

## DISEÑO DE UN TAPON DE CORCHO DE FLAUTA TRAVESERA. INFLUENCIA EN SU CALIDAD TIMBRICA

PACS: 43.75.Ef

S. Castiñeira-Ibáñez<sup>1</sup>, C. Rubio<sup>2</sup>, J. V. Sánchez-Pérez<sup>2</sup>, R. Pérez Hernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València - Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain, EU*

<sup>2</sup> *Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica, Universitat Politècnica de València - Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain, EU*

<sup>3</sup> *Conservatorio Profesional de Música de Valencia, Valencia, Spain, EU*

### ABSTRACT

In the generation of sound in the flute, the part called tuning cork plays an important role in its tuning. The cork placed correctly compensates the frequency dependent effects which try to tonally disarrange the flute. Thus, this piece maintains the records in tune with each other. This paper presents a comparative study of the efficiency of different tuning cork designs for the modern flute made of metal. Several notes from different records were analyzed and the physical reason of the improvement produced by use of one tuning cork, or other with respect to the tone quality, were checked.

### RESUMEN

En la producción de sonido en la flauta travesera la parte denominada tapón de corcho juega un papel importante en la afinación de la misma. El corcho colocado correctamente, compensa los efectos dependientes de las frecuencias que intentan desajustar tonalmente la flauta. Así, esta pieza mantiene los registros en sintonía con los demás. En este trabajo se realiza un estudio comparativo de la eficiencia de diferentes diseños de tapones de corcho para flauta travesera moderna de metal. Se han analizado varias notas pertenecientes a diferentes registros y se ha comprobado físicamente la razón de la mejora que produce la utilización de un tapón u otro con respecto a la calidad tímbrica.

### INTRODUCCIÓN

La flauta tiene sus orígenes en la Prehistoria cuando el ser humano descubrió que soplando en el interior de un simple hueso hueco o una caña se producía sonido. La evolución de la flauta se corresponde casi literalmente con la de la humanidad, y hoy en día su uso está extendido en todo el mundo. Fue el flautista e inventor alemán T. Böhm (1794-1881), quien modificó los procedimientos de fabricación del instrumento. Realizó estudios acústicos de la flauta travesera: analizó las vibraciones del aire en el tubo y estableció la relación entre el diámetro del mismo y la disposición de los agujeros. Además, incorporó mecanismos que permitían con un solo dedo cerrar más de un agujero. Hoy en día la flauta se fabrica generalmente de metal,

pudiendo ser metal precioso como el oro y platino. Otros materiales que se utilizan para su fabricación son la madera y determinados tipos de plásticos.

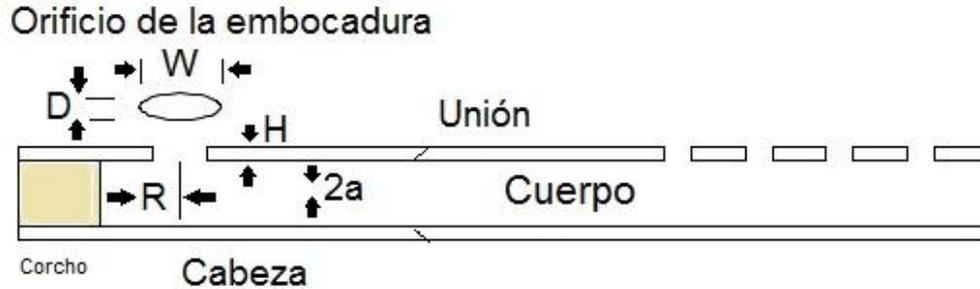


Figura 1: En la parte superior se representa un esquema de la cabeza de la flauta unida al cuerpo. También se puede observar en el esquema, el orificio de la embocadura, con forma semielíptica y en el lado izquierdo el tapón de corcho. En la parte inferior se muestra una foto real de la parte superior de una flauta travesera.

La flauta travesera actual está dividida en tres secciones: cabeza, cuerpo, y pie. La cabeza tiene forma parabólica, mientras que el cuerpo y pie tienen forma cilíndrica. La cabeza se cierra con el tornillo de afinación, que está colocado en la parte superior de la cabeza y directamente ligado al tapón de corcho. Este elemento condiciona la afinación general del instrumento. Su distancia con relación a los orificios de la flauta determina una afinación más o menos homogénea. Así se puede calcular la distancia óptima entre el corcho y la entrada central de la embocadura, a partir de la expresión [1],[2]:

$$C_{emb} = \left( \frac{4a^2}{DW} \right) H_e$$

donde  $a$  es el radio de la columna de aire,  $D$  y  $W$  son las dimensiones de la embocadura y  $H_e$  la altura efectiva de la corona cilíndrica de la cabeza, aumentada por la proximidad de los labios del intérprete (Figura 1).

