

# Estudio acústico del rebajado de las lengüetas del oboe



PACS 43.75.Pq

## Resumen

Este artículo estudia la influencia de tres estilos de rebajado de la lengüeta en la acústica del oboe. Se han grabado 462 muestras con 2 oboístas, 11 ejercicios de ejecución que exploran diferentes recursos del oboe y 4 posiciones fijas de micrófono, utilizando 6 lengüetas (2 por estilo de rebajado) de mismas características.

El análisis estadístico de 37 parámetros acústicos muestra que la distribución de energía espectral genera las diferencias más significativas: el estilo alemán produce sonidos con más energía en graves y medios y formantes más marcados, asociados al timbre oscuro y grave del estilo alemán. En algunos ejercicios el estilo de rebajado alemán causa una afinación más aguda en ciertas notas y una mayor caída en frecuencia con la disminución de intensidad.

Influyen más las características intrínsecas de cada pala que el tipo de rebajado. El rebajado parece afectar más la propiocepción del oboísta al ejecutar los ejercicios.

## Abstract

This article studies the influence of reed-making styles in the acoustics of the oboe. 462 samples were recorded using 2 oboists, 11 exercises exploring different performance possibilities of the oboe, 4 microphone positions and 6 reeds (2 per style) of similar characteristics.

*Carolina Blasco-Yepes*  
*Conservatori Professional de Música de Catarroja*  
*Florida Universitaria*  
*cblasco@florida-uni.es*  
*Blas Payri*  
*Universitat Politècnica de València*  
*EPSP, C/ Paranimf 1, 46730 Grao de Gandia*  
*bpayri@har.upv.es*

The statistical analysis of 37 acoustic parameters shows that spectral energy distribution generates the most significant differences: the german style produces sounds with more energy in the medium and low part of the spectrum and more pronounced formants, associated with the dark and deep timbre of the german style. In some exercises, the german style causes a higher pitch in some notes, and a steeper pitch lowering with the decrease in pressure. The idiosyncrasies of each reed overcome generally the influence of the making. Reed-making seems to affect most the proprioception of the oboist while performing the exercises.

## 1. Introducción

Este artículo se centra sobre la lengüeta, una de las dos partes principales del oboe, junto con el cuerpo, y que actúa como el excitador sonoro. Más específicamente, se aborda el rebajado de la lengüeta, un proceso en el que se van eliminando partes de la caña bruta hasta obtener la forma deseada. Los oboístas otorgan a este proceso una importancia vital para obtener un sonido adecuado y poder ejecutar correctamente los diferentes ejercicios de interpretación, y es importante destacar que el rebajado sigue haciéndose principalmente a mano y forma parte del proceso de aprendizaje del oboísta.

A pesar de la conocida importancia de la lengüeta para los oboístas, no fue hasta el s. XIX cuando aparecieron las primeras instrucciones detalladas de cómo realizar una lengüeta, por lo que se deduce que anteriormente se transmitían de

forma oral (Burgess & Haynes, 2004, p. 157). Desde el principio del s. XIX tenemos descripciones muy detalladas de este proceso y de los problemas aparecidos a la hora de rebajarlas (Garnier, c. 1800; Vogt, 1872; Sellner, 1825; Veny, 1828; Salviani, 1848; Barret, 1850). Pero sólo Brod (1830) en su primer volumen y al contrario que los anteriores, hace hincapié en las diferentes formas de rebajar las lengüetas por parte de los italianos, alemanes y en general todos los extranjeros respecto a los franceses, incluyendo además una relación entre rebajado y calidad sonora, describiendo el estilo alemán como *dur* (duro) y *sourd* (sordo) y proponiendo el estilo francés como el más conveniente para la interpretación del oboe. En España, unos años más tarde, Marzo (1870) también recalcará esta diferencia de calidad sonora (Llimerà, 2006). Steins (1964, p. 26) explica cómo realizar un rebajado alemán y emite un juicio de valores opuesto al de Brod: “cuando escuchamos un oboe lo preferimos lleno y con un sonido suave. El gusto francés por los colores brillantes ya no se considera internacionalmente como un ideal.”

Rothwell (1979, p. 43) sólo compara las ventajas y desventajas de dos estilos: el americano y el francés. Baines (1991, p.82) sólo diferencia el final (la base) de las lengüetas: “un final en U (común en Inglaterra) o una pronunciada V (en Francia)”, sin explicar nada respecto a sus efectos en el sonido o en la interpretación. Burgess & Haynes (2004, p.159) hablan sobre los diferentes estilos de rebajado, pero no explican los detalles sobre su construcción o sobre el rebajado.

El término escuela fue claramente definido por Ledet (2008) y es aquella en la que sus intérpretes tienen similitudes en el sonido y en el estilo de la interpretación; asimismo, uno de los elementos principales que agrupa a los intérpretes en una escuela u otra es la construcción de las lengüetas: “utilizan un mismo patrón para construir sus propias cañas” (Ledet 2008, p. 167). Destaquemos que los oboístas, cuando empiezan el estudio de su instrumento, dependen directamente de la producción de las lengüetas por parte de su profesor. Una vez el proceso asimilado, imitan el rebajado con el que durante tantos años han tocado. A partir de esta definición, Ledet (2008) agrupa los diferentes patrones de construcción de las lengüetas en 6 estilos: francés, americano, inglés, holandés, vienés y alemán.

Podemos pensar que las diferentes formas de rebajar la lengüeta van a influir en el sonido, sin embargo, encontramos pocos estudios objetivos sobre la influencia de la lengüeta y aún menos sobre su rebajado. Algunos estudios como el de Ledet (2008), ya apuntaban este cambio en la percepción del sonido, pero sin ofrecer ningún estudio real de la influencia directa del rebajado en la acústica o percepción del sonido o de otras características afines a él. Un estudio específico (Prodan, 1977) se centraba en determinar si la afinación de una lengüeta cuando está acabada influye en la calidad del timbre, aunque sólo utilizaba, básicamente, el estilo americano.

Encontramos algunos estudios que se basan en encuestas

como el de Romero, Alba y Ramis (2006), en el que realizaron una encuesta a oboístas profesionales, preguntándoles sobre la importancia de la caña en comparación con el instrumento. Los resultados de la encuesta muestran que para los oboístas la caña es más importante que el instrumento y que no existe preferencia por una marca de palas en concreto, siendo la humedad el factor más influyente en el comportamiento de las lengüetas. También grabaron una nota con varias lengüetas y muestran los espectrogramas sin analizar los parámetros acústicos que pueden explicar la calidad de la caña. Encontramos otra experiencia parecida diseñada por Dahl (2001), que realiza tests con diferentes cañas a 5 oboístas de reconocido prestigio. El parámetro utilizado no es la diferencia en el rebajado, sino los cambios en los elementos que forman la estructura de la lengüeta: diversos diámetros del tubo, diferentes casas suministradoras de palas, varios gubia-dos internos, etc.

