

ACÚSTICA DE LA LENGÜETA LIBRE DEL ACORDEÓN

PACS: 43.75 Pq

Llanos-Vázquez, Ricardo; Elejalde-García, María Jesús; Macho-Stadler, Erica
Departamento de Física Aplicada I. E. T. S. de Ingeniería de Bilbao. UPV/EHU.

Alameda de Urquijo s.n., 48013 Bilbao, España.

Tel.: 946014256; 946014257

Fax: 946014178

ricardollanosvazquez@gmail.com; mariajesus.elejalde@ehu.es; erica.macho@ehu.es

ABSTRACT

The acoustic study of the free reed provides meaningful knowledge for players and luthiers of this instrumental family. In the case of the accordion, by means of the study of the evolution of harmonics and psychoacoustic parameters, we characterize the two basic types of musical attack (bellows attack and finger attack) and the two kinds of pitch bending or continuous transition between two sounds (the one produced by the finger and the bellows and the one produced only by the finger). Finally, we analyse the effect that placing a load on the free end of the reeds has on their fundamental frequency and timbre

RESUMEN

El estudio acústico de la lengüeta libre aporta conocimiento de interés para intérpretes y constructores de instrumentos de la familia instrumental. Para el acordeón, estudiando la evolución de los armónicos y de parámetros psicoacústicos, caracterizamos los dos tipos básicos de ataque musical (de fuelle y de dedo) y los dos tipos de pitch bending (el producido con el dedo más el fuelle o el producido solo con el dedo). Finalmente, analizamos el efecto que la colocación de una carga en el extremo libre de las lengüetas produce en la frecuencia fundamental y timbre de las mismas.

INTRODUCCIÓN

En Acústica Musical, el término “lengüeta libre” hace referencia a una lámina vibrante construida y dispuesta de tal manera que puede vibrar a través de una rendija, a un lado y otro de la misma. En las lengüetas del acordeón, uno de los extremos de la lengüeta está remachado sobre una plaqueta metálica, mientras que el otro extremo puede oscilar libremente fuera y dentro de una rendija tallada en dicha plaqueta. Hay una lengüeta igual remachada a cada lado de la plaqueta y cada lengüeta tiene su propia rendija. Las lengüetas de acordeón son lengüetas batientes hacia adentro: solo se activan cuando el flujo de aire, movido por el fuelle, incidente empuja la lengüeta hacia la rendija de la plaqueta metálica. Así pues, una de las lengüetas suena cuando se abre el fuelle; la otra lengüeta suena cuando se cierra el fuelle. En el caso de lengüetas de tamaño medio o grande el lado opuesto de la rendija se cubre completamente con una tira de plástico o piel cuya función es evitar la pérdida de aire a través

de la rendija de la lengüeta no activa. Las plaquetas metálicas van montadas sobre los llamados bloques de lengüetas (Figura 1). Las lengüetas más graves del acordeón van cargadas en su punta para disminuir su frecuencia natural sin aumentar su longitud [1].



Figura 1: Bloque de lengüetas de acordeón. Las tres lengüetas de la izquierda están cargadas.

El llamado acordeón de concierto de bajos libres consta de dos manuales independientes unidos por el fuelle (Figura 2). Cada manual dispone de botones (o teclas en el manual derecho) ordenados cromáticamente. Cada botón emite una sola nota. El acordeón se toca moviendo el fuelle a la vez que se pulsan los botones. Estos botones abren las válvulas que permiten el paso del flujo de aire a través de las rendijas sobre las que vibran las lengüetas. Las lengüetas se agrupan en grupos independientes denominados voces. En el manual derecho se dispone de cuatro voces: dos voces centrales (de 8 pies, de acuerdo a la nomenclatura utilizada por los organeros), una voz grave (de 16 pies, emitiendo un sonido una octava por debajo de las voces de 8 pies) y una voz aguda (de 4 pies, sonando una octava por encima de las voces de 8 pies). Las voces pueden mezclarse mecánicamente con los registros. El manual de bajos libres de la mano izquierda consta de tres voces independientes distribuidas como 8 pies, 4 pies y 2 pies. En el manual derecho tanto el conjunto de voces de 16 pies como uno de los dos de 8 pies están colocados dentro de una cámara especial denominada "cassotto". El cassotto actúa como un filtro que atenúa los armónicos más altos. No hay cassotto en el manual izquierdo.



