

## ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD TÍMBRICA ASOCIADA A LOS INSTRUMENTOS DE VIENTO MADERA

PACS: 43.75.Ef

Yubiry González<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Central de Venezuela, Facultad Experimental de ciencias, postgrado en instrumentación. Ciudad Universitaria, calle los chaguaramos, Caracas, Venezuela.

<sup>2</sup> Universidad Politécnica Territorial del Estado Aragua "Federico Brito Figueroa", departamento de ciencias básicas. Entrada del peaje, La Victoria, Estado Aragua, Venezuela.

Tel. +58-4 124 757 078

Fax. 965 903 464

Email: [yubiry.gonzalez.17@gmail.com](mailto:yubiry.gonzalez.17@gmail.com)

### ABSTRACT

The sound quality or the music of a musical instrument depends on several physical-acoustic parameters. The following work offers a study of the timbre quality, a characterization shell of the instruments of the woodwind family that includes the recorder flutes, the transverse flute, the clarinet, the oboe and the fagot, allowing to establish a mathematical physical interpretation of such aspect, (FFT), spectral power density (DPE) and spectrograms, for the digital processing of acoustic signals. It concludes that of the phases of the temporal evolution of the sound those that offer greater presence in the definition of the quality of the sound the attack and the sustentation, besides the power of the high arms "color" to the sound, which is translated in that the quality timbre will depend on the presence of these, being highly influenced. Applications of the method for other instrument families are suggested.

### RESUMEN

La calidad sonora o tímbrica de un instrumento musical depende de varios parámetros físico-acústicos, los cuales, permiten establecer rangos de comparación entre instrumentos, ejecutantes o masas de músicos intérpretes. El siguiente trabajo ofrece un estudio de la calidad tímbrica, a partir de la caracterización de los instrumentos de la familia de vientos madera que incluyen flautas de pico, flauta transversa, clarinete, oboe y fagot, permitiendo establecer una interpretación física matemática de tal aspecto, mediante la utilización de Transformada Rápida de Fourier (FFT), densidad de potencia espectral (DPE) y espectrogramas, para el procesamiento digital de las señales acústicas. Se concluye, que de las fases de evolución temporal del sonido las que ofrecen mayor presencia en la definición de calidad tímbrica es el ataque y sostenimiento, además la potencia de los armónicos altos adicionan "color" al sonido,

lo que se traduce en que la calidad tímbrica dependerá entonces de la presencia de estos, quedando altamente influenciada. Se sugieren aplicaciones del método para otras familias de instrumentos.

## INTRODUCCIÓN

La percepción del sonido se caracteriza por la amplitud, el tono y el timbre; en la acústica estas variables equivalen a la intensidad, la frecuencia y los armónicos respectivamente. El número y la intensidad relativa de los armónicos o frecuencias secundarias, correspondiente a un sonido individual, varían según el tipo de instrumento, los detalles en su construcción (geometría y materiales), y según la cualidad asociada a la ejecución.

La presencia de estas frecuencias armónicas permite directamente caracterizar la calidad tímbrica, tanto para instrumentos individuales como para la combinación de varios. Esta calidad, sin embargo, carece de una definición rigurosa que compare el sonido producido por dos o más instrumentos del mismo tipo, construido con materiales diferentes, o entre una misma familia. La perfección de un instrumento musical está determinado por los detalles en su construcción y los tipos de materiales empleados para la generación de los sonidos, de allí que la calidad tímbrica se asocie, la mayoría de las veces con la ubicación de la frecuencia fundamental respecto a su valor teórico (centroide espectral). Diversos trabajos se han realizado en esta dirección para instrumentos de vientos madera como el oboe [1], la flauta transversa [2], el Flabiol y la Dulzaina [3] que proponen estudiar la calidad tímbrica en función del centroide espectral y el análisis digital de señales.

Es conocido, desde la composición musical [4] que la familia de instrumentos vientos maderas proporciona gran variedad de colores tímbricos en cada uno de sus registros, entre otras, por los diversos tipos de materiales empleados en su fabricación, como maderas, metales y plásticos. Es por ello, que se ha considerado un conjunto de esta familia para analizar mediante técnicas de procesamiento digital de señales, la presencia de frecuencias secundarias, su intensidad y su evolución, con la finalidad de proponer criterios de comparación complementario al centroide espectral, a partir de un coeficiente característico para cada instrumento, que cuantifique la calidad tímbrica, evaluando la presencia de los armónicos y sus intensidades relativas, independientemente del ejecutante.