En este artículo nos centramos pues en el estudio objetivo de la influencia del estilo de rebajado en el sonido y posibilidades de ejecución en el oboe, estudiando a través de mediciones acústicas las hipótesis más comúnmente defendidas por las escuelas de oboe sobre la adecuación de cada estilo de rebajado. Para ello necesitamos no solamente realizar lengüetas según los estilos de rebajado, sino además definir ejercicios de interpretación que permitan poner a prueba el comportamiento de la lengüeta.

## 2. Diseño del experimento

### 2.1. Proceso de rebajado de las lengüetas

El parámetro esencial para el estudio va a ser el rebajado. En nuestro estudio, sólo hemos utilizado los 3 estilos que actualmente aún siguen en vigor de los 6 estilos definidos por Ledet (2008):

- El **estilo francés**: longitud total de 72mm y raspado corto (de entre 9 y 13mm).
- El **estilo americano** es una modificación del francés, cañas con un raspado largo (14-22mm) y con el centro de la lengüeta más denso. La punta y la pendiente son más bien cortas, y el esmalte se quita desde la parte de atrás. La longitud total es generalmente más corta que la de estilo francés para compensar la delgadez causados por el amplio raspado desde atrás.
- El **estilo alemán** es una combinación del raspado francés (corto) y del raspado americano (largo): longitud del raspado entre corto y medio.

Las lengüetas fueron confeccionadas expresamente para este estudio. Se ataron en *total 25 lengüetas, construidas todas ellas a partir de palas Le Roseau Chantant (molde RC12) y utilizándose para todas el tudel Chiarugi 2+ de 47mm.* Tan-

to el gubiado interno de las palas (57/100mm), como el diámetro del tubo (10,25-10,50mm) y la longitud total (atadas y cortadas) se mantuvo constante en todas las lengüetas. Este aspecto es importante, ya que cualquier cambio en la longitud total del instrumento, puede producir cambios en la afinación de todas las notas del sistema temperado (Fletcher y Rossing, 1998, p. 469). Una vez finalizado el proceso del atado, se rebajaron todas a mano, escogiendo para la grabación las lengüetas con el mejor material.

Se han seleccionado 2 lengüetas por cada tipo de rebajado que han servido para realizar todas las muestras de este estudio.

## 2.2. Hipótesis sobre los tipos de rebajado

Las hipótesis que podemos formular sobre la influencia que va a tener el tipo de rebajado pueden ser separadas entre el efecto sobre la calidad global del sonido producido (timbre) y el efecto sobre la facilidad de ejecución y control que tiene el oboísta.

Hemos visto que los teóricos del oboe distinguen entre el sonido del rebajado alemán al que se asocian descriptivos como “suave”, “lleno”, “duro”, “sordo”, el del francés como “brillante” y “ligero” y el americano como “oscuro”, “grande”, “lleno” y “bonito”. Otros teóricos como Fletcher y Rossing (1998, p. 484) definen el sonido de los instrumentos de lengüeta como la relación existente entre la presión de la columna del aire y la vibración de la lengüeta. Emitimos la hipótesis que los rebajados influyen en la vibración de la lengüeta y por consiguiente afectarán el “color” del sonido, es decir la presencia de armónicos agudos y la forma general del espectro, con el rebajado francés más rico en agudos, y el alemán el que más concentra la energía en el grave.

Las características del rebajado para la facilidad de ejecución y el control pueden ser descritos con los conceptos de rigidez y flexibilidad. Los oboístas suelen considerar que las lengüetas alemanas son muy rígidas; las francesas no son ni excesivamente rígidas ni flexibles; y las americanas son muy flexibles. Por consiguiente, las lengüetas alemanas son poco flexibles, muy duras en la embocadura del oboísta, con mucha madera, es decir, con más grosor en todas las partes de la lengüeta, y por todas estas características reciben mejor un mayor flujo de aire por parte de los oboístas, consiguen que sus dos palas no se saturan y vibren con toda normalidad ante un fortissimo y son las que mayor intensidad sonora consiguen. Podemos pues emitir la hipótesis de una mayor intensidad sonora para las lengüetas alemanas.

Estas mismas lengüetas suelen ser muy difíciles de controlar con la embocadura, por lo que la interpretación de diferentes ejercicios con este tipo de lengüetas puede provocar desviaciones de la intensidad en pequeñas cantidades que no son controlables por el oboísta. Todo lo contrario ocurre con una lengüeta más estable y no excesivamente flexible, como suele ser la francesa. Estas lengüetas son más fáciles de con-

trolar, por lo que la interpretación de los ejercicios será más estable.

La afinación y su estabilidad también siguen los patrones de rigidez/flexibilidad. Uno de los elementos del rebajado que más influyen en la afinación suelen ser los laterales de las cañas. Una lengüeta con los lados espesos (las alemanas) nunca caerá en afinación, al tener más madera su ámbito de afinación es menor y sus vibraciones son más agudas. Esto mismo va a proporcionar a las lengüetas alemanas tener menos margen de inestabilidad. Por el contrario, una lengüeta excesivamente flexible (provocado por la eliminación de la madera en la punta y en la parte de atrás de la caña), como es el caso de las americanas, se caracteriza por ser una lengüeta baja en afinación y con una gran posibilidad de variabilidad en la afinación. La facilidad de vibración también viene determinada por la cantidad de madera que tiene la caña, cuanto más rígida sea una lengüeta mucha más presión y energía por parte del oboísta va a necesitar para poder poner a vibrar las dos palas y así producir el sonido. Podemos emitir la hipótesis de que a mayor espesor de madera, las lengüetas estarán altas en la afinación general. Además, serán más estables ante una nota dada, es decir, tendrán menor variabilidad en la afinación y la rapidez para que sus lengüetas vibren al emitir sonidos será más costosa que otros rebajados.

Las lengüetas con mayor flexibilidad, y por tanto las más estables en los ejercicios *oscillato*, *diminuendo* y dobles sonidos armónicos, deberían ser las lengüetas americanas, que se caracterizan por tener un rebajado muy largo, con unas puntas largas y flexibles y un centro más rígido para poder así equilibrar este rebajado tan flexible.