En la Figura 2 se pueden observar varios tipos de tapones de corcho. El tapón de corcho 1, tiene forma totalmente cilíndrica y es el que se utiliza habitualmente. El tapón de corcho 2, consiste básicamente en un tapón cilíndrico pero con un vaciado troncocónico centrado y diseñado con el propósito de mejorar la calidad tímbrica. El tapón de corcho 3, se va a utilizar realmente sin el corcho y se sujeta en el interior de la cavidad gracias a una goma de agarre (arandela roja) que hace tope con la pared.

Estos tres tapones de corcho son los que se analizan en este trabajo desde el punto de vista de la mejora de la calidad tímbrica de la flauta travesera utilizada. A continuación se detalla el conjunto experimental utilizado, se muestra como se ha realizado el diseño del tapón de corcho prototipo (corcho 2) y se presentan los resultados obtenidos para los tres casos.



Figura 2: De izquierda a derecha: tapón de corcho 1, habitual para flauta travesera; tapón de corcho 2, diseño particular realizado por D. Raúl Pérez Hernández; tapón de corcho 3, donde se ha utilizado sólo el tope, sin corcho.

### METODOLOGIA Y RESULTADOS

La obtención de resultados experimentales, tanto en campo libre como en condiciones controladas, constituye una fuente potente de validación de modelos teóricos. No obstante, el creciente interés del estudio de las ondas acústicas ha provocado la necesidad de obtener medidas experimentales en condiciones complicadas. Las medidas experimentales realizadas en este trabajo se han realizado en condiciones controladas, en una cámara anecoica perteneciente al Centro de Tecnologías Físicas de Universitat Politècnica de València.

Una cámara anecoica es una sala diseñada para absorber el sonido que incide sobre las paredes, el suelo y el techo de la misma, anulando los efectos de eco y reverberación del sonido. Debe estar también aislada del exterior, anulando de esta forma los posibles ruidos procedentes de fuentes externas a la cámara que podrían distorsionar los resultados. Todo esto hace que simule las condiciones acústicas que se dan en campo libre. El tamaño de los objetos y el rango de frecuencias que se pueden analizar dependen de las dimensiones de la cámara. En este caso, la cámara que se utiliza tiene unas dimensiones de  $8 \times 6 \times 3 \text{ m}^3$ . En la Figura 3 se muestra un esquema de la cámara y la disposición de los distintos elementos utilizados para llevar a cabo las medidas.

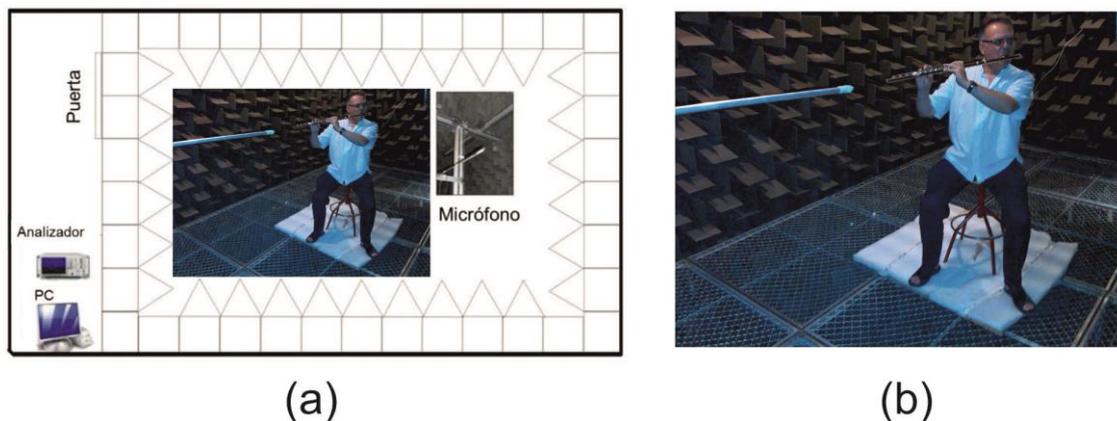


Figura 3: (a) Set-up experimental utilizado para las medidas, (b) posición relativa flauta-micrófono en el momento de la medida. Músico D. Raúl Pérez Hernández.

El micrófono se encuentra conectado a un analizador donde se registra la señal temporal y posteriormente se realiza la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Este analizador está conectado a un ordenador (PC) donde se representan los resultados.

Por otra parte se dispone de un sistema robotizado, tridimensional, de posicionamiento del micrófono y de movimiento de la muestra (3 DReAMS), sincronizado con el sistema de adquisición de datos.