Figura 2: Vista frontal el interior de un acordeón de concierto.

MONTAJE EXPERIMENTAL

Se ha utilizado un acordeón de bajos libres de concierto Pignini Sirius [2]. La dinámica se ha controlado midiendo la intensidad de sonido con un sonómetro "Extech Instruments 407727" colocado a 50 cm del acordeón. La dinámica en mezzo forte se corresponde a unos 70 dBA del sonómetro y la dinámica en piano a unos 55 dBA.

En el caso de los ataques, los espectros FFT han sido de 6400 líneas hasta los 20000 Hz. En el caso del pitch bending los FFT han sido de 6400 líneas hasta los 6400 Hz. En el dominio de tiempos, se han tomado medidas cada 50 ms, con un total de 2 s en el caso de los ataques y

de 5 s en el caso del pitch bending. Los sonidos han sido grabados utilizando un micrófono de campo libre (4189-A21, Bruel&Kjaer) colocado aproximadamente también a 50 cm en frente del acordeón. Los datos, tanto del dominio de frecuencias como del dominio temporal, han sido obtenidos utilizando el software PULSE Bruel&Kjaer.

ATAQUES

Tipos de Ataque

Los acordeonistas diferencian [3-8] entre dos tipos de ataques: duros o ataques de dedo (el fuelle se pone primero en tensión para a continuación pulsar el botón) y blandos o ataques de fuelle (el botón se pulsa antes de accionar el fuelle). Independientemente de la dinámica empleada, los ataques de fuelle se perciben como menos marcados que los ataques de dedo, debido a que en la articulación del fuelle el flujo de aire se controla por medio del movimiento de toda la caja izquierda del acordeón [3, 4]. Entre los ataques duros y los ataques blandos se puede crear un amplio rango de ataques intermedios. Por otro lado, para un ataque duro, se puede ralentizar la velocidad con que se pulsa el botón [3, 8]. A partir de aquí se denominará a los tres tipos de ataque “de dedo”, “de fuelle” y “de dedo con pulsación lenta”. Se mostrarán los resultados obtenidos para la nota A4, cuyo comportamiento es similar al resto de las notas medidas [9].

Tiempos De Ataque

Los tiempos de ataque de los armónicos de las notas medidas se han calculado como los intervalos de tiempo que se extienden desde el momento en que el nivel de presión sonora alcanza el umbral de los -50 dB de la amplitud máxima (en dB) hasta el momento en que alcanza el umbral de los -5dB de la amplitud máxima (en dB), es decir, el tiempo transcurrido entre que el nivel de presión sonora toma un valor inicial de $L_{p_{max}-50}$ (dB) y un valor final de $L_{p_{max}-5}$ (dB).

La Tabla I muestra el tiempo de ataque (T) del primer armónico de la nota A4. Los ataques de dedo son más cortos que los ataques de fuelle, independientemente de la dinámica (piano o mezzo forte) utilizada en el ataque. Esta diferencia de duración está relacionada con la rápida apertura de la válvula en los ataques de dedo y a que en la articulación del fuelle el flujo de aire se controla por medio del movimiento de toda la caja izquierda del acordeón [3, 4]. Los ataques de dedo con pulsación lenta muestran valores intermedios entre los de los ataques de dedos y los ataques de fuelle. Con respecto a la influencia de la dinámica en la duración de los ataques, los ataques de dedo en mezzo forte con pulsación normal o con pulsación lenta, son más cortos que los respectivos ataques en piano. En el caso de los ataques de fuelle, el rango de dinámica no parece tener influencia alguna en la duración de los ataques.

