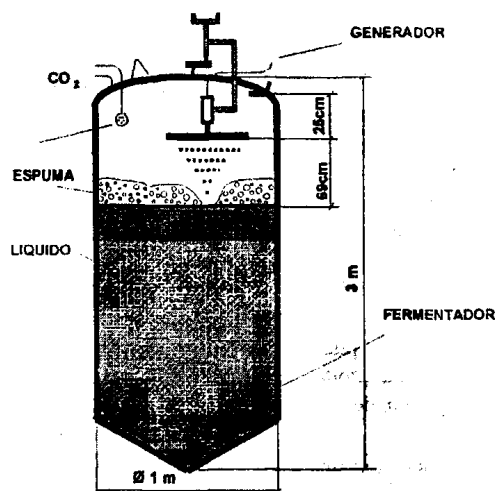


Figura 5: Control de espuma en un reactor

La Figura 5 muestra esquemáticamente la aplicación del nuevo sistema para el tratamiento de espuma en reactores. Esta técnica ha sido experimentada en un fermentador de cerveza a escala piloto. El nivel de ruptura de espuma alcanzado es de unos 200 litros/minuto con una potencia de entrada en el transductor de 300W. El consumo de energía es de unos 30 Wh/tm³. En recientes experimentos a escala industrial (tanques de 6 m de diámetro) estas cifras han sido mejoradas. La aplicación y extensión de esta nueva técnica se está desarrollando actualmente.

Deshidratación de alimentos

La deshidratación es un método para preservar alimentos. Existen básicamente dos métodos convencionales para eliminar la humedad de un material: mecánico y térmico. El secado mecánico se basa en la presión o centrifugado del material. En los secados térmicos se requiere además algún tipo de energía en forma de calor para evaporar el líquido. El primer método sirve para eliminar la humedad débilmente ligada al sólido, mientras que el segundo puede proporcionar un secado más completo del producto.

El método de secado conveniente para cada aplicación específica está relacionado con el grado de acoplamiento del líquido al material sólido. En general, se pueden considerar tres tipos de acoplamiento: químico, mecánico y físico-químico. Los dos últimos tipos pueden ser tratados con técnicas de secado convencionales. Para la deshidratación de alimentos, los sistemas actuales emplean dos procedimientos principales: secado por aire caliente y secado por liofilización. El secado por aire caliente es un método ampliamente utilizado pero puede producir deterioro en el alimento. En el secado por liofilización, en el que las piezas son primero congeladas y luego sublimadas, el deterioro del producto es despreciable pero el proceso resulta costoso.

Se ha utilizado la energía sónica y ultrasónica de alta intensidad para incrementar los rendimientos de secado. El secado por aire caliente asistido acústicamente permite el uso de temperaturas más bajas y puede ser útil para secar las materias sensibles al calor [8] [9]. Los ultrasonidos de alta intensidad aplicados a través del aire introducen variaciones de presión en las interfaces gas/líquido, aumentando la tasa de evaporación de la humedad. Durante la fase negativa del ciclo de presión la humedad se elimina y no vuelve a entrar durante la fase de presión positiva. Este mecanismo es más eficaz cuando la superficie del material está completamente cubierta de humedad. En un sistema de secado por aire forzado, el efecto de la velocidad del aire influye en la transferencia de calor y de masa. La energía acústica produce un efecto de variación de velocidad que puede incrementar la tasa de secado con una velocidad estable del aire. Además, los ultrasonidos de alta intensidad propagados por aire causan microcorrientes, en las interfaces. Esto reduce la capa límite de difusión. Por tanto, la aplicación de la energía acústica por vía aérea puede contribuir positivamente en el proceso de secado. Sin embargo, el uso de esta técnica ha sido muy limitado, probablemente por los progresos insuficientes obtenidos en los niveles de secado y/o por las dificultades prácticas para afrontar problemas a escala industrial.

