

PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA UdelaR

y LA ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA

ISSN 2697-2913

Año 1, Vol. 1, Nº 1 Enero - Junio 2020



REVISTA DE LA ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA ISSN 2697-2913

PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA – UdelaR y LA ASOCIACIÓN URUGUAYA DE ACÚSTICA

Consejo Editor	Tabla de contenidos
Alice Elizabeth González (UdelaR, Uruguay) Editora Responsable	
Ana Abreu (UdelaR, Uruguay)	
Julieta António (Universidad de Coimbra, Portugal)	Modelo simple para la introducción al análisis acústico del tambor de candombe. Ismael Núñez Pereira
Gustavo Basso (UNLP, Argentina)	El paradigma del comienzo de la acústica como disciplina independiente en 1700.
Fernando Elizondo-Garza (FIME - Universidad Autónoma de Nuevo Léon, México)	Apuntes para la discusión. Walter Alfredo Montano Rodríguez
Juan Cruz Giménez de Paz (Argentina)	Kovar. Elizabeth González, José Cataldo17
Ricardo Hernández Molina (Universidad de Cádiz, España)	Como lee la gente que lee música. Beatriz González Fernández25
Federico S. Miyara (UNR, Argentina)	Procesos de calibración de balanza aerodinámica y determinación de curvas de desempeño aerodinámico. <i>Luciana Olazábal Barrios, Matteo Deambrosi Papini, José Cataldo</i> 35
Ismael Núñez Pereira (UdelaR, Uruguay)	
Dinara Xavier da Paixão (UFSM, Brasil)	Base de datos audiométricos de población juvenil montevideana, <i>Alice Elizabeth</i> González, Domingo Perona
Jorge Patricio Fradique (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal)	Sistemas modulares verticales: Evaluación de la absorción acústica en laboratorio, Ana Rizzo La Malfa, Ariel Velis, Carlos Posse, Alejandro Armas, Sebastián Miguel, Analía
Diego Pablo Ruiz Padillo (Universidad de Granada, España)	Figueira, Jhoanna Gabin Portmann, Ricardo Cortes, Martin Favre, Pablo Mini, Jorge Bretti -
Nilda Vecchiatti (UBA, Argentina)	
Secretaría General: Carolina Ramírez (UdelaR, Uruguay)	

Modelo simple para la introducción al análisis acústico del tambor de candombe.

Ismael Núñez Pereira (101)

Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Correo de contacto: inunez@fing.edu.uv

Resumen:

En el presente trabajo se muestra la utilidad de modelos simples como primera aproximación a la acústica de los instrumentos musicales, en este caso particular, al tambor de un solo parche (p. ej. el tambor de candombe). La exigencia para un modelo simple es que sus previsiones muestren un acuerdo razonable con los resultados experimentales, aunque no se le pide precisión cuantitativa. La idea es dejar la puerta abierta para complejizar luego el modelo en búsqueda de mejores ajustes con la experiencia. El logro de éxito con modelos sencillos redundará en una mejor motivación para iniciarse en el análisis de los temas de la acústica musical.

Palabras clave: modos normales de vibración, frecuencias propias.

Simple model for the introduction to the acoustic analysis of the candombe drum

Abstract:

In the present work, the usefulness of simple models as a first approximation to the acoustics of musical instruments is shown, in this case, to the drum of a single patch (e.g. the candombe drum). The requirement for a simple model is that it shows a reasonable agreement with the experimental results, although quantitative precision is not required. The idea is to leave the door open to further complicate the model in search of better adjustments with experience. The achievement of success with simple models will result in a better motivation to introduce in the analysis of the topics of musical acoustics.

Keywords: normal modes of vibration, normal frequencies.

Modelo simples para a introdução à análise acústica do tambor candombe

Resumo:

No presente trabalho, a utilidade de modelos simples como primeira abordagem à acústica de instrumentos musicais é mostrada, neste caso particular, ao tambor de um único patch (por exemplo, o candombe drum). A exigência de um modelo simples é que suas previsões mostrem uma concordância razoável com os resultados experimentais, embora a precisão quantitativa não seja necessária. A ideia é deixar a porta aberta para complicar ainda mais o modelo em busca de melhores ajustes com a experiência. A obtenção de sucesso com modelos simples resultará em uma melhor motivação para iniciar a análise dos tópicos de acústica musical.

Palavras-chave: modos normais de vibração, frequências próprias.

PACS: 43.75.Hi

1 Dorcid.org/0000-0002-7275-1853

1. INTRODUCCIÓN

El análisis acústico exhaustivo de los instrumentos musicales suele ser una tarea de complicación matemática formidable. No obstante, las leyes básicas que regulan su funcionamiento no van más allá de la física elemental, esencialmente las leves de Newton. Lo que complica la situación son las formas usualmente complejas de los instrumentos, con extensas partes vibrantes ligadas entre sí, así como los acoplamientos entre diversos materiales diferentes propiedades elásticas. En todos los instrumentos musicales no solamente importan los modos normales de vibración del material que genera el sonido, sino su acoplamiento con el aire, el que, de últimas, es el medio por el cual el sonido llega al sensor (oídos, micrófonos, etc.).

Felizmente, la complejidad del modelado físico de un instrumento musical puede encararse gradualmente. Los modelos simples, que muestran contrastación aceptable con los resultados experimentales, pueden ser complejizados luego para obtener mejores ajustes. La ventaja de esta situación es que se puede lograr un relativo éxito en los cursos de introducción a la acústica musical, sin necesidad de acudir a complicaciones matemáticas que pueden desmotivar a los estudiantes iniciados en el tema. Esta es la idea que se persigue en el presente trabajo.

2. EL MODELO PRIMARIO

La casi totalidad de los textos básicos, que contienen algún apartado sobre la acústica física de los instrumentos musicales, introducen modelizaciones más o menos simples de algunos instrumentos. El caso más común es el estudio de la cuerda vibrante, como iniciación a los instrumentos de cuerda (Resnick, R. & Halliday, D. & Krane, K, 2013; Hecht, E., 2000; Tipler, P. & Mosca, G., 2010). Este tipo de modelo básico es muy importante porque introduce la demostración de la existencia de modos normales de oscilación (Blackstock, D. T., 2000; Crawford, F. S, 1971). Éstos son consecuencias de la finitud del objeto fuente del sonido (cuerda, membrana, placa, aire, barra, etc.), por lo que lo denominamos generador primario del sonido.

El sonido musical que emerge del instrumento no tiene precisamente las frecuencias de los modos normales del generador primario. Aunque contiene frecuencias muy próximas a ellas, además de otras frecuencias. Estas diferencias se deben al acoplamiento entre el generador primario y las otras partes del instrumento musical, esencialmente su caja de resonancia. Como ésta es también un cuerpo de extensión finita, tiene sus propios modos normales con sus correspondientes frecuencias. Cuando se ponen en contacto (se acoplan) dos sistemas oscilantes con diferentes frecuencias aparecen nuevas frecuencias del sistema (French, A. P, 1974; Crawford, F. S, 1971).

Modos normales de vibración de una membrana circular

El modelo primario generador de sonido en un tambor es una membrana circular homogénea, perfectamente elástica y con su borde fijo. De la abundante bibliografía (Kinsler, L. E. & Frey, A. R. & Coppens A. B & Sanders, J. V., 2000; Morse, P. M. & Ingard, K. U., 1986; Fletcher N. H. & Rossing, T. D.,1998) sabemos que las frecuencias de los modos normales de una membrana circular de radio a, densidad superficial de masa σ y sujeta a una tensión superficial uniforme T, están dadas por la expresión

$$f_{mn} = \frac{j_{mn}}{2\pi a} \sqrt{\frac{T}{\sigma}},\tag{1}$$

Donde el par mn refiere a números enteros m=0,1,2,..., n=1,2,3,.... El número j_{mn} indica la raíz n-ésima de la función de Bessel J_m , cuyos valores se encuentran en tablas (Kinsler, L. E. & Frey, A. R. & Coppens A. B & Sanders, J. V., 2000, apéndice A5). Por ejemplo,

$$j_{01} \approx 2.40$$
, $j_{02} \approx 5.52$, $j_{03} \approx 8.65$... $j_{11} \approx 3.83$, $j_{12} \approx 7.02$, $j_{13} \approx 10.17$...

(2)

Con estos resultados se pueden calcular las frecuencias con que puede vibrar la membrana de un tambor. Se observa que estas frecuencias no son múltiplos entre sí. Esto es, no son armónicos, contrariamente a lo que sucede en las cuerdas vibrantes.

3. ACOPLAMIENTO DE LA MEMBRANA CON EL AIRE

La siguiente etapa en el mejoramiento del modelo es la introducción del aire circundante a la membrana. Esto implica suponer todavía que el material de la caja es rígido y no aporta nuevas frecuencias a la acústica del problema.

Además, el aire tiene una doble participación. Por un lado, es excitado por la membrana para propagar el sonido (radiación). Esto impone una carga inercial adicional a la masa de la membrana, además de una resistencia acústica que disipa energía por radiación, dado que este punto de vista considera un volumen infinito de aire. Por otro lado, la masa de aire encerrada en la caja del instrumento se puede tratar como un elemento finito que tiene sus propios modos normales de vibración. Descartaremos el primer efecto y consideraremos solamente el acoplamiento de la membrana con el aire contenido en la caja del tambor.

Tambor de un parche

Hay estudios sobre el efecto del aire encerrado en el timbal (Kinsler, L. E. & Frey, A. R. & Coppens A. B & Sanders, J. V., 2000). Se consideran las paredes de la caja como rígidas, de forma que las condiciones de para el aire vibrante desplazamiento nulo sobre las paredes. El aire del timbal aporta entonces un elemento de elasticidad al variar la presión con el movimiento de la membrana. Al comprimirse el aire encerrado aumenta la presión y recíprocamente. Este aumento de la "constante elástica" del modelo trae como consecuencia un aumento de las frecuencias de vibración de los modos de simétricos vibración de la membrana, fundamentalmente el modo 01.

Pero el tambor que nos ocupa acá no es el timbal, sino el tambor de candombe, o tamboril. Éste tiene un solo parche y el otro extremo es abierto. La experiencia indica que, al colocarle la caja al tambor, las frecuencias del sonido emitido notoriamente disminuyen en lugar de aumentar.

Un modelo simple que explica cualitativamente este comportamiento se ilustra en la figura 1. Este modelo es válido para los modos de menor frecuencia, de forma que la longitud del tambor es menor que media longitud de onda del sonido. Esta suposición permite considerar que los desplazamientos del aire en todo

lo largo del tambor están en fase con el movimiento de la membrana. Si consideramos el modo más bajo (01), la membrana oscila como se muestra en la figura. Entonces la masa efectiva movida por un elemento de área δS de la membrana no es solamente su masa δm_p , sino que arrastra una masa adicional δm_a de la columna de aire que se encuentra debajo. De ahí que la densidad efectiva que se debe utilizar en la ecuación (1) no es la de la membrana $\sigma = \delta m_p/\delta S$, sino que es mayor: $\sigma' = \delta m_p/\delta S + \delta m_a/\delta S$.

Como consecuencia, la frecuencia será menor a la correspondiente a la membrana sin caja. Esto explica el descenso en la frecuencia del modo fundamental de la membrana libre.

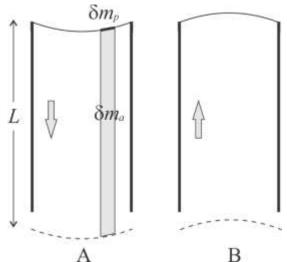


Figura 1. Modelo simple para el acoplamiento membranaaire en el tambor de extremo libre.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Una prueba fue hecha con una membrana de mylar tensa en el bastidor de un tamborín de 15 cm de diámetro, como se muestra en la fotografía de la figura 2. En estas condiciones se puede considerar como una membrana aislada (sin caja). Se la golpeó con la baqueta en el centro (con la finalidad de excitar principalmente el modo 01) y se registró el sonido.

A continuación, se acopló el bastidor con un tubo de PVC de 35 cm de longitud, como muestra la figura 3. Se volvió a golpear la membrana y se registró el sonido, en el cual se aprecia una menor frecuencia dominante.



Figura 2. Membrana de mylar tensa en un bastidor circular de 15 cm de diámetro.



Figura 3. Membrana acoplada a un tubo de PVC de 35 cm de longitud

La comparación de ambos espectros se muestra en la figura 4, donde se observa un descenso de la frecuencia fundamental en unos 10 Hz cuando la membrana está acoplada al tubo abierto. La línea delgada corresponde a la membrana sola, en tanto que la línea gruesa es el espectro acústico de la membrana acoplada al tubo.

Cabe destacar que, en el experimento con el tubo, éste se realizó manteniendo el extremo inferior abierto. No como muestra la foto de la figura 3.

Es de notar que el tubo de PVC no cumple las condiciones de rigidez supuestas en la hipótesis. Por ello debemos de esperar un resultado más bien cualitativo.

5. CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de este trabajo es mostrar que, a pesar de la complejidad involucrada en la modelización física de los instrumentos musicales, siempre es posible presentar modelos sencillos, aunque aproximados. La contrastación cuantitativa de las previsiones con los resultados del experimento (que acá no está presentada), permite evaluar qué tan lejos estamos con nuestro modelo y sus hipótesis. La finalidad de la construcción de modelos con paulatina complejidad es precisamente mostrar que uno se aproxima a la realidad, aunque sea paso a paso. Estas pequeñas satisfacciones intelectuales son de vital importancia cuando se pretende entusiasmar a los futuros investigadores en acústica (o en cualquier otra rama de la ciencia).

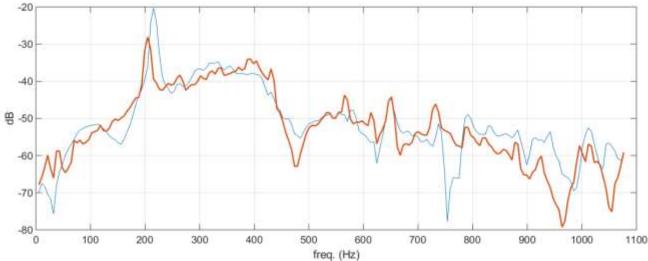


Figura 4. Espectros acústicos de la membrana sin el tubo (línea delgada) y acoplado al aire del tubo (línea gruesa)

REFERENCIAS

- Blackstock, D. T., 2000. Fundamentals of physical acoustics, Chap. 6, Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Crawford, F. S, 1971. *Ondas. Berkeley physics course*, Vol.3, Ed. Reverté.
- Fletcher N. H. & Rossing, T. D., 1998. *The Physics of Musical Instruments*, 2nd. Edition, Ed. Springer.
- French, A. P, 1974. Vibraciones y ondas. Ed. Reverté.
- Hecht, E., 2000. Física 1. Álgebra y trigonometría, 2da.
 Edición, Thomson Editores. México.Kinsler, L.
 E. & Frey, A. R. & Coppens A. B & Sanders, J.
 V., 2000, Fundamentals of Acoustics, 4ta. Edition, Ed.
 John Wiley & Sons, Inc.
- Morse, P. M. & Ingard, K. U., 1986. *Theoretical Acoustics*, Princeton University Press.
- Resnick, R. & Halliday, D. & Krane, K., 2013. Física, Vol. 1, 5^a. Edición, Grupo Editorial Patria, México.
- Tipler, P. & Mosca, G., 2010. Física para la ciencia y la tecnología, vol. 1, 6ta. Edición, Ed. Reverté.

El paradigma del comienzo de la acústica como disciplina independiente en 1700. Apuntes para la discusión.

Walter Alfredo Montano Rodríguez 101 Laboratorio de mediciones acústicas *in situ* "Joseph Sauveur", Lima, Perú Correo de contacto: wmontano@arquicust.com

Resumen: La hegemonía de un pensamiento entre acústicos ubica "el nacimiento de la acústica" en 1900, cuando Sabine presentó la fórmula para estimar el tiempo de reverberación, pero esto no es razón para reducir la importancia de lo hecho previamente. Desde círculos no vinculados al *main stream* de que la acústica nació en el siglo XX, sitúan su inicio cuando este término fue acuñado en Francia por Joseph Sauveur. El presente trabajo es un aporte para establecer cuándo comenzó la acústica como disciplina independiente, y sustentar el paradigma que Mersenne en 1636 estableció las bases científicas que definieron la acústica moderna, y presentada en sociedad por Sauveur como ciencia independiente en 1700.

Palabras clave: Acústica. Historia de la ciencia.

The paradigm of the beginning of acoustics as independent discipline in 1700. Notes for the discussion.

Abstract: The hegemony of a thought among acousticians locates the "birth of acoustics" in 1900, when Sabine presented a formula to estimate the reverberation time, but this is not a reason to reduce the importance of what was previously done. From circles not linked to the *main stream* that acoustics was born in the twentieth century, they place their beginning when this term was coined by Joseph Sauveur. The present Essay is a contribution to establish when acoustics began as an independent discipline, and to support the paradigm that Mersenne in 1636 established scientific bases that defined modern acoustics, and presented in society by Sauveur as independent science in 1700.

Keywords: Acoustics, History of Science.

O paradigma do início da acústica como disciplina independente em 1700. Notas para a discussão.

Resumo: A hegemonia de um pensamento entre acústicos situa "o nascimento de acústica" en 1900, quando Sabine apresentou uma fórmula para estimar o tempo de reverberação, mas isso não é uma razão para reduzir a importância do que foi feito anteriormente. De círculos não ligados à corrente principal que a acústica nasceu no século XX, eles colocam seu começo quando este termo foi cunhado na França por Joseph Sauveur. O presente trabalho é uma contribuição para estabelecer quando a acústica começou como uma disciplina independente, e para apoiar o paradigma que Mersenne estabeleceu em 1636 as bases científicas que definiram a acústica moderna, e apresentada na sociedade por Sauveur como ciência independente em 1700.

Palavras-chave: Acústica, História da ciência.

PACS: 01.65.+g, 43.90.+v

¹ Autor orcid.org/0000-0002-0059-5257

1. PREFACIO

Uno de los inconvenientes que se presenta al investigar hechos de siglos pasados, es el problema de acceder a libros arcaicos e incunables porque se bibliotecas encuentran en europeas norteamericanas. Desde el 2006 la UNESCO está digitalizando libros y documentos poniéndolod a libre disposición en Internet. Es interesante el poder tener en formato electrónico libros del siglo XVI y XVII, con la particularidad de que están en lenguas muertas como el latín antiguo; también se encuentran traducciones modernas al inglés y francés de ellos, pero algunos son meras interpretaciones, y las distintas versiones varían mucho dependiendo de la época en la cual esos originales fueron traducidos del latín. Se hace esta distinción dada la importancia que tienen las fechas de las referencias utilizadas, porque las traducciones del latín de un mismo texto, varían con los años. Es importante dejar sentado que a lo largo de este Ensayo se utiliza solamente la reseña al libro que fue usado, porque las frases o palabras que utilizaron los filósofos investigados, las repiten a lo largo de toda su creación, y sería imposible indicar todas las páginas donde figura.

Este trabajo pretende establecer un enlace entre la Historia de la Ciencia y la Acústica, utilizando herramientas del método científico y filosófico, realizar un aporte al paradigma del inicio de la acústica como disciplina independiente en 1700, así como también a contribuir con un trabajo escrito en lengua castellana en un ámbito con escasos artículos originales en esta temática.

2. PRESENTACIÓN TEÓRICA

Este Ensayo es una tesis para la Historia de la Ciencia, también es un Metaestudio filosófico fundamentado en resultados de investigaciones de otros autores, y lectura directa de libros y manuscritos antiguos, para dar argumentos al paradigma de que el inicio de la acústica fue en 1700 en Francia (con la publicación de Sauveur de que la acústica es una ciencia explicativa del fenómeno sonoro), y no como sostiene un *main stream* de que fue en el 1900 en los EEUU con Wallace Sabine. Este Ensayo es una

aproximación diacrónica de la acústica y se analizan eventos históricos que acontecieron dentro de esta disciplina desde el empirismo en 1264, por Roger Bacon, finalizando en 1802 con Ernst Chladni, cuando formaliza en un libro la ciencia de la acústica (en un sentido moderno de *Filosofía de la Ciencia*) hasta ese momento.