## METODOLOGÍA

Se eligieron cuatro instrumentos de viento madera de una orquesta sinfónica tradicional, que incluyen, flauta piccolo, flauta transversa, oboe y un clarinete en si bemol, además de cuatro flautas sopranos de pico (o flautas dulces), construida con distintos materiales y de distintos fabricantes. Se procedió a grabar un sonido individual de 4 segundos de duración, correspondiente a la nota LA, en condiciones acústicas y ambientales controladas y con ejecutantes profesionales. Es importante recordar que este sonido, es convencionalmente utilizado para la afinación de los instrumentos en una orquesta sinfónica; y corresponden al primer registro de cada instrumento: frecuencia 220 Hz para la flauta transversa, 440 Hz para el Oboe y clarinete, y 880 Hz para el piccolo y flautas sopranos de pico. Los registros de las señales acústicas fueron analizados utilizando el software MatLAB®, a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), densidad de potencia espectral (DPE) y espectrogramas. Se filtraron los registros para frecuencias audibles de 0 a 5 kHz en niveles de intensidad superiores a 35 dB, correspondientes a un pianísimo musical.

De la FFT se cuantifica el número de armónicos presentes (Gama o color) para una frecuencia fundamental determinada. A partir de la cuantificación de los armónicos se postula un indicador, denominado coeficiente tímbrico [5], definido por el promedio de las frecuencias e intensidades

de los armónicos presentes en la DPE en relación a la frecuencia fundamental  $\nu_0$ .

$$C_t = \frac{1}{\nu_0 I_0} \sum_{i=1}^k I_i \nu_i \quad (1)$$

Obsérvese que el coeficiente tímbrico expresa la magnitud de los armónicos presentes en relación a la frecuencia de referencia o frecuencia fundamental. Para un instrumento ideal cuyos armónicos aparecen todos sin atenuación con la misma intensidad relativa que la frecuencia fundamental; la sucesión de armónicos sería 2+3+4+5+...+n-esimos armónicos.

En consecuencia, si solo existieran los dos primeros armónicos no atenuados el valor del coeficiente tímbrico sería  $C_t = \frac{1}{\nu_0 I_0} (2\nu_0 I_0 + 3\nu_0 I_0) = 5$ ; análogamente su valor sería de 20 si aparecieran los primeros cinco armónicos sin atenuación. En la práctica, los armónicos aparecen atenuados con intensidades inferiores a la frecuencia fundamental y los coeficientes tímbricos esperados serían inferiores a 20 para los primeros cinco armónicos presentes. Por otra parte, los espectrogramas permiten visualizar la evolución temporal de los armónicos y su intensidad relativa para establecer los criterios de comparación cualitativos entre instrumentos de diferente especie una vez que se han caracterizado los coeficientes tímbricos y la Gama o color del instrumento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan las FFT de las señales, para las Flautas sopranos de pico de diferentes materiales y fabricantes, figura 1; y para instrumentos de orquesta sinfónica profesional figuras 2.

