

# Desarrollo de Técnicas de Acústica aplicadas a la industria láctea

NOTA TÉCNICA

Nicolás Pérez\*

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha desarrollado en el Uruguay una línea de investigación multidisciplinaria en el uso de técnicas acústicas aplicadas a la industria láctea. Esta presentación pretende dar una visión general de las temáticas abordadas, los grupos involucrados y algunas de las técnicas empleadas.

Los trabajos fueron iniciados en forma conjunta por el grupo de Ingeniería de Alimentos perteneciente al Instituto de Química de la Facultad de Ingeniería bajo la dirección de la Dra. Patricia Lema, por el Laboratorio de Acústica Ultrasonora perteneciente al Instituto de Física de la Facultad de Ciencias bajo la dirección del Dr. Carlos Negreira y por el grupo de Sistemas y Control a cargo del Ing. Rafael Canetti. Como parte de las capacidades que se están instalando en el Polo Agroalimentario y Agroindustrial de Paysandú (PAAP), se suma a este equipo de trabajo el Laboratorio de Física Aplicada a cargo del Dr. Nicolás Pérez.

Este grupo, formado por investigadores de Ingeniería, Ingeniería de Alimentos y Física abordó el estudio de técnicas de ultrasonido en varios problemas concretos vinculados a la industria láctea. Como ejemplo de temas estudiados puede mencionarse la determinación del tiempo de coagulación, el tiempo de “pesca” para el fin del proceso de desuerado y el seguimiento del proceso de maduración, todos ellos en la fabricación de quesos. Adicionalmente se estudió la determinación de distribución de ojos y la presencia de grietas como parte de un proceso de control de calidad posterior a la fabricación.

Desde el punto de vista académico se presentaron los resultados obtenidos tanto a nivel nacional como internacional (Brum *et al.*, 2009; Budelli *et al.*, 2012). En formación de recursos humanos esta temática dio lugar a una tesis de Maestría en Ingeniería de Alimentos de la Ing. Eliana Budelli y a parte de los trabajos de Doctorado en Física del Dr. Javier Brum.

En el futuro es de esperar una colaboración más

profunda entre los grupos que participan de estos trabajos con los investigadores radicados en la EEMAC que poseen amplia experiencia en la fase de producción primaria de la industria láctea.

## ULTRASONIDO APLICADO A LA INDUSTRIA LÁCTEA

Las técnicas de ultrasonido se aplican en diversas áreas de la industria como una forma robusta y barata de ensayo no destructivo y monitoreo de procesos. En particular, con la disminución de los costos de los equipos electrónicos asociados, en los últimos años están ganando importancia en la industria alimentaria en general y en la láctea en particular (Mason *et al.*, 1996; Patist y Bates, 2008).

Pueden pensarse tres grandes áreas de aplicación del ultrasonido en los procesos industriales.

La primera, es su uso como parte activa en el proceso productivo, por ejemplo para acelerar reacciones, producir mezclas más eficientes, rompimiento de burbujas, etc. Para ello son necesarias grandes cantidades de energía, por lo que generalmente se las denomina como aplicaciones de “ultrasonido de potencia” (de la Fuente *et al.*, 2004; Shanmugam *et al.*, 2012).

Una segunda área de aplicación puede encontrarse en la formación de imágenes por ultrasonido. Esta técnica permite la detección de niveles o interfaces dentro de un medio o la detección de cuerpos extraños en el interior de un volumen por medios ultrasónicos. Como ejemplos podemos citar la detección de cuerpos extraños dentro de los alimentos, la detección de grietas o huecos en quesos y la detección de niveles de llenado en tanques y silos (Benedito *et al.*, 2001).

Una tercera línea de aplicaciones es la relacionada con la detección de cambios en las propiedades del medio donde las ondas acústicas se propagan, éstas pueden llamarse genéricamente como aplicaciones de “caracterización de materiales”. Durante el proceso de fabricación de los alimentos existen muchos parámetros que evolucionan con el tiempo y que determinan los puntos donde comienzan o terminan

\*Ing. Elec. Polo Agroalimentario y Agroindustrial de Paysandú, EEMAC.

diferentes etapas del proceso. Una práctica habitual es que un operador humano entrenado decide cuál es el instante óptimo para efectuar una determinada operación. Las técnicas objetivas como el ultrasonido sirven tanto de ayuda para que el “maestro” tome decisiones correctas como para automatizar algunos puntos del proceso (Koc y Ozer, 2008; Nassar *et al.*, 2004).

