

# Propiedades acústicas aplicadas a la determinación de los parámetros de calidad interna de productos hortofrutícolas



Belén Diezma

*Belén Diezma. Dra. Ingeniera Agrónoma  
Margarita Ruiz-Altisent. Catedrática Universidad. Dra. Ingeniera Agrónoma  
Laboratorio de Propiedades Físicas de los Productos Hortofrutícolas.  
Dpto. Ingeniería Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.  
Universidad Politécnica de Madrid.  
e-mail: [bdiezma@iru.etsia.upm.es](mailto:bdiezma@iru.etsia.upm.es)*

PACS: 43.40.Le

## RESUMEN

Las propiedades mecánicas y la firmeza de frutas y hortalizas son buenos indicadores de su grado de madurez y de su posible vida en estantería. Consecuentemente, se han desarrollado diversas técnicas para la medida de estas propiedades en un intento de desarrollar métodos de clasificación de los productos en función de sus factores de calidad. Desde la década de los años 60 se han propuesto técnicas y dispositivos basados en la respuesta acústica al impacto o en las vibraciones forzadas, para intentar correlacionar las características dinámicas con la calidad interna de los productos en estudio. Se han estudiado diferentes coeficientes de firmeza, como  $f^2m^{2/3}$  y  $f^2m$  (siendo  $f$  la primera, segunda o tercera frecuencia natural según la fruta ensayada, y  $m$  la masa de la misma) y otros parámetros acústicos en numerosos productos hortofrutícolas. En el artículo se revisan los principales dispositivos y aplicaciones desarrollados hasta el momento.

## ABSTRACT

Mechanical properties and firmness of fruits and vegetables are good indicators of their maturity, degree of ripeness and expected shelf life. Consequently, techniques for measuring mechanical properties have been intensively investiga-

ted in an attempt to develop sorting methods based on quantifying fruit quality factors. Since the late 1960s, techniques using vibration or acoustic responses of fruit have been proposed to correlate dynamic characteristics with internal quality. Firmness indicators, such as  $f^2m^{2/3}$  and  $f^2m$  ( $f$  being the first, second or third natural frequency of the tested fruit,  $m$  being its mass) and other acoustic parameters have been tested on various fruits and vegetables. The main devices and applications are revised in the paper.

## 1. Introducción

En el estudio de materiales se han desarrollado métodos dinámicos para la determinación de las propiedades elásticas de muestras homogéneamente constituidas como alternativa a los métodos estáticos de compresión o similares. Las técnicas de determinación de la frecuencia resonante son ensayos utilizados para caracterizar las propiedades elásticas de metales, cerámicas, aleaciones y compuestos (Lemmens 1990). Para objetos homogéneos y con geometrías simples (cilindros, discos, esferas, anillos...), es posible establecer expresiones que relacionan las frecuencias resonantes con las propiedades del material (módulo de elasticidad, densidad...) y las propiedades geométricas (dimensiones y forma) (Blevins 1993). La energía que es aplicada a la estructura es

amplificada a unas determinadas frecuencias, son las frecuencias resonantes; el valor de cada frecuencia resonante es dependiente de la geometría, la densidad y las propiedades elásticas de la muestra.

La traslación de las posibilidades de estas técnicas a los productos hortofrutícolas ha de sortear algunas dificultades inherentes a los productos, como son las heterogeneidades en sus estructuras y formas irregulares y variables. A pesar de ello, ya a mediados del siglo pasado se iniciaron investigaciones que consideraban la posibilidad de emplear las propiedades acústicas de los productos hortofrutícolas como indicadores de sus características texturales.

## 2. Aplicaciones en el rango de frecuencias audible para la determinación de las características texturales de los productos hortofrutícolas

Tradicionalmente se ha empleado la práctica de golpear algunas frutas y hortalizas y atender al sonido que se produce para tener una idea de su estado de madurez. Tratando de emular esta práctica algunos autores han desarrollado dispositivos basados en la llamada técnica de “impulso acústico” o “respuesta acústica al impacto”, en los que la excitación de la muestra se produce cuando ésta es golpeada de forma controlada por un cuerpo impactante. Otros autores excitan la muestra sometiéndola a vibraciones de frecuencias determinadas, son las técnicas de “vibración forzada”. Atendiendo a esta división, a continuación se describen diferentes aplicaciones de estos métodos.