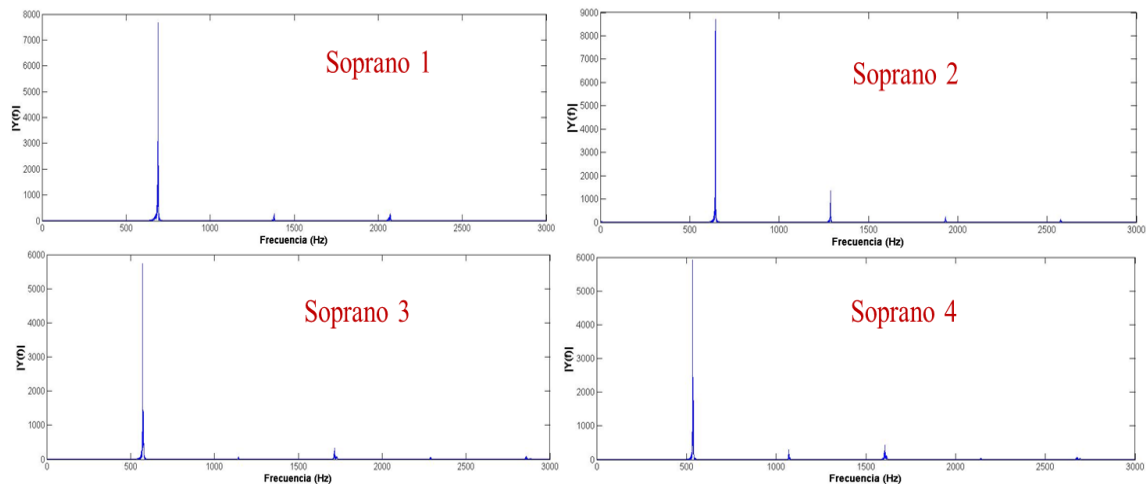


Figura 1. Transformada Rápida de Fourier para flautas de pico de distintos materiales: madera Honner de estudio (soprano 1), Plástico Honner de estudio (soprano 2), Plástica Yamaha de estudio (soprano 3) y plástica Honner semi-profesional (soprano 4).

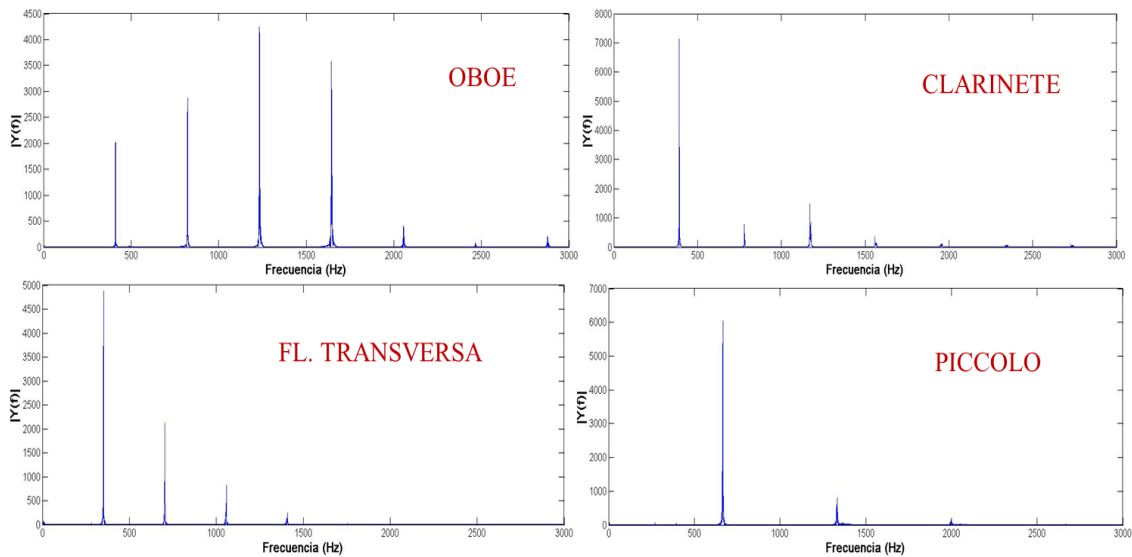


Figura 2. Transformada Rápida de Fourier para instrumentos de vientos madera de orquesta sinfónica profesional.

Se observa, menor gama de armónicos en las flautas sopranos de pico en comparación al resto de los instrumentos sinfónicos de viento madera, entre estos destaca por su mayor Gama el Oboe (5), seguido de la flauta transversa (4). La FFT permite también especificar el grado de “pureza” de la frecuencia característica utilizando el semi-ancho del pico de mayor intensidad (ancho de banda a media altura), como se aprecia en la figura 3. La flauta Honner de madera exhibe la mejor resolución de la frecuencia fundamental que corresponde al menor ancho de banda.

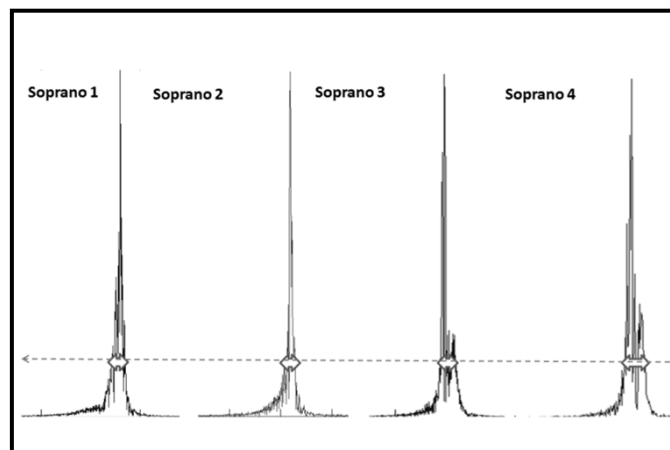


Figura 3. Ancho de banda de la frecuencia fundamental para las flautas sopranos de pico: madera Honner de estudio (soprano 1), Plástica Honner de estudio (soprano 2), Plástica Yamaha de estudio (soprano 3) y plástica Honner semi-profesional (soprano 4).