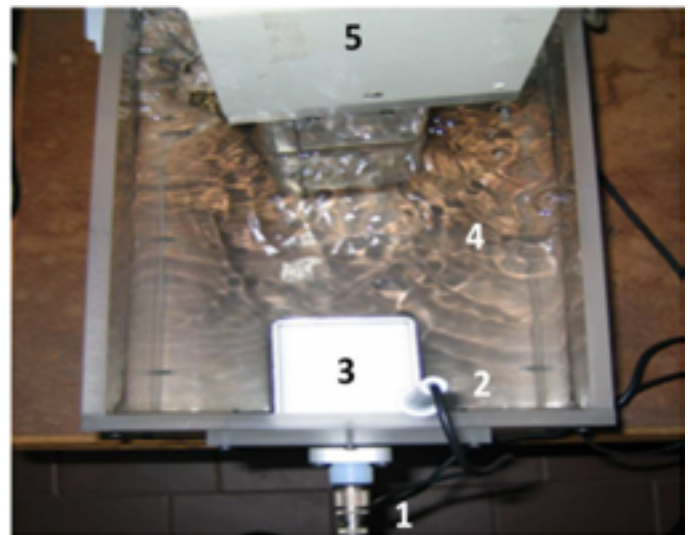
## ALGUNAS TÉCNICAS INVESTIGADAS

En este punto se describirán diversas técnicas que fueron evaluadas por el equipo de trabajo para su aplicación en la industria.

La primera técnica es la medición de tiempo de vuelo y atenuación del ultrasonido en una celda controlada. Esta técnica está reportada por diversos autores en la literatura como una alternativa válida para la determinación del tiempo de corte en la coagulación de la leche durante la producción de queso. Para evaluar su comportamiento se construye una celda de laboratorio donde se mantiene la temperatura controlada y se mide el tiempo que un pulso de ultrasonido demora en propagar por la celda y la energía contenida en dicho pulso.

La idea es que cuando la leche comienza a coagular cambian las propiedades mecánicas de la misma, tanto la densidad como los módulos de elasticidad, pasando de líquido a un sólido viscoelástico. Dichos cambios deben producir efectos tanto en la velocidad con que las ondas se propagan como en la energía absorbida por el medio a medida que se hace más viscoso. Las medidas realizadas en laboratorio son muy precisas, permitiendo una determinación del tiempo de vuelo con una resolución de nanosegundos y variaciones menores al 1% en la energía transmitida. Contrariamente a lo reportado en la literatura, como resultado de este trabajo se concluyó que dichas técnicas son viables sólo en escala de laboratorio debido a la influencia de la temperatura en el tiempo de vuelo y a la formación de “nata” en las medidas de atenuación (Budelli *et al.*, 2012). Para solucionar estos problemas se está trabajando en una técnica original basada en pérdidas de energía en un sistema resonante. Esta técnica se mostró más robusta frente a factores de difícil control en el proceso industrial como la temperatura y la composición de la leche, por lo que se considera una buena alternativa para la aplicación práctica.

Una técnica muy diferente fue utilizada para el monitoreo de la maduración en quesos duros. Una vez finalizado el queso se lo deja estacionado en una



**Figura 1.** Montaje para medida de tiempo de vuelo en laboratorio. Obsérvese los elementos típicos de un ensayo de estas características, (1) Transductor emisor – receptor de ultrasonido, (2) Sensor de temperatura, (3) Cámara con leche, (4) Baño termoestático, (5) Controlador de temperatura.



**Figura 2.** Montaje para simular las condiciones de medida en planta. En este caso se construye una celda totalmente sumergida en el baño termostático de forma de reproducir las condiciones de borde de la leche en una condición real.

cámara de maduración, con temperatura y humedad controladas. Con el paso del tiempo el queso pierde agua y endurece su estructura, existiendo un tiempo “óptimo” para retirar el queso de la cámara. La técnica utilizada en este caso consiste en dar golpes controlados al queso y analizar el patrón de vibración obtenido como respuesta al golpe. Intuitivamente se espera que quesos más maduros sean más rígidos lo que produce frecuencias de vibración más altas.

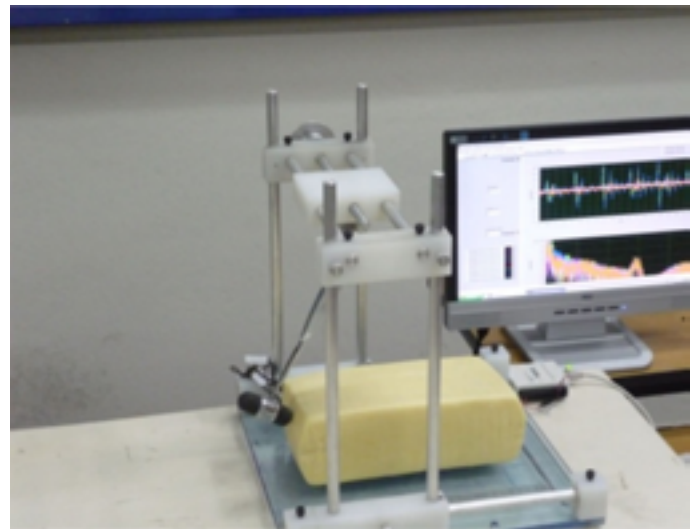
Sin embargo, los componentes de frecuencia que componen la respuesta al golpe dependen fuertemente de la estructura, que también cambia. Esto hace

