



## Cambios en la propagación de ondas en una tapa de guitarra debidos al abanico y el puente



J.A. Torres<sup>a,\*</sup> y D. Torres-Torres<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Academia de Ciencias (Acústica), Escuela de Laudería, Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, Hidalgo #20, Centro Histórico, Querétaro, México, CP 76000

<sup>b</sup> Ciencia e Ingeniería de Materiales, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Unidad Monterrey, Apodaca, N.L., CP 66600, México

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 24 de septiembre de 2013

Aceptado el 27 de junio de 2014

On-line el 16 de diciembre de 2014

#### Palabras clave:

Guitarra  
Transitorio  
Dispersión  
Abanico  
Deflexiones

#### Keywords:

Guitar  
Transient  
Dispersive  
Bracing  
Deflections

### R E S U M E N

Se exploró la propagación de ondas en una tapa de guitarra mediante análisis transitorios, es decir, a través de su evolución en el tiempo. La finalidad de usar el dominio del tiempo, en vez del dominio de la frecuencia como se suele reportar típicamente, fue lograr un análisis más visual de la influencia del abanico y el puente. Para ello, se midieron las propiedades elásticas de una tapa real mediante experimentos simples, para usarlas en un modelo con elementos finitos. El modelo mostró buena concordancia con comportamientos experimentales reportados en la literatura. En la misma tapa, se simuló la propagación de dos tipos de onda; se hizo un análisis usando una onda con contenido espectral bajo, y otro aplicando una onda con contenido espectral alto. Los resultados mostraron, a simple vista, que la velocidad de propagación sobre la tapa cambió notablemente debido a las estructuras adheridas. El cambio fue particularmente notorio para perturbaciones de longitud de onda corta, es decir, para frecuencias altas. En consecuencia, está claro que el diseño del abanico y del puente de una guitarra es crucial, principalmente, en los sonidos más agudos emitidos por el instrumento.

© 2013 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya).

### Changes in wave propagation in a guitar top plate due to the fan bracing and the bridge

#### A B S T R A C T

Wave propagation on a guitar top plate was explored using transient analysis. The goal of using time domain, instead of frequency domain as it is commonly reported, was to achieve a more simple approach about the influence of the fan bracing and the bridge. For this purpose, the elastic properties of a real top plate were measured through simple experiments, in order to build the respective finite element model. The model exhibited good agreement with experimental behaviors of the literature. In the same top plate, the propagation of two kinds of waves was simulated; one analysis was done using one wave of high harmonic content, and another applying a wave with low harmonic content. Results showed, to naked eye, that the velocity of propagation over the top plate clearly changed due to their interactions with the attached structures. Such change was particularly noticeable for waves of short wavelength, in other words, for high frequencies. Then, it is evident that for guitars, designs of fan bracing and bridge are crucial, mainly, in treble sounds radiated by the instruments.

© 2013 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya).

### 1. Introducción

Las investigaciones sobre acústica de la guitarra se suelen reportar usando el dominio de la frecuencia [1–5]. Esto se debe a que suele ser conveniente analizar el comportamiento dinámico de una

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [jesusalejandrott@yahoo.com.mx](mailto:jesusalejandrott@yahoo.com.mx) (J.A. Torres).

estructura encontrando patrones vibratorios primarios, llamados modos de vibración, que ocurren a frecuencias determinadas. Los modos de vibración se obtienen mediante una técnica conocida como análisis modal, la cual arroja resultados en el dominio de la frecuencia.

Ciertamente, cualquier vibración de una estructura puede obtenerse como una combinación de sus modos de vibración; sin embargo, combinarlos requiere un soporte teórico considerable. En consecuencia, en algunas ocasiones puede ser más conveniente analizar la vibración de la estructura en el dominio del tiempo, mientras esta es forzada con señales arbitrarias. Este tipo de análisis se conoce como transitorio y podría resultar muy útil para analizar guitarras, pero esta aplicación se ha explorado poco en el instrumento.

Por ejemplo, los lauderos suelen tener mucho cuidado con el diseño del abanico de las guitarras que construyen: las barras adheridas refuerzan la tapa para soportar la tensión de las cuerdas, pero también influyen en las vibraciones de la tapa [4] y, en consecuencia, en su sonido. Sin embargo, usar el dominio de la frecuencia para analizar ondas que no son estacionarias en tapas de guitarra es una labor complicada [6]. Para estudiar propagación de ondas de una manera más natural, resultaría mucho más apropiado un análisis transitorio. Por ejemplo, el análisis transitorio podrá ser útil para detectar si las barras cambian radicalmente la velocidad de propagación de ondas a través de la guitarra o para estudiar el desarrollo inicial de una perturbación, de donde puede extraerse información relevante sobre el comportamiento de instrumentos musicales [7,8].

Si bien están disponibles algunos estudios del violín que se centran en analizar ondas en el dominio del tiempo [7-9], es difícil encontrar investigaciones sobre vibraciones transitorias de una guitarra. En el pasado, Boullosa [3] encontró algunas dificultades en procedimientos experimentales transitorios en guitarras. Por ejemplo, comentó que el rango de frecuencia de excitación por un impacto de martillo en el puente solo alcanzó 300 Hz. Un contenido espectral limitado a 300 Hz resulta insuficiente al analizar el instrumento esperando condiciones similares a las reales. Se sabe que la vibración de una cuerda pulsada puede contener armónicos de frecuencia mucho más alta, alrededor de 5 kHz [10].