La Densidad de Potencia Espectral se muestra en la figura 4 y 5, nótese que entre el Oboe y el Clarinete existe mayor Gama de armónicos (color), sin embargo solo unos pocos se encuentran a nivel musicalmente audible (mayor que 35 dB). Análogamente, la flautas sopranos presentan muy pocos armónicos en el rango pianísimo. Por otro lado, el Oboe, el Clarinete y las flautas

sopranos muestran una mejor relación señal ruido en el rango de 0 – 20 kHz para los armónicos, en comparación a la flauta transversa y piccolo. Para el Oboe la DPE muestra la frecuencia fundamental de la nota LA en 436.7 Hz, y los primeros cuatro armónicos en frecuencias de: 873.4, 1310, 1746 y 2182 Hz, cada uno con intensidades relativas del mismo orden de la frecuencia fundamental sin atenuaciones. El clarinete muestra la frecuencia fundamental en 438.7 Hz, y los primeros tres armónicos en: 877.5, 1316 y 1755 Hz, con intensidades relativas del 70%, 80% y 60% respectivamente en relación a la frecuencia fundamental. La flauta transversa, muestra un decaimiento monótono en intensidad de 90%, 80% y 60% en los primeros tres armónicos, localizados en 889.6, 1335 y 1780 Hz de la frecuencia fundamental LA en 444,8 Hz.

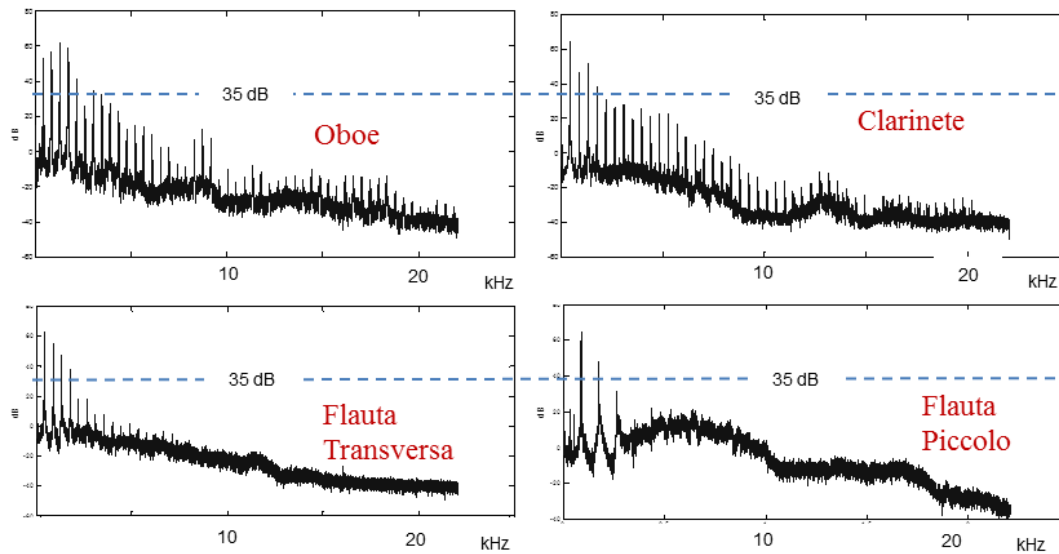


Figura 4. Densidad de Potencia Espectral para instrumentos de vientos madera sinfónicos.

La DPE para las flautas sopranos de pico, evidencian la frecuencia fundamental de la nota LA desplazada de su valor nominal de 880 Hz, como se observa en la figura 5. La soprano 4 exhibe una mayor desviación por defecto en 876,1 Hz, la soprano 1 una desviación mínima en 882,2 Hz y la soprano 2 y 3 ambas plásticas y de estudio, se ubican en 886 Hz. Nótese que el tercero y cuarto armónico están ausentes en todas las flautas, mientras la flauta soprano 2 evidencia el segundo armónico con una intensidad menor al 50%. Por lo anterior, se comprende que las flautas sopranos tienen menor color que el resto de los instrumentos sinfónico estudiados.