A continuación se describe la aplicación de los generadores de placa escalonada para deshidratación de vegetales. Se presentan dos estudios experimentales: secado por aire forzado asistido por ultrasonidos en aire y un nuevo

procedimiento en el cual la vibración ultrasónica se aplica directamente al material junto con una presión estática [10].

El dispositivo experimental diseñado y construido para la deshidratación ultrasónica se muestra en la Figura 6. Consiste básicamente en un generador de aire caliente, un transductor ultrasónico de potencia de placa escalonada con el generador electrónico correspondiente y un placa plana paralela al radiador ultrasónico, actuando como soporte de las muestras. Además, se utilizan otros aparatos complementarios para medir la temperatura, la velocidad de flujo de aire, el campo acústico y el peso.

Las pruebas experimentales han consistido principalmente en medir el contenido en agua de las muestras de alimento después de distintos tiempos de aplicación de campos ultrasónicos de alta intensidad en combinación con la corriente de aire forzado a varias temperaturas y velocidades. En todos los experimentos, la frecuencia se mantuvo constante en unos 20 kHz, mientras se aplicaban distintos niveles de presión acústica. Las muestras de alimento a secar fueron rodajas de zanahorias de sección cuadrada (12x12 mm) o circular (14 mm de diámetro) con 2, 4 y 8 mm de espesor.

En el primer estudio experimental el transductor no estaba en contacto con las muestras de tal forma que fueron irradiadas por ultrasonidos en aire. Se generaron niveles de presión sónica de hasta 163 dB. Los resultados de estos experimentos muestran que el efecto de la radiación ultrasónica en combinación con el aire forzado es significativo a bajas temperaturas del aire pero disminuye cuando esta temperatura aumenta. Con aire forzado a unos 100°C la acción de los ultrasonidos resulta despreciable.

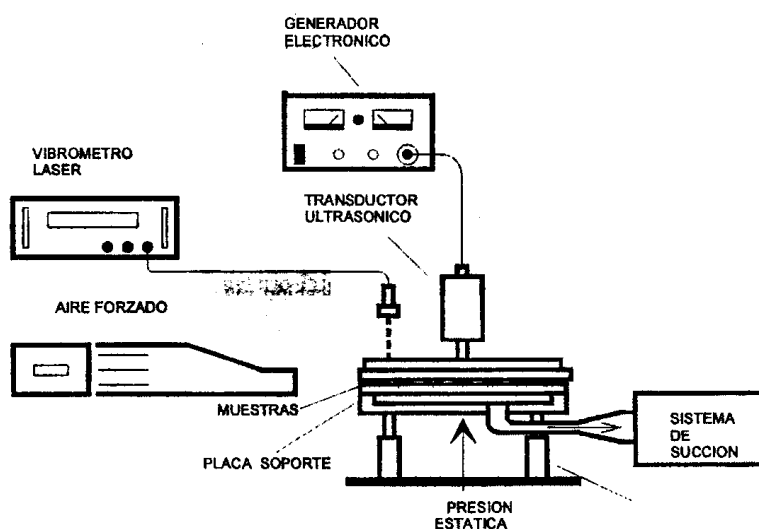


Figura 6. Deshidratación de alimentos por ultrasonidos

Con el fin de aumentar el efecto ultrasónico en la deshidratación de alimentos, se ha desarrollado y probado un nuevo procedimiento. Este ha consistido básicamente en aplicar la vibración ultrasónica en contacto directo con las muestras y junto con una presión estática. Un flujo de aire a 1m/s y a 22°C se aplicó asimismo para facilitar la eliminación de humedad. La Figura 7 muestra los resultados obtenidos con rodajas de zanahoria de 2 mm de espesor y 14 mm de diámetro. Se puede apreciar que el efecto de secado no es sólo mucho más rápido, con un consumo de energía menor que en el secado por aire caliente, sino que además es más potente: la humedad final contenida al aplicar los ultrasonidos puede ser menor del 1%. Por otra parte, debido al tiempo de proceso y a la baja temperatura del flujo de aire, la calidad del producto se mantiene casi intacta.