La textura es un parámetro cualitativo complejo y variable de gran importancia en la valoración de las frutas y hortalizas de consumo en fresco. Diferentes factores, como el estado del agua, las propiedades físicas de las paredes de las células y la estructura de los tejidos, actúan conjuntamente para determinar la resistencia, firmeza y elasticidad, características que, junto con otras, conforman la textura. La importancia de este atributo ha conducido a numerosos grupos de investigadores a desarrollar métodos destructivos y no destructivos para determinar objetivamente parámetros de caracterización de la textura. En este marco, el desarrollo de técnicas y dispositivos que analizan la respuesta vibratoria de los productos hortofrutícolas se ha dedicado en gran medida al estudio de la textura.

### 2.1. Vibración forzada

Los primeros trabajos se centraron en el estudio de manzanas (Abbott et al. 1968), en ellos la muestra era suspendida de un hilo y una varilla metálica en contacto con la superficie de la fruta era excitada a unas frecuencias de

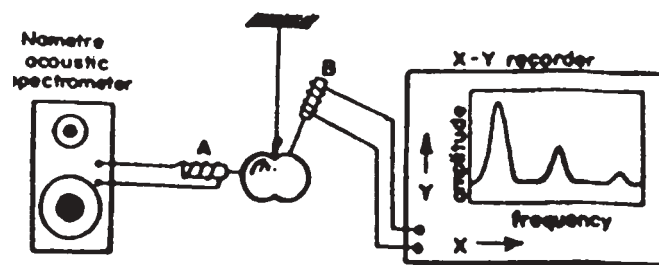


Figura 1: Esquema del dispositivo de vibración forzada desarrollado por Abbott en 1968

terminadas (de 50 a 2.200 Hz) y transmitía esa excitación a la manzana (ver Figura 1). La vibración era recogida con otra varilla muy ligera, uno de cuyos extremos descansaba sobre la región superior de la fruta y en el lado opuesto a la excitación, y el otro contactaba con un material piezoeléctrico que transducía la señal mecánica a señal eléctrica, la cual era representada como una amplitud, se obtenía así una representación de la frecuencia frente a la amplitud.

En el espectro de la manzana se observó una frecuencia resonante, concretamente el segundo pico de amplitud del espectro, relacionado con la firmeza de la fruta, aunque se vio que también estaba relacionado con la masa, de modo que se definió el llamado “coeficiente de rigidez” o “coeficiente de firmeza”,  $f^2.m$ , en el que  $f$  es la frecuencia en Hz a la que se produce el segundo pico del espectro y  $m$  es la masa.

Con esa experiencia y conocimiento previos se desarrollaron otras investigaciones en las que se avanzó tanto en la implementación de los dispositivos como en la aplicación a otros productos, por ejemplo a melocotones (Finney 1970). Así, se utilizaron vibradores electromagnéticos para producir la excitación en las muestras, y acelerómetros miniatura para la adquisición de las correspondientes respuestas. Aunque se mantuvo básicamente el estudio de las frecuencias resonantes como indicadores de las características de firmeza de los productos, se modificó la expresión del coeficiente de rigidez. Tomando como base modelos teóricos y estudios empíricos, la nueva expresión propuesta fue  $f^2.m^{2/3}$  (Cooke and Rand 1973), donde  $f$  pasa a ser el primer, segundo o tercer pico resonante según autores y productos, y  $m$  sigue siendo la masa del producto.

En investigaciones posteriores se estudió la extensión del coeficiente de rigidez a especies con mayores heterogeneidades estructurales como los tomates (Chen and De Baeremaeker 1990), obteniendo buenos resultados. Asimismo, se han descrito modelos de la evolución de la firmeza en dife-

rentes variedades de manzanas a lo largo de largos períodos de almacenamiento en función del coeficiente de rigidez (Abbott et al. 1995).

A pesar de las posibilidades ampliamente demostradas, que ofrece la utilización del coeficiente de rigidez para evaluar las características texturales su implementación práctica hay que realizarla para cada aplicación atendiendo a una serie de factores que afectan críticamente al éxito del dispositivo. En lo que se refiere a los soportes y los medios de contacto entre estos y las muestras, han de constituir estructuras que produzcan la mínima atenuación posible de la vibración en la región de interés; se recomiendan arcillas o medios granulados. Por otro lado, las localizaciones de la excitación y la recogida de la respuesta tienen también influencia en la importancia relativa de las diferentes frecuencias resonantes del espectro.