Dentro del campo de la acústica, la mayoría da como supuesta la hipótesis de que "Sabine es el iniciador de la acústica moderna", esto como una forma lógica de falacia de afirmación del consecuente, es decir, que se da como verdadera esa hipótesis sin antes someter a contrastación científica de verdad; que las implicaciones sean verdaderas no es suficiente para que esa hipótesis también lo sea.

Los argumentos aquí presentados, están enmarcados en los conceptos científicos de Ludwik Fleck (1896–1961) en el cual la ciencia no es un constructo formal individual y que, por el contrario, es una actividad colaborativa entre investigadores (Fleck, 1979).

No es una hipótesis sostener que "la acústica ya existía antes que Sabine", por el contrario, es un hecho verificable de que hay cientos de años previos de estudios en el comportamiento del sonido; entonces, la discusión está en defender y sustentar el paradigma (al estilo de Kuhn) que la acústica comienza a establecerse como ciencia en la época del Iluminismo con Mersenne; él es quien despoja a la música del carácter fantástico, resumiéndola en números, y publicando los primeros modelos matemáticos sobre las cuerdas vibrantes (como una teoría científica), culminando definitivamente esta "era antigua" al introducirse el término "acústica" ("acoustique" en francés) para definir una nueva rama independiente de otras disciplinas, dentro de la física, en 1696 con Sauveur, presentando esa idea al ser aceptado en la Académie Royale des Sciences.

3. INTRODUCCIÓN A LA DISCUSIÓN

El presente Ensayo no pretende discutir la dicotomía "sí a Sabine-no a Sabine", diatriba que difiere del objeto de la filosofía de la ciencia y reduce la discusión; por el contrario, en un sentido dialéctico, se trata de presentar la tesis que los estudios experimentales y observacionales de la acústica devienen en una serie de estructuras matemáticas que concluyen con modelar parte de la realidad física, y que definitivamente en 1700 se publica que la acústica

es una ciencia independiente (como rama de la Física).

Existen muchas referencias de que, aparentemente, se utilizaba la palabra "acoustics" (acústica en el inglés) antes de su introducción en 1696 de este término por Sauveur, pero muchas de ellas se tratan de interpretaciones de textos, porque en el latín de los siglos XVII se usaba la palabra "musica" para hablar del sonido, la cual por sinonimia los intérpretes utilizan "acústica"; inclusive hay algunas traducciones que indistintamente usan "acústica o música" (Little, 1914); es decir que, por extensión, se le da una interpretación moderna a un concepto que oportunamente no fue definido como tal¹.

4. EL FENÓMENO SONORO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

No es objeto de este Ensayo indagar en la historiografía de la acústica en la humanidad, como una secuencia ordenada de eventos, solamente se presenta una línea de continuidad para establecer las épocas filosóficas (mojones, sin considerar fechas por la existencia de yuxtaposiciones) que marcan los puntos de inflexión de esta disciplina como actividad intelectual humana.

francés Mersenne, hasta donde se tiene conocimiento, es el primero en exponer el fenómeno sonoro en la música con ecuaciones matemáticas, explicando las oscilaciones; sin embargo, no asoció directamente la acústica como una independiente para estudiar esos fenómenos. Transcurrieron más de 60 años para que otro francés, Sauveur, tomara la iniciativa de dar explicación científica al fenómeno de las cuerdas vibrantes, y presentar, hasta donde se tiene conocimiento, la primera definición de acústica en 1696 como "ciencia para estudiar los fenómenos sonoros".

5. EL FENÓMENO SONORO EN LA ÉPOCA DEL EMPIRISMO

Roger Bacon (1214-1294) se considera que es el primero en proponer la experimentación como asiento de la teorización (actividad prohibida por la iglesia en esa época), y apoyado en los trabajos de los matemáticos árabes (principalmente de Al-Kindi), es quien introduce las bases de lo que más tarde se dio a llamar "empirismo", y dio explicación a muchos de los argumentos de Aristóteles respecto a las ondas sonoras, iustamente utilizando métodos experimentales. Las traducciones de sus trabajos están discutidas, hay toda siendo V una interpretación, en el sentido de traducir del latín utilizado en la época de Bacon directamente al inglés actual, por lo que existe toda una nueva lectura (Hackett, 2007).



Figura 1: Una evolución de la acústica en la historia humana (elaboración propia)

Revista ECOS ISSN 2697-2913 Año 1 Nº 1 Enero – Junio 2020

-

¹ La misma situación se podría dar en caso que se quisiera decir que el concepto de "masa" para Newton es el mismo que tiene para Einstein.

Sus escritos científicos experimentales se enmarcan dentro del Quadrivium, tratando la Naturaleza en cuatro grandes disciplinas: geometría, aritmética, astrología y música, justamente esta última fue incorporada por Bacon; inclusive la palabra "matemáticas" en sus escritos, la utiliza con un sentido muy amplio abarcando áreas que no pertenecerían conceptualmente a ella. Si bien los griegos escribieron acerca de una gramática en la música, fue Bacon quien le dio forma científica al incorporarle la Lógica matemática, dando inicio a la idea de la métrica y el ritmo en la música, donde el sonido es parte de la música, retomando así la tradición platónica y los postulados de Aristóteles considerando a la música como parte integrante de las matemáticas. En sus escritos en latín utiliza la palabra "sono" para referirse al sonido, analizando su comportamiento comparándola con la luz o la propagación del olor con una idea desde las matemáticas. En todos sus documentos digitalizados aparece la palabra latina "musica" diciendo que es numerus relato ad sonos (relación ordenada de sonidos), de aquí que se infiere que muchas de las traducciones de sus trabajos los intérpretes utilicen por sinonimia la palabra "acústica" como si fuese sinónimo de música.

6. EL FENÓMENO SONORO EN LA ERA DE LA RAZÓN Y EL ILUMINISMO

Muchos filósofos en esta época trabajaron y publicaron experiencias y razonamientos en el campo de conocimiento de las ondas sonoras o de las "cuerdas vibrantes" (Keppler, Hooke, Bernoulli, Newton, Da Vinci, Wallis, Francis Bacon, Kircher, etc.), aquí no se los profundizará porque consideraban el estudio del sonido como parte de otra disciplina y no independiente.

6.1. Filósofos que consideraron que el estudio del sonido *podría* ser independiente

a) El primero en pensar que la naturaleza se podía resumir en un pensamiento matemático fue Galileo Galilei (1564-1642), escribiendo en *Il Saggiatore* (Galilei, 1997):

La Filosofía Natural está escrita en este gran libro que se encuentra continuamente abierto ante nuestros ojos, me refiero al universo [...]

Él está escrito en lenguaje matemático, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es humanamente imposible entender una palabra; sin éstos, uno está vagando en un laberinto oscuro (p. 16).

Los estudios del sonido no los consideraba como independiente sino dentro de la música; además, el tratado de Galileo fue publicado en 1638 y el definitivo de Mersenne lo es en 1635.

- b) Se encuentran los trabajos de René Descartes (1596-1650) siempre vinculados a la música y no como entidad separada, y con un concepto estético: "El objeto de la música es el sonido" (Descartes, 1632). Su pensamiento filosófico respecto al fenómeno sonoro fue compartido por Mersenne, quienes intercambiaron por correspondencia sus opiniones sobre el sonido (Bennett, 2013). En sus pocos escritos en latín solamente utilizó la palabra "musica", y en los escritos en francés nunca usó la palabra "acoustique".
- c) En Alemania después de 1635, varios filósofos indagaron en el estudio del sonido, desde la forma que son escuchados por analogía a la visión y del comportamiento de la luz. Gaspar Schott en su tratado ACUSTICA (sic) el cual está escrito en latín y profundizó los trabajos de Mersenne, donde vincula el sonido a la música y de la forma que son oídos dependiendo del eco o de la reverberación, indicando que a veces son situaciones producidas por el Diablo (Schott, 1657), escribiendo esto a lo largo de su obra.

6.2. Marin Mersenne

De esta época muy pocos filósofos se dedicaron a una sola disciplina, y para el caso de la música/sonido fueron aún menos. Quien formalizó las relaciones físicas del sonido fue Marin Mersenne (1588-1648), en su manuscrito *Traité de l'harmonie universelle*, dejando sentado como precedente que el fenómeno sonoro es parte de la teoría de la música, y ésta parte de las matemáticas (Mersenne, 1627):

Theoréme I. La músique est une partie des Mathematiques, e par consequent une science, qui montre les causes, les effets, e les proprietez des sons, des chants... Theoréme IV. La músique est une science speculative...

Teorema I. La música es parte de Matemáticas, y por lo tanto, una ciencia que muestran las causas, efectos, y la propiedad de los sonidos, del canto... Teorema IV. La música es una ciencia especulativa... (p. 28)

Define sus leyes con sentido científico en 1636-1637, y fueron publicadas en Harmonie universelle (Mersenne, 1636). Es importante destacar que todos sus libros fueron escritos en lengua francesa, en una clara orientación de la Era del Iluminismo de no utilizar el latín, por lo que no hay dificultad para entender sus libros, y queda claramente asentado que se refirió y utilizó en 1635, la palabra musique, en un sentido de que se estaba refiriendo al sonido en sí mismo, y todavía considerándolo como parte de la música y no como independiente en el campo del conocimiento científico de la física. Cuando estudia la naturaleza y las propiedades del sonido, en todos los casos se refieren a las notas musicales y sus relaciones en los acordes, siendo esto algo muy original para esa época, dejando así establecidas las bases para el estudio de sonidos desde otra concepción Profundizó las teorías de Aristóteles acerca de la propagación del sonido en el aire, y mediante analogías de la física mecánica explica que el movimiento de los átomos en el aire es el responsable de "transportar los sonidos". Mersenne fue pionero al escribir sobre los armónicos superiores en las ondas explicaciones sonoras con matemáticas, principalmente por su estudio de instrumentos de cuerda, considerando que se podía escuchar hasta cuatro armónicos que, en su lengua original del denomina oveurtones "sobretonos". También fue pionero en la medición de la velocidad del sonido en el aire (o al menos de intentarlo científicamente), tratando de poder asociar una relación unívoca entre las notas musicales y una cantidad de vibraciones por segundo (en términos de frecuencia).

7. RESEÑAS DE LA PALABRA "ACÚSTICA" ANTES DE 1696

Se encuentran muchas referencias en Internet de que la palabra "acoustics" hubiera o hubiese sido utilizada antes de 1696, pero hay que tener en cuenta que el Latín era *la lingua franca* y no existen evidencias ni filológicas ni hermenéuticas de que palabra "acoustics" tenga su correlato en lengua inglesa o

latina hacia esta época, y quienes sostienen eso2, es porque se refieren a traducciones de los originales en latín a otras lenguas, que se realizaron posteriormente a su publicación original. Lo que existen entonces, son interpretaciones subjetivas de traducción, de que el autor "quiso decir" o "quiere referirse" a la acústica, esto de acuerdo a un concepto moderno y por supuesta sinonimia, es decir, no someten a comprobación si en realidad el autor originalmente utilizó la palabra "acústica" en lengua vernácula o en latín. Para llegar a estas conclusiones no se requiere conocimiento en la zona teórica de la acústica, porque con solamente consultar el escrito original, quedaría resuelta esa suposición; además, de la lectura de los originales se destaca que esos filósofos consideraban por separado el estudio de las ondas de la música (Baskevitch, constituyendo esto la definición de "acústica".

7.1. La referencia de 1605

Hay un trabajo de Francis Bacon (1561-1626) escrito en latín de 1605, que supuestamente se titula Acoustics Art (Arte de la acústica), pero en su original consta únicamente la palabra "musica", y la última traducción validada de su libro al inglés (Krech, 1998), no aparece en inglés la palabra "acoustics"; de su lectura, en ningún momento se corrobora de que quiera referirse a los sonidos como entidad independiente de la música. De su publicación Sylva Sylvarum, a la cual le atribuyen que aparece la palabra "acoustics", encontramos una traducción al inglés en 1669 por William Rawley solamente figuran las palabras "sound", "musical", "musick" (Rawley, 1670), y se lee que el análisis del sonido no lo vincula como ciencia independiente; en su tabla analítica de temas no aparece la palabra "acoustics".

De la lectura y análisis de sus originales en latín y las trascripciones al inglés del siglo XVII, lo que se destaca es que Bacon realiza una compilación de los resultados observacionales del sonido y de la música de siglos anteriores, y hace comentarios de éstos con una visión empírica, por sobre los conceptos idealistas y espiritualistas de lo pitagórico, platónico y

_

² La analogía con la Filosofía Política es como si se asegurase que la palabra "soberanía" hubiese sido utilizada en la Edad Media, esto es imposible porque para esa época

aristotélico (respecto al sonido/música), pero no teoriza matemáticamente ni busca explicación racional a lo que comenta; inclusive, como hay situaciones que no puede esclarecer, a modo de respuesta (en distintas partes de sus escritos) aduce que algunos fenómenos sonoros responden a las Especies espirituales. Bacon no funda hipótesis acerca del fenómeno sonoro, solamente explicación da especulativa de lo que él empíricamente interpreta de sus observaciones, y no da como hecho científico de que la producción del sonido es consecuencia de la vibración.

7.2. La referencia de 1657

Gaspar Schott (1608-1666) escribió en latín un tratado filosófico, su segundo libro se titula "Magiae Universalis Naturis et Artis part II. Acustica" (Schott, 1657), el cual describe y presenta ilustraciones del comportamiento del sonido como rayos rectilíneos, por analogía a los lumínicos; no da ninguna explicación de cómo dio origen a la palabra latina "acustica" (sic). Si bien dilucida el comportamiento del sonido, esto es una ampliación de las ideas de Mersenne; de lo que Schott describe, la mayoría es especulativa y no hay elucidación de conocimiento, porque si hubiese puesto en práctica sus experimentos, no obtendría los resultados que predice.

7.3. La referencia de 1683

Narcissus Marsh (1638-1713) presentó un trabajo escrito en inglés, ante la Dublin Philosophical Society en 1683 "On the doctrine of sounds" (todavia no está disponible ese original en Internet); se encuentra, sí, una transcripción de 1809; de su lectura comparada y de enciclopedias de la época, se verifica lo siguiente: (a) Raramente se lo nombra a Narcissus como investigador en temas de música/sonido en el siglo XVII; (b) No hay referencias del origen etimológico de la palabra "acoustics" en el idioma inglés, de que hubiera o hubiese aparecido alrededor de 1683. (c) Su discurso es casi lo mismo que escribieron Mersenne, Galileo y Schott, aportando ideas actualizadas y originales para los filósofos irlandeses. Se tiene sí,

no existía, en la sociedad de ese momento, el concepto de Estado que tenemos en la actualidad. libre acceso en Internet de otra publicación suya de 1684 que fue transcripta en 1703, en cuyo encabezamiento dice lo siguiente (Marsch, 1705):

An introductory Essay to the doctrine of Sounds containing some proposals for the improvement of Acousticks; as it was presented to the Dublin society Nov. 12. 1683. by the Right Reverend Father in God Narcissus Lord Bishop of Ferns and Leighlin (p. 472)

En inglés está escrito "acousticks" con la letra "k". En la publicación de 1809 de la transcripción de su discurso de 1683 "On the doctrine of sounds" aparece con un dato muy curioso: en el texto en vez de constar la frase "the doctrine of sounds" aparece la frase "the doctrine of acoustics" y sin la letra "k" (Hutton, 1809, p. 5).

8. LA ACÚSTICA COMO CIENCIA INDEPENDIENTE EN 1696

Es entonces que Joseph Sauveur (1653-1716) introduce la palabra "acoustique", acústica en su original del francés, en 1696 para definir una ciencia independiente; la explicación de cómo ideó esta palabra usando raíces del idioma griego consta en manuscritos de difícil acceso, la reseña escrita más antigua disponible en Internet, es de Jean Jacques Rousseau: "Ce mot est de l'invention de M. Sauveur, & vient du Grec ἀκούω, j'entends" "Esta palabra es la invención del Señor Sauveur, y proviene del griego ἀκούω, oír (Rousseau, 1767)". Sauveur es quien introduce la idea de que el sonido es una ciencia independiente de otras disciplinas, dando por sentado tácitamente la separación del estudio de las cuerdas vibrantes de la música (Sauveur, 1701):

J'ai donc cru qu'il y avait une science supérieure à la musique, que j'ai appelé Acoustique, qui a pour objet le son en général, au lieu que la musique a pour objet le son en tant qu'il est agréable à l'ouïe.

Así que creí que había una ciencia superior a la música, que he llamado acústica, que tiene como objetivo el sonido en general, en lugar que la música es sonido en tanto es agradable para el oído (Edición html)

Sauveur, dando culminación a gran parte de sus estudios sobre los sonidos, la música e instrumentos,

en 1700 presenta una definición científica de la acústica ya como integrante de la Académie Royale des Sciences de Francia, asestando de esta forma el golpe final que terminó con el quadrivium, y el concepto del medioevo que el estudio del sonido es una rama de la música (o de la estética, o de la matemática, etc.). De la lectura de sus escritos en francés original, es fácil determinar que Sauveur analiza críticamente los aportes de distintos matemáticos y filósofos, acerca del estudio sobre "las cuerdas vibrantes" (en un sentido moderno sería sobre las ondas sonoras), de ahí es que determina que para hacer un estudio que sirvan para entender esos fenómenos, es necesario separar la "física de ondas" de la "música", y para ello es indispensable crear una disciplina nueva: La acústica. El estudio de los fenómenos sonoros dentro de la acústica queda así por encima de los matemáticos y filosóficos que, hasta esa fecha, lo consideraban como unívocos; entonces, es a partir de 1696 que el estudio del fenómeno sonoro (o cuerdas vibrantes) es una entidad distinta al estudio de la música. Sauveur no solo introduce la palabra acústica al campo científico de la física, sino también otros términos como nodo, vientre, armónico, etc.

Sauver no niega los trabajos anteriores en el campo de las ondas sonoras, todo lo contrario, él hizo conocidos otros estudios filosóficos que los vinculó a la acústica; John Picker rescata un trabajo de Ernest Wever, investigador que colaboró con Békésy (único premio Nobel considerado dentro de la Acústica), se refiere a un manuscrito inédito de Sauveur, quien él ya había resumido y presentado acerca "de los principios de los reso-nadores en el sistema auditivo (Wever, 1949)" (Picker, 2003, p. 176); Sauveur comenta que fueron teorizados en 1605 por Gaspar Bauhin (1560-1624) y perfeccionado en 1683 por Guichard Duverney (1648-1730), siendo este último en publicar antes que Helmholtz, el mecanismo de escucha del oído.

9. AMPLIACIÓN DE LA PRIMERA DEFINICIÓN DE ACÚSTICA-1802

En 1802 Ernst Chlani (1756-1827) publica *Die Akustik*, un libro escrito en alemán que compendia los avances de la acústica hasta ese momento, pero que no solamente trata sobre los sonidos sino que incorpora otros aspectos científicos que son pertinentes al comportamiento de las ondas acústicas, es decir, presenta una ampliación de este campo

científico. Su trabajo es definitivamente conocido cuando es traducido y redactado en lengua francesa como *Traité d'Acustique*, en el cual el Instituto de Francia de ciencias matemáticas y física agrega un anexo a esa publicación de 1809:

C'est à Sauveur, élu membre de l'Académie des Sciences de Paris en 1696, qu'est due la gloire d'avoir fait de la théorie des cordes vibrantes et de son application à la musique, une des branches importante de la physique, et de l'avoir liée à la mécanique.

Es que a Sauveur, miembro electo de la Academia de Ciencias en París en 1696, se debe la gloria de haber hecho la teoría de cuerdas vibrantes y su aplicación a la música, una de las principales ramas de la física y después de haberla vinculado a la mecánica (p. 353).