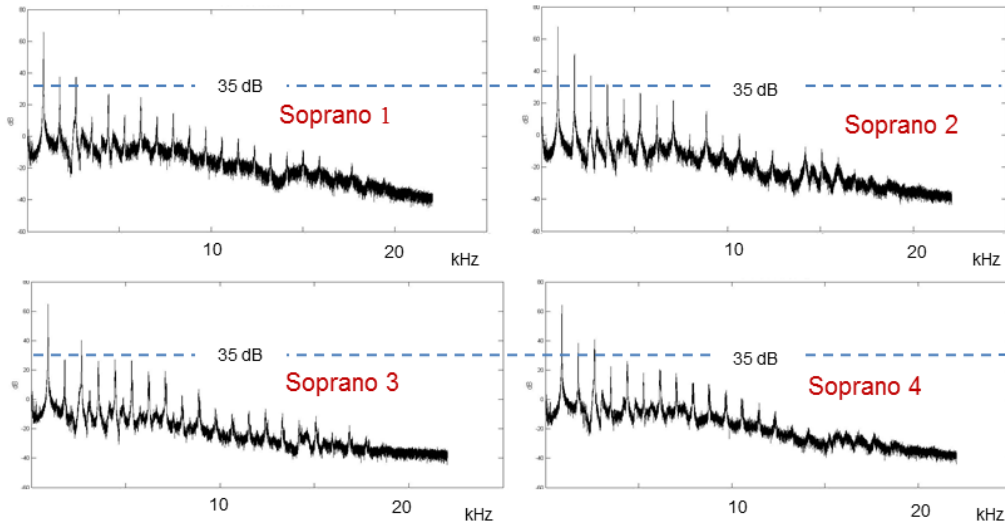


Figura 5. Densidad de Potencia Espectral para Flautas sopranos de pico.

Utilizando el Coeficiente Tímbrico definido en (1) y la Gama de armónicos se elabora la figura 6, que permite valorar la calidad tímbrica mediante un plano bidimensional para los instrumentos considerados. Un coeficiente tímbrico mayor, indica la mayor “riqueza” de armónicos no atenuados; y un mayor índice de “color” o Gama informa de la cantidad de armónicos presentes.

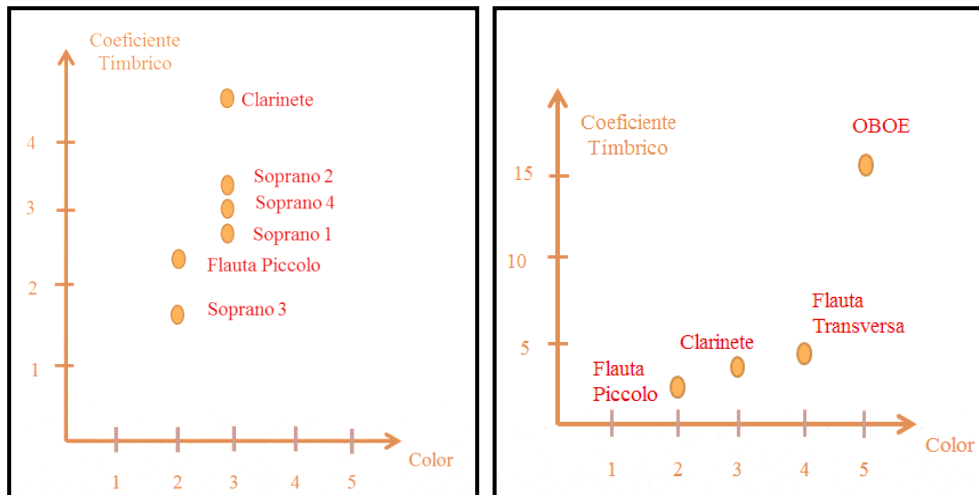


Figura 6. Calidad tímbrica de Instrumentos de Viento madera. Relación entre el coeficiente tímbrico y la Gama o color para cada instrumento de estudio.