Sin embargo, para los ejercicios que necesitan unas lengüetas muy rígidas por tener que soportar las oscilaciones y los recursos de la lengua de los instrumentistas, como por ejemplo en el ejercicio *frullato*, las mejores lengüetas deberían ser las alemanas. Así mismo, el ejercicio volumen requiere una lengüeta con un rebajado que admita mucho aire y que las dos palas de la lengüeta no se saturan rápidamente, es decir, una lengüeta rígida como es el rebajado alemán.

## 2.3. Ejercicios de interpretación instrumental

Para estudiar el comportamiento y las posibilidades de las lengüetas, se diseñaron y ejecutaron los siguientes ejercicios de interpretación, que ponen en relieve las principales dificultades y casos límite de la ejecución en el oboe:

- Ataque: se ejecutaron 2 notas en los registros grave y sobregado. El ataque se realizó de dos formas, primero con un ataque de lengua (pronunciando la letra “t”) y segundo con un ataque con aire (sin lengua).
- Oscillato: se realizó en un sol<sub>3</sub> con una ligera fluctuación de la afinación hacia arriba y hacia abajo.

- Afinación: se interpretó el  $do_4$ ,  $do_5$  y  $do_6$ , ligados y con una duración de blancas.
- Doble *staccato*: 1 compás de 4/4 en semicorcheas ( $fa\#_5$ ) y otro compás en corcheas a una velocidad de metrónomo de negra igual a 152.
- *Frullato*: se realizó en un  $re_6$  con una R continua en el paladar, hasta que la R perturba la caña.
- Volumen: se ejecutó el arpeggio de Sol Mayor, ligado y con blancas.
- *Staccato*: se realizó el ejercicio con la nota  $do_4$ , en semicorcheas, compás 4/4 e indicación de velocidad de negra a 120.
- Dinámica: se ejecutó un  $sol_4$ , con una duración de tres redondas, a una velocidad de metrónomo de negra igual a 60 y realizando un *diminuendo* progresivo, pasando *defortissimo* (ff) a *pianissimo* (pp).
- Dobles sonidos armónicos: se interpretó a la vez un  $sib_3$  y un  $fa_5$ .
- *Legato*: se ejecutaron dos compases de 4/4, en corcheas  $sib_3$  y  $sib_4$ , a una velocidad de metrónomo de negra igual a 60.



Figura 1. Ejemplo musical del ejercicio ataque.

#### 2.4. Grabación

La grabación se realizó en una sola sesión, en la sala de grabación del estudio de radio del Campus de Gandia de la Universitat Politècnica de València. Esta sala tiene unas características adecuadas para la grabación de voz e instrumentos, porque ha sido acondicionada para evitar reverberaciones audibles. Se utilizaron cuatro micrófonos AKG C451B situados uno arriba, otro abajo y dos laterales, uno a cada lado de los intérpretes, que se encontraban sentados, manteniendo la distancia entre micrófonos e instrumento musical.

Las condiciones de temperatura y humedad relativa se mantuvieron durante las 3 horas de grabación, la temperatura era de 25° C y la humedad relativa del 75%. El mantenimiento de una temperatura constante es muy importante, ya que debemos pensar que uno de los problemas que más afectan a los instrumentistas de viento es la temperatura, porque las diferencias en ella pueden provocar cambios en la afinación de las notas (Fletcher y Rossing, 1998, p. 470)

### 3. Respuestas acústicas en función del ejercicio de interpretación

En una primera fase, se analizan las respuestas acústicas de las lengüetas en función del ejercicio de interpretación, de modo a destacar detalladamente las características de los tipos de rebajado y su conveniencia para las diferentes exigencias de interpretación. Hemos hecho mediciones acústicas visibles en el espectro, como por ejemplo de los parámetros frecuencia e intensidad. Por otra parte, en los ejercicios ataque, *staccato*, doble *staccato* o *legato*, hemos realizado el análisis detectando elementos que aparecen en la señal sonora, como las interrupciones del sonido o el tiempo que tarda en estabilizarse el sonido tras el ataque.

#### 3.1. Ataque

Podemos observar que las lengüetas excesivamente flexibles, como las americanas, suelen producir errores en la emisión de las notas (círculo rojo) que no se dan en las lengüetas rígidas como las alemanas.

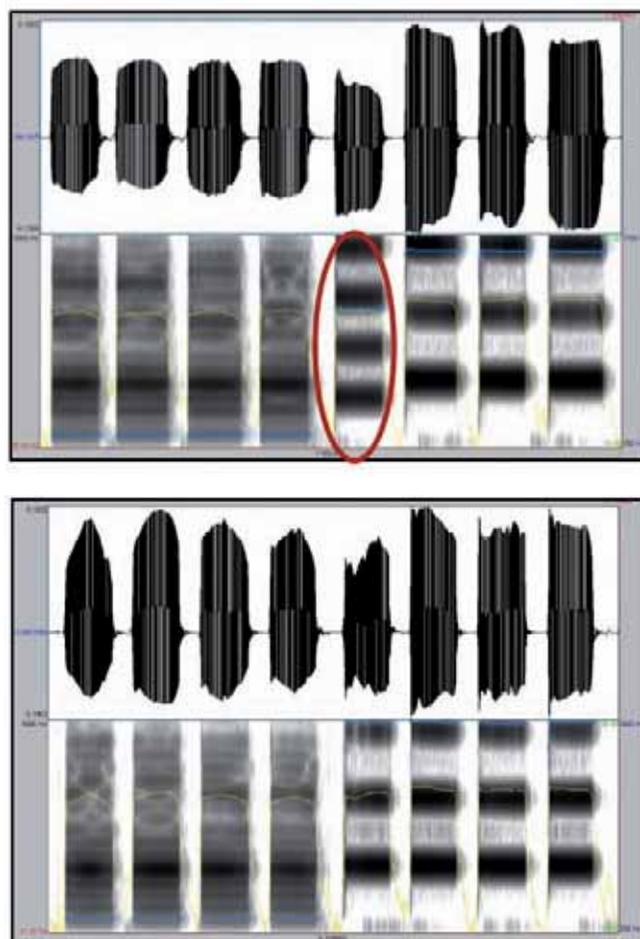


Figura 2. Representación en amplitud/tiempo y espectrograma del ejercicio ataque con lengua. Lengüeta americana 1 (arriba) y alemana 1 (abajo). La línea azul representa la  $F_0$  (Hz) y la línea amarilla la intensidad (dB).

