

OBTENCIÓN DE LA RESPUESTA ESPECTRAL CON EXCITACIÓN IMPULSIVA EN FRUTAS COMO INDICADOR CUANTITATIVO DE MADUREZ

Héctor A. Cordourier M., S. Jesús Pérez R., Antonio Pérez L.

Laboratorio de Acústica y Vibraciones (LAV), Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito Exterior CU, Apdo. Postal 70-186, CP 04510, México, DF, México.

cordourier@hotmail.com, jesper@aleph.cinstrum.unam.mx, apl@aleph.cinstrum.unam.mx

El paso del tiempo tiene distintos efectos en productos frutales. Uno de los más conocidos (incluso en la vida diaria) es la pérdida de rigidez o ablandamiento interno. Sin embargo, esta característica no se puede verificar a simple vista, requiere una comprobación táctil, muchas veces más cualitativa que cuantitativa. La medición de la respuesta espectral a la excitación impulsiva de una fruta puede brindar datos acerca de la rigidez interna de la misma y; por lo tanto, información sobre su estado de madurez. Para realizar dicha medición se utilizó un excitador electromecánico con el que se aplicó un tren de pulsos a tres piezas frutales: una manzana *golden*, una manzana *starking* y un mango *manila*. Con dos acelerómetros (uno entre la fruta y el excitador y otro sobre la fruta) y un analizador de espectros de dos canales, se obtuvieron las magnitudes de respuesta espectral para cada fruta, durante tres semanas de maduración. Con los resultados obtenidos se puede demostrar la relación que existe entre el corrimiento de frecuencia de la principal resonancia de los espectros medidos con el factor de rigidez, y de este factor con el tiempo de madurez. Los resultados del presente estudio corroborarán la linealidad de esas relaciones en tipos diferentes de fruta: con interior uniforme (como las manzanas) y heterogéneo (como el mango).

1. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos de expansión comercial, los medios de control de calidad se han vuelto aspectos fundamentales para el establecimiento de buenas relaciones mercantiles. Estos medios abarcan también a los productos frutícolas. Se sabe que el efecto del tiempo provoca el ablandamiento interno de dichos productos. Cualquier persona que compre regularmente frutas en un supermercado lo sabe de forma empírica.

En este trabajo se obtuvieron resultados que pueden ser de utilidad para la implementación de un sistema de control de calidad, basado en la respuesta espectral de la fruta a una excitación impulsiva no destructiva [1], al encontrar las relaciones entre el corrimiento de cierta frecuencia dominante (resonancia) del espectro de magnitud, con el tiempo de madurez de la pieza de fruta.

2. METODOLOGÍA

Para obtener el factor de rigidez de la fruta [2], es necesario conocer la frecuencia de la principal resonancia. Para medir esta frecuencia, se utilizó un impulso generado con un excitador electromecánico y dos acelerómetros: uno colocado entre el excitador

y la fruta, el otro sobre la fruta misma, ambos fijados con cinta adhesiva de doble cara.

Las señales de los acelerómetros fueron acondicionadas mediante amplificadores de carga y registradas por un analizador de espectros de dos canales. Con el analizador de espectros, se obtuvo la respuesta espectral asociada con cada fruta, utilizando la respuesta impulsiva proporcionada por cada acelerómetro. El esquema del arreglo experimental puede verse en la figura 1.

Las mediciones consistieron en aplicar a las frutas una serie de 50 impulsos mecánicos, con lo que se obtuvieron los espectros promedio de la función de transferencia de cada fruta.

Aunque inicialmente se observó en todos los espectros, que el impulso generado por el excitador produce una respuesta espectral que tiene un mínimo muy pronunciado alrededor de los 42Hz, como puede verse en la figura 2. Consideramos que este efecto se debe al excitador y no tiene influencia en la fruta y, además, como se espera que las frecuencias de resonancia en las frutas analizadas se encuentre dentro del intervalo de 200 a 1200 Hz [2] [3], se decidió que el intervalo de frecuencias de análisis iniciara en los 200 Hz (véase la figura 3).