Las últimas tendencias apuntan a sustituir los acelerómetros, que precisan estar en contacto directo con la muestra, por vibrómetros láser por efecto Doppler (LDV), que son instrumentos ópticos que permiten realizar las medidas de las vibraciones sin necesidad de establecer contacto con la muestra. Muramatsu et al. 1999 emplearon un LDV (ver Figura 2) para captar las vibraciones producidas en la superficie de la fruta sometida a una excitación vibratoria; la frecuencia de la onda del láser reflejado por la superficie varía en función de la velocidad de vibración. Se obtuvieron resultados esperanzadores al tratar de relacionar las medidas del dispositivo con las medidas destructivas de firmeza en kivas, peras y melocotones. Como desventaja de la técnica para su aplicación a la determinación de calidad en frutas, ha de señalarse el tiempo de duración de la medida, que para hacer un barrido de 5 a 2.000 Hz lleva varios minutos. Sin embargo, si se reduce el número de frecuencias del barrido a aquéllas que previamente se mostraran de interés, se disminuiría también el tiempo de adquisición de la medida.



Figura 2: Vibrómetro láser por efecto Doppler

## 2.2. Respuesta acústica al impacto

En la historia de la implementación de esta técnica se ha ido avanzando en diferentes aspectos básicos de la misma: por un lado en el modo de generación del impacto, y por otro lado en los elementos sensores para la adquisición de la excitación y en el tratamiento de la señal.

Una de las primeras aplicaciones de la respuesta acústica al impacto la desarrolló Saltveit et al. 1975. En este trabajo se intentó relacionar el sonido que produce un tomate al ser golpeado con el dedo índice y el tiempo necesario para que alcance el estado de viraje. Para ello se golpeó las muestras y se grabó el sonido producido. A pesar de que las señales acústicas mostraron ciertas tendencias que permitieron marcar diferencias entre lotes en lo que se refiere al estado de madurez, la dispersión de los datos fue tal que dio lugar a numerosos errores en la clasificación de individuos.

En aplicaciones subsiguientes se ha sistematizado la aplicación del impacto, de modo que se ha tratado de acotar la posible variabilidad debida a la excitación. Chen, Sun, and Huarng 1992 utilizaron una varilla flexible con un disco metálico en uno de sus extremos y demostraron la influencia del impacto en la señal espectral obtenida, así, en sus trabajos con manzanas, mostraron que el tiempo de impacto influía en la segunda y sucesivas frecuencias resonantes, porque un tiempo de contacto de  $T$  segundos excita las vibraciones correspondientes, aproximadamente, a las frecuencias resonantes  $1/T$  Hz. Con este conocimiento previo, los siguientes estudios han aplicado métodos de impacto optimizados para cada caso: sistemas pendulares con cabezas impactantes de diferentes materiales y/o pesos, varillas controladas por muelles recuperadores...

En la mayor parte de estas aplicaciones se ha implementado la adquisición de la señal utilizando un micrófono situado a unos milímetros de la superficie de la muestra a estudiar. La colocación más habitual del micrófono ha sido el punto situado enfrente del punto de excitación (Duprat et al. 1997), Schotte, De Belie, and De Baerdemaeker 1999, Herpich et al. 2003...), aunque no han faltado casos en los que la toma del sonido se ha hecho con micrófonos situados a unos pocos centímetros del punto de impacto en la misma cara de la fruta estudiada (Sugiyama et al. 1998)(ver Figura 3). Una característica ventajosa del empleo de micrófonos lo constituye el hecho de que no se precisa contacto entre la fruta y el transductor, incluso que se produzca este contacto es un factor de distorsión en la señal. Esta ventaja facilitó la adaptación de un dispositivo de respuesta acústica al impacto para su instalación en una línea rotativa ubicada en el interior de una cámara frigorífica de almacenamiento, con el fin de contar con un sistema automatizado de control de la

evolución de la firmeza durante el almacenamiento (De Belie et al. 2000a). Frente a la alternativa de adquisición de la señal mediante un micrófono, se sitúan otras que sí requieren de contacto entre los sensores y la muestra: acelerómetros y algunos sensores piezoeléctricos.