### 3.2. Legato

Podemos observar en el sonograma las interrupciones del sonido (círculo rojo) y la aparición del primer armónico en vez de la nota real (círculo verde). Este ejemplo corresponde a una lengüeta alemana, caracterizada por su rigidez y su dificultad para adaptarse a los sucesivos cambios de octava.

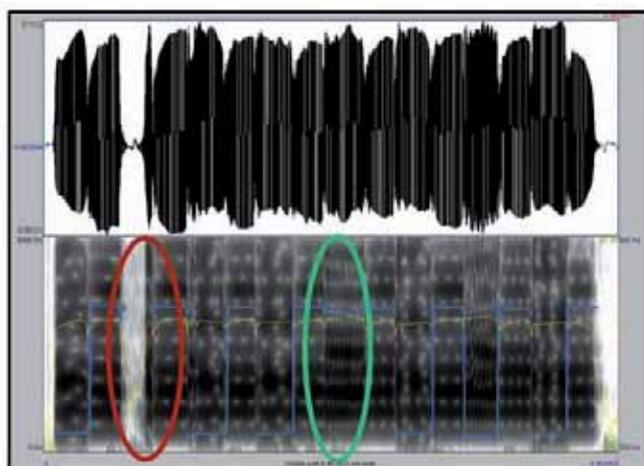


Figura 3. Representación en amplitud/tiempo y espectrograma del ejercicio legato. Lengüeta alemana 1. La línea azul: F0 (Hz) y la línea amarilla: intensidad (dB).

### 3.3. Oscillato

En el *oscillato* se ha medido la frecuencia máxima y la mínima con sus correspondientes intensidades. La frecuencia

mínima se toma de la segunda oscilación, cuando el *oscillato* ya es estable. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos y se calculan las diferencias de las intensidades para poder concluir que la lengüeta que mayor amplitud posee en el *oscillato* es la lengüeta americana 1.

Una serie de análisis de varianza (One-Way ANOVA) muestra que no ha habido una influencia del estilo de rebajado para las realizaciones del *oscillato*.

### 3.4. Afinación

En el parámetro afinación se han medido tanto las frecuencias como las intensidades de las tres notas. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

En la tabla 3 se muestran por una parte la desviación de afinación respecto a la frecuencia del sistema temperado, y por otra parte la desviación relativa a la nota anterior (intervalos de octava). Estas desviaciones en la afinación del intervalo se miden de la siguiente manera: a partir de la primera nota ( $F0_1 = do_4$ ) se calcula la frecuencia de su octava superior justa (octava de  $F0_1$ ) y se calcula la desviación respecto al valor real obtenido ( $F0_2 = do_5$ ). A continuación se realiza el mismo procedimiento: se toma como referencia la frecuencia del  $do_5$  obtenida en la grabación y se calcula la frecuencia de la octava justa. El ratio de frecuencias ( $F0_1/F0_2$  y  $F0_3/F0_4$ ) indica la desviación de la afinación: cuando la lengüeta se queda baja el resultado obtenido es mayor que 1, al contrario, si se queda alta, el resultado es menor que 1. La lengüeta de afinación perfecta es aquella que da un resultado igual a 1.

Tabla 1. Mediciones de la frecuencia fundamental F0 y de la intensidad sonora en los puntos más agudos y más graves del ejercicio *oscillato*.

Oscillato	F0 Max (Hz)	F0 min (Hz)	Intensidad en F0 Max (dB)	Intensidad en F0 min (dB)	Diferencia de F0 (amplitud del <i>oscillato</i> )
alemana 1	397,3	374,9	65,30	66,88	22,4
alemana 2	401,8	385,7	64,20	67,23	16,1
americana 1	398,7	369,9	66,10	63,58	28,8
americana 2	397,3	376,7	65,79	65,08	20,6
francesa 1	394,3	373,3	64,18	65,96	21,0
francesa 2	389,3	361,4	66,17	63,11	27,9

Tabla 2. Mediciones acústicas de los ejercicios de afinación.

Afinación	F0 do <sub>4</sub> (Hz)	Inten. do <sub>4</sub> (dB)	F0 do <sub>5</sub> (Hz)	Inten. do <sub>5</sub> (dB)	F0 do <sub>6</sub> (Hz)	Inten. do <sub>6</sub> (dB)
Intérop 1 aleman 1	263,2	65,80	527,0	62,03	1044	64,85
Intérop 1 aleman 2	266,4	64,20	533,9	61,96	1083	63,28
Intérop 1 americ 1	262,5	65,39	525,0	63,05	1041	64,74
Intérop 1 americ 2	261,6	63,63	524,3	61,39	1035	64,68
Intérop 1 frances 1	261,8	65,24	526,0	61,62	1045	64,88
Intérop 1 frances 2	261,0	64,83	523,9	59,83	1039	64,41
Intérop 2 aleman 2	264,7	62,71	532,6	56,65	1073	60,27
Intérop 2 americ 1	261,9	61,61	520,4	55,72	1042	59,91
Intérop 2 frances 1	262,1	63,22	525,9	55,91	1044	59,68

Se puede observar que la lengüeta que mejor mantiene la afinación de la primera octava es la americana 1 y de la segunda octava la francesa 1, interpretadas ambas por el oboísta 1.

Hemos realizado una serie de análisis de varianza (One-way ANOVA) para los parámetros frecuencia e intensidad dependiendo de los factores: escuela y oboísta. Para el factor escuela, existen diferencias significativas para la afinación de las notas  $do_4$  ( $p=.018$ ) y  $do_5$  ( $p=.025$ ). El factor oboísta no ha influido en la afinación, y esto es de ser destacado, ya que las variaciones de afinación son debidas realmente al rebajado de la caña y no a cómo es interpretada. También es importante destacar que en el parámetro intensidad pasa exactamente lo contrario: el factor escuela no influye en la intensidad conseguida de las notas, pero sí el factor oboísta, que influye de forma muy significativa en las tres notas realizadas ( $do_4$   $p=.005$ ,  $do_5$  y  $do_6$   $p=.000$ ).

### 3.5. Frullato

Para el *frullato* hemos utilizado la medición del *jitter* y del *shimmer*, ya que proporcionan datos objetivos sobre la estabilidad de un sonido tanto para su frecuencia como para su intensidad:

- el *jitter* es el porcentaje en la variación de altura res-

pecto de la fundamental media en una ventana temporal. Muestra la inestabilidad en la afinación.