dinámica mezzo forte			dinámica piano		
Dedo	Dedo con pulsación lenta	Fuelle	Dedo	Dedo con pulsación lenta	Fuelle
60 ms	80 ms	390 ms	90 ms	220 ms	410 ms

Tabla I: Valores del tiempo de ataque para el primer armónico de la nota A4

La Figura 3, en la columna izquierda, muestra el comienzo (t para $L_{p_{max}-50}$ (dB)) y final (t para $L_{p_{max}-5}$ (dB)) de los primeros armónicos de la nota A4 para (a) ataques de fuelle, (b) ataques de dedo llevados a cabo con pulsación lenta del botón, y (c) ataques ordinarios de dedo. Todas las medidas se han realizado con dinámica mezzo forte. Como ocurría con el primer armónico,

el tiempo de ataque es menor para los ataques de dedo (valor aproximado 100 ms) que para los de fuelle (valores entre 400 y 600 ms). Además, cuando la velocidad del botón disminuye, el tiempo de ataque toma valores entre los correspondientes a ataques de dedo y los correspondientes a ataques de fuelle.

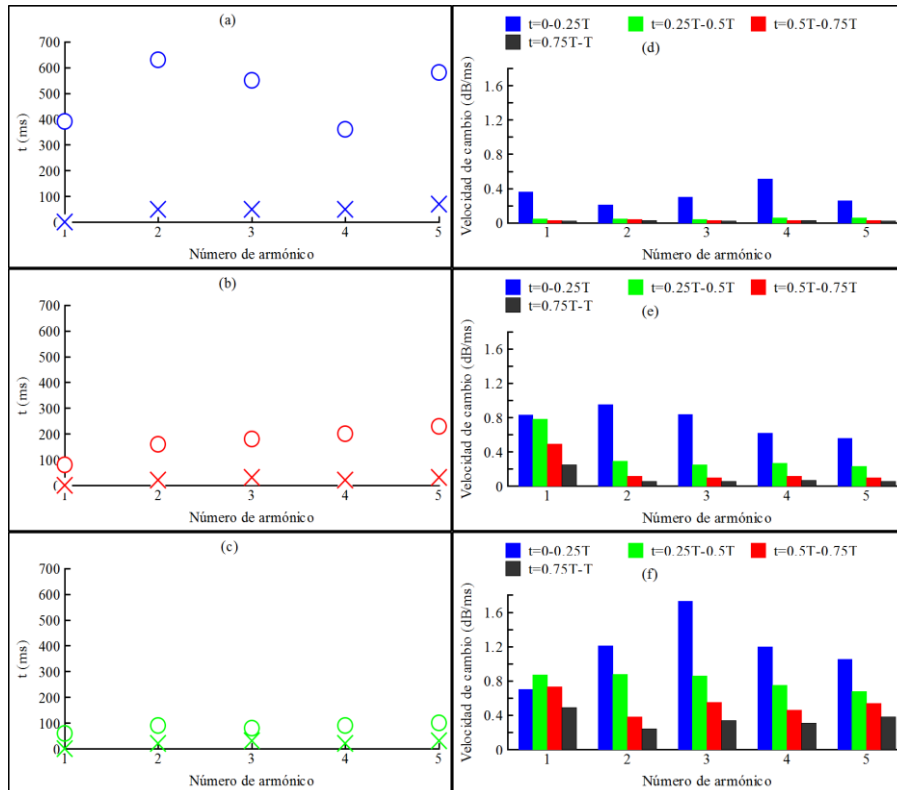


Figura 3: Comienzo (x) y final (o) del ataque de los primeros armónicos de la nota A4 para (a) ataque de fuelle, (b) ataque de dedo con pulsación lenta, y (c) ataque de dedo, todos ellos con dinámica mezzo forte.