Figura 3: Dispositivo de respuesta acústica al impacto portátil dotado de dos micrófonos situados en las proximidades del punto de impacto (Sugiyama et al. 1998)

Los acelerómetros, elementos frecuentes en las técnicas de vibración forzada, se han introducido en algunas aplicaciones de la respuesta acústica al impacto cuando el ensayo se ha realizado sobre producto en árbol para medir el estado de firmeza del mismo y así estimar la fecha óptima de recolección (De Belie et al. 2000b) (ver Figura 4). Otros investigadores (Shmulevich, Galili, and Rosenfeld 1994, Galili, Shmulevich I., and Benichou N. 1998) han implementado elementos sensores constituidos por una película piezoeléctrica flexible (lámina de polivinilideno fluorado recubierta con dos capas de conductores), para la determinación de la firmeza de nectarinas, mangos y aguacates entre otros productos (ver Figura 5). Un dispositivo portátil basado también en la recogida de la señal mediante un sensor piezoeléctrico fue diseñado por Farabee and Stone 1991 y aplicado a dos productos tan diferentes como sandías y melocotones (ver Figura 6).



Figura 4: Dispositivo portátil para ensayo de respuesta acústica al impacto en fruta en árbol (De Belie et al. 2000)

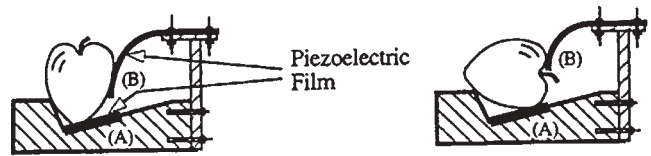


Figura 5: Esquema de dispositivo de respuesta acústica al impacto con película piezoeléctrica flexible como elemento sensor (Shmulevich et al. 1994)

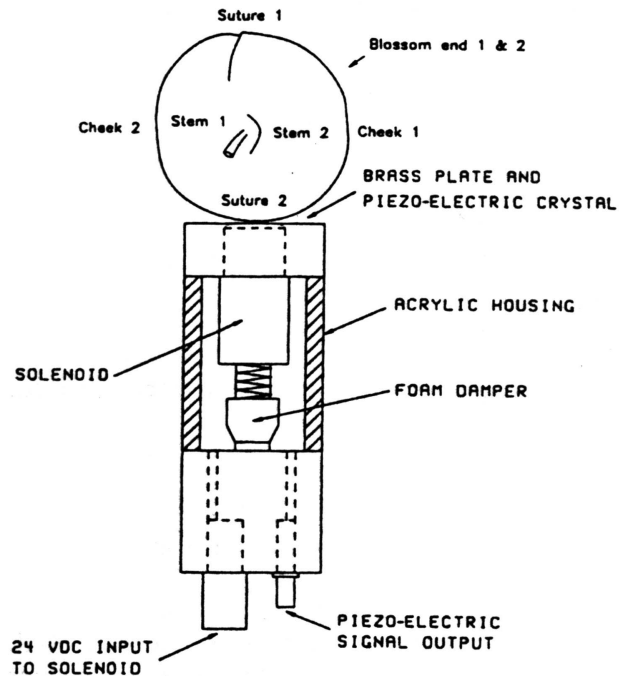


Figura 6: Dispositivo con sensor piezoeléctrico y excitación mediante impacto desarrollado por Farabee, 1991.

Las señales recogidas por cualquiera de los dispositivos mencionados son señales en el dominio del tiempo. La mayor parte de las aplicaciones utiliza parámetros acústicos extraídos del espectro en frecuencias. Para la obtención del espectro en frecuencias a partir de la señal en el tiempo se aplica el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT), solución computacional que optimiza el tiempo y el modo de cálculo del algoritmo que permite establecer la dualidad entre la señal en el tiempo y la señal en frecuencias (Figura 7). En algunos casos se ha utilizado el ya explicado coeficiente de rigidez ( $f^2 m^{2/3}$ ); en otros se han definido parámetros alternativos como las magnitudes de banda, que se definen como el sumatorio de las magnitudes del espectro comprendidas entre dos frecuencias determinadas. Intentando soslayar la falta de resolución del espectro que se obtiene de los productos hortofrutícolas, algunas propuestas optan por medir la velocidad de la onda acústica transmitida a través del producto empleando para ello dos micrófonos separados entre sí una distancia conocida.