- el *shimmer* es el porcentaje en la variación de intensidad en una ventana temporal. Muestra la inestabilidad temporal.

La tabla 4 muestra que tanto la lengüeta alemana 1 como la francesa 2 son las que permiten un mejor efecto del *frullato*.

El análisis de varianza (One-way ANOVA) muestra que no existen diferencias significativas para la frecuencia ( $p=.602$ ) y la intensidad ( $p=.804$ ) en este ejercicio.

### 3.6. Volumen

Para este ejercicio se ha medido acústicamente tanto la intensidad máxima como la mínima en todo el pasaje musical. Se puede observar en la tabla 5 que la lengüeta con mayor volumen sonoro es la lengüeta alemana 2.

El análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas por tipo de rebajado en el parámetro intensidad: intensidad máxima ( $p=.391$ ) e intensidad mínima ( $p=.541$ ). Al igual que ocurría en el ejercicio afinación, el factor escuela no parece influir en la intensidad general del sonido del oboe.

Tabla 3. Ratio de frecuencias entre las frecuencias estimadas y las obtenidas, en Hz.

Afinación	Diferencia con $do_4$ temperado en cents	desviación (octava $F0_1/F0_2$ )	Diferencia con $do_5$ temperado en cents	Desviación (octava $F0_2/F0_3$ )	Diferencia con $do_6$ temperado en cents
Intérop 1 aleman 1	10,36	0,9988	12,36	1,0084	-4,14
Intérop 1 aleman 2	31,28	0,9979	34,88	0,9839	59,35
Intérop 1 americ 1	5,75	1,0000	5,78	1,0086	-9,12
Intérop 1 americ 2	-0,20	0,9979	3,47	1,0110	-19,13
Intérop 1 frances 1	1,12	0,9952	9,07	1,0021	-2,48
Intérop 1 frances 2	-4,17	0,9963	2,15	1,0048	-12,45
Intérop 2 aleman 2	20,20	0,9939	30,66	0,9867	43,29
Intérop 2 americ 1	1,79	1,0065	-9,46	1,0053	-7,46
Intérop 2 frances 1	3,11	0,9967	8,75	1,0042	-4,14

Tabla 4. Medidas acústicas del ejercicio *frullato*.

Frullato	Jitter (local %)	Shimmer (local %)	Frecuencia (Hz)	Intensidad (dB)
alemana 1	1,132	10,163	1182	61,45
alemana 2	0,546	8,052	1222	70,78
americana 1	0,523	5,727	1189	65,86
americana 2	0,296	2,079	1191	58,84
francesa 1	0,253	2,982	1180	67,99
francesa 2	0,762	9,332	1188	61,15

Tabla 5. Medidas acústicas del ejercicio volumen.

Volumen	Intensidad máxima (dB)	Intensidad mínima (dB)	Ámbito de Intensidad (dB)
alemana 1	74,36	66,30	8,06
alemana 2	72,47	61,29	11,18
americana 1	76,43	66,60	9,83
americana 2	74,22	66,02	8,20
francesa 1	74,29	66,36	7,93
francesa 2	73,91	65,04	8,87

### 3.7. Dinámica

En el parámetro dinámica se ha medido la frecuencia inicial estable y la última frecuencia medible para poder cuantificar la desafinación que se produce durante el ejercicio. Además, como lo más importante en la dinámica es saber cuántos decibelios puede llegar a disminuir una lengüeta, se acompaña a las mediciones de frecuencia las de la intensidad máxima y mínima en el periodo estable. El último dato recogido es la intensidad en la última parte de la nota, cuando ya no puede ser considerada una nota de calidad, sino más bien un temblor.

La elección de la frecuencia inicial estable en vez de la frecuencia inicial se debe a que, tanto en la voz como en los instrumentos de afinación libre, se suelen producir cambios en la frecuencia durante la emisión de una nota. Aunque en muchas ocasiones estos cambios son mínimos, influyen de una manera decisiva en la afinación de la primera nota.

Como muestra la tabla 6, la lengüeta que menos estable es en la afinación es la alemana 2 en los dos intérpretes y además es con la que menos amplitud consigue el oboísta 2. Al

contrario, la lengüeta que mejor mantiene la afinación es la americana 1 en el oboísta 2 y la que mayor amplitud consigue es la americana 2 en el oboísta 1.

Podemos ver en la tabla 7, al realizar un análisis de varianza de un factor (One-way ANOVA), que existen diferencias significativas en el parámetro afinación (frecuencia inicial) con el factor escuela ( $p=.002$ ); podemos afirmar, que al igual que pasaba en otros ejercicios, el factor escuela influye en la afinación de las notas. Sin embargo, este factor no es influyente en la intensidad, como hemos podido ir observando hasta el momento, pero sí lo es el factor oboísta, que influye en la intensidad ( $p=.049$ ,  $p=.004$ ,  $p=.004$ ), pero no en la afinación ( $p=.958$ ,  $p=.438$ ).

Finalmente, un análisis de varianza muestra que no hay ninguna diferencia significativa ( $p=.68$ ) entre estilos de rebajado para la amplitud del *diminuendo* (diferencia entre intensidad máxima y mínima). Sin embargo en el efecto no deseado de caída de la frecuencia (la afinación suele bajar cuando baja la presión) vemos que hay una diferencia muy significativa ( $F=18$ ,  $p=.003$ ) y un test post-hoc de Bonferroni muestra que las lengüetas alemanas son las que peor se comportan con un cambio de frecuencia mayor que las francesas ( $p=.007$ ) y las americanas ( $p=.005$ ).

### 3.8. Dobles sonidos armónicos

Para el ejercicio de dobles sonidos armónicos se ha medido acústicamente el porcentaje *unvoiced frames* y el tiempo inicial monofónico, es decir, a partir de qué momento se escuchan los dos sonidos de forma estable. El análisis estadístico (One-way ANOVA) muestra que el factor escuela no influye de forma significativa en este ejercicio: % *unvoiced frames* ( $p=.523$ ) y tiempo inicial monofónico ( $p=.375$ ).

Tabla 6. Diferencias de afinación (cents) y de intensidad (dB) del ejercicio *diminuendo*.