Para la adquisición de datos se ha utilizado la tarjeta PCI-4474 de National Instruments. Esta tarjeta permite la adquisición dinámica de datos por 4 canales simultáneamente. Está diseñada para el análisis, tanto de señales de ruido aéreo como de vibración, consiguiendo poca distorsión y bajo ruido de fondo. Las tarjetas de National Instruments, PCI-4474 y PCI-7334, se utilizan de manera conjunta con dos paquetes de LabVIEW para la adquisición de datos y control del movimiento del robot, respectivamente. Cuando el micrófono se encuentra en la posición de medida, los motores que mueven los ejes del robot se apagan para prevenir posibles distorsiones y acoplamiento con las medidas acústicas. A continuación, la fuente sonora y los micrófonos se activan, adquiriendo este último la señal temporal. El análisis hardware de ésta, mediante un analizador FFT, permite obtener espectros, respuesta en frecuencia y niveles sonoros. El tiempo que transcurre entre que comienza a emitir la fuente sonora y empieza la toma de medidas, viene indicado por el usuario, variando en función de las características del ensayo. Se han utilizado micrófonos pre-polarizados de 1/2" tipo 4189 B&K con una sensibilidad de 49.5mV/Pa, que permiten analizar un amplio rango de frecuencias.

En la Figura 4(a) se muestra la geometría del tapón de corcho 1 que es la más utilizada y el proceso seguido para la obtención del prototipo tapón de corcho 2. El tapón de corcho habitual (corcho 1) es un cilindro de material poroso e impermeable que se extrae de la corteza del alcornoque. Este material es muy ligero, con un peso específico entre 0,13 y 0,25  $g/cm^3$  que presenta una gran elasticidad y compresibilidad. Además, es impermeable a los líquidos y los gases. Este corcho se aprieta con dos chapas metálicas y un eje-tornillo que permite una vez montado en el interior de la flauta travesera desplazar el corcho para encontrar la afinación deseada.

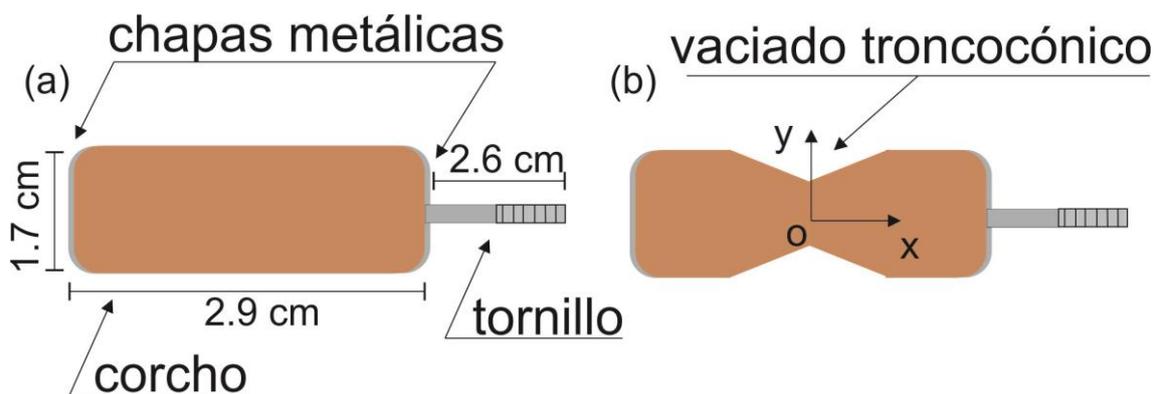


Figura 4: Modelo 2D del proceso de diseño del prototipo tapón de corcho: (a) geometría del tapón de corcho Miyazawa BR-402, (b) a partir del tapón de corcho tradicional mostrado en (a) se vacía la parte central de éste siguiendo una geometría trapezoidal, de forma que el corcho mantiene la simetría respecto al eje OX y respecto al eje OY, estando O situado en el centro de la figura.

Cada fabricante de flauta travesera incorpora a su flauta su propio tapón de corcho. En este trabajo se utiliza una flauta travesera Miyazawa 9k que utiliza un tapón de corcho Miyazawa BR-402 cuya geometría se muestra en la Figura 4(a).

Las medidas se realizaron en tres fases, una por cada tapón de corcho. En todos los casos la posición del corcho en la flauta fue la misma, para no influir en los resultados, debido al cambio de longitud del tubo. La emisión del sonido también se cuidó por el mismo motivo. Las notas utilizadas para el análisis fueron tres, una por cada registro: *La* del registro grave, *La* del registro medio y *Re* del registro agudo de la flauta travesera. En los tres casos los resultados fueron análogos. Como ejemplo, en la Figura 5 se representa el espectro de nivel de presión sonora, para los tres tipos de tapones, para la nota *La* del registro medio de la flauta (*La* 2 representa el segundo *La* de la flauta, es decir, el *La* del registro medio).