Chladni es el primero que "hizo visuales" en 1787 los nodos de las ondas acústicas (incluidas en el libro mencionado), que son conocidas como las *Figuras de Chlani*, que se manifiestan cuando se hace vibrar una fina placa metálica recubierta de polvo y se forman figuras por frotar esas placas con las cerdas del arco de un violín, mejorando así las experiencias hechas por Sauveur cien años antes, quien colocaba hojas de papel detrás de cuerdas vibrando para poder hacer visuales los nodos y vientres.

10. LA ACÚSTICA Y EL POSITIVISMO EN PRIMER TERCIO DEL SIGLO XX

La filosofía positivista imperante a principios del siglo XX en los EEUU, que en su concepción anglosajona plantea únicamente dos modelos de pensamiento científico: por un lado el de las ciencias empíricas y por el otro el formal con el lenguaje de las matemáticas. En una época donde eran predominantes las virtudes de la ingeniería y de las ciencias exactas, es la corriente matemática la de mayor influencia y hasta se veía con desprecio cualquier trabajo que no respondiese a las severidades de la lógica (Auguste Comte escribió sobre la "Física Social" para referirse a los estudios sociales).

10.1. Wallace Clement Sabine

El caso de Sabine (1872-1923) es interesante ya que, si bien tenía formación como físico, sus trabajos iniciales nunca estuvieron vinculados a la acústica, sino que respondiendo a un pedido formal de resolver un problema concreto, es que se introduce en la acústica (porque el resto de sus colegas no aceptaron el trabajo). Al departamento de física de Harvard le solicitaron en 1895, que estudien el por qué no se podía escuchar bien las lecturas en el Fogg Art Museum Lecture Hall (inaugurado en 1894) y darle a esto una solución. La investigadora Emily Thompson en su obra The soundscape of modernity, trabajo basado en la tradición oral de la acústica dentro de la Historia de la ciencia, relata muy bien la experiencia de Sabine (Thompson, 2002), quien realizó miles de mediciones a lo largo de dos años, utilizando instrumentos fabricados por él v munido de un cronómetro y su oído, llegó a la conclusión de que ciertos materiales influían proporcionalmente en la absorción de la energía de las ondas sonoras. Un grupo de arquitectos enterados de que un físico trató de resolver problemas auxiliado con aparatos, de la propagación de ondas dentro de salas, lo convocaron para que participe en el diseño de un teatro. Sabine volvió a revisar los miles de resultados obtenidos y comenzó a tabularlos, y observando que tenían un comportamiento regular, graficó esos descubriendo que el dibujo se correspondía con una hipérbola rectangular; entonces, extrapolando partes faltantes en esa curva, se dio cuenta que podía resumirla en una sola ecuación. En los años siguientes perfeccionó esa ecuación llegando a un modelo estocástico final. Es entonces que "descubre" una explicación matemática a un fenómeno que era bien conocido en la práctica, pero no del todo entendido en la teoría, por lo que desde una perspectiva científica se podría decir que se trataría de un concepto clásico en la acústica (en el sentido de Rudolf Carnap), el sostener que Sabine marca el "inicio de la acústica moderna" es una concepción heredada, de ideas en EEUU del positivismo victoriano.

10.2. La "primera centuria" de la acústica

En 1901 James Loudon al asumir la presidencia de la Real Sociedad (de ciencias) de Canadá, presenta los primeros cien años de la acústica como disciplina científica dentro de la física "A century of progress in acoustics", en el cual comenta los "resultados experimentales en la acústica y la física de los últimos

cien años" (Loudon, 1902, p. 43) comenzando desde Chladni, identificando a este filósofo alemán como el iniciador de la acústica como ciencia. Es llamativo el hecho de que Loudon hace referencia a la "primera centuria" de la acústica tomando como reseña los trabajos del alemán Ernst Chladni, siendo que él mismo se refiere que utilizó la versión francesa del libro, *Traité d'Acustique* de 1809 (y no el escrito en alemán de 1802), en el cual se afirma en su Anexo, tal como vimos líneas arriba, que la acústica es una disciplina independiente a partir de 1696. Es decir que Loudon omite totalmente que la acústica es ciencia a partir de Joseph Sauveur desde 1696.

10.3. Los "primeros 30 años de la acústica"

El libro de Emily Thompson, *The soundscape of modernity*, aporta un dato muy interesante en cuanto a que no figuraba en ninguna otra publicación anterior, se trata de un artículo publicado en una revista estudiantil universitaria sobe la sexta reunión de la ASA, en la cual su Presidente Dayton Miller en una conversación entre los acústicos y estudiantes de la Case Western University habló de que "*La acústica es la ciencia de los últimos treinta años* (Miller, 1931)" (Thompson, 2002, p. 59). Esta frase así sacada de todo el contexto en el cual fue dicha, estaría dejando como concepto de que la acústica, como ciencia, se inicia con Sabine.

En Inglaterra se encuentra una referencia similar de 1929 con William Eccles, quien presenta "The new acoustics" en su conferencia al asumir la presidencia de la Sociedad de Física, haciendo un resumen de la historia técnica de la acústica, basada en las analogías de las ondas acústicas con el fenómeno eléctrico (Eccles, 1929).

En ambos casos se puede inferir que en el primer tercio del siglo XX, aún se mantenía el positivismo en la ciencia, que consideraban que la acústica "es ciencia" o "es ciencia moderna", desde que se sustenta a partir del uso de aparatos electromecánicos o con dispositivos eléctricos para realizar mediciones, que auxilian a la disciplina.

11. LOS "200 AÑOS" DE LA ACÚSTICA-1999

El primer libro meticuloso publicado con la historiografía de la acústica es de 1978, "Origins in Aconstics" escrito por Frederik. V. Hunt, editado

póstumamente, en el cual no se lo nombra a Sauveur. En 1998, Robert T. Beyer publica un libro, que continua los trabajos de Hunt, "Sounds of Our Times: Two Hundred Years of Acoustics", quien pudo rescatar los manuscritos de los capítulos incompletos de Hunt y ampliar la investigación; en este libro se reconocen los trabajos pioneros de Mersenne y de Sauveur; pero Beyer ubica el origen de la acústica en 1802 (p. 2), con la publicación de Chladni "Die Akustik".

12. LOS 300 AÑOS DE LA ACÚSTICA COMO CIENCIA INDEPENDIENTE

En este Ensayo se presentó una refutación a que la acústica es ciencia independiente desde 1802 o desde el 1900, la cual está fundamentada con la lectura de los libros originales en latín, inglés y francés del siglo XVII y XVIII (digitalizados y disponibles libremente en Internet); es entonces que las bases de la acústica moderna, fueron asentadas por Mersenne y que Sauveur las elevó a la categoría de disciplina independiente como rama de la física, al definirla como tal en 1696. Respecto a las referencias de que antes del 1700 se hacían estudios de acústica, como disciplina autónoma, quienes aseveran ese hecho es evidente que lo hicieron sin haber verificado las fuentes primarias de información, es decir, que no diseñaron metodológicamente un contexto de descubrimiento que les permita establecer hipótesis de trabajo científico: se plantearon una conclusión sin verificar lógicamente sus argumentos, porque no hay un contexto de justificación sino que, partiendo de una premisa falsa en un razonamiento de atrás-haciaadelante (backforward), intentan "demostrar" que antes de 1696 se conceptualizaba a la acústica como ciencia independiente.

Hay muchos trabajos de François Baskevitch (músico, acústico, doctor en filosofía de la ciencia), sobre la acústica en los siglos XVII y XVIII, de los cuales se destaca uno: "L'air et le son dans l'Encyclopédie, un curieux silence", donde hace un desarrollo explicando que el término "acoustics" en inglés no aparece en ninguna enciclopedia anterior al 1700, y que se encuentra esporádicamente la palabra "otocousticon" u "otacusticon" para referirse a las "trompetas de escuchd" (Baskevitch, 2009), que son dispositivos con una forma del tubo de una trompeta, que el sonido ingresa por la campana y el otro extremo (más delgado) se introduce en el oído, aparatos que

ayudaban a escuchar a las personas con deficiencia auditiva.

El paradigma de la separación de la acústica como disciplina independiente en 1700, también fue considerado por Thomas Kuhn: "La carrera de Joseph Sauver (1653-1716) ilustra claramente la transición de los armónicos en la música a los armónicos en la acústica (Khun, 1976)" (Paddison, 2010, p. 25).

El pensamiento de que la acústica es ciencia a partir de que un investigador, utilizando aparatos de medición dio explicación matemática a un fenómeno físico en 1900, es compartido por muchas personas y transcripto en libros de prestigiosas editoriales; [sobre la independencia de esta ciencia] y parafraseando a Adorno "la acústica sin teoría crítica no es más que mera reproducción de la ideología dominante (Adorno, 1968)".

EPÍLOGO:

a) No hay evidencias suficientes que puedan sustentar que antes de 1700 existía, en la lengua inglesa, la palabra "acoustics". b) Las paradojas contextuales de los investigadores ingleses "ubican" a Francis Bacon como iniciador de la acústica como ciencia independiente, los alemanes "ubican" a Chladni, los norteamericanos "ubican" a Sabine, los canadienses "ubican" a Chladni, los italianos "ubican" a Galileo, etc. c) El por qué ciertos sectores de la acústica todavía se resisten a aceptar a Mersenne y a Sauveur como los iniciadores de la acústica moderna, es una pregunta a responder en otro momento.

REFERENCIAS

Adorno, T. (1968) Tabarovsky, Daniel [Artículo periodístico].

http://www.perfil.com/columnistas/Sociologia-como-adorno-20150606-0095.html

Baskevitch, François (2009). L'air et le son dans l'Encyclopédie.

https://rde.revues.org/4556

Bennett, Jonathan (2013) Selected Correspondence of Descartes.

http://www.earlymoderntexts.com/pdfs/descartes16 19 1.pdf

Beyer, Robert (1998) Sounds of Our Times: Two Hundred Years of Acoustics. EEUU

- Chladni, Ernst Florens Friedrich (1809) *Traité* d'acoustique.
- https://archive.org/details/traitdacoustiqu00chlagoog
- Descartes, René (1632) Abrégé de la musique.
- http://www.chmtl.indiana.edu/tfm/17th/DESABR_ TEXT.html
- Eccles, William. *The New Acoustics.* (1929). Proceedings of the Physical Society. UK
- Fleck, Ludwik (1979). Genesis and Development of a Scientific Fact. U of Chicago.
- Galilei, Galileo (1997) *Il Saggiatore*. Italia. http://www.icmc.usp.br/~andcarva/Il_Saggiatore .pdf
- Hackett, J. (2007) Roger Bacon. Stanford *Encyclopedia* of *Philosophy*.
- http://plato.stanford.edu/entries/roger-bacon/
- Hutton, C.; Shaw, G; Pearson, R (1809). The Philosophical transactions of the Royal Society of London.
- http://www.archive.org/stream/philosophicaltra03ro yarich#page/4/mode/2up
- Krech, Hartmut (1998) The Advancement of Learning (1605) USA.
- http://www.luminarium.org/renascenceeditions/adv1.htm
- Little, A. G. (1914) Roger Bacon. Essays.
- https://archive.org/details/rogerbaconessay00litt
- Loudon, James (1902) A century of progress in acoustics. Canada.
- https://archive.org/details/cihm_86880
- Marsh, N. (1705). An introductory Essay to the doctrine of Sounds.

- http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/14/15 5-166/472.full.pdf+html
- Mersenne, Marin (1627) *Traité de l'harmonie universelle*. https://books.google.com.pe/books/about/Trait%C 3%A9_de_l_harmonie_universelle.html?id=fVsi WYQUGpcC&redir_esc=y
- Mersenne, Marin (1636), Harmonie universelle 2 vols Paris.
- http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5471093v
- Paddison, Max; Deliége, Iréne (2010) Contemporary music. Ashgate. Londres.
- Picker, John M. (2003) Victorian Soundscapes. New York, USA.
- Rawley, W. (1670) Sylva Sylvarum or A natural history in ten century.
- https://archive.org/details/sylvasylvarumorn00baco
- Rousseau, Jean Jacques (1767). Dictionnaire de musique.
- http://rousseaustudies.free.fr/Dictionnairemusique.h
- Sauveur, Joseph (1701) Principes d'Acoustique et de Musique.
- http://www.chmtl.indiana.edu/tfm/18th/SAUPRI_T EXT.html
- Schott, G. (1657) Magiae Universalis Naturis et Artis parr II Acustica.
- http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=ucm.53165203 22;view=1up;seq=5
- Thompson, Emily (2002). The soundscape of modernity: architectural acoustics and the culture of listening in America, 1900-1933. MIT Massachusset EEUU.

Impacto acústico de la interacción entre el viento y las edificaciones

Pablo Gianoli Kovar Elizabeth González José Cataldo

Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental, Montevideo, Uruguay

Correo de contacto: pgianoli@fing.edu.uy

Resumen

Se presenta el análisis de emisiones acústicas generadas por la interacción del viento y la fachada de un edificio de gran altura en Uruguay. La fachada está compuesta por parasoles de vidrio que generaban molestia por ruido. Se realizaron mediciones de niveles de presión sonora. Se identificó la fuente de ruido, que se asoció con un fenómeno causado por velocidades de viento superiores a 5 m/s pasando entre los parasoles. Una vez identificado el problema, se desarrolló una medida de control que se implementó. Su buen funcionamiento se verificó con nuevas mediciones de niveles de presión sonora en el entorno.

Palabras clave: Acústica ambiental, ruido en estructuras, aeroacústica

Acoustic impact of the interaction between the wind and buildings

Abstract

The analysis of acoustic emissions from the interaction of the wind and the facade of a high-rise building in Uruguay is presented. The facade is composed of glass fins that generated noise annoyance. Measurements of sound pressure levels were done. The source of the noise was identified: it was associated with wind speeds higher than 5 m/s passing between the fins. Once identified the problem a control measure was implemented. Its good performance was verified with new measurements of sound pressure levels in the environment.

Keywords: Environmental acoustics, noise in structures, aeroacoustics

Impacto acústico da interação entre o vento e os edifícios

Resumo

O análise das emissões acústicas geradas pela interação do vento e da fachada de um edifício alto no Uruguai. A fachada é composta por guarda-sóis de vidro que geram aborrecimento sonoro. Medições de níveis de pressão sonora foram feitas. A fonte de ruído foi identificada, associada a um fenômeno causado pela velocidade do vento superior a 5 m / s passando entre as guarda-sóis. Uma vez identificado o problema, foi desenvolvida uma medida de controle que foi implementada. Seu bom desempenho foi verificado com novas medições dos níveis de pressão sonora no ambiente.

Palavras clave: Acústica ambiental, ruído em estruturas, aeroacústica.

1. INTRODUCCIÓN

El ruido es un agente contaminante muy fácil de producir ya que requiere muy poca energía para generarlo. Sin embargo, es muy difícil de combatir, principalmente porque las medidas para combatirlo ser costosas al requerir alternativas ingenieriles y arquitectónicas sofisticadas. El sonido resulta de la propagación de un movimiento oscilatorio de partículas a través de un medio material, el cual está asociado a un campo oscilatorio de presiones que se caracteriza por la frecuencia y la amplitud del movimiento. La onda de sonido está asociada a un flujo de potencia por unidad de área que rodea el sitio donde la fuente genera tal movimiento. En este artículo se presenta el análisis de las emisiones acústicas generadas por la interacción entre el viento y la fachada de un edificio. El ruido inducido por el viento a menudo se pasa por alto para el diseño del edificio. El ruido del viento puede ser generado por el viento que fluve sobre los elementos de la fachada o a través de las brechas dentro de los edificios. El ruido generado por los elementos de la fachada que impacta el viento, especialmente a velocidades del viento más altas, ha recibido una mayor atención en los últimos años. El ejemplo más notable es uno de los edificios residenciales más alto de Europa en Manchester, Inglaterra, conocido como "Beetham Tower", que recibió amplia publicidad cuando se completó su construcción, según lo informado por Leeming (2006). Baker (2015) informó recientemente que el trabajo para reducir o erradicar el ruido se llevó a cabo en el 2007, cual se basó en la instalación de almohadillas de espuma, y más trabajos no divulgados completados en febrero de 2010. Los intentos de erradicar el ruido permanentemente no han tenido éxito.

Ploemen y otros (2011) proporcionan evidencia de dos edificios altos, parte de La Haya en los Países Bajos, que se hicieron notorios por el ruido generado a velocidades del viento de alrededor de 12-15 m / s, y se afirma que las rejillas de acero son la fuente de ruido. Otros ejemplos recientes y locales incluyen el ruido eólico generado por la balaustrada con aletas de los pasos elevados peatonales de la autopista instalados en 6 ubicaciones a lo largo del proyecto Eastlink de 40km en Melbourne, Australia

(Mitchell et al, 2010). Se informó que los niveles de ruido en las propiedades residenciales cercanas son 40dB mayores que el nivel de ruido de fondo (o ambiente).



Figura 1. Beetham Tower, Manchester Inglaterra.

En nuestro país este problema se ha registrado al menos en dos oportunidades, las cuales fueron abordadas por el Departamento de Ingeniería Ambiental y la Sección Hidromecánica Eolodinámica del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR. El primer caso se dio en junio del 2012, donde una empresa constructora se pone en contacto con la Sección Hidromecánica y Eolodinámica del IMFIA consultando sobre el ruido proveniente de la azotea de unos de los edificios del World Trade Center ubicado en Av.Luis Alberto de Herrera y 26 de Marzo. Según Cataldo, J (2012) los resultados de las mediciones de campo y el túnel de viento establecieron que las emisiones acústicas que se registraban en el edificio parecían ser debidas al flujo de viento en los orificios de una de las placas caladas ubicadas en la azotea, explicando el nivel de presión de 53 dBA a nivel de suelo. Debido al buen resultado del primer caso, la Universidad, en mayo de 2017 fue contactada nuevamente por otra empresa constructora informando sobre un evento similar generado en un Hotel, ubicado en Av. De las Américas, el cual se encontraba próximo a su apertura. En este artículo se abordará este caso de estudio en el cual se presentaran los resultados obtenidos en las mediciones en campo y el abordaje teórico del problema. Las emisiones acústicas que se registraron en el edificio eran debidas al flujo a través de los parasoles de vidrio que forman parte de la fachada del edificio.

2. CARACTERISTICAS DE LA FUENTE DE RUIDO

2.1 Descripción del edificio en estudio

En el Departamento de Canelones (Uruguay), muy próximo al Aeropuerto Internacional de Carrasco, se construyó el edificio donde en la actualidad funciona un hotel, con una altura de aproximadamente 36 metros y una sección rectangular de aproximadamente 35 m por 20 m de lado (ver Figura 2(d)).

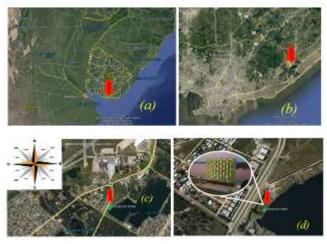


Figura 2. (a) Ubicación de la zona de estudio en una escala continental; (b) Límite Departamental Montevideo/Canelones; (c) Zona de estudio incluyendo puntos cardinales; (d) Edificio en estudio (imágenes modificadas de Google Earth).

El edificio presenta placas de vidrio verticales en su fachada, que forman parte del diseño estético del mismo. Estos parasoles de vidrio están compuestos por placas de 16 mm de espesor, 19 cm de ancho y tramos de la altura de cada piso, del orden de 3.2 m. Se encuentran ubicados perpendicularmente a la fachada, en forma aleatoria a lo largo y ancho de la misma, tal cual lo muestra la Figura 2(d), con una separación de entre 7 cm y 25 cm, con un promedio

de 20 cm. A fines del mes de mayo y a principios del mes de junio de 2017 se culminó con la colocación de estos parasoles en toda la fachada del edificio. Una vez finalizada la instalación de los parasoles tanto los responsables de la obra como las personas del entorno comenzaron a percibir sonidos provenientes, en principio, del piso 9. Este piso posee una geometría diferente a los demás pisos, ya que en esa zona se ubican los equipos de aire acondicionado de todo el edificio (ver Figura 3 (b)).