Dinámica	F0 inicial (Hz)	F0 final (Hz)	Diferencia en cents	Inten. máx. (dB)	Inten. final estable (dB)	Amplitud (dB)
Intérop 1 alemán 1	397,7	391,1	-28,97	71,67	43,83	27,84
Intérop 1 alemán 2	399,3	391,9	-32,38	68,46	41,67	26,79
Intérop 1 americ 1	395,0	390,0	-22,05	69,60	40,68	28,92
Intérop 1 americ 2	395,2	391,3	-17,16	68,25	38,39	29,86
Intérop 1 frances 1	395,1	391,5	-15,84	70,65	41,38	29,27
Intérop 1 frances 2	396,4	392,2	-18,44	69,88	43,67	26,21
Intérop 2 alemán 2	399,7	393,5	-27,06	65,81	50,73	15,08
Intérop 2 americ 1	393,9	390,5	-15,00	68,26	45,15	23,11
Intérop 2 frances 1	396,0	391,8	-18,45	68,40	49,55	18,85

Tabla 7. One-way Anova de la frecuencia e intensidad dependiendo del factor oboísta (izquierda) y escuela (derecha) en el ejercicio *dinámica*.

Dinámica: oboísta	F	Sig.
Initial F0 (Hz)	.003	.958
Final F0 (Hz)	.676	.438
Max. Inten. (dB)	5.642	.049
Stable Final Inten. (dB)	17.517	.004
Unstable Final Inten. (dB)	17.517	.004

Dinámica: escuela	F	Sig.
Initial F0 (Hz)	20.995	.002
Final F0 (Hz)	2.995	.125
Max. Inten. (dB)	.268	.774
Stable Final Inten. (dB)	.817	.486
Unstable Final Inten. (dB)	.817	.486

## 4. Respuestas acústicas globales de las lengüetas

En esta parte se estudian las características acústicas generales de cada lengüeta, utilizando todos los ejercicios de interpretación grabados. Para ello, realizamos una serie de pruebas T pareadas (paired-samples T-test o test de Student pareado) comparando para cada par de lengüetas las mediciones acústicas de un mismo ejercicio de interpretación. De esta manera podemos también distinguir las características del tipo de rebajado y la variabilidad que proviene de las particularidades de la caña de origen. En las tablas 8 a 13 indicamos los valores de la prueba t, sólo cuando son significativos ( $p < .05$ ), indicando ns en caso de no llegar a un resultado significativo. Las tablas se construyen siguiendo la siguiente convención: para una casilla de la fila i y la columna j, si el valor de la prueba t es positivo, indica que hay una media de valor superior para la lengüeta i (fila) respecto a la lengüeta j (columna), y viceversa cuando el signo es negativo.

### 4.1. Mediciones acústicas realizadas

Utilizando el programa Praat (Boersma y Weenink, 2011) se han medido los principales parámetros acústicos que agrupamos en las siguientes categorías representativas del funcionamiento de la lengüeta del oboe:

1. parámetros relativos a la intensidad: amplitud media; intensidad máxima y media (dB); energía; potencia y media cuadrática (*Root-mean-square* RMS).
2. parámetros relativos a la variabilidad de la intensidad: desviación estándar de la amplitud; *shimmer* (variabilidad de la intensidad en una ventana de tiempo).
3. parámetros relativos a la afinación: frecuencia fundamental máxima, mínima y media (Hz y semitonos).
4. parámetros relativos a la estabilidad de la afinación: desviación estándar (en Hz y semitonos) de la frecuencia fundamental. pendiente media de la frecuencia fundamental (en Hz y semitonos, eliminando o no octavaciones); *jitter* (variabilidad de la frecuencia fundamental en una ventana de tiempo).
5. parámetros relativos a la facilidad de vibración: cantidad de ciclos con una altura definida (*N° voiced frames*).
6. parámetros relativos a la armonicidad: armonicidad media y su desviación estándar.
7. parámetros relativos al timbre: diferencia de energía de bandas entre las frecuencias por debajo de 100, 200, 300, 400, 500, 700, 1000 y 2000 Hz; centro de gravedad del espectro; momento central del espectro, Kurtosis del espectro, Skewness del espectro, y desviación estándar del espectro.

### 4.2. Intensidad sonora

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con la intensidad. Utilizamos la medición de la intensidad (dB) como medida más representativa, y se comparan cada par de lengüetas con una prueba T pareada (paired samples T-test) todos los valores de intensidad para todos los ejercicios, como se puede ver en la tabla 8.

La lengüeta francesa 2 y la americana 2 son las que menos intensidad consiguen siendo significativo en todos los casos. La intensidad sonora general parece estar ligada a características de la caña y no del rebajado en este caso.

Tabla 8. Resumen del análisis de la prueba T, comparando las diferentes lengüetas en los valores de intensidad (dB). (\* test significativo al .05; ns test no significativo)

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	ns	ns	2.5*	ns	4.6*
al2		ns	3.3*	ns	4.6*
am1			2.1*	ns	3.5*
am2				-2.4*	2.3*
fr1					4.0*

### 4.3. Variabilidad de la intensidad

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con la variabilidad de la intensidad. Utilizamos la medición de la desviación estándar de la amplitud como medida más representativa; los resultados de la prueba T pareada (paired samples T-test) pueden verse en la tabla 9.

Destacan la francesa 2 y la americana 2 por su menor desviación, siendo significativo en todos los casos. Podemos indicar pues que la variabilidad de la intensidad parece estar ligada a las características de la caña más que al estilo de rebajado.

Tabla 9. Resumen del análisis de la prueba T, comparando las diferentes lengüetas en los valores de desviación estándar de la amplitud. (\* test significativo al .05; ns test no significativo)

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	ns	ns	2.9*	ns	4.7*
al2		ns	2.9*	ns	3.9*
am1			2.5*	ns	4.0*
am2				-2.5*	2.4*
fr1					4.3*

#### 4.4. Afinación

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con la afinación. Utilizamos la medición de la frecuencia media (F0 en semitonos) como medida más representativa de la afinación; con la prueba T pareada (paired samples T-test) obtenemos los resultados de la tabla 10.

La lengüeta alemana 2 destaca por estar significativamente más alta que todas las otras lengüetas, seguida por la francesa 2, también más alta que el resto de lengüetas excepto la alemana 2. La afinación en este caso parece estar ligada a las características de las cañas más que al estilo de rebajado.

Tabla 10. Resumen del análisis de la prueba T, comparando las diferentes lengüetas en los valores de frecuencia media (F0 en semitonos). (\* test significativo al .05; ns test no significativo)

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	-2.4*	ns	ns	ns	-2.1*
al2		2.5*	2.3*	2.1*	2.4*
am1			ns	ns	-2.1*
am2				-2.1*	-2.1*
fr1					ns

#### 4.5. Estabilidad en la afinación

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con la estabilidad de la afinación. Utilizamos la medición de la desviación estándar en semitonos y el jitter, como medidas más representativas; los datos del análisis estadístico (paired samples T-test) pueden verse en la tabla 11.