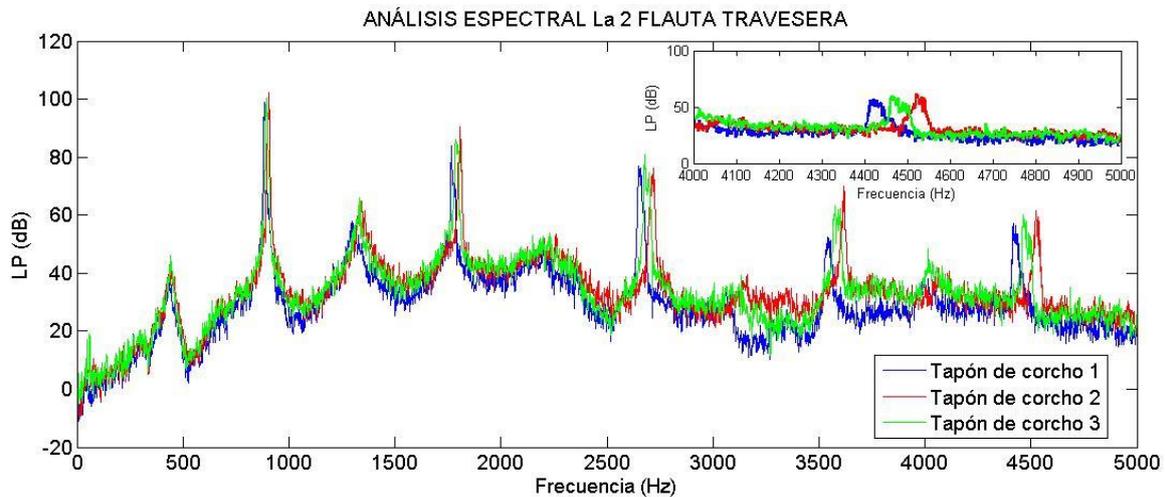


Figura 5: Espectro de nivel de presión en decibelios, de 0 a 5000 Hz para los tres tipos de tapón utilizados. Se ha obtenido para la nota *La* del registro medio de la flauta travesera. En el recuadro se observa en detalle la posición del armónico más alejado respecto al fundamental para todos los tapones analizados.

En la Figura 6 se puede observar cómo se han desplazado los armónicos hacia altas frecuencias cuando se utilizan los tapones 2 y 3, lo que provoca un cambio de timbre en el sonido. Como se observa en la tabla de la Figura 5, para el caso de la nota *La* del registro medio con tapón 1, el centroide de su espectro de nivel sonoro representado en la Figura 5 se localiza a  $f_c = 2100$  Hz, con tapón 2, el centroide se localiza a  $f_c = 2177$  Hz y para el tapón 3 resulta ser  $f_c = 2109$  Hz. La calidad tímbrica o brillantez del sonido ha mejorado debido al desplazamiento de la posición del centroide espectral,  $f_c$ , hacia altas frecuencias, tal y como predice la teoría [3],[4]. Esta mejora es más acusada para el tapón 2, que es el que ha sido diseñado con esta finalidad.

La 2 Flauta	Tapón 1		Tapón 2		Tapón 3	
	f(Hz)	LP (dB)	f(Hz)	LP (dB)	f(Hz)	LP (dB)
	440	34,12	440	38,04	440	45,07
	884	99,07	904	102,1	893	100,5
	1306	56,26	1337	64,55	1336	65,81
	1767	83,75	1809	90,59	1789	85,97
	2648	76,84	2722	76,09	2678	80,79
	3539	52,46	3618	69,61	3576	63,42
	4420	56,99	4523	60,56	4478	57,75
$f_c$ (Hz)		2100		2177		2109

Figura 6: Tabla de resultados para los diferentes armónicos para la nota *La* del registro medio de la flauta travesera y para los tres tapones utilizados. Se muestra el resultado del centroide  $f_c$  (Hz) para cada caso.

## CONCLUSIONES

Las sensaciones de mejor sonoridad que el instrumentista nota cuando utiliza diferentes tapones de corcho no son infundadas y se resumen en una posible mejora de la calidad tímbrica. Físicamente se ha comprobado que el espectro armónico cambia con la utilización de un tapón u otro. La utilización del tapón diseñado desplaza el centroide espectral hacia altas frecuencias y por lo tanto provoca una mejora de la calidad tímbrica del sonido, tal y como predice la teoría.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Benade A. H. and French J. V., *Analysis of the Flute Head Joint*, J. Acoust. Soc. Am. **(37)**, 679-91 (1965)
- [2] Benade A. H., *Fundamentals of Musical Acoustics*, Oxford Univ. Press, NY (1976)
- [3] Knopoff L., *An index for the relative quality among musical instruments*, Ethnomusicology **7**(3), 229-233, (1963)
- [4] Beauchamp J. W., *Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds: The Sound of Music*, Springer, NY (2007)