Figura 3. (a)Detalle de parasoles utilizados; Dibujo CAD, (b) Planta piso 9

2.2 Flujo alrededor de la estructura

La interacción entre el flujo de aire y una estructura puede dar como resultado un desprendimiento de vórtices con una escala similar a las dimensiones de la estructura. Estos vórtices se emiten con una frecuencia característica, que depende de la geometría del obstáculo y de la velocidad del flujo incidente sobre él. En el caso del edificio, el número de Strouhal (St = f.D/U) presenta un valor del orden de 0.12, por lo que para los valores de interés del ancho del obstáculo D y de la velocidad del viento U, la frecuencia de emisión de estos vórtices así como del movimiento y campo de presiones oscilatorio que induce, sería inferior a 1 Hz.

2.3 Vibración de la placa de vidrio

La vibración de una componente de una estructura puede dar lugar a una emisión acústica debido a la oscilación del campo de presiones que induce en el aire, así como la ocurrencia de impactos. Las placas de vidrio están sujetas por sus extremos empotradas en alojamientos metálicos y vinculados por un pegamento que se interpone entre el vidrio y el metal. Si se supone que las placas de vidrio se encuentran doblemente empotradas, con una luz de 3.2 m, un ancho de 19 cm y un espesor de 16 mm, su frecuencia propia sería del orden de 5 Hz. Si todas las placas de un piso vibraran en su modo

normal (se determinó según Simiu and Scanlan, 1986), la emisión acústica total sería del orden de 40 dB.

2.4 Flujo alrededor de las placas y procesos de emisión acústica

Interesa analizar dos situaciones de interacción entre el viento y las placas de vidrio que componen el parasol, como son cuando el viento escurre paralelo a la fachada donde se ubican las placas y cuando el viento presenta una dirección cercana a la normal a dicha fachada. En la Figura 4 (a) se presenta el corte con un plano horizontal de algunas de las placas que se muestran en la Figura 3 (a). Cuando el viento escurre alrededor de una de las placas, corriente abajo se genera lo que se denomina una capa de corte. Entre las placas y la fachada, el aire está básicamente en reposo. Cuando el viento pasa por una placa corriente abajo se produce una mezcla, debido a la existencia de la capa de corte, que hace que el aire se ponga en marcha hasta cierta distancia desde el borde exterior de la placa. Básicamente, el flujo se desarrolla por encima de la línea azul, estando en reposo por debajo, es decir que en la zona más próxima a la fachada el aire presenta menores velocidades. El flujo entonces interactuaría con una porción de la placa plana de altura "a" como se indica en la Figura 4 (a). Como consecuencia de esa interacción se emiten vórtices de esa escala espacial y que presentan una frecuencia de emisión que cambia con la velocidad del viento. Para velocidades de viento de 4 m/s a 7 m/s se espera una emisión de vórtices en el rango de frecuencias de 200 Hz a 500Hz; mientras que para velocidad de viento entre 7 m/s y 11 m/s se espera una emisión de vórtices en el rango de frecuencias de 500 Hz y 800 Hz.

Cuando el viento resulta próximo a la normal al edificio, se establece un flujo alrededor de las placas cuya intensidad dependerá, entre otros aspectos, del campo de presiones que se establece sobre la fachada del edificio. En la Figura 4 (b) se presenta en forma esquemática la distribución del valor medio de la presión que se establecería sobre la fachada de un edificio debido a su interacción con el viento, cuando la dirección de este es próxima a la normal a la fachada. La distribución de presión presenta un máximo a una altura del orden del 66 % de la altura

del edificio (Simiu and Scanlan, 1985; Holmes, 2007), lo que corresponde al piso 6 del edificio objeto de análisis.

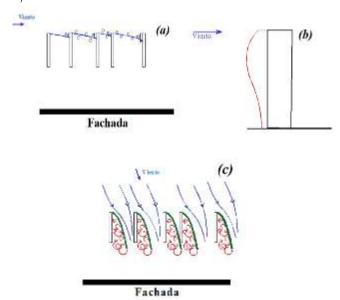


Figura 4. (a) Flujo del viento paralelo a la fachada del edificio; (b) Distribución de la presión del viento sobre la fachada de un edificio debido a la interacción con el viento; (c) Flujo de viento perpendicular a la fachada del edificio.

A partir de un ángulo de ataque relativamente pequeño del flujo alrededor de las placas se podría producir la entrada en pérdida, tal como se presenta en forma esquemática en la Figura 4 (c). Esto induce una importante producción de vorticidad, así como una contracción del flujo. Asociado a estos procesos, se producirían emisiones acústicas con frecuencias de entre 400 Hz y 700 Hz (Larato et al. 2017).

2.5 Flujo a través de las mallas

Cuando un flujo se desarrolla a través de una malla, se produce la formación de vórtices de diversas escalas como puede ser las dimensiones del paso de la malla o las dimensiones de las barras o hilos que componen la malla. Este piso técnico se extiende a lo largo de todo el ancho del edificio, es decir que tiene del orden de 30 m de longitud y 65 cm de ancho. La malla está constituida por placas y alambres de 3 mm de espesor con paso de 12 cm y 6 cm. Como consecuencia del campo de presiones que se esquematiza en la Figura 4 (b) se produciría un flujo sobre la fachada en la dirección vertical que en su recorrido pasaría a través de estos pisos técnicos. La intensidad de este flujo dependería de la

diferencia de presiones que a su vez depende del valor de la velocidad del viento a la altura del techo del edificio. Las frecuencias de los vórtices que se emitirían en la malla serían inferiores a 100 Hz para velocidades del viento de hasta 10 m/s, y de 1600 Hz y 2600 Hz para los emitidos por los hilos a velocidades del viento de 6 m/s y 10 m/s respectivamente.

2.6 Ruido emitido por resonadores

En el edificio de interés entre los parasoles de vidrio y la fachada se genera un espacio de 65 cm de longitud y de un ancho igual al ancho del edificio. En la Figura 5 se presenta una fotografía del edificio durante una etapa de la construcción, cuando aún no habían sido instalados todos los parasoles. En esa fotografía se indicó la ubicación del Piso 9, así como una viga que se ubica por encima de ese piso. Por delante de la viga se ubican los parasoles, por debajo de la viga hay un piso técnico, pero por encima se encuentra abierto. Ese espacio así definido oficiaría de tubo abierto por ambos lados, es decir el lado de los parasoles y el lado superior.



Figura 5. Detalle piso 9, edificio durante la etapa de construcción.

En la misma figura se señalan las dos zonas laterales del piso 9, en las cuales se formarían tubos abiertos, en este caso lateralmente hacia la zona donde se ubican los sistemas de aire acondicionado. En el resto de los pisos, el espacio entre los parasoles y la fachada actuaría como un tubo cerrado. Todos estos tubos tendrían una longitud de 65 cm de longitud. En Fernández et al. (2011) se presentan las características de resonadores acústicos de diversas

geometrías. Un caso particular de resonadores son los tubos, cuyas frecuencias propias dependen de si son cerrados por un extremo o abiertos por ambos. En la Tabla 1 se presenta la frecuencia que tendría el modo fundamental de vibración de cada tipo de tubo, así como los primeros armónicos.

Modo	Tubo abierto	Tubo cerrado
Fundamental	264	131
Primer armónico	528	395
Segundo armónico	791	660
Tercer armónico	1055	923

Tabla 1. Frecuencia de vibración de cada tipo de tubo.

3. MEDICIONES DE CAMPO

Se realizó un monitoreo de larga duración de niveles de presión sonora que se complementó con mediciones puntuales en sitios y momentos de interés. Las mediciones de niveles de presión sonora se realizaron con dos equipos analizadores de Clase 1 (según norma IEC 61672): para el monitoreo continuo se empleó un sonómetro marca Casella CEL 63-C y para las mediciones puntuales, un sonómetro marca Brüel&Kjær modelo 2250. En todos los casos se trabajó atendiendo a las precauciones y recomendaciones de rigor para medición de niveles sonoros. Las condiciones atmosféricas se tomaron según datos de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de ubicada en altura Carrasco a 10 aproximadamente a 1 km del edificio. Se obtuvieron medidas locales de velocidad del viento temperatura ambiente con un equipo portátil Extech EN 300.

Características de los eventos de interés.

Se realizaron al menos 10 campañas de medición, las cuales se basaron en registrar el mayor tiempo posible en diferentes puntos del edificio y en su entorno con el objetivo de captar el fenómeno al momento de generarse. El sonómetro Casella fue ubicado sucesivamente en tres puntos: el primero, en el piso 9, en el cual se buscó verificar si la fuente de ruido efectivamente se encontraba en este piso o próximo a él; y los otros dos puntos restantes en planta baja, sobre el estacionamiento del edificio, y en el obrador (ubicación opuesta lateralmente al

punto anterior), colocando el micrófono a unos 6 metros de altura. Se presentará uno de los resultados de las mediciones realizadas en el piso 9, las cuales sirven para comprender el fenómeno generado. Se presenta un registro 9 días consecutivos, a partir del día 11 de julio hasta el día 19 de julio (inclusive) de 2017. A continuación, se presentarán algunos resultados representativos que indican frecuencias predominantes al momento que se "dispara" el evento de ruido para diferentes condiciones ambientales. En ese período de medición se registraron niveles de presión sonora ponderados en escala A superiores a 90 dBA, momento en el cual se identificó la ocurrencia del fenómeno. En la Figura 6 se presenta la evolución en el tiempo que presentó cada componente espectral de la intensidad sonora medida. En ese momento la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Carrasco indicó una velocidad de viento de 6 m/s (medida a 10 metros de altura) con dirección NNE, o sea, prácticamente perpendicular a los parasoles del edificio, correspondiente al caso esquematizado en la Figura 4 (a), siendo esta velocidad suficiente para que se produzca una emisión de vórtices en ese intervalo de frecuencias mencionado en ese punto. Este evento perduró hasta las 18 horas aproximadamente

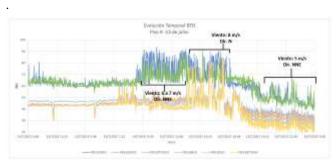


Figura 6. Evolución temporal en BTO de interés, piso 9

Se presenta el grafico de evolución temporal de las frecuencias de interés en la Figura 6, en la cual se observan claramente los dos tipos de ruido percibidos: tonos agudos relacionados a altas frecuencias, 3.2 kHz a 6.3 kHz, y otros no tan agudos, asociados a las bandas de tercio de octava (BTO) de 500 Hz y 630 Hz. Según la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Carrasco a partir de las 9:30 hasta las 14:00 horas el viento presentó una dirección NNE con velocidad en el entorno de los 6 m/s y 7 m/s a 10 m de altura

(Evento 1), a partir de las 14:00 horas el viento aumenta su velocidad a 8 m/s y rota al N (Evento 2), enfrentando con cierta inclinación a la fachada del edificio. A partir de ese horario se observa claramente cómo las altas frecuencias elevan sus niveles y las frecuencias de 500 Hz y 630 Hz tienen un leve descenso, pero de todas formas persisten. Esta condición perdura hasta las 18 horas, momento en que la velocidad de viento desciende a 5 m/s. A partir de las 21:00 horas aproximadamente, la estación meteorológica del Aeropuerto de Carrasco indica un cambio de dirección de viento a NNE, con velocidades entre 5 m/s a 6 m/s, lo que dispara el evento en las frecuencias medias, pero con menor intensidad.

En el gráfico de la Figura 7 se presenta un análisis espectral de los dos eventos de ruido generados el domingo 13 de julio. Los mismos se comparan con un periodo de tiempo registrado el día 14 de julio donde no hubo otras fuentes de ruido (ni de obra, ni de aire acondicionado). Se consideró como ruido de fondo, la madrugada del 14 de julio. En ese período la Estación Meteorológica de Carrasco registró una velocidad de viento cercana a los 4 m/s con dirección WSW la cual fue rotando, hasta posicionarse de dirección S alrededor de las 5:00 horas.



Figura 7. Comparación de eventos.

Durante todo el día la dirección predominante del viento fue del S y SE. En estas situaciones no se registraron eventos que pudieran dar lugar al fenómeno acústico. En el gráfico se observa que el evento 1 (barras azules) presenta elevados niveles (entre 75 y 85 dBZ) en las frecuencias de 500 Hz y 630 Hz. Cuando la dirección del viento cambia al N con velocidad de 8 m/s, se observa un leve descenso en los niveles de 500 Hz y 630 Hz y un aumento

considerable en los niveles de las frecuencias más altas (lo que explica el ruido más agudo).

13 de julio 2017	Evento 1	Evento 2	14 de julio (base)
L _{Aeq} (dBA)	81.2	83.2	51.7
L _{AFMax} (dBA)	97.8	97.4	71
L _{AFMin} (dBA)	64.4	55.7	35.3
Caract. del Viento	Vel. 6 a 7 m/s Dir. NNE	Vel. 8 m/s Dir. N	Vel. 4 m/s Dir. S y SE

Tabla 2. Niveles medidos para cada evento identificado.

En la Tabla 2 se presenta el nivel equivalente ponderado en escala A junto con los niveles máximos y mínimos de cada evento. Además se pesentan las características del viento dadas por la estación meteorológica del Aeropuerto.

4. ANÁLISIS DE REGISTROS

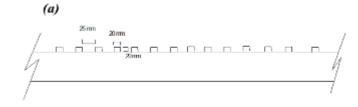
Se realizó una caracterización de las diferentes fuentes de emisión de ruido vinculadas a la interacción entre el viento y el edificio. Como fue mencionado, entre estas fuentes de emisión de ruido se identificaron unas de tipo sincrónica y otras de tipo resonante. Las primeras cambiarían su frecuencia con, por ejemplo, la velocidad de viento, en tanto las segundas presentarían una frecuencia constante. En la Figura 8 se resumen las frecuencias predominantes según la dirección del viento sobre la fachada principal, presentándose además el nivel de presión sonora en escala A registrado para una velocidad de viento medida a 10 metros de altura. Como se observa, existe una simetría para la emisión de ruido con un eje imaginario que pasa en forma perpendicular a la fachada principal del edificio. Para direcciones de viento entre NNE (prácticamente

Como se observa, existe una simetria para la emisión de ruido con un eje imaginario que pasa en forma perpendicular a la fachada principal del edificio. Para direcciones de viento entre NNE (prácticamente paralelo a la fachada principal) y N, las frecuencias que se perciben son las de 500 Hz y 630 Hz; para dirección del viento en el rango N al NNW, aparece, además de la emisión de ruido del caso anterior, el denominado "pitido" el cual corresponde a frecuencias más altas (3.2 kHz, 4 kHz, 5 kHz y 6.3 kHz); con vientos prácticamente perpendiculares a la fachada, o sea en el rango con dirección NNW a dirección O, nuevamente el ruido que se percibe se vincula a las frecuencias de 500 Hz y 630 Hz.



Figura 8. Frecuencias predominantes emitidas para diferentes condiciones de viento.

A partir de las posibles fuentes de emisión de ruido vinculadas a esta interacción se identificaron unas de tipo sincrónica y otras de tipo resonante. La forma de modificar el resonador sería obturando la entrada de la señal fluctuante al tubo. Para esto se podría disponer una placa apoyada en los parasoles, en principio, en la zona de la viga superior y en las zonas laterales del piso 9. A los efectos de modificar el excitador se recomendó instalar generadores de vorticidad sobre el borde exterior de cada placa de vidrio (Figura 9).



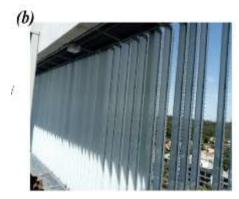


Figura 9. Generador de vorticidad propuesto, (a) esquema y (b) fotografía una vez instalado.

Este generador de vorticidad estaría compuesto de piezas cúbicas o de alguna forma alternativa, de 2 cm de lado. El espacio entre piezas cúbicas, sería de 25

mm. El dimensionado de estos elementos se vinculó a la escala de los vórtices que deberían ser generados a los efectos de disipar los vórtices causantes de las emisiones acústicas.

La segunda recomendación fue la seleccionada y puesta en práctica. Los dispositivos generadores de vorticidad se instalaron en la totalidad del piso 9 y sobre la viga superior (ver Figura 9 (b)). A partir del mes de octubre, una vez instalada la medida de mitigación recomendada, se comenzaron con mediciones de niveles de presión sonora de larga duración, tanto en planta baja (zona del obrador y estacionamiento) como en el piso 9. Durante todas las campañas de medición realizadas en el periodo de dos meses se encontraron varios eventos en los cuales el viento predominante adquirió direcciones y velocidades de interés. En ninguna de estas situaciones se produjo el fenómeno.

5. CONCLUSIONES

En base al resultado de las mediciones y a su análisis realizado, se puede afirmar que las emisiones acústicas registradas en el edificio eran debidas a la interacción entre el flujo de viento y los parasoles ubicados en la fachada principal. Se encontró que existe una simetría para la emisión de ruido con un eje imaginario que pasa en forma perpendicular a la fachada principal. Las frecuencias identificadas se pueden agrupar en dos categorías: frecuencias bajas a medias (500 Hz y 630 Hz), y frecuencias altas (3.2 kHz a 6.3 kHz).

Fueron registrados altos niveles de presión sonora durante ciertos eventos, por ejemplo para la condición de viento con dirección del NNW y velocidad 8 m/s (29 km/h) se registraron niveles máximos de 97 dBA en el piso 9, siendo esta energía suficiente para que se perciba, al menos desde planta baja, con una alta intensidad.

Dados estos resultados y según lo presentado, las medidas de mitigación se orientaban en eliminar al resonador y/o al excitador. Se decidió actuar sobre el excitador, instalando un generador de vorticidad en la totalidad de los parasoles del piso 9, con características recomendadas. En los siguientes dos meses se realizaron mediciones de larga duración en el edificio y en su entorno, no encontrando indicios de que el fenómeno se haya generado nuevamente.

RFERENCIAS

- Fernández, D., Sánchez, I. y Gilberto, L., "Análisis, diseño y aplicación de resonadores acústicos",
 Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Córdoba, Argentina, Mayo 2011.
- Holmes, J.D., "Wind loadings of Structures", Editado por Taylor & Francis, Second Edition, 2007.
- Larato, A., Arjomandi, M., Cazzolato, B and Kelso, R., "Self-noise and directivity of simple aerfolis during stall: An experimental comparison", Applied Acoustic, 127, pp.: 133 – 146, 2017.
- Rodríguez, D., Fernández, P. y López, M., "Análisis del comportamiento dinámico de vigas de vidrio laminado", Universidad de Oviedo, 2010.
- Simiu, E. and Scanlan, R., "Wind effects on structures", 2nd. Edition, John Wiley & sons, New York, 1986.

Cómo lee la gente que lee...música

Beatriz González Fernández(*)

(*) Instituto de Formación Docente, Rocha, Uruguay. Correo de contacto: <u>beatrizgonzalezfernandez@gmail.com</u>

Resumen

No se lee música como se lee un relato, una tesis, un mapa o un calendario. Pero si se piensa en el fenómeno de la lectura en música, quien ha sido partícipe de algún evento musical puede hacer ciertas transacciones que uno que no lo ha hecho. El punto central de este trabajo es reflexionar sobre qué supone leer música. Leer música es un hecho que está muy relacionado con la ejecución de un instrumento. Por eso es necesario desdoblar el fenómeno de lectura musical y verlo desde dos puntos de vista, uno de los cuales presupone al otro pero no recíprocamente. De hecho, una partitura se escribe para ser ejecutada en el instrumento para el que fue escrita. Sin embargo al abordar una partitura, no es posible tener todas las certezas a priori, aunque a veces se esté tentado a creerlo, porque los mecanismos que se ponen en funcionamiento no son en todos los casos tan parecidos a los de una lectura convencional. Frente a una partitura, el intérprete puede tener algunos 'conocimientos previos' como la propia clave, la armadura de clave, o la tonalidad, unidad de compás, en la que está la composición pero no puede prever las alteraciones accidentales, ni qué sucederá después de una doble barra. Al leer música entran en juego una multiplicidad de factores que atienden cuestiones propias del sonido y otros que de alguna manera lo 'apuntalan'. Leer música supone el instrumento, y poder captar la intencionalidad del compositor marca la diferencia.