Es factible analizar la guitarra en el dominio del tiempo mediante simulaciones numéricas, como algunos autores han mostrado. Bécache et al. [11] simularon ondas transitorias en una guitarra completa mediante métodos numéricos exhaustivos; sin embargo, para simplificar su modelo, la tapa no incluyó una de las partes cruciales en el diseño de la guitarra: el abanico. De forma similar, en una simulación donde se exploraron las propiedades más importantes para caracterizar una tapa de guitarra [12], no se consideró el abanico.

Recientemente, el método del elemento finito (MEF) se ha aplicado eficazmente para simular tapas con abanico en el dominio de la frecuencia [1]; e inclusive otro modelo además incluyó el puente [5]. Sin embargo, simulaciones MEF en el dominio de la frecuencia no proveen información directa para deducir el comportamiento de una onda propagándose mientras atraviesa el abanico y el puente.

El objetivo de la presente investigación es conocer cómo influye un abanico típico de guitarra en una onda vibratoria que se propaga por la tapa. Con esta finalidad, se modeló tridimensionalmente una tapa real de guitarra usando el MEF. La onda en propagación se generó mediante una fuerza transitoria que perturbó el sistema brevemente, y después lo dejó vibrar libremente. De esta manera, se obtuvieron y analizaron varios instantes de la propagación de la onda en la tapa.

## 2. Teoría

La propagación de ondas en placas es fundamentalmente diferente de la propagación en columnas de aire, cuerdas y membranas. Las ondas transversales en placas, las ondas de flexión, son dispersivas. Los componentes de frecuencia alta se propagan más rápidamente que los componentes de frecuencia baja, y entonces la propagación de un pulso cambia su forma con el tiempo. En materiales anisotrópicos, como la tapa de una guitarra, la velocidad de fase (para amplitudes iguales) será diferente en diferentes direcciones [9]. No obstante, la velocidad de fase no puede exceder la velocidad de una onda cortante  $v$  en una placa *sin estructuras adheridas*, la cual viene dada por

$$v = \sqrt{G/\rho}, \tag{1}$$

donde  $G$  es el módulo cortante y  $\rho$  es la densidad de la placa. Claramente, para estudiar sobre dichos tópicos, el estudio de ondas estacionarias no es práctico y es más conveniente usar el análisis transitorio.

A diferencia del análisis modal [3] o armónico [5,13], el análisis transitorio es una técnica utilizada para determinar la respuesta dinámica de una estructura bajo la acción de *cualquier* carga dependiente del tiempo, incorporando el comportamiento de la inercia. La ecuación general de movimiento

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F(t), \tag{2}$$

donde  $M$  representa la matriz de masa del sistema,  $C$  la matriz de amortiguamiento,  $K$  la matriz de rigidez,  $u$  el vector de desplazamientos y  $F$  el vector de fuerza aplicada al sistema, debe ser resuelta ya sea para  $F(t)=0$  (análisis modal),  $F(t)=F_0\cos\omega t$  (análisis armónico), o  $F(t)$  siendo una entrada arbitraria (análisis transitorio) [14]. En la sección 3 se detalla el modelo de la tapa de guitarra sometida a análisis transitorios.

## 3. Simulaciones

Para el presente trabajo se adaptó el modelo de MEF de una tapa de guitarra, cuyo comportamiento vibratorio ha sido previamente calibrado mediante procedimientos experimentales [5,13]. El diseño de las barras adheridas a la tapa está basado en el abanico tradicional de Antonio de Torres. Los detalles de las barras se incluyen en la tabla 1 y en la figura 1. El origen del sistema cartesiano de referencia se impuso a la mitad del eje de simetría de la tapa (fig. 1), con sentido positivo hacia la boca (considerado X), hacia la derecha viendo el puente (considerado Y), y de la placa hacia el abanico (considerado Z). El puente fue modelado mediante una placa de 80×26,5×5 mm centrada sobre otra placa de 185×26,5×4 mm (fig. 2). Para esta simulación se preservaron las ranuras del puente usadas en los experimentos previos [5,13].

**Tabla 1**

Medidas en milímetros de las barras del abanico y las transversales. La última fila en cursiva es el ángulo agudo en el plano de la tapa, que forma la barra con respecto al eje de simetría de la tapa (eje X)

	b1	b2	b4	b6	b8	b9	b10
h	7	6	6	5	17	16,5	15
h1	2	1,5	1,5	1	4,4	4,4	4,4
h2	2	1,5	1,5	1	4	4	4
L	239	245	233	204	237	272	249
L1	59,5	61	58,5	50	41	46	39
L2	59,5	61	55	53	41	46	39
L3	4	4	4	4	0	0	0
Ancho	4	4	3	3	6	6	5
<i>ángulo barra/ejeX</i>	0°	5°	10°	15°	90°	90°	90°

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702527>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702527>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)