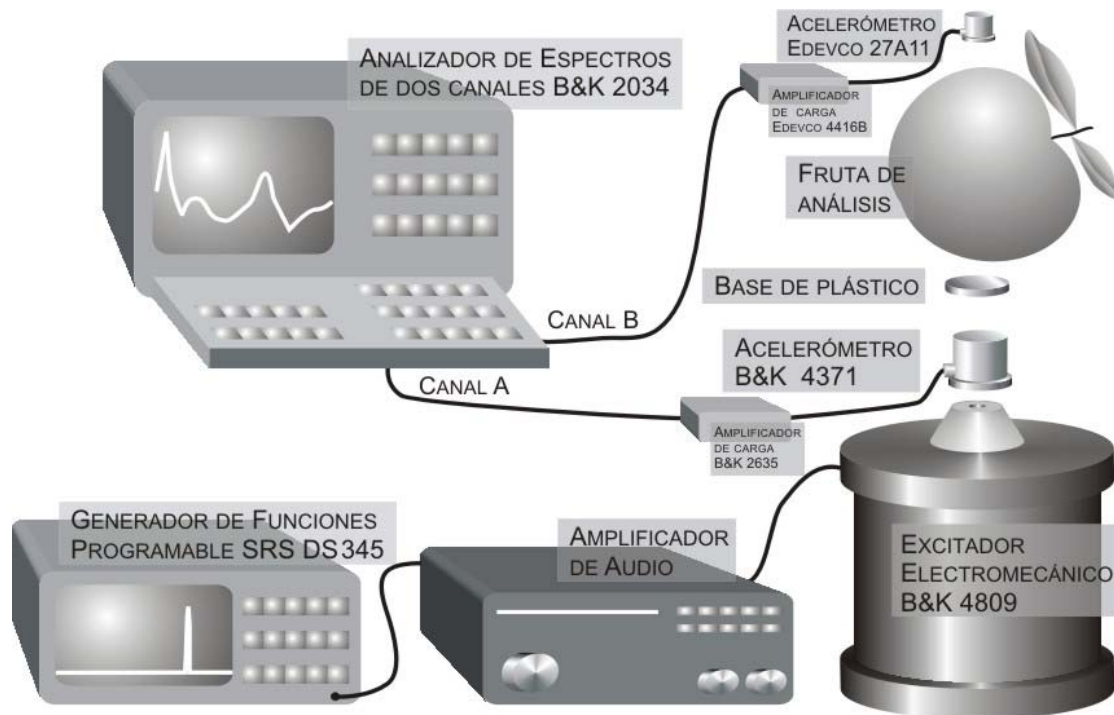


Fig. 1 Esquema del arreglo experimental. Con el generador de funciones se produjeron impulsos, que fueron amplificados y enviados al excitador electromecánico. La magnitud de respuesta en frecuencia de la fruta analizada fue sensada con los dos acelerómetros y registrada con el analizador de espectros de dos canales.

Las mediciones se realizaron los días 1°, 6°, 8°, 13°, 15° y 20°, donde la cuenta empieza el día de inicio del experimento.

El factor de rigidez es una cantidad que relaciona la frecuencia de resonancia y la masa de la pieza de fruta, con su firmeza [1,3], y se define de la siguiente forma:

$$S = f^2 m^{2/3} \tag{1}$$

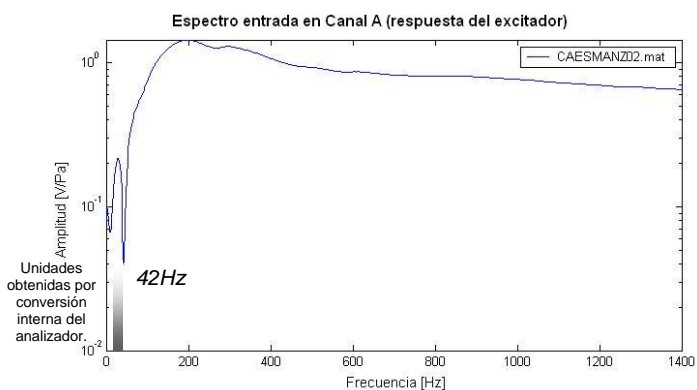


Fig. 2 Espectro típico del excitador, en el que es notorio un mínimo en la frecuencia de 42Hz.

Donde S es el factor de rigidez (en $g^{2/3}/s^2$), f es la frecuencia de resonancia (en Hz) y m es la masa (en g). Este factor fue calculado para cada medición con objeto de describir su relación con el tiempo transcurrido. El valor exacto de las resonancias fue localizado con un programa procesador de datos generado en MATLAB (véase Anexo).