Puede observarse, de la figura 6, que de los instrumentos analizados, el oboe es el que tiene el mayor color, debido al número de armónicos claramente definidos por encima del nivel pianísimo de 35 dB y el mayor coeficiente tímbrico, de 15.32. La flauta transversa y el clarinete presentan mejores prestaciones en cuanto a calidad tímbrica que las flautas piccolo y soprano de pico. También se observa en la figura 6 (izquierda) que las flautas soprano de pico tienen diferente calidad tímbrica según el fabricante y material empleado, a pesar de exhibir el mismo colorido que el clarinete; destacando la flauta plástica Honner por su mayor calidad tímbrica en comparación a la de madera del mismo fabricante.

Vale destacar que el coeficiente tímbrico está referido a la frecuencia de referencia empleada (nota LA en nuestro caso) pero que su definición puede extenderse para cualquier otra frecuencia de referencia; y en una generalización más extensa puede considerarse un coeficiente tímbrico integrado, como el promedio de los coeficientes tímbricos para cada octava de la escala musical de un mismo instrumento específico.

Los espectrogramas de las figuras 7 y 8 muestran la evolución temporal de cada armónico y su nivel de intensidad presente. En la figura 7, puede observarse una mayor continuidad y riqueza armónica en el Oboe, con frecuencias armónicas que llegan hasta los 9 kHz, estando claramente definidas en intensidad desde el momento del ataque del sonido, hasta incluso un poco antes del decaimiento (corte del flujo de aire). El clarinete muestra mejor evolución luego del primer segundo de emisión de sonido, principalmente en la región de sostenimiento. La flauta transversa presenta una diversidad de frecuencias armónicas, con intensidades significativas, hasta los primeros 3 kHz; mientras que en el Piccolo, solo se observan dos armónicos con una evolución permanente por debajo de los 3 kHz.

En la figura 8 puede observarse una mejor evolución temporal, con intensidades significativas hasta frecuencias armónicas de 9 kHz, principalmente para las sopranos 2, 3 y 4, relación no apreciada en la flauta soprano 1 donde se observan mayores discontinuidades temporales en los armónicos pares.

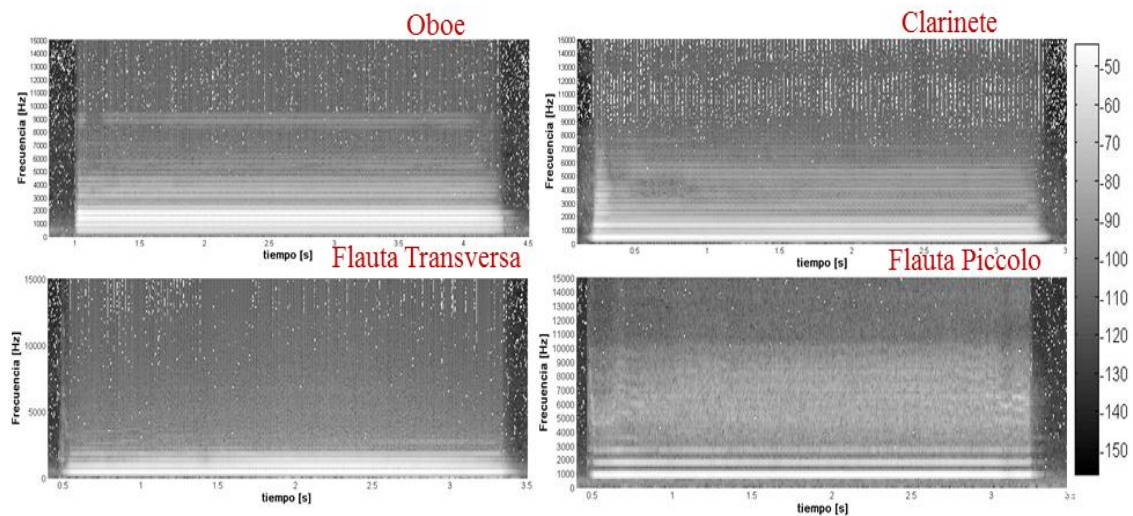


Figura 7. Espectrogramas correspondientes a los instrumentos de viento madera sinfónicos estudiados.