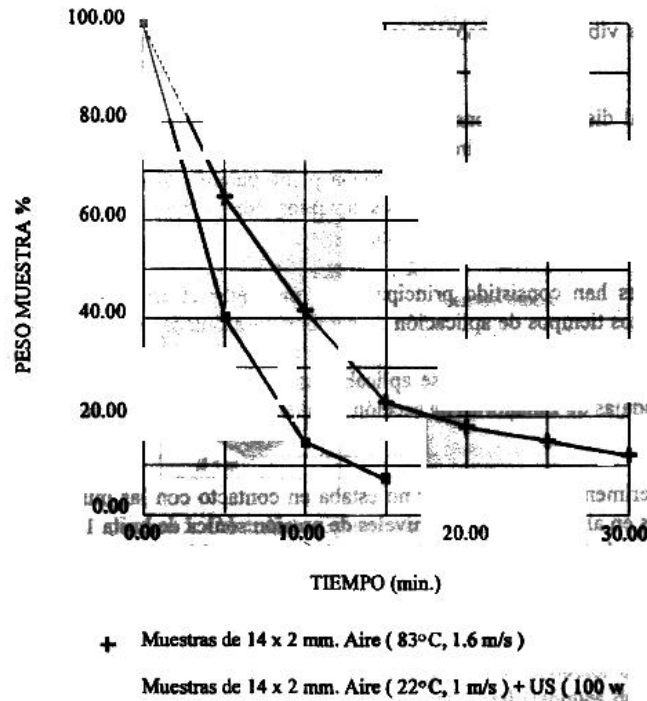


Figura 7: Curvas de deshidratación

Lavado de textiles

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 asociados con la cavitación. Sin embargo el uso de las ondas ultrasónicas para lavado de textiles presenta más problemas que para materiales sólidos rígidos. Dado que las fibras son más flexibles, el efecto de erosión es menor, y la propia estructura reticulada de los textiles favorece la formación de capas de burbujas de aire que impiden la penetración de las ondas ultrasónicas. Estas y otras razones tecnológicas han limitado la aplicación del proceso ultrasónico para lavado industrial o doméstico a pesar de las potenciales ventajas de esta tecnología, en tiempo, eficacia y consumo de energía.

Se ha intentado varias veces la aplicación de los ultrasonidos en lavadoras domésticas sin que se haya logrado ningún producto comercial. Los dispositivos propuestos se construyeron en general con transductores clásicos tipo sandwich aplicados a los tambores de las lavadoras tradicionales, no alcanzándose en la mayoría de los casos, suficiente intensidad de cavitación en todo el volumen. Por otro lado, no se tuvieron en cuenta las características de la solución detergente que juega un papel determinante. En realidad, el contenido de aire disuelto en el líquido detergente debería mantener una concentración relativamente baja para facilitar la penetración de las ondas acústicas dentro de la estructura del tejido.

Durante varios años hemos investigado, en colaboración con los Laboratorios de UNILEVER y el fabricante francés de electrodomésticos CIAPEM, el uso de los ultrasonidos para el lavado de textiles en lavadoras domésticas. Se demostró que con la aplicación de ultrasonidos se podía alcanzar un mejor lavado en un tiempo más corto con un coste de energía reducido [11, 12]. Sin embargo, se constató que para ello era preciso mantener el contenido de aire disuelto, en la solución detergente por debajo de una cierta proporción, lo que presentaba dificultades prácticas para la homogeneidad del lavado.

Con el fin de superar los problemas de desgasificación del líquido y homogeneización del lavado se ha desarrollado un sistema en el cual la ropa se expone a la energía ultrasónica en un formato plano y en continuo (Figura 8). Se utiliza un transductor de placa especial y la ropa se mantiene en contacto o muy cerca de la placa radiante [13]. En este caso la solución detergente parcialmente desgasificada resulta innecesaria. Los resultados de lavado obtenidos

con el nuevo sistema han demostrado que las prestaciones de limpieza para una serie de manchas representativas así como con muestras normalizadas de tejidos son mucho mejores que con los sistemas convencionales, con un consumo de energía tres veces menor. [14].