Palabras clave: leer música, ejecutar música, transacciones en lectura

How do people read ... music

Abstract

Music is not read as a story, a thesis, a map or a calendar is read. But when thinking about the phenomenon of reading in music, who has been a participant in a musical event can make certain transactions different from those from who has not been there. The central point of this work is thinking on what does reading music mean. Reading music is closely related to the execution of an instrument. That is why it is necessary to unfold the phenomenon of musical reading and to see it from two points of view, one of which presupposes the other but not reciprocally. In fact, a score is written to be performed on the instrument for which it was written. However, when dealing with a score, it is not possible to have all the certainties a priori, although sometimes you are tempted to believe it, because the mechanisms that are activated are not always so similar to those of a conventional reading. Faced to a score, the player may have some 'prior knowledge' such as the key itself, the key signature, or the tonality, measure unit, in which the composition is written, but he/she cannot foresee the accidental alterations, nor what will happen next of a double bar. When reading music many different factors are involved, some of them addressing sound issues and others that somehow 'prop up' them. Reading music presupposes the instrument, and being able to catch the purpose of the composer makes the difference.

Keywords: reading music, playing music, transactions on reading

Como as pessoas leem... música

Resumo

A música não é lida como uma história, uma tese, um mapa ou um calendário é lido. Mas quando se pensa no fenômeno da leitura na música, quem participou de um evento musical pode fazer certas transações daquele que não esteve lá. O ponto central deste trabalho é refletir sobre o que significa ler música. A leitura de música está intimamente relacionada à execução de um instrumento. É por isso que é necessário desdobrar o fenômeno da leitura musical e vê-lo a partir de dois pontos de vista, um dos quais pressupõe o outro, mas não reciprocamente. De fato, uma partitura é escrita para ser executada no instrumento para o qual foi escrita. No entanto, quando se lida com uma partitura, não é possível ter todas as certezas a priori, embora às vezes ser tentado a acreditar, porque os mecanismos são ativados nem sempre são tão semelhantes aos de uma leitura convencional. Diante de uma pontuação, o intérprete pode ter algum 'conhecimento prévio', como a própria chave, a assinatura da chave, ou a tonalidade, unidade de medida, na qual a composição é escrita, mas não pode prever as alterações acidentais, nem o que vai acontecer a seguir de uma barra dupla. Ao ler música, entram em jogo uma multiplicidade de fatores, alguns deles que abordam questões de som e outros que de alguma forma os "sustentam". Ler música pressupõe o instrumento, e ser capaz de captar o propósito do compositor faz a diferença.

Palavras-chave: ler música, tocar música, ler transações

1. INTRODUCCIÓN

Leer supone conocer un código. Un código de letras en el caso de la lectura convencional, cada una de las cuales es un símbolo, y, en el caso específico de la música, un código de notas aunque no exacta ni exclusivamente.

En este espacio la idea es comparar cómo difieren o no las formas de leer un texto convencional y una partitura.

2. FUNDAMENTACIÓN

El modelo teórico de lectura que se toma en este trabajo es el modelo de Goodman (1996). La lectura es, siguiendo este modelo, una transacción que hace el lector con el texto que lee. Leído un texto ya le pertenece más al lector que al autor; pero a su vez, y aunque los significados no puedan diferir más que dentro de un horizonte acotado (Jauss, 1977), cada lector hace una 'lectura', es decir, una interpretación diferente, del mismo texto leído.

Ahora bien, ¿de qué dependen esas lecturas diferentes? Siempre de acuerdo con Goodmann, el lector aplica ciertas estrategias para abordar un texto. Aunque en realidad las estrategias siempre son las mismas, dependen de múltiples factores, pero tal vez los más relevantes sean, la profesión, la cultura general o específica en un cierto tema, las vivencias, y particularmente las lecturas anteriores que el lector tenga. En este sentido y a modo de ejemplo, es bastante evidente que un lector de novelas, frente a una nueva, ya tiene incorporados conceptos que su experiencia como lector le ha dado, como lo son la voz del narrador (si en primera o en tercera persona, si es omnisciente o meramente un testigo, por ejemplo); ya sabe que se va a encontrar con complicaciones que lo tendrán inquieto en la lectura, el nudo (en una novela hay un entramado de complicaciones que resultan de los diferentes hilos que la componen) y en este caso un lector experiente puede 'detectarlo' y, más aún puede esperarlo.

En otro extremo, un lector de tesis académicas, va encontrando argumentos que la sostendrán y desde el tema que se trate ya espera una secuencia contundente de los mismos y de su demostración, en consecuencia. En otras palabras, no está tan dispuesto a que lo convenzan en una lectura rápida, sino más bien hará una lectura minuciosa que le permitirán encontrar lugares comunes y avances de conocimiento.

Pero si se piensa al fenómeno de la lectura en música, quien ha participado en una audición de conservatorio como alumno intérprete, o incluso quien ha ido a algún concierto, puede 'disfrutar' mucho más, es decir, puede hacer ciertas transacciones con la lectura del cuento 'Mi primer concierto' de Felisberto Hernández (incluido en el Anexo A.1), que uno que no ha participado o que no lo ha hecho, menos aún si ese lector no sabe música. Ahora bien, parece pertinente reflexionar acerca de qué supone leer una partitura. O incluso de cuántas maneras se puede leer una partitura. Éste es el punto central de este trabajo.

Leer música es un hecho que está muy relacionado con la ejecución de un instrumento. Por eso es necesario desdoblar el fenómeno de lectura musical y verlo desde dos puntos de vista, que si bien son distantes, uno presupone al otro pero no recíprocamente.

Esta aclaración parece pertinente: aunque una partitura se escribe para ser ejecutada en el instrumento para el que fue escrita.

obstante, al leer (sin ejecutar ningún instrumento) una partitura, se ponen funcionamiento mecanismos muy similares a los que hace un lector frente a un texto convencional, en palabras. Ese lector va recorriendo el texto y antes de hacer la lectura en sí de lo que está escrito en los pentagramas, reconoce la clave (que podría ser de sol, de fa o de do en la posición que fuera), se fija en la armadura de clave o si no la tuviera detecta un 'do mayor' o un 'la menor' que verificará enseguida, también se fija en el compás, en el aire; pero también pueden ser adornos, alteraciones accidentales, líneas adicionales, cambios de clave dentro de la partitura, entre otros.

Luego de un vistazo identifica potenciales dificultades u obstáculos, con los que podría tropezar en la oralización de la lectura, ya que en este caso, no se está pensado en leer en un instrumento. No está de más intercalar que ya la oralización de la lectura no se estila en las escuelas públicas de este país, en el entendido que 'leer es comprender'. Los maestros ya no 'toman' lectura en voz alta ni los alumnos tienen que leer ni frente al grupo de pares, ni frente a un docente.

Al leer una partitura, sin ejecutar ningún instrumento, oralizada o no, parecería que se ponen en funcionamiento mecanismos parecidos a los de una lectura convencional. Sin embargo no es tan así. Hay que partir de la base que una partiturano se puede leer linealmente, puesto que obligatoriamente se debe leer más de un dato a la vez, aún cuando las notas y los silencios en el texto musical tengan una sola línea melódica. Desde ese punto de vista, puede entenderse una partitura como un texto heterogéneo. Otro ejemplo de texto heterogéneo es la lectura de un almanaque, de un gráfico, de un mapa, entre otros.

Frente a una partitura, si bien es cierto que el intérprete puede tener algunos 'conocimientos

previos' como la armadura de clave, o la tonalidad en la que está la composición en cuestión, y que de alguna manera le permite saber 'de antemano', por ejemplo qué notas encontrará alteradas, no siempre puede prever las alteraciones accidentales, ni qué sucederá después de una doble barra (por ejemplo, podría ser una cambio de tema, pero también de unidad de compás, de tonalidad). Para ilustrar el caso de la doble barra se seleccionó una Cirandinha del compositor Heitor Villalobos (Figura 1). De modo que al abordar una partitura, no es posible tener todas las certezas a priori, aunque a veces se esté tentado a creerlo.

Pero puesto que de música se trata, leer una partitura supone su ejecución en un instrumento. En la ejecución aparecen otros aspectos que no estaban contemplados en la mera lectura silenciosa, o aún oralizada, de la partitura.

A lo antes dicho faltaría agregar un detalle que es el de la digitación. Quien digita una partitura es quien ha hecho un estudio minucioso sobre la mejor manera de colocar los dedos en el instrumento, a efectos de optimizar comodidad al ejecutar y también velocidad si fuera necesario.



Figura 1. Cirandinha Nº1 de Heitor Villa-Lobos (fragmento)

Este hecho, que a los ojos de quien no 'toca' música o no 'toca' música leyendo, no parece importante, muy por el contrario resulta insoslayable al abordar obras de complejidad media o avanzada, pero también obras sencillas o de complejidad baja.

Quien digita, se dijo anteriormente, es un maestro o un estudioso del instrumento y ha probado diferentes posibilidades hasta que ha elegido una como la mejor o más eficaz.

La digitación es importante para el intérprete puesto que asegura superar dificultades técnicas, porque alguien lo hizo por él, y de esa forma le permite avanzar en el otro aspecto de la lectura musical, que es el de la interpretación.

Se tomarán a continuación algunos casos de lectura en diferentes instrumentos para evidenciar la lectura en música, en particular la lectura instrumental, de la lectura convencional.

2. LA GUITARRA (CLÁSICA)

Particularmente se verá en este apartado aspectos relacionados con la digitación.

Se parte del entendido que para ejecutar este instrumento se usan las dos manos para leer un mismo sonido, eso supone una digitación para cada una de ellas. Se verán casos específicos de la mano izquierda. A lo largo del brazo de la guitarra se sucede una octava en cada cuerda. Eso hace suponer que a lo largo del brazo se puede encontrar la misma nota en diferentes posiciones, es decir, en diferentes cuerdas. (Por ejemplo, hay el mismo 'mi', 'al aire' en la primera cuerda, mi en segunda, mi en tercera, mi en cuarta)

Entonces, saber qué posición conviene usar en el entorno de las demás notas de la frase o del compás, requiere un poco más que la simple lectura de reconocer, por ejemplo, un 'mi'. Ese 'algo más' se desprende del conocimiento del instrumento y de la lectura 'estudiada' de la partitura, de la experticia del maestro que la digita, que le permite seleccionar un modo de cómo hacerlo mejor.

En cuanto a la mano derecha, la partitura puede o no tener indicados toques en el puente, en la boca, *pizzicati*, tamboras, rasgueos, *glissandi*, pero es siempre el maestro que digita quien lo sugiere si no estuviera indicado.

La digitación se ilustra con un fragmento de la partitura 'El último canto' de Agustín Barrios, digitada por el maestro César Amaro (Figura 2).

La digitación no es exclusiva de la guitarra, por eso en el caso de la mano izquierda, tiene ciertos puntos de contacto con otros instrumentos de cuerda y por lo tanto con el violín, como se verá a continuación.

3. EL VIOLÍN

En el brazo del violín sucede una octava y en los sobreagudos, casi una octava más.

Como se trata de un instrumento de cuerda frotada, además se indican los toques que convienen a cada arco. Quien lee violín, además de leer las notas y orientaciones hacia la mano izquierda, tiene que leer también qué hacer con el arco. Como en el caso de la guitarra, una nota se lee con la conjunción de mano izquierda y mano derecha, en este caso, a través del arco. Comparte con la guitarra también el hecho que la mano derecha, en violín, no toca y nada más: también lleva indicados distintos toques de arco como el spicatto, staccato, martellé o en caso del toque sin arco, el pizzicato.

En la Figura 3 se presenta un fragmento del Minué del Divertimento K334 de Mozart, digitado por Stella González.

4. LA VOZ COMO INSTRUMENTO

Antes de exponer algunas cuestiones de la voz como instrumento, vale la pena un paréntesis para la lectura de un pasaje del cuento de Enrique Estrázulas, que se llama *Teatro vacío*:

'La canción venia del escenario. Eran las tres de la madrugada cuando encendí un fósforo y miré el reloj. Esperé un rato. Ya dormitaba cuando volví a oír el canto de una mujer. La voz tenía algo de viento, un no sé qué de copa vibrando. No podía entender el idioma en que cantaba. Me pareció raro que alguien se pusiera a ensayar a esa hora. Además, los actores no tenían llave individual. Eso me había dicho Naranjo.

La música me rememoró de golpe el lejano dedo de mi abuela girando en los bordes del bacará. Eso me hizo agradable la interrupción del sueño. Pero yo debía levantarme, ir a ver si efectivamente había alguien en el escenario. Por algo era sereno.

Lo hice en puntas de pie, sin siquiera encender un fósforo, lo hice despacio y a tientas. Creo que llegué al borde del círculo. La mujer seguía cantando en el aire íes, oes, úes. Comprendí que no cantaba en ningún idioma. Como yo no veía nada, fui gateando entre las sillas hasta dar con la escalerita que conducía al tablero de luces. Por allí subí, siempre sin hacer ruido, disfrutando de los sonidos, del canto.

Las llaves las ubiqué al tanteo. Encendí de golpe.

No había nadie en escena y la mujer dejó de cantar. Entonces apagué otra vez y aguardé con la esperanza de que la voz volviera. No escuché nada, ni un solo rumor.

Al fin, cansado de esperar, me fui a dormir."



Figura 2. El último canto de Agustín Barrios, digitado por César Amaro (Fragmento)

Quien lee una partitura para voz, es decir, el cantante, ya tiene incorporado el dominio de su instrumento, con las posiciones exactas que debe colocar las diferentes partes del aparato fonador y la musculatura de las zonas involucradas, aunque también en general de todo el cuerpo, así como la postura corporal.

Por supuesto que un cantante que cante desde una partitura, es decir, que lea música, también respeta las indicaciones de la partitura como pueden ser ligaduras, respiración, intensidad, volumen. Un cantante que no conozca su propio instrumento con solvencia, no canta lo que está escrito. En el Anexo A.2 figura una escala cromática desde el do central con la técnica de la soprano Beatriz Lozano.

Se trata de distanciar la lectura oralizada de una partitura, que podría suponer una lectura silenciosa convencional, de la lectura musical, es decir, 'desde el instrumento'.



Figura 3. Minué del Divertimento K334 de W.A.Mozart, digitado por Stella González (Fragmento

Es justo intercalar otra información, y es que no es tan obvio ejecutar a primera vista, ni siquiera importa el grado de complejidad de la obra que se va a leer. Aquello que resulta, tal vez un poco antiguo, y es el hecho de 'estudiar' un texto para ser leído posteriormente en la situación que fuera, y que tal vez se cumpla para los actores de teatro, puesto que leen un texto al que deben respetar las acotaciones que colocó el propio autor, es básico, es decir leer en el instrumento una y otra vez, para lograr una ejecución distendida para el que la hace y a su vez, lo más próxima posible a la intención de quien la escribió. De esa idea no se puede apartar quien lee música, va que cada vez que lo hace, está recuperando la información más la intención del propio compositor.

Al volver texto de Estrázulas al anteriormente, la búsqueda que hace el sereno, no es precisamente de una partitura, eso sería buscar un texto 'sin valor'. El sereno busca a la intérprete, es decir a la cantante que canta 'en el aire ies, oes, úes', porque es ella la que es capaz de 'leer la partitura' de una forma única. Hay que entender el término 'única' como no porque esa cantante sea la única capaz de hacerlo, sino porque esa búsqueda también supone encontrar un timbre particular de voz, por otra parte único en cada persona. Y tal vez no solamente por eso, sino porque la maestría y la experiencia en la ejecución como cantante, hacen variar, aunque se respeten las pautas de la partitura, una interpretación musical.

5. EL PIANO

La lectura del piano supone el conocimiento y dominio de dos claves, de sol y de fa en cuarta, ya que cada mano 'toca' en una clave diferente: la derecha en sol y la izquierda en fa.

Este hecho agrega algo más que un dato a la lectura, ya que el intérprete tiene que leer decodificando dos claves al mismo tiempo, y ejecutar en consecuencia. Para un estudiante de piano se trata de algo muy obvio, pero para quien no lo es o ha sido, el hecho de leer dos claves de manera simultánea, resulta un obstáculo importante. De hecho, para un estudiante que lea solamente una clave, clave de sol en los casos de guitarra y de violín, resulta un obstáculo ya no solamente para leer interpretando, sino para leer convencionalmente una partitura que involucre más de una clave.

Aparecen en la lectura musical aspectos relacionados con la motricidad, desde luego. Basta un ejemplo como es el 'Presto agitato' de la Sonata Claro de luna de Beethoven, pero no se trata de motricidad exclusivamente.

6. ALGO MÁS

En el acto de leer música, si la partitura tiene dobles sostenidos, en la oralización, no se percibe. Sin embargo, en la ejecución, vaya si hay diferencia entre tocar un sonido natural, sostenido o doble sostenido Lo mismo ocurre en el caso de los dobles bemoles. Otro caso específico en la lectura de música, por ejemplo, es cuando la partitura tiene trémolos o adornos. Otra diferencia la marca el hecho de los cambios de compás en medio de la partitura, o las medidas irregulares. Si la partitura tiene medidas irregulares, el intérprete tiene que decidir, por ejemplo, la duración de un trino, decidir la duración de un calderón, o de un simple rallentando y recuperar el tiempo inicial. Leer música, en definitiva supone, además de la decodificación, que no es lineal, la interpretación en un instrumento. Según el instrumento que se ejecuta es la dificultad, o visto desde otro ángulo, la competencia con que se haga, y en todos los casos, en un intento de captar lo mejor posible el mensaje del compositor, 'oculto' detrás de la partitura. Siempre es interesante saber la época, la corriente, la intencionalidad de una composición para acercarse lo más posible a ella en su ejecución. Leer y recrear en silencio, la información de la partitura de una sola vez, les la especialidad de los directores de orquesta ya que tienen que manejar una partitura con muchos pentagramas a la vez.

7. CONCLUSIONES

Se desprende de lo dicho anteriormente, que aunque el de la música, tal vez más es un código, es un lenguaje que se aprende como una lengua natural, la lectura de ese código, no funciona igual que la lectura de un texto convencional.

Al leer música entran en juego una multiplicidad de factores que atienden cuestiones propias del sonido pero otros que de alguna manera lo 'apuntalan'.

Aunque leer una partitura en silencio es posible, el lector, al hacerlo omite todas las indicaciones que son propias para la ejecución. Al encontrar notas dobles o acordes, es posible que lea una sola de sus notas, pero también puede leerlas todas, pero no en simultáneo, sino una por vez.

Sin embargo, al leer desde el instrumento empiezan a surgir inconvenientes que muchas veces pueden imposibilitar la lectura en sí. Como ejemplo, se toma una partitura para voz, en el caso que se anexa, es una partitura para soprano. En este caso está claro que una contralto no podría leerla, o no podría hacerlo sin transportarla, en el caso que fuera posible dicho transporte.

Si se considera una partitura para piano o para arpa, hay que partir de la base que el lector tiene que ejecutar en un mismo momento lo que dicen dos pentagramas en claves diferentes la gran mayoría de las veces. Al leerlas desde el texto en papel, no puede leer simultáneamente lo que se indica para cada mano. El lector de música hace a gran velocidad la lectura de ambas claves, y las debe retener en su memoria durante lapsos de tiempo muy breves y las ejecuta simultáneamente.

En el mismo sentido, no se pueden leer sin el instrumento las notas dobles ni en los instrumentos de cuerda, ni los acordes tampoco.