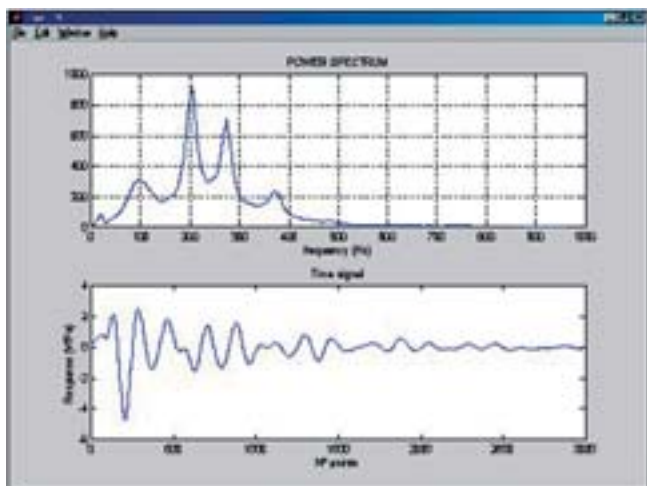


Figura 7: Señal en el dominio del tiempo (imagen inferior) y su correspondiente señal en el dominio de la frecuencia obtenida al aplicar la FFT (imagen superior)

### 2.3. Aplicaciones más destacables

En definitiva, considerando la base física teórica que relaciona el comportamiento dinámico de un cuerpo que es sometido a un impulso mecánico excitador o a una vibración forzada, con sus características estructurales, se han propuesto diferentes soluciones para establecer las características texturales de numerosos productos hortofrutícolas.

Así, se han relacionado algunos parámetros acústicos con la evolución del módulo de elasticidad de manzanas y peras en árbol y en condiciones de almacenamiento. En tomates se han establecido correlaciones entre el coeficiente de firmeza y los resultados de evaluaciones sensoriales de paneles de expertos. Se ha medido la velocidad de transmisión de la onda acústica en melones, manzanas y peras y se ha relacionado con la firmeza de la pulpa. A partir de datos experimentales se ha modelizado el valor del coeficiente de firmeza frente a los días de almacenamiento de ciruelas, nectarinas, mangos y aguacates. Con un mismo dispositivo se ha caracterizado la firmeza de



Figura 8: Equipo acústico de sobremesa para la determinación de la firmeza en frutas. Comercializado por la empresa holandesa AWETA

productos tan dispares como melocotones y sandías. En investigaciones recientes se ha estudiado el efecto del estado del agua en la elasticidad de los tejidos de rábanos analizando para ello el espectro de esta especie (Herppich et al. 2003).

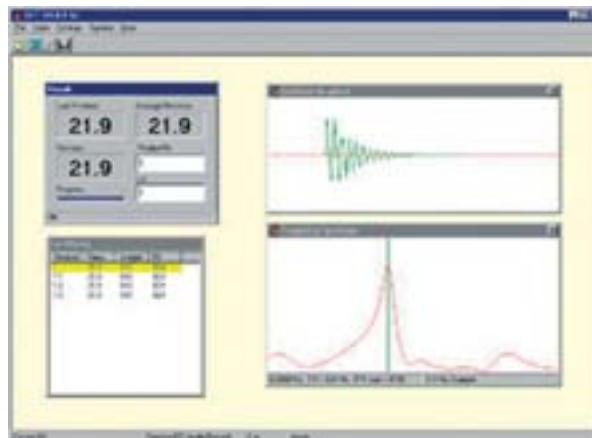
Analizando los últimos trabajos en esta línea se puede afirmar que en el ámbito de la investigación el coeficiente de rigidez está comenzando a ser una medida de referencia en lugar de un parámetro asociado a un método en estudio, como lo atestigua el hecho de que se ha empleado para aceptar o rechazar hipótesis referidas a otras técnicas o prácticas, por ejemplo, la respuesta acústica al impacto se ha utilizado para evaluar la evolución de la firmeza en almacenamiento de manzanas procedentes de parcelas con sistemas de producción orgánico e integrado respectivamente (Róth, Kovács, and Felföldi 2003).