La lengüeta más inestable es la alemana 2, es decir, es la que menos mantiene la nota interpretada de forma estable. Por el contrario, la lengüeta más estable es la francesa 2. Los resultados no parecen destacar una tendencia clara, y en cualquier caso no parecen ligados al estilo de rebajado.

Tabla 11. Resumen del análisis de la prueba T, comparando las diferentes lengüetas en los valores de desviación estándar en semitonos (izquierda) y jitter (derecha). (\* test significativo al .05; ns test no significativo)

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	2.5*	ns	ns	ns	2.3*
al2		ns	-2.7*	-2.4*	ns
am1			ns	ns	ns
am2				ns	2.6*
fr1					2.3*

#### 4.6. Facilidad de vibración

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con la facilidad en la vibración. Utilizamos la medición de *Nº voiced frames* como medidas más representativas; una prueba T pareada (paired samples T-test) entre todos los pares de lengüetas sólo muestra una diferencia significativa entre las lengüetas francesa 1 y francesa 2 ( $t=2,6$ ,  $p<0,05$ ) con lo que el experimento no muestra diferencias claras en la facilidad de vibración de las lengüetas.

#### 4.7. Armonicidad

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con la armonicidad. Utilizamos la medición de la media de la armonicidad (harmonics-to-noise ratio) como medida más representativa; con el análisis estadístico (paired samples T-test) obtenemos los valores de la tabla 12.

Observamos que la lengüeta americana 1 es la que menos armonicidad tiene, siendo significativo en todos los casos. y luego sólo se distingue la americana 2 que tiene menos armonicidad que la alemana 2. El rebajado americano parece pues introducir más ruido en el sonido producido, aunque parece debido sobre todo a las propiedades de la americana 1.

#### 4.8. Timbre

Se han comparado las lengüetas según diferentes medidas acústicas relacionadas con el timbre. Al medir la Kurtosis y la Skewness del espectro, observamos que las alemanas son las que mayores valores tienen en estos dos parámetros, siendo significativo en todos los casos, como se puede ver en la tabla 13. Una kurtosis más alta indica que hay más energía entorno al centro espectral, y una kurtosis baja indica en general un espectro más plano. Una skewness más alta indica que la energía se distribuye más en la parte grave (inferior al centro espectral). Tenemos pues para el rebajado de estilo alemán una distribución de la energía en la parte central y grave del espectro, con formantes más marcados. Las mediciones de energía por bandas de frecuencias fijas no crean diferencias significativas entre lengüetas.

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	2.2*	ns	ns	ns	3.2*
al2		ns	-2.7*	ns	ns
am1			ns	ns	2.5*
am2				ns	3.8*
fr1					ns

Tabla 12. Resumen del análisis de la prueba T, comparando las diferentes lengüetas en los valores de armonicidad media. (\* test significativo al .05; ns test no significativo)

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	ns	3.1*	ns	ns	ns
al2		3.4*	2.3*	ns	ns
am1			-3.9*	-4.3*	-2.7*
am2				ns	ns
fr1					ns

### 5. Discusión

Si analizamos los resultados globales de comparación de las lengüetas, observamos que tenemos una diferenciación clara para los parámetros ligados al timbre, específicamente a la distribución de la energía en el espectro (kurtosis y skewness espectrales) con el rebajado alemán asociado a un sonido distribuido en el medio y el grave y con formantes más marcados, lo que corresponde con las apreciaciones subjetivas generalmente asociadas a las lengüetas alemanas: más graves, menos brillantes y más resonantes, por lo que proporcionan más claridad en la interpretación y un centro tonal mucho más claro.

En el resto de parámetros medidos, no se distingue un patrón ligado al estilo de rebajado, y predominan las características intrínsecas a la caña. Por ejemplo la lengüeta alemana 2 se caracteriza por ser la más rígida de las 6 lengüetas utilizadas en este experimento y está más alta en frecuencia y con más armonicidad, pero esto no caracteriza a la otra lengüeta alemana. Del mismo modo, la francesa 2 y la americana 2 son las más estables y las que menos intensidad generan, pero esto no se encuentra en las otras lengüetas francesa y americana. En cierto modo, se parecen más estas dos cañas con rebajados diferentes que cañas con el mismo rebajado.

Cuando se analizan las diferencias de comportamiento de las lengüetas en cada ejercicio, no suele haber diferencias

Tabla 13. Resumen del análisis de la prueba T, comparando las diferentes lengüetas en los valores de Kurtosis (izquierda) y Skewness (derecha). (\* test significativo al .05; ns test no significativo)

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	-2.1*	2.7*	2.6*	2.5*	2.8*
al2		2.7*	3.0*	2.7*	2.8*
am1			ns	-2.2*	ns
am2				ns	ns
fr1					ns

	al2	am1	am2	fr1	fr2
al1	-2.6*	2.6*	2.1*	3.6*	3.6*
al2		2.9*	3.0*	3.9*	3.6*
am1			ns	ns	ns
am2				ns	ns
fr1					ns

por estilo de rebajado. Encontramos sin embargo que el comportamiento de las lengüetas varía en ciertas ocasiones en función del registro: por ejemplo las lengüetas alemanas se han desviado hacia lo agudo unos 20 cents respecto al temperamento para las notas do<sub>4</sub> y do<sub>5</sub>, pero no en el registro más agudo del do<sub>6</sub>. Las lengüetas alemanas tienen una caída de afinación más pronunciada para el ejercicio de la dinámica, bajando en frecuencia con el *diminuendo*. Pero no hay diferencias significativas entre tipos de lengüeta en el *oscillato*, en el que se realizan variaciones de frecuencia deseadas

### 6. Conclusiones

Podemos responder afirmativamente a la cuestión principal de este estudio: el estilo de rebajado sí genera diferencias significativas en las mediciones acústicas. Sin embargo, en muchos casos la variabilidad intrínseca de las lengüetas supera generalmente las diferencias entre estilos de rebajado. De hecho, los oboístas constatan regularmente que las lengüetas pueden tener comportamientos imprevisibles aunque hayan sido rebajadas de la misma manera. Más aún, todo rebajado es luego afinado para mejorarlo y adaptarlo a las características de la lengüeta, lo que muestra que incluso en el caso de seguir el formato de una escuela, la forma de rebajado no es estricta: en el caso de este artículo, los rebajados se han mantenido en la medida de lo posible según la forma canónica de cada escuela, lo que no ha neutralizado la variabilidad de las lengüetas.