Leer música supone el instrumento.

No se niega la lectura a primera vista desde el instrumento, pero se pone en duda, por lo que anteriormente se ha expuesto, que de esa lectura resulte la mejor ejecución.

ANEXOS

A.1. Cuento de Felisberto Hernández uruguayo-: "Mi primer concierto"

El día de mi primer concierto tuve sufrimientos extraños y algún conocimiento imprevisto de mí mismo. Me había levantado a las seis de la mañana. Esto era contrario a mi costumbre, ya que de noche no sólo tocaba en un café sino que tardaba en dormirme. Y algunas noches al llegar a mi pieza y encontrarme con un pequeño piano negro que parecía un sarcófago, no podía acostarme y entonces salía a caminar. Así me había ocurrido la noche antes del concierto. Sin embargo, al otro día me encerré desde muy temprano en un teatro vacío. Era más bien pequeño y la baranda de la tertulia estaba hecha de columnas de latón pintadas de blanco. Allí sería el concierto. Ya estaba en el escenario el piano; era viejo, negro y lo rodeaban papeles rojos y dorados: representaban una sala. Por algunos agujeros entraban rayos de sol empolvados y en el techo el aire inflaba telas de araña. Yo tenía desconfianza de mí, y aquella mañana me puse a repasar el programa como el que cuenta su dinero porque sospecha que en la noche lo han robado. Pronto me di cuenta que yo no poseía todo lo que pensaba. La primera sospecha la había tenido unos días antes; fue en el momento de comprometer mi palabra con los dueños del teatro; me vino un calor extraño al estómago y tuve el presentimiento de un peligro inmediato. Reaccioné yendo a estudiar enseguida; pero como tenía varios días por delante, pronto empecé a calcular con el mismo error de siempre lo que podría hacer con el tiempo que me quedaba. Sólo en la mañana del concierto me di cuentas de todas las concesiones que me hacía cuando estudiaba y que ahora, no sólo no había llegado a lo que quería, sino que no lo alcanzaría ni con un año más de estudio. Pero donde más sufría, era en la memoria. En cualquier pasaje que se me ocurriera comprobar si podía hacer lentamente todas las notas, me encontraba con que en ningún caso las recordaba. Estaba desesperado y me fui a la calle. A la vuelta de una esquina me encontré con un carro que tenía a los costados dos grandes carteles con mi

nombre en letras inmensas. Aquello me descompuso más. Si las letras hubieran sido más chicas, tal vez mi compromiso hubiera sido menor; entonces volví al teatro, traté de estar sereno y pensar en lo que haría. Me había sentado en la platea y miraba el escenario, donde el piano estaba solo y me esperaba con su negra tapa levantada. A poca distancia de mi asiento estaban las butacas donde acostumbraban a sentarse dos hermanos míos; y detrás de ellos se sentaba una familia que había criticado, horrorizada, un concierto en que habían tomado parte muchachas de allí; en pleno escenario las muchachas se agarraban la cabeza y después se retiraban del piano buscando la salida; parecían gallinas asustadas. Fue en el instante de recordar eso, cuando a mí se me ocurrió por primera vez ensayar la presentación de un concierto en lo que él tuviera de teatral. Primero revisé bien todo el teatro para estar seguro de que nadie me vería y enseguida empecé a ensayar la cruzada del escenario; iba desde la puerta del decorado hasta el piano. La primera vez entré tan ligero como un repartidor apurado que va a dejar la carne encima de una mesa. Ésa no era la manera de resolver las cosas. Yo tendría que entrar con la lentitud del que va a dar el concierto vigesimocuarto de la decimonovena temporada; casi con aburrimiento; y no debía lanzarme cuando mi vanidad estuviera asustada; debía dar la impresión de llevar con descuido, algo propio, misterioso, elaborado en una vida desconocida. Empecé a entrar lentamente; supuse con bastante fuerza la presencia del público y me encontré con que no podía caminar bien y que al poner atención en mis pasos yo no sabía cómo caminaba yo; entonces traté de pasear distraído por otro lado que no fuera el escenario y de copiarme mis propios pasos. Algunas veces pude sorprenderme descuidado; pero aun cuando llevaba el cuerpo flojo y quería ser natural, experimentaba distintas maneras de andar: movía las caderas como un torero, o iba duro como si llevara una bandeja cargada, o me inclinaba hacia los lados como un boxeador.

Después me encontré con otra dificultad grande: las manos. Ya me había parecido feo que algunos concertistas, en el momento de saludar al público, dejaran colgar y balancearse los brazos, como si fueran péndulos. Ensayé caminar llevándolos al mismo ritmo que los pasos; pero eso resultaba mejor para una parada militar. Entonces se me ocurrió algo que por mucho tiempo creí novedoso; entraría tomándome el puño izquierdo con la mano derecha, como si fuera abrochándome un gemelo. (Años después un actor me dijo que aquello era una vulgaridad y que la llamaban "la pose del bailarín"; entonces, riéndose, imitó los pasos de una danza y alternativamente se iba tomando el puño izquierdo con la mano derecha y después el puño derecho con la mano izquierda.)

Ese día almorcé apenas y pasé toda la tarde en el escenario. A la nochecita vino el electricista y combinamos las penumbras de la sala y la escena. Después me probé el smoking que me había regalado un amigo; era muy chico y me dejó inmovilizado; con él hubiera tenido que dar por inútiles todos los ensayos de naturalidad y soltura; además, en cualquier momento podía rompérseme. Por fin decidí utilizar mi traje de

calle; todo tendría más naturalidad; claro que tampoco me parecía bien lo que fuera demasiado familiar; yo hubiera querido levantar, al mismo tiempo, algo extraño; pero yo estaba muy cansado y sentía en las axilas las lastimaduras que me había dejado el smoking. Entonces me fui a esperar la hora del concierto en la penumbra de la platea. Apenas me quedaba un instante quieto me volvía el empecinamiento de querer recordar las notas de un pasaje cualquiera; era inútil que tratara de desecharlo; el único alivio consistía en ir a buscar la música y fijarme en las notas.

Un rato antes del concierto llegaron los dos hermanos amigos míos y el afinador. Les dije que me esperaran un momento y me encerré en el camarín, porque si no hubiese terminado el pasaje que repasaba no hubiera tenido un instante de tranquilidad. Después, cuando hablara con ellos, tendría la atención ocupada y no empezaría a recordar ningún otro pasaje. Todavía no había nadie en la sala. Uno de ellos se asomó a la puerta del decorado y miró el piano negro como si se tratara de un féretro. Y después todos me hablaban tan bajo como si yo fuera el deudo más allegado al muerto. Cuando empezó a entrar la gente, hicimos pequeños agujeros en el decorado y mirábamos al público un poco agachados y como desde una trinchera. A veces el piano, como un gran cañón, impedía ver una zona grande de la platea. Yo iba a ver un poco por los agujeros de los otros como un oficial que les fuera dando órdenes. Deseaba que hubiera poca gente porque así el desastre se comentaría menos; además habría un promedio menor de entendidos. Y todavía tendría en mi favor todo lo que había ensayado en escena para la gente que no pudiera juzgar directamente la música. Y aun los que entendieran росо, dudarían. Entonces empecé envalentonarme y a decirles a mis amigos:

-¡Parece mentira! ¡La indiferencia que hay para estas cosas! ¡Cuántos sacrificios inútiles!

Después empezó a venir más gente y yo me sentí aflojar; pero me frotaba las manos y les decía:

-Menos mal, menos mal.

Parecía que ellos también tuvieran miedo. Entonces yo, en un momento dado, hice como que recién me daba cuenta que ellos podrían estar preocupados y empecé a hablarles subiendo la voz:

-Pero, díganme una cosa... ¿Ustedes están preocupados por mí? ¿Ustedes creen que es la primera vez que me presento en público y que voy a ir al piano como si fuera a un instrumento de tortura? ¡Ya lo verán! Hasta ahora me callé la boca. Pero esperaba esta noche para después decirles, a esas profesoras que charlan, cómo "un pianista de café" -yo había ido contratado a tocar en un café- puede dar conciertos; porque ellas no saben que puede ocurrir lo contrario, que en este país un pianista de concierto tenga que ir a tocar a un café.

Aunque mi voz no se oía desde la sala, ellos trataron de calmarme.

Ya era la hora; mandé tocar la campana y le pedí a mis amigos que se fueran a la platea. Antes de irse me dijeron que vendrían al final y me transmitirían los comentarios. Di orden al electricista de dejar la sala en penumbra; hice memoria de

los pasos, me tomé el gemelo del puño izquierdo con la mano derecha y me metí en el escenario como si entrara en el resplandor próximo a un incendio. Aunque miraba mis pasos desde arriba, desde mis ojos, era más fuerte la suposición con que me representaba mi manera de caminar vista desde la platea, y me rodeaban pensamientos como pajarracos que volaran obstaculizándome el camino; pero yo caminaba con fuerza y trataba de ver cómo mis pasos cruzaban el escenario. Había llegado a la silla y todavía no aparecían los primeros aplausos. Al fin llegaron y tuve que inclinarme a saludar interrumpiendo el movimiento con que había empezado a sentarme. A pesar de este pequeño contratiempo traté de seguir desarrollando mi programa. Miré al público de una manera más bien general y distraída; pero alcancé a ver en la penumbra el color blancuzco de las caras como si hubieran sido de cáscaras de huevo. Y encima del terciopelo de la baranda hecha de columnitas de latón pintadas de blanco vi sembrados muchos pares de manos. Entonces yo puse las mías en el piano, dejé escapar acordes repetidos velozmente y enseguida me volví a quedar quieto. Después, y según mi programa, debía mirar unos instantes el teclado como para concentrar el pensamiento y esperar la llegada de la musa o del espíritu del autor. -Era el de Bach y debía estar muy lejano-. Pero siguió entrando gente y tuve que cortar la comunicación. Aquel inesperado descanso me reconfortó; volví a mirar a la sala y pensé que estaba en un mundo posible. Sin embargo, al pasar unos instantes sentí que me iba a alcanzar aquel miedo que había dejado atrás hacía un rato. Traté de recordar las teclas que intervenían en los primeros acordes; pero enseguida tuve el presentimiento de que por ese camino me encontraría con algún acorde olvidado. Entonces me decidí a atacar la primera nota. Era una tecla negra; puse el dedo encima de ella y antes de bajarla tuve tiempo de darme cuenta que todo iba a empezar, que estaba preparado y que no debía demorar más. El público hizo un silencio como el vacío que se siente antes del accidente que se ve venir. Sonó la primera nota y parecía que hubiera caído una piedra en un estanque. Al darme cuenta que aquello había ocurrido sentí como una señal que me ofuscó y solté un acorde con la mano abierta que sonó como una cachetada. Seguí trabado en la acción de los primeros compases. De pronto me incliné sobre el piano, lo apagué bruscamente y empecé a picotear un "pianísimo" en los agudos. Después de este efecto se me ocurrió improvisar otros. Metía las manos en la masa sonora y la moldeaba como si trabajara con una materia plástica y caliente; a veces me detenía modificando el tiempo de rigor y ensayaba dar otra forma a la masa; pero cuando veía que estaba a punto de enfriarse, apresuraba el movimiento y la volvía a encontrar caliente. Yo me sentía en la cámara de una mago. No sabía qué sustancias había mezclado él para levantar este fuego; pero yo me apresuraba a obedecer apenas él me sugería una forma. De pronto caía en un tiempo lento y y la llama permanecía serena. Entonces yo levantaba la cabeza inclinada hacia un lado y tenía la actitud de estar hincado en un reclinatorio. Las miradas del público me daban sobre la mejilla derecha y parecía que me levantarían ampollas. Apenas terminé estallaron los aplausos. Yo me levanté a saludar con parsimonia, pero tenía una gran alegría. Cuando me volví a sentar seguía viendo las columnitas de la tertulia y las manos aplaudiendo.

Todo ocurría sin novedad hasta que llegué a una "Cajita de Música". Yo había corrido la silla un poco hacia los agudos para estar más cómodo; y las primeras notas empezaron a caer como gotas al principio de una lluvia. Estaba seguro que aquella pieza no iba más mal que las anteriores. Pero de pronto sentí en la sala murmullos y hasta creí haber oído risas. Empecé a contraerme como un gusano, a desconfiar de mis medios y a entorpecerlos. También creí haber visto moverse una sombra alargada sobre el piso del escenario. Cuando pude echar una mirada fugaz me encontré con que realmente había una sombra; pero estaba quieta. Seguí tocando y seguían en la sala los murmullos. Aunque no miraba, ahora veía que la sombra hacía movimientos. No iba a pensar en nada monstruoso; ni siquiera en que alguien quisiera hacerme una broma. En un pasaje relativamente fácil vi que la sombra movía un largo brazo. Entonces miré y ya no estaba más. Volví a mirar enseguida y vi un gato negro. Yo estaba por terminar la pieza y la gente aumentó el murmullo y las risas. Me di cuenta que el gato se estaba lavando la cara. ¿Qué haría con él? ¿Lo llevaría para adentro? Me pareció ridículo. Terminé, aplaudieron y al pararme a saludar sentí que el gato me rozaba los pantalones. Yo me inclinaba y sonreía. Me senté y se me ocurrió acariciarlo. Pasó el tiempo prudente antes de iniciar la obra siguiente y no sabía qué hacer con el gato. Me parecía ridículo perseguirlo por el escenario y ante el público. Entonces me decidí a tocar con él al lado; pero no podía imaginar, como antes, ninguna forma que pudiera realizar o correr detrás de ninguna idea: pensaba demasiado en el gato. Después pensé en algo que me llenó de temor. En la mitad de la obra había unos pasajes en que yo debía dar zarpazos con la mano izquierda; era del lado del gato y no sería difícil que él también saltara sobre el teclado. Pero antes de llegar allí me había hecho esta reflexión: "Si el gato salta, le echarán las culpas a él de mi mala ejecución." Entonces me decidí a arriesgarme y a hacer locuras. El gato no saltó; pero yo terminé la pieza y con ella la primera parte del concierto. En medio de los aplausos miré todo el escenario; pero el gato no estaba.

Mis amigos, en vez de esperar el final, vinieron a verme en el intervalo y me contaron los elogios de la familia que se sentaba detrás de ellos y que tanto había criticado en el concierto anterior. También habían hablado con otros y habían resuelto darme un pequeño lunch después del concierto.

Todo terminó muy bien y me pidieron dos piezas fuera del programa. A la salida y entre un montón de gente, sentí que una muchacha decía: "Cajita de Música, es él."

A.2. ESCALA CROMÁTICA SEGÚN B. LOZANO

En primera instancia corresponde colocar un molde que no debe desarmarse mientras dure el texto. Dicho molde se compone de un bostezo contenido, es decir, que no se produce, los cuatro dientes superiores descubiertos, la tendencia a una sonrisa, que se profundiza cuando los sonidos van siendo más agudos. Luego hay que tener en cuenta de respirar por la nariz en una especie de 'olfateo', que supone ensanchar las narinas mucho más que lo normal o en posición de reposo. El sonido debe salir apoyado, es decir, el diafragma debe ofrecer ese apoyo. A medida que se asciende en la escala, la laringe no puede perder amplitud para el pasaje de aire, es conveniente mantener la cabeza ligeramente inclinada hacia abajo y además, y para que la lengua no resulte un obstáculo en el pasaje de aire, debe mantenerse plana y con el ápice en los dientes inferiores. Es posible que hacia el 'sol' se produzca el 'pasaje' hacia los 'sonidos de cabeza', es decir sonidos que empezarán a sonar en resonadores superiores, pero que necesitan igual anchura en el pasaje de aire por la laringe.

A.3. COMPOSITORES Y MÚSICOS CITADOS

- 1. Heitor Villa-Lobos Brasil (Piano)
- 2. César Amaro Uruguay (Guitarra clásica)
- 3. Stella González Uruguay (Violista)
- 4. Beatriz Lozano Uruguay (Soprano)

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Ball, P. (2010). "El instinto musical. Escuchar, pensar y vivir la música", Madrid, Ediciones Turner Noema. Fustinoni, O. (2017). "El cerebro y la música", Buenos

Aires, Editorial El Ateneo.

Goodman, K. (1996). "La lectura, la escritura y los textos escritos". En: Textos en contexto 2, Buenos Aires, lectura y vida.

Iser, W. (1987). "El acto de leer", Taurus, Madrid

Jauss, H. R. (1977). "La historia de la literatura como provocación", Ediciones Península, Barcelona.

Naranjo, C. (2015). "La música interior. Hacia una hermenéutica de la expresión sonora", Barcelona, Ediciones La Llave.

Determinación experimental de las curvas de desempeño de un perfil aerodinámico NACA 4415

Luciana Olazábal José Alberto Cataldo Pablo Ernesto Pais Instituto de Mecápica de

Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental, Montevideo, Uruguay

Correo de contacto: lolazabal@fing.edu.uy

Resumen:

La generación de ruido en las palas de una turbina eólica está principalmente determinada a partir de la variación de los esfuerzos de sustentación y arrastre en las mismas debidas a la turbulencia atmosférica incidente y al desprendimiento de la capa límite corriente abajo de la turbina. Como parte de los trabajos orientados a la optimización del modelo de generación de ruido del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, se diseñó y construyó una balanza aerodinámica que, operada en un túnel de viento, permite evaluar el desempeño aerodinámico de perfiles en punta en diferentes condiciones de operación y luego vincularlo a generación de ruido. La balanza aerodinámica fue calibrada, y se evaluó el desempeño aerodinámico de un perfil NACA4415. Como resultado del análisis se obtuvieron curvas de coeficientes de sustentación y arrastre en función del ángulo de ataque y se compararon con curvas disponibles en la bibliografía.

Palabras clave: Aerodinámica, perfil aerodinámico, túnel de viento, aerogenerador, acústica ambiental.

Experimental determination of the performance curves of a NACA 4415 aerodynamic profile

Abstract:

The generation of noise in the blades of a wind turbine is mainly determined by the variation of the lift and drag forces in them due to the incident atmospheric turbulence and the detachment of the boundary layer downstream of the turbine. As part of the work done at the Institute of Fluid Mechanics and Environmental Engineering aimed at optimizing the noise generation model, an aerodynamic scale was designed and built. This scale operates in a wind tunnel, and helps evaluating the aerodynamic performance of profiles in different operating conditions to them to noise generation. The aerodynamic scale was calibrated, and the aerodynamic performance of a NACA4415 profile was evaluated. As a result of the analysis, coefficients of lift and drag coefficients were obtained as a function of the angle of attack and were compared with the curves available in the literature.

Keywords: Aerodynamics, aerodynamic profile, wind tunnel, wind turbine, environmental acoustics.

Determinação experimental das curvas de desempenho de um perfil aerodinâmico NACA 4415

Resumo:

A geração de ruído nas pás de uma turbina eólica é determinada principalmente pela variação das forças de sustentação e arrasto, devido à turbulência atmosférica incidente e à separação da camada limite a jusante da turbina. Como parte do trabalho de otimização do modelo de geração de ruído do Instituto de Mecânica dos Fluidos e Engenharia Ambiental, foi projetada e construída uma balança aerodinâmica que, utilizada num túnel de vento, permite avaliar o desempenho aerodinâmico de perfis em diferentes condições de operação e assim, vinculá-lo à geração de ruído. A balança aerodinâmica foi calibrada e nela foi avaliado o desempenho aerodinâmico de um perfil NACA4415. Como resultado da análise, os coeficientes de sustentação e de arrasto foram obtidos em função do ângulo de ataque e foram comparados com as curvas disponíveis na literatura.