Velocidad de cambio (en dB/s) de la presión sonora de los primeros armónicos de la nota A4 para (d) ataque de fuelle, (e) ataque de dedo con pulsación lenta, y (f) ataque de dedo, todos ellos con dinámica mezzo forte.

Velocidad De Cambio (En dB) De La Presión

Si la única diferencia entre los diferentes tipos de ataque fuera su duración, sus respectivas velocidades de cambio de la presión (en dB/s) deberían evolucionar también de la misma manera. Sin embargo, si se divide el tiempo de ataque (T) del primer armónico en cuatro intervalos iguales, puede observarse cómo cada tipo de ataque tiene una evolución característica que lo diferencia del otro. Los ataques de fuelle (Figura 3d) muestran una velocidad de cambio más alta durante el primer cuarto del tiempo de ataque de cada armónico. Para el resto del ataque, esta velocidad es muy baja. En cambio, para los ataques de dedo (Figura 3f), esta velocidad de cambio está más equilibrada durante todo el ataque. Esto podría contribuir a una diferente percepción de ambos tipos de ataque. Los ataques de dedo con velocidad lenta del botón (Figura 3e) muestran una velocidad de cambio que se parece a la experimentada en los ataques de fuelle.

PITCH BENDING

Descripción Y Tipos De Pitch Bending

Aunque la lengüeta libre se caracteriza por una cierta estabilidad de la frecuencia frente a cambios de presión [5], existen ciertas técnicas especiales de interpretación que consiguen un

descenso continuo de la frecuencia. Es el pitch bending o glissando no temperado [10-15]. En este apartado se estudia la influencia del pitch bending en la altura y en el contenido armónico del sonido emitido por el acordeón. En el método habitual de pitch bending (que denominaremos a partir de ahora “fuelle más dedo”) se combina un incremento de presión sobre el fuelle con la apertura parcial de la válvula (por medio de una pulsación parcial de los botones). Un segundo método (que denominaremos a partir de ahora “solo dedo”) consiste en soltar gradualmente el botón pulsado mientras la presión sobre el fuelle se mantiene constante. Caracterizaremos ambos tipos de pitch bending, midiendo el cambio en la frecuencia y en el nivel de la presión sonora. Describiremos cómo se comportan los veinte primeros armónicos de las notas A#2 hasta A3 del registro de 8 pies fuera de cassotto.

Cambios En La Frecuencia Y En El Nivel De Presión Sonora

La frecuencia del sonido original se va a denotar por f_{or} , y la frecuencia del sonido final por f_{fin} . Para comparar las disminuciones de la frecuencia original haremos uso de los cents [16]: el temperamento igual de doce notas divide la octava en doce semitonos de cien cents cada uno. Por otro lado, el nivel de presión sonora (en dB) de cada armónico del sonido original se va a denotar por Lp_{or} , y el nivel de presión sonora del sonido final por Lp_{fin} . Así, el número de cents que mide el intervalo de f_{or} a f_{fin} y el cambio de nivel de presión sonora pueden calcularse por:

$$\text{Cambio de frecuencia (en cents)} = 1200\log_2(f_{fin}/f_{or}) = 3986\log_{10}(f_{fin}/f_{or}) \quad (1)$$

$$\text{Cambio de nivel de presión sonora (en dB)} = Lp_{or} - Lp_{fin} \quad (2)$$

La Tabla 2 muestra los valores medios de cambio de frecuencia, así como sus valores máximos y mínimos, para ambos tipos de pitch bending: el método “fuelle más dedo” produce una mayor disminución en la frecuencia de la nota original.

Cambio de frecuencia	1 ^{er} método: fuelle más dedo	2 ^o método: solo dedo
Cambio medio	-22.4 cents	-15.0 cents
Cambio máximo	-33.8 cents	-22.2 cents
Cambio mínimo	-16.0 cents	-9.0 cents

Tabla 2. Cambios de frecuencia, en cents, para los dos métodos de pitch bending.