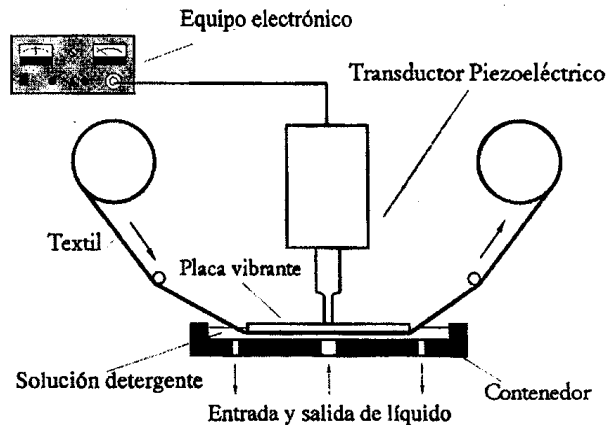


Figure 8: Esquema del sistema de lavado en continuo

Bibliografía

1. J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, L. Gaete-Garretón, *Ultrasonics*, (16) 6, 1978, 267-271.
2. J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, F. Montero de Espinosa, E. Andrés Gallegos, J.L. San Emeterio-Prieto, *Proceedings Ultrasonic International 1983*, Butterworth Co. Ltd., UK, 295-300
3. J. L. San Emeterio-Prieto, J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez Corral, *Journal of Sound and Vibration*, (14) 3, 1987, 495-505.
4. G. Rodríguez-Corral, J.L. San Emeterio-Prieto, J. A. Gallego-Juárez, *Proceedings Ultrasonic International 1987*, 794-799.
5. J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, J. L. San Emeterio-Prieto, F. Montoya-Vitini, "Electroacoustic unit for generating high sonic and ultrasonic intensities in gases and interphases", *Patente U.S.A.*, 5,299,175, march 1994.
6. J. A. Gallego, E. Riera, G. Rodriguez, J.C. Galvez, T.L. Hoffmann, F. Vazquez, J.J. Rodriguez, F.J. Gómez, M.Martin, M. Acha, F. Montoya, in "High Temperature Gas Cleaning", Ed. Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Karlsruhe 1996, 60-68
7. R.M.G Boucher and A. L. Weiner, (1963), *British Chemical Engineering* 8 (12) 808-812.
8. H.V Fairbank, (1975) *Ultrasonic International 1975 Conference Proceedings*, IPC Science and Technology Press Ltd, Guildford, UK, 43-45
9. Seya, K, (1970) *Proceedings of the First International Symposium on High-power Ultrasonics*, IPC Science and Technology Press Ltd, Guildford, UK, 136-140.
10. J. A. Gallego Juárez, G. Rodríguez-Corral, J.C. Galvez Moraleda, T.C. S Yang, *World Congress on Ultrasonics 1995*, *Proceedings*, ed. Gesellschaft für angewandte Ultraschallforschung (GEFAU), Duisburg, 761-764.
11. P. van der Vlist, S. Willemse, J.A. Gallego-Juárez, M. Warmoeskerken, G.Rodríguez-Corral, M. Kubacsi, L. Kamarad, "Cleaning Process" *European Patent*, EP9320- 1142.2, April 93.
12. J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, S. Willemse, M. Warmoeskerken, "Sistema ultrasónico para lavado de textiles" *Spanish Patent* 9401960, Sept. 1994
13. A. Gallego-Juárez, G. Nájera Vázquez de Parga, G. Rodríguez Corral, F. Vazquez Martinez, P. Van der Vlist, "Procedimiento y dispositivo para lavado ultrasónico de textiles en continuo", *Spanish Patent* 9602092, Oct. 1996
14. J.A Gallego, G. Nájera, Rodríguez, F. Vázquez, P. Van der Vlist, *Tecnicística*, 1996, Libro de Comunicaciones, 291-294.