Palavras-chave: Aerodinâmica, perfil aerodinâmico, túnel de vento, turbina eólica, acústica ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

una turbina eólica, el ruido de origen resulta predominante frente aerodinámico producido por otros mecanismos. Esto conlleva a que la generación ruido no se pueda asignar a un punto particular del aerogenerador, sino que toda la estructura (torre, góndola, pero principalmente la pala) se comporta como una fuente emisora. En el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Universidad de la República de Uruguay se han realizado estudios que permitieron determinar que las palas del aerogenerador se comportan como una serie de fuentes puntuales emisoras de ruido aerodinâmico. En el modelo de generación desarrollado, las principales causas de la variación de presión en el entorno (y, por lo tanto, de generación de ruido), son las fluctuaciones de la velocidad incidente en la pala y el desprendimiento de la capa límite turbulenta corriente abajo de la misma (Deambrosi et al., 2016). Merece destacarse que este desarrollo se basó en los conceptos presentados por Van den Berg (Van den Berg, 2006).

Para el estudio de dichas causas se diseñó y construyó una balanza aerodinámica con la que evaluar el desempeño aerodinámico de un perfil estándar NACA 4415. Este desempeño se caracteriza determinando los coeficientes de sustentación, de arrastre y de par de torsión del perfil. Se desarrolló un dispositivo práctico para medir la sustentación y el arrastre de un perfil aerodinámico que se extiende a lo ancho de la sección de prueba de un túnel de viento. Luego se verificaron las curvas de desempeño del perfil NACA 4415 presentadas por el Comité Asesor Nacional para la Aeronáutica de los Estados Unidos (Abbott, 1958).

2. MODELO DE EMISIÓN

Para determinar la producción de ruido en una turbina eólica, el modelo considera los fenómenos que ocurren cuando una corriente de aire turbulenta interactúa con la sección de la pala de un aerogenerador, para diferentes condiciones de operación.

El modelo divide las palas del aerogenerador en dovelas para luego tomar cada diferencial de pala como una fuente puntual de ruido. Luego, la emisión total de ruido será la suma de las emisiones de todas las dovelas.

Entonces para cada sección de pala se calcula el ruido producido por los dos principales fenómenos de generación aerodinámica de ruido: el "ruido del borde de ataque" y el "ruido del borde de fuga". Para estos cálculos son necesarios los valores de los coeficientes de arrastre y sustentación, que se pueden obtene experimentalmente utilizando un perfil aerodinámico estandarizado en un túnel de viento.

2.1 El ruido del borde de ataque

El ruido del borde de ataque es causado por la fluctuación del campo de presiones alrededor de la pala, producida por la turbulencia incidente. Es decir, el nivel de ruido emitido por una sección de pala puede ser estimado considerando la variación temporal de la velocidad y la interacción pala-flujo en la sección de análisis. Esto es posible al combinar la teoría de la turbulencia y algunos conceptos aerodinámicos aplicados a la ingeniería eólica (Deambrosi et al., 2016).

Las fluctuaciones del campo de presiones están dadas por la variación de los esfuerzos de sustentación. El esfuerzo de sustentación se calcula utilizando el coeficiente de sustentación (C_L) de la Ecuación 1.

$$C_L = \frac{F_y}{\frac{1}{2}\rho v^2 bl}$$

Ecuación 1

Donde F_y es el valor medio de la componente vertical, ρ es la densidad del aire de la zona de trabajo, v es la velocidad del flujo en la sección de aproximación, b es el largo del perfil aerodinámico y l es la longitud de la cuerda del perfil. En este caso, b = 80 cm.

El carácter adimensional del coeficiente de sustentación permite su aplicación al caso real luego de haberlo determinado experimentalmente con un piloto de laboratorio.

2.2 El ruido del borde de fuga

El ruido del borde de fuga se determina aplicando el espectro de turbulencia de Von Karman al espesor de la capa límite, determinando así el descenso de presión causado por el desprendimiento de la vorticidad contenida en la capa límite.

El espesor del desprendimiento de la capa límite está determinado por los esfuerzos de arrastre que se ejercen sobre el perfil. Existe un coeficiente de arrastre (C_D) análogo al de sustentación, que permite calcular el esfuerzo de arrastre (Ecuación 2).

$$C_D = \frac{F_x}{\frac{1}{2}\rho v^2 bl}$$

Ecuación 2

Ambos valores CD y CL son parte de los datos a ingresar en el modelo de predicción de niveles de presión sonora. Ante la esperable sensibilidad del modelo al uso de estos coeficientes, se procura obtenerlos en forma experimental para los perfiles que se emplean en las máquinas con las que se trabaja en Uruguay. Es por ello que se construyó una balanza aerodinámica con la cual efectuar los ensayos necesarios para determinación coeficientes. A continuación se presentará la balanza aerodinámica, el proceso de puesta a punto de la técnica de medición y su calibración, para luego exponer el procedimento de toma de datos y las curvas de desempeño obtenidas. Los resultados, exitosos en la reproducción de las curvas de desempeño aerodinámico de la bibliografia (Abbot, 1958), permiten anticipar resultados válidos para su uso en el modelo numérico de predicción de niveles de presión sonora cuando se trabaje con réplicas a escala de los perfiles de interés.

3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

3.1. Túnel de viento

El túnel de viento em que se efectuaron los ensayos opera en succión y tiene una zona de trabajo de 5,3 m de longitud y sección transversal recta de 1 m por 0,9 m. El aire es movido por un ventilador axial cuya velocidad nominal es de 6,65 m/s. En el extremo corriente arriba se tiene un enderezador de flujo tipo panal de abeja de celdas hexagonales de 15 mm de lado y una longitud de 150 mm. En la figura 1 se presentan ambos extremos del túnel y, en la figura 2, una vista lateral del mismo.



Figura 1. Ventilador (izquierda) y enderezador de flujo (derecha).



Figura 2. Cámara de ensayos.

3.2. Equipo de medición

La balanza es externa a la cámara de ensayos. El contacto entre ésta y el túnel de viento se evita, ya que la balanza se apoya en el suelo, a través de soportes laterales independientes del túnel. Con esto se previenen posibles interferencias en la salida de datos.

Cada soporte incluye el apoyo de una varilla que atraviesa el álabe por su centro de masa, lo que permite que se apoye sobre los soportes pero evitando el contacto con el túnel. Además, cada soporte cuenta con un sistema de celdas de carga que permite realizar la medición y apoyar el sistema en el suelo a través de un pie.

En la figura 3, se presenta un detalle y una fotografía de los componentes de uno de los soportes. Los soportes se componen de dos celdas de carga, que permiten medir la componente vertical de fuerza. Las dos celdas verticales se apoyan simultáneamente sobre um brazo con libertad de giro en el plano de la figura 3. Sobre el mismo brazo se encuentra una tercera celda, que permite medir fuerzas de dirección horizontal.

En la figura 4 se esquematizan tanto el estado de cargas que permite describir la balanza, como las magnitudes que se miden.

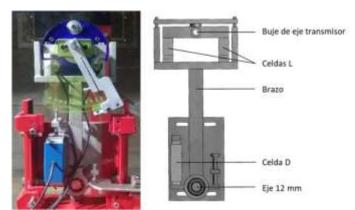


Figura 3. Brazo y celdas de carga adjuntas.

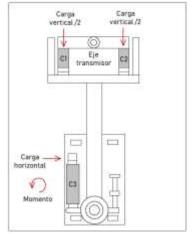


Figura 4. Estados de carga de un lado de la balanza.

La medición de las fuerzas sobre cada celda se ejecuta realizando un muestreo digital de la salida de datos de cada una, utilizando un sistema National Instruments modelo SCXI1000 que posee uma resolución de 1.526 uV, estando compuesto por un módulo de conexión modelo SCXI1314, un sistema de adquisición modelo SCXI1600 (16 bits) y un acondicionador de señal modelo SCXI1520 de 8 canales. La señal recibida es enviada a una computadora donde es procesada con un programa realizado con LabWindowsCVI.

4. PROCESO DE CALIBRACIÓN

El proceso de calibración consiste en someter el eje del álabe a distintas configuraciones de carga conocidas, dentro de los rangos en los que se busca trabajar, esto es entre 35 y 350 gramos para la fuerza de arrastre y cargas de entre 100 g y 1500 g para la sustentación. Las cargas se producen mediante una balanza y pesas previamente calibradas, sometiendo el eje a una serie de esfuerzos puramente horizontales, puramente verticales y a una serie de momentos

acompañados de un esfuerzo vertical. En la figura 5 se presenta un esquema de la balanza de calibración.

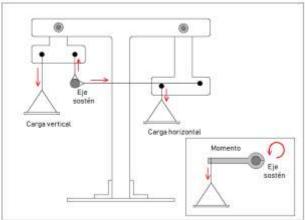


Figura 5. Balanza de calibración.

Se parte de la hipótesis de que la respuesta de la balanza es tal que cada componente del estado de carga (horizontal, vertical y momento de torsión) se puede escribir como una combinación lineal de las indicaciones de cada una de las seis celdas de carga (tres por lado). La ecuación 3 muestra um ejemplo del cálculo de la componente horizontal de esfuerzo sobre la barra F_x.

$$F_x = C_{x0} + C_{x1} \cdot I_1 + C_{x2} \cdot I_2 + C_{x3} \cdot I_3 + C_{x4} \cdot I_4 + C_{x5} \cdot I_5 + C_{x6} \cdot I_6$$
(3)

Siendo C_{xi} el coeficiente de la curva de calibración correspondiente a la celda i para calcular la componente horizontal del esfuerzo sobre la barra e I_i la indicación de la celda i.

El caso análogo para la componente vertical se presenta en la ecuación 4.

$$F_{y} = C_{0} + C_{y1}.I_{1} + C_{y2}.I_{2} + C_{y3}.I_{3} + C_{y4}.I_{4} + C_{y5}.I_{5} + C_{y6}.I_{6}$$
(4)

Siendo C_{yi} el coeficiente de la curva de calibración correspondiente a la celda *i* para calcular la componente vertical del esfuerzo sobre la barra.

Durante el proceso de calibración se ensayaron diferentes estados de carga: una carga vertical pura tomando valores desde 100 g hasta 1500 g con saltos de 100 g, una carga horizontal pura en un rango de valores de 35 g a 350 g con saltos de 35 g, y una carga para momento en un rango de 50 g a 500 g con saltos de 30 g. Utilizando toda esta información se

determinaron los coeficientes que se muestran en la tabla 1.

701114	0 6 .	1 1	1	1.1 ./
Labla I	(neticientes	de la	Curva de	e calibración

Coeficiente			
de la	Dirección	Dirección	Momento
fórmula	horizontal	vertical	
C_0	-0,30	-1,76	19,63
C_1	-29,35	-0,34	-4,76
C ₂	39,21	104,74	139,38
C ₃	-38,38	100,37	1479,24
C ₄	-3,41	0,51	52,82
C ₅	-6,42	103,98	-1516,51
C ₆	-2,96	102,35	-131,54

Una vez determinadas las curvas de calibración, se procedió a determinar el error asociado a la calibración. Obsérvese en la figura 6 un gráfico del error absoluto. Para calcularlo se toma, para cada estado de carga, la diferencia entre el valor de las pesas y el valor medido con el equipo.

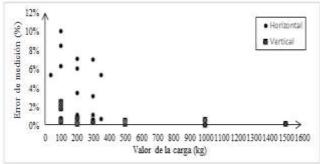


Figura 6. Error obtenido en la calibración.

5. PROCESO DE MEDICIÓN

El paso previo a cada prueba realizada con el dispositivo consta de una pequeña calibración que, como se observa en la figura 3, consiste en agregar o quitar un momento en el sentido saliente a la figura, de manera que la diferencia entre las indicaciones de las dos celdas que obtienen la sustentación de un lado de la barra, coincida con la diferencia entre las indicaciones de sus celdas opuestas, evitando que en la salida de datos se tenga implícitamente un aporte de momento adjudicado a cómo la barra se encuentra condenada al dispositivo de medición. Durante los ensayos se mide la temperatura en el interior de la zona de trabajo, valor con el cual se determinará la densidad del aire.

Una vez calibrado el momento se enciende el ventilador y se ajusta la velocidad de rotación para lograr la velocidad de viento en la que se desea trabajar, midiéndola con un tubo de Pitot conectado previamente al túnel de viento. Una vez estabilizado el valor de la velocidad, se pasa al registro de datos utilizando el programa de muestreo y almacenamiento.

La medición se realiza con una frecuencia de muestreo de 2000 Hz, tomando 20000 datos por registro, por lo que el tiempo de registro corresponde a 10 segundos. Luego, estos valores son procesados de manera de obtener los valores medios de la componente vertical y de la componente horizontal de la fuerza, así como del par de torsión.

La resultante vertical corresponde a la fuerza de sustentación y la resultante horizontal a la fuerza de arrastre por lo que es posible calcular los valores de los coeficientes de sustentación y arrastre, C_L y C_D, definidos según las ecuaciones 1 y 2.

Este proceso de medición fue realizado para un rango de velocidades de aproximación que va desde 2,0 m/s a 5,4 m/s, mientras que los ángulos de ataque estudiados fueron de -10° hasta 15°. Con esta serie de datos fue posible construir el gráfico de la figura 8, que corresponde a una de las curvas de desempeño del perfil NACA 4415 ensayado (Figura 7).

Cabe destacar el hecho de que los números de Reynolds con los que se trabajó en estos ensayos son significativamente menores (inferiores a 2.9×10^5) a los Reynolds de trabajo de los ensayos realizados para obtener los datos bibliográficos (Abbott, 1958), que son superiores a 3.0×10^6 .

6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El perfil aerodinámico ensayado es un perfil estandarizado NACA 4415 cuyas dimensiones pueden encontrarse en Abbott, 1958.

En la figura 8 se presentan las curvas coeficiente de sustentación – ángulo de ataque obtenidas para la serie de velocidades analizadas. En la misma figura se presenta la forma de la misma curva obtenida por Abbott, 1958.

Se puede observar que, en general, el comportamiento del perfil coincide con el extraído de Abbott, 1958. A menores velocidades, las curvas se alejan de la curva teórica del NACA 4415, en especial para ángulos de ataque negativos. Para ángulos de

ataque positivos y valores de velocidad mayores a 4 m/s (${\rm Re}{=}2.6\times10^5$) las curvas son de similar magnitud.

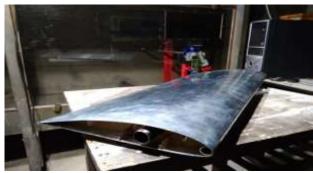


Figura 7: Modelo NACA 4415

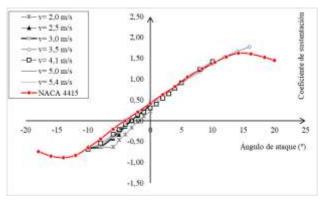


Figura 8. Curvas de desempeño determinadas en laboratorio y curva obtenida de bibliografía (NACA4415 tomada de Abott, 1958).

En el caso de los ángulos negativos, la entrada en pérdida del perfil se da para un menor ángulo de ataque en la curva obtenida por Abbott que en las obtenidas en los ensayos (-12° contra -8°). Para los ángulos positivos sucede lo contrario ya que, en los puntos ensayados, la entrada en pérdida se da para mayores ángulos de ataque que en la curva de Abbott. Además, todas las curvas presentan un comportamiento similar en cuanto a la pendiente del tramo recto; la diferencia entre la curva teórica y las curvas experimentales es relativamente reducida.

Por otra parte, en las curvas obtenidas experimentalmente, la entrada en pérdida se da aproximadamente en el mismo punto.

En el caso de la figura 9 se ve una clara separación de las curvas ensayadas com la curva teórica sobre los valores extremos de C_L. Esto es atribuíble a la diferencia de un orden en el valor del Reynolds de trabajo empleado por Abbott (1958) y por los autores.

En la figura 9 se presenta la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de arrastre (segunda curva de desempeño).

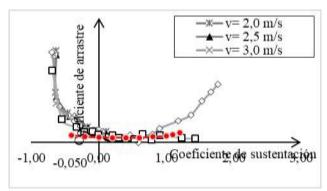


Figura 9. Relación C_L - C_D obtenida de bibliografía y determinada en laboratorio para distintas velocidades (tomada de Abott, 1958)

7. CONCLUSIONES

El proceso de calibración de la balanza aerodinámica permitió ajustar las celdas de carga con errores absolutos menores al 10 %, dentro del rango de valores de operación habitual. La suposición de independencia entre las indicaciones de las celdas de carga es correcta.

Las curvas de desempeño del perfil aerodinámico NACA 4415 determinadas utilizando la balanza aerodinámica de la Facultad de Ingeniería tienen un comportamiento similar al presentado en los principales manuales de diseño de aerogeneradores.

Los resultados obtenidos en la etapa de puesta a punto y calibración llevan a pensar que deben sustituirse los valores de C_D y C_L tomados de la bibliografía por valores experimentales a la hora de aplicarlos en el modelo numérico de predicción de niveles ambientales de presión sonora producidos por el funcionamiento de aerogeneradores de gran porte. Sin embargo, esto último solo podrá confirmarse al analizar los resultados de introducir estos nuevos coeficientes en el modelo predictivo.

REFERENCIAS

Abbott (1958). Theory of wing sections. Dover Publications, Nueva York

Deambrosi Papini, M., Hernández Castellani M. N., González Fernández A. E., Cataldo Ottieri, J. A., "Prediction of environmental sound pressure levels due to large wind turbines". 5 Sep. 2016 < http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0168.pdf>.

Van den Berg, G. P. (2006) "The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise". Doctoral Thesis from the University of Groningen, Netherlands. Mayo, 2006

Base de datos audiométricos de población juvenil de Montevideo, Uruguay

Alice Elizabeth González¹⁰

Domingo Hugo Perona (†)

Departamento de Ingeniería Ambiental, IMFIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Correo de contacto: elizabet@fing.edu.uy

(†) In memoriam.

Resumen

La salud auditiva humana puede ser estudiada por la Medicina y las Ciencias de la Salud tanto caso a caso como epidemiológicamente. Cuando se aborda desde un punto de vista epidemiológico, se puede obtener información sobre diferentes temas, entre los que la incidencia de la contaminación acústica como problema de salud pública es uno de los más importantes. En este artículo se presenta un análisis del estado de salud auditivo de la población joven uruguaya no expuesta ocupacionalmente al ruido, considerando el deterioro por edad y estilo de vida. De acuerdo con el número disponible de datos, los resultados tienen una precisión esperada de aproximadamente ±1 dB.

Palabras clave: pérdida auditiva, socioacusia, salud auditiva, base audiométrica

Audiometric database of young people of Montevideo, Uruguay

Abstract

Human hearing health can be studied by Medicine and Health Sciences, case by case or epidemiologically. When approached from an epidemiological point of view, information on different topics can be obtained, among which the incidence of noise pollution as a public health problem is one of the most important. This article presents an analysis of the hearing health status of the young Uruguayan population not exposed to noise at work, considering the decrease by age and lifestyle. According to the available number of data, the results have an expected accuracy of approximately ± 1 dB.

Keywords: hearing loss, socioacusis, hearing health, audiometric data base

Banco de dados audiométricos da população juvenil de Montevidéu, Uruguai

Resumo

A saúde auditiva humana pode ser estudada pela Medicina e Ciências da Saúde, caso a caso e epidemiologicamente. Quando abordadas do ponto de vista epidemiológico, podem ser obtidas informações sobre diferentes temas, dentre os quais a incidência da poluição sonora como problema de saúde pública é um dos mais importantes. Este artigo apresenta uma análise do estado de saúde auditiva da população jovem uruguaia não exposta ao ruído ocupacional, considerando o deterioro por idade e estilo de vida. De acordo com o número de dados disponível, os resultados têm uma precisão esperada de aproximadamente ± 1 dB.

Palavras chave: perda auditiva, socioacusia, saúde auditiva, base de dados audiométricos

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ocupacional, la salud auditiva de los trabajadores ha sido objeto de preocupación desde los albores de la Medicina Laboral. Aunque a los efectos de proteger la salud de cada trabajador la evaluación clínica es insoslayable, también puede resultar de interés trabajar con el conjunto de la población trabajadora expuesta a ciertos niveles de ruido en condiciones dadas, para dilucidar cuál es el efecto que debe esperarse sobre la salud auditiva del colectivo como resultado de tal exposición.