Por otro lado, en la Figura 4 se observa que ambos tipos de bending conllevan un descenso del nivel de presión sonora, más acusado en el caso del método “solo dedo”.

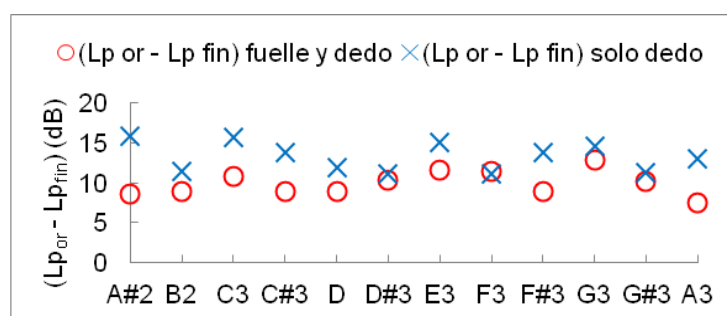


Figura 4: Promedio para los veinte primeros armónicos de la diferencia de nivel de presión sonora antes y después de pitch bending. Error máximo: 1 dB. A3=221 Hz.

Tanto la disminución de la frecuencia como el del nivel de presión sonora se explican teniendo en cuenta que la lengüeta libre es un dispositivo controlado por el flujo [17-19]. Cuando una válvula se va cerrando gradualmente, una cantidad cada vez menor de aire llega a la lengüeta, disminuyendo la energía, así como su frecuencia y su amplitud. En el caso del tipo “fuelle más dedo”, esta pérdida de energía se compensa en cierto modo mediante la acción del fuelle. En el caso del tipo “solo dedo” no existe tal compensación, con la consiguiente mayor caída en el nivel de presión sonora. Del mismo modo, el mayor descenso en la frecuencia asociado al pitch bending tipo “fuelle más dedo” podría explicarse por la contribución adicional de energía por parte del fuelle, que permitiría a la lengüeta vibrar a frecuencias más bajas, evitando la completa atenuación de los armónicos.

ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LENGÜETAS CARGADAS

En este apartado se estudia el efecto sobre la frecuencia fundamental de las lengüetas de acordeón de una carga colocada en cualquiera de sus puntos. Se analiza el efecto de la carga en el timbre por medio de dos parámetros psicoacústicos: el centroide espectral y la estructura espectral fina. Para los experimentos se han utilizado dos lengüetas cuyas características vienen reflejadas en la Tabla 3:

	L (m)	m (kg)	f_1 (Hz)
Lengüeta 1	0.042	0.68×10^{-3}	142.7
Lengüeta 2	0.037	0.29×10^{-3}	226.4

Tabla 3: Principales características de las lengüetas no cargadas de acordeón utilizadas en este trabajo

Una lengüeta de acordeón puede considerarse en buena aproximación como una barra fija en un extremo y libre en el otro. Cuando se coloca una masa M en el extremo libre de una barra de este tipo, el cociente entre la frecuencia fundamental f_1 de la barra sin carga y la frecuencia fundamental f_1' de la barra cargada cumple la siguiente ecuación [20]:

$$(f_1 / f_1')^2 \approx 1 + 4.1(M/m) \quad (3)$$

En la primera serie de experimentos, se ha analizado el efecto del valor de la masa M en la frecuencia fundamental de la lengüeta. Para ello se ha colocado siempre la carga en el extremo libre de cada una de las dos lengüetas estudiadas y se ha variado el valor de M . Los resultados obtenidos pueden verse en la Figura 5: cuanto mayor es la masa M , menor es la frecuencia fundamental resultante. El ajuste de los datos coincide bastante bien con los resultados teóricos dados por la ecuación (3).