Además de la determinación de características relacionadas con la textura de frutas y hortalizas, se ha estudiado la viabilidad de estas técnicas para la detección de unidades afectadas de problemas de calidad interna como magulladuras sin síntomas externos evidentes (Armstrong, Stone, and Brusewitz 1997), o fisiopatías como pardeamiento interno en peras (Schrevens et al. 2001) o ahuecados en sandías (Diezma, Ruiz-Altisent, and Orihuel 2002).

### 3. Transferencia de la técnica al sector

El nivel de desarrollo y transferencia de la técnica al sector hortofrutícola puede analizarse considerando dispositivos para su uso en laboratorios o condiciones similares, dispositivos portátiles para el análisis en campo con producto sobre planta y dispositivos para su implementación en líneas de escandallo o de clasificación y manipulación de frutas.

Aunque como ya se ha mostrado, los avances en esta línea de investigación han conducido al desarrollo de dispositivos portátiles y de sistemas para su instalación en líneas de frutas, el esta-



do de los mismos todavía no ha permitido su uso generalizado en ámbitos ajenos a la investigación, y por tanto su transferencia al sector. Sin embargo en lo que se refiere a dispositivos de sobremesa para su utilización en condiciones similares a las de laboratorio, se comercializan ya algunos sistemas, como el ofrecido por la empresa holandesa Aweta. Este equipo comercial se basa en los prototipos desarrollados por el grupo de investigación de la Universidad Católica de Lovaina dirigido por el Profesor De Baerdemaeker (Schotte, De Belie, and De Baerdemaeker 1999, De Belie et al. 2000b), y se presenta como equipo de laboratorio optimizado para la determinación de la firmeza de manzanas y tomates, capaz de realizar 20 medidas por minuto.

## Referencias bibliográficas

- Abbott, J. A., G. S. Bachman, R. F. Childers, Fitzgerald J.V., and F. J. Matusik. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology* 22: 635-46.
- Abbott, J. A., Massie D.R., Upchurch B.L., and Hruschka W.R. 1995. Nondestructive sonic firmness measurement of apples. *Transactions of the ASAE* 38(5): 1461-66.
- Armstrong, P. R., M. L. Stone, and G. H. Brusewitz. 1997. Non-destructive acoustic and compression measurements of watermelon for internal damage detection. *Sensors for Nondestructive Testing*.
- Blevins, R. D. 1993. Formulas for natural frequency and mode shapes. Florida, USA: Krieger Publishing Company.
- Chen, H., and J. De Baerdemaeker. 1990. Resonance frequency and firmness of tomatoes during ripening. *FIMA,90. Seminario internacional sobre da?os por impacto en frutas y hortalizas*.
- Chen, P., Z. Sun, and L. Huang. 1992. Factors affecting acoustic responses of apples. *Transactions of the ASAE* 35, no. 6: 1915-19.
- Cooke, J. R., and R. H. Rand. 1973. A mathematical study of resonance in intact fruits and vegetables using a 3-media elastic sphere model. *J. Agric.Engng. Res.* 18: 141-57.
- De Belie, N., S. Schotte, P. Coucke, and J. De Baerdemaeker. 2000a. Development of an automated monitoring device to quantify changes of firmness of apples during storage. *Postharvest Biology and Technology* 18, no. 1: 1-8.
- De Belie, N., S. Schotte, J. Lammertyn, B. Nicolai, and J. De Baerdemaeker. 2000b. Firmness changes of pear fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. *J. Agric. Engng. Res.* 77, no. 2: 183-91.
- Diezma, B., M. Ruiz-Altisent, and B. Orihuel. 2003. Acoustic impulse response for detecting hollow heart in seedless watermelon. *Acta Horticulturae n° 599. Proceeding of the International Conference Postharvest Unlimited*
- Duprat, F., Grotte M., Pietri E., and Loonis D. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness to fruit. *J. Agric. Engng. Res.* 66: 251-59
- Farabee, Mark L., and Marvin L Stone. 1991. Determination of watermelon maturity with sonic impulse testing. *ASAE Meeting Presentation*. Paper No. 91-3031
- Finney, E. E. 1970. Mechanical resonance within Red delicious apples and its relation to fruit texture. *Transactions of the ASAE* 13: 177-80.
- Galili, N., Shmulevich I., and Benichou N. 1998. Acoustic testing of avocado for fruit ripeness evaluation. *Transactions of the ASAE* 41(2): 399-407.
- Herppich, W. B., B. Herold, S. Landahl, and J. De Baerdemaeker. 2003. Interactive effect of water status and produce texture: an evaluation of non-destructive methods. *Acta Horticulturae n° 599. Proceeding of the International Conference Postharvest Unlimited*
- Lemmens, J. W. 1990. *Impulse excitation: A technique for dynamic modulus measurement*. Philadelphia: Wolfenden, A. American Society for Testing and Materials.
- Muramatsu, N., N. Sakurai, N. Wada, R. Yamamoto, T. Takahara, T. Ogata, K. Tanaka, T. Asakura, Y. Ishikawa-Takano, and D. J. Nevins. 1999. Evaluation of fruit tissue texture and internal disorders by laser Doppler detection. *Postharvest Biology and Technology* 15: 83-88.
- Recuero López, M. 2000. Ingeniería acústica. Madrid: Paraninfo.
- Róth, E., E. Kovács, and J Felföldi. 2003. Investigating the firmness of stored apples by non-destructive method. *Acta Horticulturae n° 599. Proceeding of the International Conference Postharvest Unlimited*.
- Saltveit, M. E., Upadhyaya, J. F. Happ, R. Cavaletto, and O'Brien M. 1975. Maturity determination of tomatoes using acoustic methods.
- Schotte, S., N. De Belie, and J. De Baerdemaeker. 1999. Acoustic Impulse-Response Technique for Evaluation and Modelling of Firmness of Tomato Fruit. *Elsevier Science. Postharvest Biology and Technology* 17(1999), no. 2: 105-15.
- Schrevels, E., De Busscher R., Verstreken L., and De Baerdemaeker J. 2001. Detection of hollow pears by tree based modelling on non-destructive acoustic response spectra. *6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering*.
- Shmulevich, I., N. Galili, and D. Rosenfeld. 1994. Firmness testing device based on fruit acoustic response. *AgEng.Milán*.
- Sugiyama, J., T. Katsurai, J. Hong, H. Koyama, and K. Mikiyama. 1998. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. *Transactions of the ASAE* 41(1): 121-27.