3. RESULTADOS

En la figura 3 se grafican simultáneamente tres espectros de la función de transferencia para la manzana *golden*. Puede observarse cómo la frecuencia de resonancia se hace menor paulatinamente con el paso del tiempo. Esto fue observado en general en todas las frutas, como puede verse en la tabla 1. La variación del factor de rigidez con respecto a los días transcurridos se muestra en las tres gráficas de la figura 4.

Es importante notar el comportamiento dispar del factor de rigidez en el mango *manila* (inciso c, figura 4), en contraste con el de las manzanas (incisos a y b, figura 4).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con respecto a los dos tipos de manzanas, los resultados de las mediciones se apegaron en general a lo esperado [1, 2, 3]. El comportamiento del factor de rigidez fue notoriamente lineal. Puede inferirse entonces la posibilidad de extrapolar en el tiempo las características de las manzanas. La validez de estas extrapolaciones es objeto de futuras investigaciones.

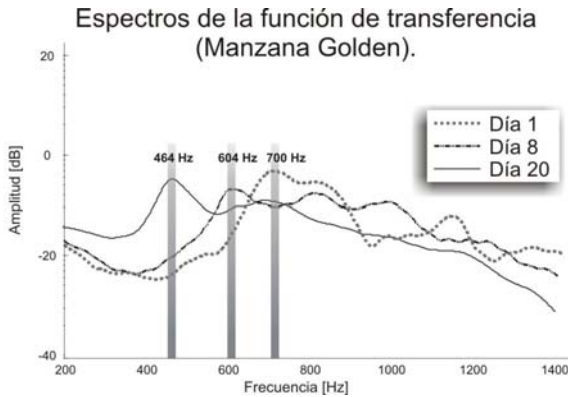


Fig. 3 Espectros de la función de transferencia registrados para la manzana golden. Se observa que el valor de la resonancia disminuye con el paso del tiempo. También se observa el máximo constante en la frecuencia de 42 Hz, provocado por la respuesta espectral del excitador. La referencia de los decibelios el valor arbitrario 1 (adimensional).

Con respecto al mango *manila*, el comportamiento apartado de la linealidad con respecto al tiempo transcurrido puede deberse a su estructura menos uniforme que la de una manzana [1]. La manzana está compuesta casi en su totalidad de tejido carnoso (las semillas son de tamaño casi despreciable); mientras que la semilla del mango (de características vibratorias diferentes) tiene un tamaño bastante mayor, en relación a la pieza de fruta en total.

	Manzana golden	Manzana starking	Mango manila
Nº de piezas estudiadas	1	1	1
Masa promedio [gr].	180.5	182.9	213.7
F. de resonancia, día 1 [Hz]	846	700	422
F. de resonancia, día 6 [Hz]	778	620	312
F. de resonancia, día 8 [Hz]	738	604	278
F. de resonancia, día 13 [Hz]	664	586	264
F. de resonancia, día 15 [Hz]	626	524	282
F. de resonancia, día 20	554	464	144

Tabla 1 Frecuencias medidas de resonancia principal, para cada fruta examinada.

Esta característica hace del mango una pieza frutal más heterogénea en su estructura, lo cual puede causar un envejecimiento interno diferencial y; por lo tanto, alejar su coeficiente de rigidez (tal y como está definido) de la linealidad con respecto al tiempo.