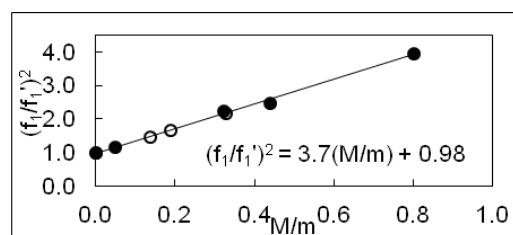


Figura 5: Efecto del valor de M en la frecuencia fundamental de las lengüetas con la carga colocada en su extremo libre. (○) lengüeta 1, (●) lengüeta 2.

Después se han colocado diferentes cargas M en distintas posiciones de las lengüetas, desde el extremo libre ($x=L$) hasta el extremo fijo ($x=0$). La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos para tres posiciones diferentes de la masa M : para un mismo valor de la masa M , la variación en la frecuencia es máxima cuando la masa se sitúa en el extremo libre de la lengüeta. Así, los luthiers colocan siempre la masa adicional en el extremo de las lengüetas cargadas.

Leng	M/m	M en el extremo libre ($x=L$)		M en el medio de la lengüeta ($x=0.5L$)		M cerca del extremo fijo ($x\approx 0$)	
		cambio de frec. (cents)	Intervalo aprox.	cambio de frec. (cents)	Intervalo aprox.	cambio de frec. (cents)	Intervalo aprox.
1	0.33	-663	5 ^a	-105	½t temp.	-0	--
	0.19	-438	3 ^a M	-64	½t peq.	-21	Coma
	0.14	-336	3 ^a m	-64	½t peq.		
2	0.80	-1188	8 ^a	-292	3 ^a m	-12	--
	0.44	-780	6 ^a m	-179	2 ^a m	-12	--
	0.32	-701	5 ^a	-110	½t temp	-1	--
	0.05	-119	½t temp.	-38	Coma		

Tabla 4: Resultados obtenidos para el cambio de frecuencia en cents, cuando la masa M se sitúa en puntos diferentes de las lengüetas. Se muestran también los correspondientes intervalos musicales.

En cuanto al timbre se refiere, el centroide espectral no parece caracterizar adecuadamente la brillantez del sonido en el caso de varias lengüetas cargadas con masas diferentes. Sin embargo, la llamada estructura espectral fina, definida como la razón entre la suma de amplitudes de los armónicos pares y la suma de amplitudes de los armónicos impares, sí puede servir para este propósito: los resultados experimentales muestran que el valor de la estructura espectral fina se sitúa entre 0.8 y 0.9 para las lengüetas cargadas, mientras que para las lengüetas no cargadas toma valores cercanos a 0.4.

CONCLUSIONES

La caracterización de los diferentes ataques en el acordeón muestra que, en los ataques de dedo, todos los armónicos evolucionan de una manera similar en duración, tiempos de comienzo y final, y velocidad de crecimiento (en dB/s) de la presión. Los tiempos de ataque de los ataques de dedo son más cortos que los tiempos de ataque de los ataques de fuelle. Los ataques de fuelle muestran una alta velocidad de cambio (en dB/s) de la presión durante el primer cuarto del tiempo de ataque de cada armónico, permaneciendo después muy baja esta velocidad para el resto de la duración del ataque. Por último, los ataques de dedo con pulsación lenta muestran características intermedias entre los de dedo y los de fuelle.

En cuanto al pitch bending hay una disminución de frecuencia y un cambio en la sonoridad, diferente para cada armónico. El sonido final se percibe como más suave que el original y de timbre diferente. El pitch bending de tipo "fuelle más dedo" implica una mayor disminución de la frecuencia; el de tipo "solo dedo" conlleva una mayor disminución del nivel de presión sonora.