que sea simple detectar cambios pero no tan simple relacionarlos con la rigidez. Para ello, se desarrolló una técnica original de procesamiento de señales que permite la estimación directa del módulo de elasticidad a partir de la respuesta obtenida en varios puntos vecinos. Es de destacar que este trabajo (Brum *et al.*, 2009) ganó el premio INNOVA 2009 en el IV Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos, evento realizado en Montevideo en octubre de 2009. Actualmente se cuenta con un prototipo de laboratorio de dicha técnica pero debe continuarse su estudio para aplicarlo en escala industrial.

Un ejemplo de aplicación más simple es la detección de grietas en quesos duros. Esto, muchas veces es considerado como un defecto y debería detectarse en el control final de calidad. Las grietas se detectan directamente por transmisión del ultrasonido entre las caras del queso. El problema consiste en que el queso es un medio fuertemente atenuante y una onda de ultrasonido en la banda de frecuencias habitual en ecografía, no logra transmitirse al otro lado. Aquí la solución consiste en bajar la frecuencia, lo que disminuye la atenuación, pero manteniendo un compromiso de permitir detectar grietas parciales en el interior del queso. Técnicas similares pueden aplicarse a la detección de objetos extraños o a la distribución de ojos en el interior. Sin embargo, la determinación estadística de la distribución de ojos es una línea de investigación a ser desarrollada.

## CONCLUSIONES

Las técnicas de ultrasonido se presentan como una alternativa para el monitoreo de procesos en la industria alimentaria en general, y en particular, en



**Figura 3.** Montaje para ensayo de maduración en quesos. La respuesta a un golpe desde una altura controlada es adquirida por un computador utilizando 8 sensores simultáneos.

la industria láctea. Sin embargo, es de destacar que no se conocen referencias de su aplicación a nivel nacional, aunque sí se encuentran algunas primeras aplicaciones a nivel internacional.

La principal causa de la falta de aplicación práctica de estas técnicas es la gran variabilidad que presentan las condiciones en que se desarrollan los procesos, por lo que es necesaria más investigación aplicada para vincular los parámetros reales del proceso con las medidas realizadas.

En nuestro país se comenzaron estudios tendientes a la aplicación de estas técnicas; en particular, se estudió el seguimiento del tiempo de coagulación en quesos, el tiempo de maduración, el proceso de desuerado y la detección de defectos en quesos.

Se espera que esta línea de trabajo pueda continuarse en el nuevo laboratorio instalado en el PAAP potenciado por la interacción con los investigadores de la EEMAC y con la industria quesera de la región.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENEDITO, J.; CARCEL, J.; GISBERT, M.; MUMET, A. 2001.** Quality Control of Cheese Maturation and Defects Using Ultrasonics. *Food Engineering and Physical Properties*. Vol. 66, No 1, pp. 101-104.
- BRUM, J.; BARRIOS, S.; ARES, G.; LEMA, P.; CANETTI, R.; NEGREIRA C. 2009.** Aplicación de Elastografía por Retorno Temporal a la evaluación de textura en quesos. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay* (2009), No 4, pp. 37-40.
- BUDELLI, E.; PÉREZ, N.; LEMA, P.; NEGREIRA C. 2012.** Analysis of ultrasonic techniques for monitoring Milk coagulation during cheesemaking. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 42 (2012).
- DE LA FUENTE, S.; RIERA, E.; GALLEGO, J. 2004.** Effect of Power Ultrasound on Mass Transfer in Food Processing. 18th International Congress on Acoustics, Ultrasound. 5. Industrial application of nonlinear acoustics, We2.A.4.
- KOC, A; OZER, B. 2008.** Nondestructive monitoring of renneted whole milk during cheese manufacturing. *Food Research International*, Vol. 41, No 7, pp. 745-750.
- MASON, T. J.; PANIWNKY, L.; LORIMER, J. P. 1996.** The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry* 3. pp. 253-260.
- NASSAR, G.; NONGAILLARD, B.; NOEL, Y. 2004.** Study by ultrasound of the impact of technological parameters changes in the milk gelation process. *Journal of Food Engineering*, Vol. 63, No 2, pp. 229-236.
- PATIST, A.; BATES, D. 2008.** Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Vol 9, No 2, pp. 147-154.
- SHANMUGAM, A.; CHANDRAPALA, J.; ASHOKKUMAR, M. 2012.** The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Article in press, available online at.