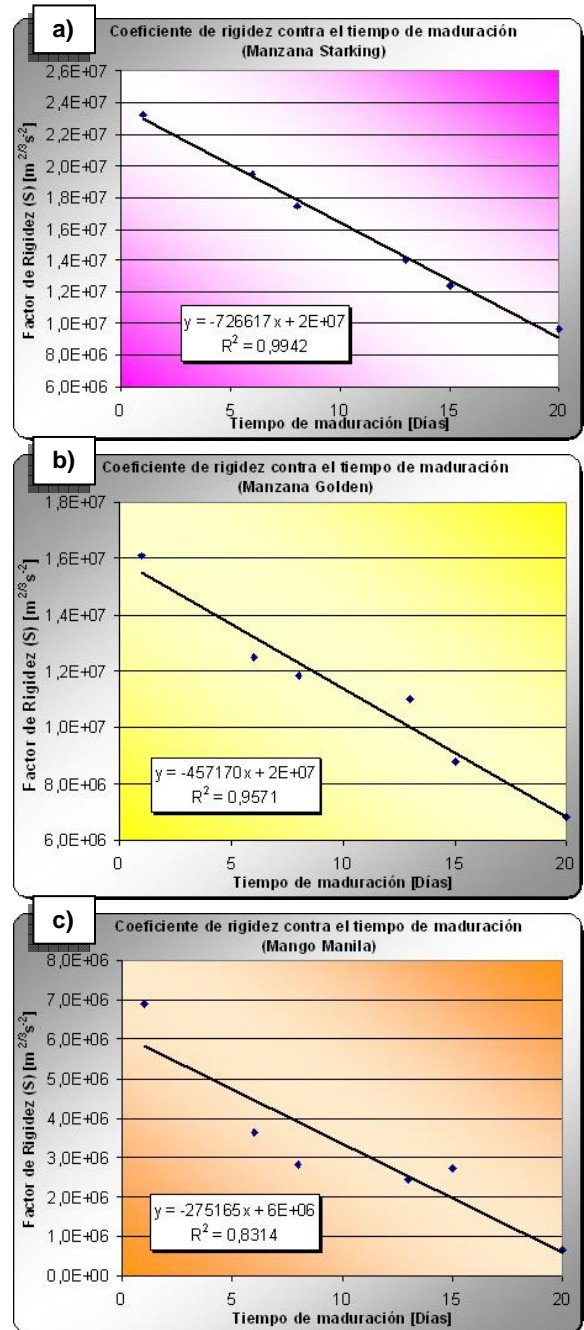


Fig. 4 Gráficas del coeficiente de rigidez contra el tiempo de maduración. Nótese el

comportamiento prácticamente lineal de la manzana starking (a), en contraste con el del mango manila (c).

ANEXO

El programa generado para identificar automáticamente los valores máximos en los espectros fue creado en MATLAB.

Se optó por un algoritmo que detectarse todos los máximos (el absoluto y los locales) en el conjunto de datos, para después identificar visualmente el máximo de relevancia.

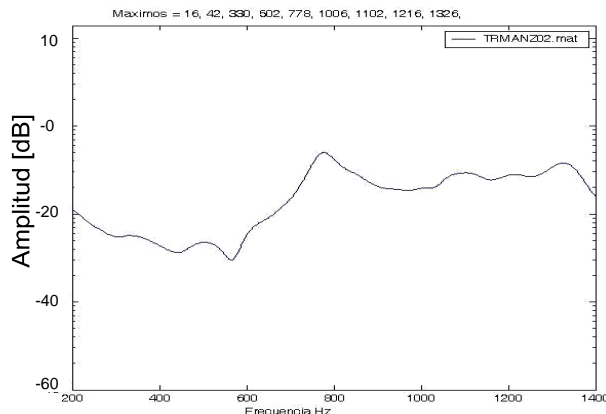


Fig. 5 Gráfica típica de salida del programa identificador de máximos. Los valores de las frecuencias donde hay valores máximos se pueden observar en la parte superior del gráfico. La referencia de los decibeles el valor arbitrario 1 (adimensional).

El programa genera una señal derivada (de diferenciales), la cual sirve para obtener (con criterio de primera derivada) los puntos críticos. Después se vuelve a derivar la señal, para identificar los puntos críticos máximos (con criterio de segunda derivada). Estos puntos máximos son impresos directamente en la gráfica de los espectros (véase la figura 5).

REFERENCIAS

- [1] Diezma, B., Ruiz-Altisent, M. 2003. Propiedades acústicas aplicadas a la determinación de los parámetros de calidad interna de productos hortofrutícolas. *Revista de Acústica de la Universidad Politécnica de Madrid*, 2004. 35 – 3, 4.
- [2] Goliás J., Bejcek, L., Grätz, S., Klusáček, S. 2003. Mechanical resonance method for evaluation of peach fruit firmness. *Hort. Sci (Praga)*, 30, 2003 (1): 1 – 6

- [3] Wang, J., Teng, B., Yu, Y. 2003. Pear dynamic characteristics and firmness detection. *Euro Food Res Technol* (2004) 218:289-2