# Acústica ambiental

- Sonómetros
- Analisadores de ruído e vibrações.
- Sistemas de medida de isolamento acústico.
- Sistemas multicanal para acústica avançada.
- Micrófones e transdutores.
- Software de simulação, predição e mapas de ruído.

Visite-nos em **TECNIACÚSTICA 2004**  
de 14 a 17 de Setembro  
Guimarães – Portugal

01dB

G.R.A.S.

HEAD ACOUSTICS

RION



LISBOA  
Tel. 21 421 74 72

MADRID  
Tel. 91 567 97 00

BARCELONA  
Tel. 93 459 42 50

ZARAGOZA  
Tel. 976 20 09 69

[www.mra.pt](http://www.mra.pt)  
e-mail: [mra@mra.pt](mailto:mra@mra.pt)



# La línea más completa en software de



## Predicción Acústica

**Soluciones a sus necesidades en acústica ambiental, industrial y arquitectónica, acordes con la normativa vigente**

**Ponemos a su alcance las herramientas más avanzadas en el campo de la modelización acústica:**

**Predicción y control del ruido ambiental en pequeñas y grandes ciudades producido por:**

- ◆ Tráfico
- ◆ Industria
- ◆ Ferrocarril
- ◆ Aeropuertos
- ◆ Mapas de población expuesta al ruido
- ◆ Optimización de medidas preventivas y/o correctoras

**Acústica Industrial:**

- ◆ Ruido transmitido por máquinas
- ◆ Evaluación de soluciones acústicas en fábricas

**Aislamiento y acondicionamiento acústico de salas:**

- ◆ Cálculo de predicción de aislamiento de materiales
- ◆ Cálculo de tiempos de reverberación, claridad, espaciosidad, etc.
- ◆ Diseño acústico de salas de concierto
- ◆ Auralización de eventos sonoros.

**Modelización avanzada:  
Creación de paisajes sonoros 3D (sonido binaural).**



MADRID. Tel. 91 567 9700  
BARCELONA. Tel. 93 459 4250  
ZARAGOZA. Tel. 976 200 969  
LISBOA. Tel. 21 421 7472

[www.alava-ing.es](http://www.alava-ing.es)  
[alava@alava-ing.es](mailto:alava@alava-ing.es)



E201612