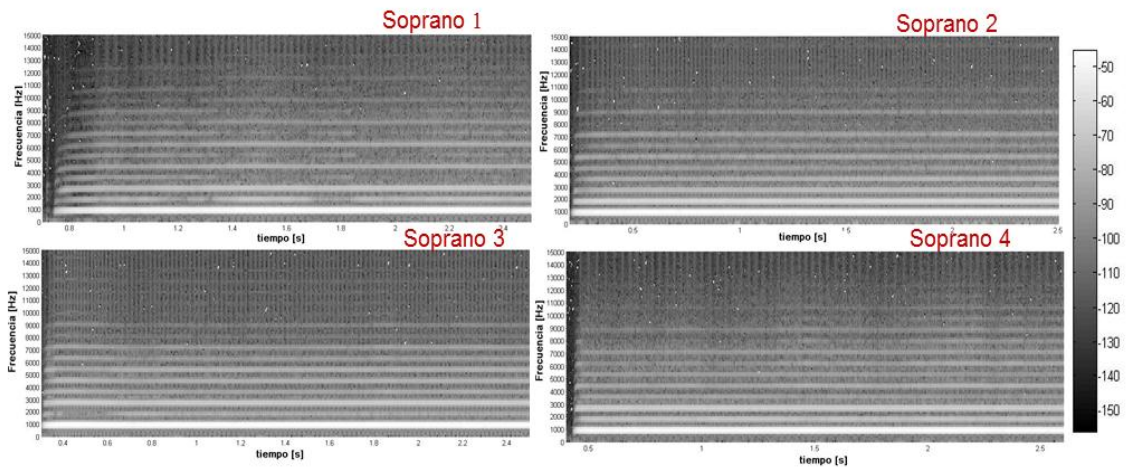


Figura 8. Espectrogramas de las flautas sopranos de pico.

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta permitió, a través del procesamiento digital de las señales acústicas, catalogar la calidad tímbrica de los instrumentos de vientos madera, contabilizando la presencia de armónicos por medio de un coeficiente tímbrico, definido como el promedio ponderado de los tonos y timbre. Los aspectos relacionados con la multiplicidad de armónicos, permiten así mismo definir un coeficiente de Gama o color que es distintivo en cada instrumento de una misma familia (viento-madera en nuestro caso de estudio) o entre instrumentos del mismo tipo pero elaborados por materiales y fabricantes diferentes, como se mostró para las flautas soprano de pico. Si bien, esta característica se evaluó a partir de un único sonido de nota LA, los resultados mostraron su bondad para evaluar el estudio y caracterización de la calidad tímbrica para cada uno de los instrumentos mencionados. Para establecer una completa caracterización, debe aplicarse el método descrito a todas las notas en todos los registros posibles del instrumento y calcularse un promedio sobre los valores obtenidos, con el objetivo de asociar un único valor que haga referencia a la calidad tímbrica por instrumento musical.

Puede emplearse las relaciones propuestas de coeficiente tímbrico y color para describir cuantitativamente la caracterización tímbrica en instrumentos de viento-madera, con potenciales aplicaciones en softwares musicales de síntesis de audio, como herramienta en la composición musical a partir de la combinación de colores perfectamente definidos y diferenciados entre instrumentos de la misma familia.

## REFERENCIAS

[1] Navalón Salas, I. et al., *Análisis espectral del sonido obtenido con tudeles de oboe fabricados con diferentes materiales*. Editorial Sociedad Española de Acústica, TECNIACÚSTICA 2015, 46º Congreso Español de Acústica. 9º Encuentro Ibérico de Acústica. European Symposium on Virtual Acoustics and Ambisonics, Valencia (2015).

[2] Castiñeira-Ibáñez, S. et al., *Diseño de un tapón de corcho de flauta travesera. Influencia en su calidad tímbrica*. Editorial Sociedad Española de Acústica, TECNIACÚSTICA 2014, 45º





**48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA  
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA  
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS  
APPLICATIONS  
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING  
ACOUSTICS**

Congreso Español de Acústica. 8º Encuentro Ibérico de Acústica. European Symposium on Smart Cities and Environmental Acoustics, Murcia (2014).

[3] Póveda Martínez, et al., *Estudio de la calidad sonora del flabiol y la dulzaina*. Editorial Sociedad Española de Acústica, TECNIACÚSTICA 2015, 46º Congreso Español de Acústica. 9º Encuentro Ibérico de Acústica. European Symposium on Virtual Acoustics and Ambisonics, Valencia (2015).

[4] Adler, S., *The Study of Orchestration*. 3rd. Edition. W. W. Norton & Company, 2002.

[5] González, Y., *Caracterización física del concepto de sonoridad asociada a los instrumentos de viento madera*. Taller sobre aplicaciones matemáticas y computacionales recientes a la música. Buenos Aires, 2016.