Finalmente, en lo que respecta a la carga de lengüetas de acordeón: cuanto mayor es la masa añadida más baja la frecuencia; cuanto más cerca del extremo fijo se coloca la carga, la variación de la frecuencia es menor; y cuanto mayor es la masa añadida más se equilibra la

proporción entre la suma de amplitudes de los armónicos pares y la suma de amplitudes de los armónicos impares.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Benetoux, *The Ins and the Outs of the Accordion*, Le Tour: Editions Thierry Benetoux, 2002.
- [2] Pigni, <http://www.pigni.com>
- [3] F. Lips, *The Art of Bayan Playing* (Karthause-Schmülling Verlagsgesellschaft, Kamen, 2000), p 37.
- [4] B. Buchmann, *The Techniques of Accordion Playing. Die Spieltechnik des Akkordeons* (Bärenreiter-Verlag, Kassel, Germany, 2010), pp. 40-43.
- [5] P. Gervasoni, *L'Accordéon, Instrument du XXème Siècle* (Editions Mazo, Paris, France, 1986), pp. 112-113.
- [6] H. Kymäläinen, *Harmonikka Taidemusiikissa (The Accordion in Classical Music)* (Suomen Harmonikkainstituutti – Finnish Accordion Institute, Ikaalinen, 1994), pp. 123 and 140.
- [7] J. Smetana, *Základy nové techniky hry na akordeon - díl II. (praktická cvičení)- (The basis of the new accordion technique – 2nd vol. Exercises)* (Editio Bärenreiter Praha, Prague, Czech Republic, 1974).
- [8] C. Jacomucci, *Tecnica I per fisarmonica a bottoni (C-griff)* (Edizioni Musicali Bèrben, Ancona, Italy, 1998), p. 31.
- [9] R. Llanos-Vázquez, M.J. Elejalde-García, E. Macho-Stadler, A. Agos-Esparza, "Physical and psychoacoustic characterization of the different types of attacks on the accordion", *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 100, 375–384 (2014).
- [10] R. B. Johnston, "Pitch Control in Harmonica Playing", *Acoustics Australia* 15, 69-77 (1987).
- [11] L. Millot, C. Cuesta, C. Valette, "Experimental Results when Playing Chromatically on a Diatonic Harmonica", *Acustica* 87, 262-270 (2001).
- [12] J. P. Cottingham, C. J. Lilly, M. Busha, "Variation of frequency with blowing pressure for an air-driven free reed", in *Collected papers of the 137th meeting of The Acoustical Society of America and the 2nd Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum*, Berlin, Germany (1999).
- [13] J. P. Cottingham, "Pitch Bending and Anomalous Behaviour in a Free Reed Coupled to a Pipe Resonator", in *Proceedings of the Forum Acusticum*, Budapest, Hungary (2005).
- [14] J. P. Cottingham, "Pitch bending and multiple-mode reed vibration in mechanically-blown free reed instruments", in *Proceedings of the International Symposium on Music Acoustics (Associated Meeting of the International Congress on Acoustics)*, Sydney and Katoomba, Australia (25-31 August 2010).
- [15] W. L. Coyle, S. L. Behrens and J. P. Cottingham, "Influence of accordion reed chamber geometry on reed vibration and airflow", *J. Acoust. Soc. Am.* 126, 2216(A) (2009).
- [16] T. D. Rossing, F. R. Moore and P. A. Wheeler, *The science of sound, 3rd ed.* (Addison Wesley, 2002), pp. 181-182.
- [17] A. O. St Hilaire, T. A. Wilson, G. S. Beavers, "Aerodynamic excitation of the harmonium reed", *J. Fluid Mech.*, vol. 49, part. 4, 803-816 (1971).
- [18] D. Ricot, R. Caussé, N. Misdariis, "Aerodynamic excitation and sound production of blown-closed free reeds without acoustic coupling: The example of the accordion reed", *J. Acoust. Soc. Am.* 117 (4), 2279-2290 (2005).
- [19] T. Tonon, "Reed cavity design and resonance", in *Papers of the International Concertina Assoc.*, v. 2 (2005).
- [20] B. Balachandran, E. B. Magrab, *Vibrations*, Toronto: Cengage Learning, 541-649, (2009).