La hipótesis inicial de la influencia del rebajado en el timbre se verifica, con una distribución de la energía espectral en la parte grave y media y unos formantes más marcados para las lengüetas alemanas, lo que corresponde a su timbre grave y apagado. No se distingue acústicamente entre los rebajados americano y francés.

También se verifica puntualmente la hipótesis de una menor flexibilidad del rebajado alemán ya que son las que mayores dificultades presentan para compensar la caída de afinación en el ejercicio *diminuendo*. Igualmente la hipótesis de una afinación más alta de la lengüeta alemana se verifica puntualmente, aunque los efectos no son globales.

Finalmente, un punto importante es que el oboísta compensa las diferencias de cada lengüeta al ejecutar los ejercicios, ajustando la presión del aire o de los labios, con lo que disminuyen los efectos del rebajado. Esto explica que los oboístas suelen distinguir muy claramente entre los estilos de rebajado, como hemos explicado en la introducción, aunque no siempre se refleja en los resultados acústicos: el rebajado parece afectar ante todo la propiocepción del instrumentista al ejecutar los ejercicios, facilitando o dificultando la realización de los diferentes elementos técnicos del oboe.

El oboísta se enfrenta a un dilema o un compromiso entre la búsqueda de ciertos timbres (como hemos detectado con las diferencias de energía en el espectro) y la dificultad de ejecución de ciertos ejercicios, que hemos puesto parcialmente en relieve en este estudio, pero que se manifiesta sobre todo por las explicaciones de los oboístas. Es importante pues en futuras investigaciones: por una parte integrar más lengüetas en los estudios para observar la influencia del rebajado más allá de las particularidades de cada pala; por otra parte, es esencial verificar si hay diferencias significativas en la propiocepción para diferentes instrumentistas, sobre todo en la evaluación de la facilidad de ejecución, independientemente del sonido final conseguido.

## 7. Referencias

- [1] Baines, A. (1991). *Woodwind Instruments and Their History* (5ª ed.). Mineola: Dover Publications (1ª ed. 1957).
- [2] Barret, A. M. R. (1850). *A Complete Method for Oboe*. Londres: Jullien and Co.
- [3] Boersma, P. & Weenink, D. (consulta 2011). *Praat: doing Phonetics by Computer*. [www.praat.org](http://www.praat.org).
- [4] Brod, H. (1830). *Méthode pour le hautbois* (Vol 1 y 2). París: Schonenberger.
- [5] Burgess, G. & Haynes, B. (2004). *The Oboe*. New Haven y Londres: Yale University Press.
- [6] Dahl, O-H. (2001). *Better Oboe Reeds*. Copenhagen: Mediefabrikens ApS.
- [7] Fletcher, N. H. y Rossing, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer-Verlag.
- [8] Garnier, J. F. (1800). *Méthode raisonnée pour le hautbois, contenant les principes nécessaires pour bien jouer de cet instrument, la maniere de faire les anches suivis de 55 leçons, six petits duos, six sonates, six airs variés et une étude pour les doigts et l'arrangement de la langue*. París: Pleyel.
- [9] Ledet, D. (2008). *Oboe Reed and Styles. Theory and Practice* (2ª ed.). Bloomington: Indiana University Press (1ª ed. 1981).
- [10] Llimerà, V. (2006). El Método de Oboe de Enrique Marzo y Feo (1870). *Tesis doctoral*. Valencia: Universidad de Valencia.
- [11] Marzo, E. (1870). *Método de Oboé progresivo y completo con nociones de Corno Inglés*. Madrid: Antonio Romero.
- [12] Prodan, J. C. (1977). The Effect of the Intonation of the Crow of the Reed on the Tone Quality of the Oboe. *Journal of the International Double Reed Society*, 5.
- [13] Romero, J., Alba, J. & Ramis, J. (2006). Estudio preliminar del comportamiento de cañas de oboe. *Procedente del 37º Congreso Nacional de Acústica Técnica*. Gandía: Universitat Politècnica de València.
- [14] Rothwell, E. (1979). *The Oboist Companion. Volumen 3. Reeds* (2ª ed.). Londres: Oxford University Press (1ª ed. 1977).
- [15] Salviani, C. (1848). *Metodo completo per oboe cotento nozioni preliminari*. Milán: Lucca.
- [16] Sellner, J. (1830). *Méthode pour le hautbois*. París: Richault.
- [17] Steins, K. (1964). *Rohrbau für Oboen*. Berlin: Bote und Bach.
- [18] Veny, L. A. (1828). *Méthode abrégée pour le hautbois*. París: Pleyel et Cie.
- [19] Vogt, A. (1816-1824). *Méthode pour le hautbois "du Célèbre Vogt offerte par Mr. Bruyant son Élève à la Bibliothèque du Conservatoire 1872"*. París: Biblioteca Nacional de Francia, Ms. Ci 50.

# Aries valora el silencio

Expertos en acústica y vibración

ARIES ofrece un amplio abanico de soluciones para vibración y acústica, incluidas formación, consultoría, equipos y soluciones llave en mano. Garantizadas por un equipo de profesionales altamente cualificados y con el respaldo de varios años de experiencia y conocimiento.

Más información sobre ARIES y las soluciones de acústica y vibración de la compañía en:



[www.aries.com.es](http://www.aries.com.es)  
[acustica@aries.com.es](mailto:acustica@aries.com.es)

#### OFICINA CENTRAL

Pº Castellana, 130 28046 Madrid, ESPAÑA  
Tel.: +(34) 915 70 27 37  
Fax: +(34) 915 70 27 66

#### CENTRO DE INGENIERÍA

Avda. Via Láctea, 1 28830  
San Fernando de Henares, Madrid, ESPAÑA  
Tel.: +(34) 916 78 20 90  
Fax: +(34) 916 77 11 85

#### OFICINA ESTADOS UNIDOS

505 Montgomery Street, 10th floor,  
San Francisco, CA 94111, USA  
Tel.: +(1) 415 874 37 33  
Fax: +(1) 415 874 37 34

#### OFICINA CHINA

Silver Centre 1388 Shaan Xi North Road  
Shanghai, 200060, CHINA  
Tel.: +(86) 216 149 83 35  
Fax: +(86) 216 149 81 30