El enfoque epidemiológico es de gran aplicación para la evaluación de las consecuencias de la exposición poblacional a un cierto agente, tanto en materia laboral como ambiental. En un análisis epidemiológico, lo que se busca es encontrar regularidades en las respuestas de un conjunto de personas expuestas para definir medidas de gestión que apunten a proteger la salud de todas ellas, sin poner foco en el estado de salud de cada una en particular. En efecto, ante colectivos expuestos a un mismo agente agresor, aparecen factores que deben ser necesariamente considerados y que tienen que ver con conceptos de tipo epidemiológico o poblacional, como por ejemplo la incidencia de la susceptibilidad individual en la respuesta a dicho agente de los distintos receptores.

Este trabajo surge como un paso en el avance hacia una mejor comprensión de las consecuencias de la exposición a elevados niveles sonoros que padecen la mayoría de las sociedades actuales, en especial debido a un estilo de vida que impone un creciente consumo social de ruido, a la vez que obliga a una creciente exposición a elevados niveles sonoros ambientales.

2. VALORACIÓN AUDITIVA A TRAVÉS DE AUDIOMETRÍAS DE TONOS PUROS

Los estudios paraclínicos de salud auditiva a nivel individual incluyen, entre otros, las audiometrías. La audiometría tonal o de tonos puros permite evaluar el umbral auditivo de un sujeto a través de un estudio que consiste en la estimulación auditiva por vía aérea y por vía ósea. Se trata de una técnica no invasiva, estandarizada, de bajo costo y fácil aplicación, que permite conocer el umbral auditivo respecto al cero audiométrico que un individuo registra en cada oído y

para cada una de las frecuencias de interés entre 125 Hz y 8000 Hz. El estudio audiométrico por vía aérea permite detectar la existencia de pérdida auditiva, sea ésta de conducción, de trasmisión o de percepción. En cambio, la audiometría por vía ósea permite determinar el estado del oído interno; en conjunto con el estudio por vía aérea, permite reconocer si se está ante una pérdida auditiva de percepción (a nivel del oído interno) o si hay algún problema a nivel del oído externo o medio. Por lo general se comienza el estudio en la frecuencia de 1000 Hz, se exploran luego las frecuencias más altas y por último las más bajas. La primera señal se emite a intensidad mínima (0 dB) y se va aumentando de a 5 dB en 5 dB hasta obtener respuesta afirmativa; luego se verifica la respuesta disminuvendo la intensidad 10 dB v volviendo a aumentarla de 5 dB en 5 dB (García-Valdecasas et al., 2017).

La gráfica clínica de la audiometría es de uso universal. En las abscisas se grafican las frecuencias audiométricas de 125 Hz a 8000 Hz en forma equiespaciada: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz, 8000 Hz. En las ordenadas, en sentido descendente están ubicadas las pérdidas en decibeles (dB) en relación al eje 0, que representa el "cero audiométrico", es decir, el umbral auditivo normal para las vías ósea y aérea. El eje se gradúa en intervalos de 5 dB. Cada respuesta está representada por un pequeño círculo para el oído derecho y por una pequeña cruz para el izquierdo. Se registran ambos oídos en el mismo gráfico, el derecho en rojo y el izquierdo en azul (García-Valdecasas *et al.*, 2017).

Los criterios para evaluar la pérdida auditiva a nivel individual pueden ser muy diversos; suelen considerar una combinación lineal de la pérdida registrada en diferentes frecuencias audiométricas y por lo general se tiene una escala que indica si el resultado obtenido corresponde a una situación de ausencia de pérdida, una pérdida leve, severa o profunda (Goycoolea et al., 2003). La edición 1990 de la Norma ISO 1999 proporcionaba nueve diferentes criterios valoración y no todos ellos arrojaban los mismos resultados a la hora de realizar evaluaciones epidemiológicas: el criterio (2000 + 4000)/2 se apartaba de los demás a un nivel estadísticamente criterio significativo, como un fuertemente preventivo. (González et al., 2003). Al respecto, Majumder et al. (2009) analizan el exceso de pérdida

auditiva en una población de conductores profesionales en India, aplicando diferentes criterios de pérdida auditiva. Encuentran fluctuaciones significativas en función del criterio de evaluación que se seleccione: los porcentajes mínimos de exceso de riesgo en el caso de conductores con 10 o más años de exposición varían entre 3 % y 8 %, en tanto las medias lo hacen entre 15 % y 19 %. Así, los autores afirman:

"Modelos (de evaluación) que excluyen a las frecuencias más altas son menos sensibles a los daños ocasionados por el ruido y pueden requerir un mayor tiempo de exposición a un nivel sonoro determinado para que se observe un exceso de riesgo significativo en la población."

3. VALORACIÓN EPIDEMIOLÓGICA DE LA PÉRDIDA AUDITIVA

En vez de realizar la evaluación en función de un criterio de pérdida auditiva, puede procederse a comparar los resultados de la población bajo estudio con los de una población de referencia. Esa es la propuesta de la Norma ISO 1999:90 (International Organization for Standardization, 1990), que es la metodología que propone la Unión Europea para la evaluación de salud auditiva de poblaciones ocupacionalmente a ruido (Diario Oficial de la Unión Europea, 2003) y que mantiene su esencia en la reciente revisión de la Norma (International Organization for Standardization, 2013). Para la aplicación de esta metodología, más allá de que la Norma proporciona bases de referencia de datos audiométricos, un aspecto desafiante es establecer referencias locales para las bases de datos de comparación.

El estudio de la pérdida auditiva con enfoque epidemiológico ha sido largamente aplicado desde la aparición de la Norma ISO 1999:1990, en la que por primera vez la Norma pasa del enfoque individual de pérdida auditiva al enfoque poblacional. Resultados que antes se expresaban como probabilidad de pérdida auditiva individual pasan a expresarse como probabilidad de pérdida auditiva de un cierto porcentaje de la población considerada. Lo que para la edición de 1975 de la Norma era una aseveración de la forma:

"un trabajador de \mathbf{n} años expuesto a un nivel equivalente de \mathbf{L} dBA en una semana de trabajo de 40 horas durante

x años tiene una probabilidad de **p** % de sufrir una pérdida auditiva de más de 25 dB al cabo de ese tiempo"

pasa a ser sustituido por una afirmación del tipo:

"en una población trabajadora de \mathbf{n} años de edad que permanece expuesta a un nivel equivalente de \mathbf{L} dBA en una semana de trabajo de 40 horas durante \mathbf{x} años, se espera que el \mathbf{p}_1 % registre una pérdida de por los menos \mathbf{d}_1 dB, que el \mathbf{p}_2 % registre una pérdida de por los menos \mathbf{d}_2 dB..."

y así para los distintos porcentajes de población comprendidos entre el 5 % y el 95 %, que son los límites de confianza que maneja la Norma. La evaluación que plantea la Norma es contra bases de datos de referencia, y ella misma las proporciona a título informativo. Una de ellas, que se designa como Base de Datos Tipo "A", corresponde a una población ideal, otológicamente apantallada y no expuesta ambientalmente a ruido, sin historial de drogas ototóxicas u otros antecedentes que permitan esperar un incremento en la pérdida auditiva ocasionada por la edad. En definitiva, esta base proporciona datos de presbiacusia en un ambiente valores admiten ser calculados matemáticamente, y la Norma presenta la totalidad de las fórmulas necesarias para ello. La Base \boldsymbol{A} se calcula para cada sexo, para cada edad a partir de los 18 años, para cada frecuencia de interés y para cada porcentaje de la población. Lo que se obtiene es un valor de excedencia para cada porcentaje de la población total, es decir, un valor de la pérdida mínima que se espera experimente ese porcentaje de la población total (International Organization for Standardization, 1990, 2013). Para cada sexo y para cada edad, la distribución de las pérdidas esperadas es la composición de dos ramas de campanas gaussianas con vértice común.

La otra base de datos de referencia es la Base de Datos Tipo "**B**", que corresponde a una población propia de una sociedad industrializada. Esto quiere decir que se admiten otras formas de exposición a ruido no ocupacional y se asume que éstas tienen incidencia sobre la pérdida auditiva esperable. A diferencia de la Base de Datos Tipo **A**, esta Base asume que tanto la exposición ambiental como social asociadas con el estilo de vida (es decir, la socioacusia) conducen a un incremento en la pérdida auditiva esperable en el caso ideal en que la pérdida ocurre

sólo debido al envejecimiento (preshiacusia). La Base de Datos Tipo **B** no admite ser calculada matemáticamente: debe determinarse experimentalmente a partir de un conjunto representativo de datos audiométricos para poder construir el mismo tipo de curvas de excedencia referidas en el caso de la Base de Datos Tipo **A**.

Los datos publicados en la Norma ISO 1999:2013 actualizan los de la edición 1990. Corresponden a intervalos de edad de 10 años (hombres y mujeres de 30 años, de 40 años, de 50 años, de 60 años) y a tres porcentajes de la población: 10 %, 50 % y 90 %. Las pérdidas tabuladas corresponden a frecuencias comprendidas entre 500 Hz y 6000 Hz (International Organization for Standardization, 2013).

Para tener una referencia válida para estudios actuales y especialmente para los que se realizan en países sudamericanos, se consideró necesario desarrollar una Base de Datos audiométricos que reflejara una realidad más próxima a la de nuestro país en el presente. En este artículo se presenta una Base de Datos tipo **B** propia de población juvenil montevideana de ambos sexos, con edades entre 18 y 25 años.

4. ANTECEDENTES NACIONALES

El Departamento de Ingeniería Ambiental del IMFIA comenzó a trabajar hacia 1997 en la obtención de una base de datos audiométricos que fuera representativa de la población montevideana.

En un primer intento se trabajó con un conjunto de unas 4000 fichas de población adulta no expuesta ocupacionalmente a ruido, que fueron tomadas de la base de datos del Servicio Médico del ente energético uruguavo. Se trataba de estudios audiométricos de control en ocasión de la realización del carné de salud; los funcionarios fueron elegidos de modo de evitar incluir trabajadores sometidos a elevados niveles de presión sonora en sus puestos de trabajo. En este primer intento se observó que los resultados de la Base Montevideo acusaban sistemáticamente mayores pérdidas en las frecuencias más bajas. Consultado el personal técnico a propósito de la metodología de las audiometrías de tonos puros, se detectó que los estudios se realizaban hasta alcanzar el cero audiométrico y no el umbral auditivo, razón por la cual se perdían los valores de sobreaudición.

Esto redundaba en un sesgo de los resultados (IMFIA-IMM, 1998).

En 2008 se efectuó un nuevo intento, considerando fichas audiométricas de diferente procedencia pero que tenían en común el haber solicitado que la valoración se realizara hasta alcanzar el umbral auditivo en cada frecuencia. En efecto, si bien la valoración de la sobreaudición carece de interés desde el punto de vista de la valoración individual de la salud auditiva, es un aspecto de peso a la hora de la valoración poblacional. Los resultados de ese estudio para la franja etaria motivo de este trabajo indicaban (González Fernández, 2008):

"Al comparar contra los resultados de la Base A, se observa que los hombres uruguayos presentan siempre mayor pérdida excepto en el caso del 90 % de la población (la mínima pérdida), donde los hombres uruguayos tienen menos pérdida aún que la que pronostica la Base A en varias de las frecuencias consideradas (500 Hz, 1000 Hz y 4000 Hz), a lo que se suma idéntico valor de umbral en la frecuencia de 6000 Hz y valores casi idénticos en las frecuencias 250 Hz y 8000 Hz."

En cuanto a los resultados para mujeres de esta franja etaria:

"Cuando se comparan los resultados de las mujeres uruguayas con los de la Base A, se observa que en general los valores obtenidos son mejores o iguales a favor de las mujeres uruguayas para las frecuencias de 500 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz y 8000 Hz".

5. TRABAJO EXPERIMENTAL

Para llevar adelante este estudio, se obtuvieron registros audiométricos por vía aérea de un total de 499 jóvenes de la ciudad de Montevideo, de entre 18 y 25 años.

No fue posible seleccionar a los participantes en forma aleatoria: la muestra obtenida es una muestra de conveniencia, es decir, los datos se obtuvieron a partir de criterios de fácil accesibilidad a la información. En efecto, los registros aplicados provenían en parte de diferentes profesionales de la fonoaudiología, a quienes se solicitó evaluar hasta alcanzar el umbral auditivo, y en parte fueron obtenidos por el equipo del Departamento de Ingeniería Ambiental utilizando un audiómetro marca modelo MA25 de propiedad Departamento, previa capacitación a los operadores por parte de profesionales de la salud.

6. PROCESAMIENTO DE DATOS

El número de datos disponible en cada frecuencia audiométrica se presenta en la Tabla 1. Debido al origen diverso de las fichas audiométricas en muchas de ellas no se han considerado las frecuencias de 3000 Hz y 6000 Hz.

Tabla 1. Número de datos disponibles

						0 47-010 0		
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Н	236	248	248	248	92	248	92	248
M	179	251	251	251	141	251	141	251

Los valores se trataron por sexo y por frecuencia. Se ordenaron en forma decreciente y se determinaron los valores de excedencia. En cada caso se calculó la desviación estándar, el porcentaje de error y la tolerancia.

Por último, se compararon las pérdidas auditivas de ambos sexos para determinar si en ambos casos resultan estadísticamente equivalentes o no. Para ello se aplicó la prueba de equivalencias entre pares de Wilcoxon (Sachs, 1978). Se trata de una prueba de rangos aplicable a dos muestras ordenadas que no necesariamente siguen una distribución normal. El mínimo número de pares no idénticos (es decir, con diferencia nula) que permite la aplicación de la prueba es 6.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan por sexo en las Tablas 2 y 3. Se ha optado por omitir los resultados en las frecuencias audiométricas de 3000 Hz y 6000 Hz debido a la menor cantidad de datos disponibles en cada caso.

Se aplicó la prueba no paramétrica de diferencias entre pares de Wilcoxon (Sachs, 1978) para comparar los resultados de pérdida auditiva obtenidos para hombres y para mujeres. Se trata de una prueba no paramétrica, es decir, no requiere que los datos en estudio sigan una distribución normal. Para la aplicación de la prueba deben retirarse los pares de datos idénticos (es decir, los "empates"); la prueba requiere un mínimo de 6 pares de datos válidos para su aplicación.

En primera instancia se aplicó la prueba para los resultados en cada frecuencia audiométrica. Allí se pudo observar que en las frecuencias 250 Hz, 500 Hz

y 2000 Hz, las pérdidas de hombres y mujeres no resultaron estadísticamente equivalentes al 95 % de confianza: las mujeres acusaron una mayor pérdida auditiva que los hombres. En las frecuencias de 1000 Hz y 4000 Hz no fue posible aplicar la prueba debido a que la ocurrencia de empates entre pares redujo el número de datos a menos de 6. En la frecuencia de 8000 Hz, las pérdidas experimentadas por ambas poblaciones (hombres y mujeres) resultaron estadísticamente equivalentes.

Tabla 2. Pérdida auditiva esperable en hombres de 18 a 25 años según frecuencia y porcentaje de la población

	250	500	1000	2000	4000	8000
90 %	1	0	0	0	0	0
80 %	4	3	3	2	0	2
70 %	6	6	5	4	2	4
60 %	8	8	7	6	4	7
50 %	10	10	9	7	6	9
40 %	12	13	11	9	8	11
30 %	15	15	13	11	10	14
20 %	18	19	16	13	13	17
10 %	24	23	19	17	18	23
% Error	10	10	9	11	13	13
Tolerancia (dB)	±1	±1	±1	±1	±1	±1

Tabla 3. Pérdida auditiva esperable en mujeres de 18 a 25 años según frecuencia y porcentaje de la población

	250	500	1000	2000	4000	8000
90 %	2	3	1	1	0	1
80 %	6	6	4	3	1	4
70 %	8	8	6	5	3	6
60 %	10	10	8	7	4	8
50 %	12	12	9	8	6	10
40 %	14	14	11	10	8	11
30 %	17	16	13	12	10	13
20 %	20	19	15	14	12	16
10 %	24	23	19	17	15	21
% Error	8	7	8	9	13	10
Tolerancia (dB)	±1	±1	±1	±1	±1	±1

Al intentar aplicar la prueba de pares de Wilcoxon a cada uno de los porcentajes de población estudiados, sólo resultaron válidos los casos de 70 % y 80 % de las poblaciones, ya que en los restantes % la ocurrencia de empates generó series de menos de 6 datos. Para los dos porcentajes en que fue posible aplicar la prueba, se observó que la pérdida auditiva de las mujeres supera a las de los hombres en todas las frecuencias audiométricas consideradas.

7. CONCLUSIONES

Se ha obtenido una Base de Datos Tipo B (notación de Norma ISO 1999:2013) propia de población montevideana de entre 18 y 25 años de edad.

A partir de un conjunto de aproximadamente 500 fichas audiométricas repartidas equitativamente entre hombres y mujeres, se determinó la pérdida auditiva esperable en las frecuencias audiométricas de 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz y 8000 Hz. Los resultados se presentan como mínimo valor de pérdida auditiva esperable (en dB) para diferentes porcentajes de la población estudiada.

El error de los resultados es del orden del 10 % y la tolerancia resultante es en todos los casos no mayor a ± 1 dB.

A partir de la comparación estadística de los resultados, se observa que la pérdida auditiva que acusan las mujeres estudiadas supera a la de los hombres en las frecuencias audiométricas 250 Hz, 500 Hz y 2000 Hz. Las pérdidas son estadísticamente equivalentes, al 95 % de confianza, para ambos géneros en la frecuencia de 8000 Hz. El número de empates entre datos impidió aplicar la prueba en 1000 Hz y 4000 Hz.

Cuando se intenta comparar la pérdida superada por determinados porcentajes de las poblaciones estudiadas, sólo se puede aplicar la prueba escogida para las curvas correspondientes al 70 % y al 80 % de las poblaciones; en ambos casos las pérdidas auditivas esperables en mujeres superan a las esperables en hombres.

Se espera que estos resultados puedan ser útiles como valores de comparación en estudios en los que usualmente los resultados deban compararse contra la Base de Datos tipo B de la Norma ISO 1999:2013. Es por ello que se continuará trabajando para ampliar los resultados de este estudio a otras franjas etarias, sin perder de vista el objetivo de no incrementar la tolerancia para garantizar la aplicabilidad de los resultados.

REFERENCIAS

Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2003/10/CE sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido).

- García-Valdecasas Bernal, Juan; Cardenete Muñoz, Gabriel; Zenker Castro, Franz (2017) "Guía de Práctica Clínica. Audiometría Tonal por vía aérea y ósea con y sin enmascaramiento". Asociación Española de Audiología. *Auditio: Revista electrónica de audiología.* 1 Abril 2017, vol. 4(3), pp. 74-87.
- González Fernández, Alice Elizabeth (2008) "Valoración epidemiológica del umbral auditivo de la población adulta uruguaya", en: Seminario Internacional en Ruido Ambiental, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Universidad de San Buenaventura–Medellín, Corantioquia. pp. 21-33. ISBN: 978-958-44-3029-8. Medellín, marzo 2008.
- González, Alice Elizabeth; Perona, Domingo Hugo; Pérez Rocamora, Esteban; Gavirondo Cardozo, Martín (2003). "De cómo diferentes criterios de pérdida auditiva avalados por la Norma ISO 1999-90 conducen a valoraciones diferentes de una misma población". Segundo Congreso Argentino de Acústica del Nuevo Milenio, Buenos Aires, Argentina, 2003
- Goycoolea, Marcos; Ernst Josefina; Orellana, Viviana; Torres, Pamela (2003). Métodos de Evaluación Auditiva. *Revista Médica Clínica Las Condes*, Vol. 14 N°1, Enero 2003.
- IMFIA IMM. "Contaminación sonora en ambiente urbano (caso Montevideo)". Informe Final del Proyecto de Iniciación a la Investigación CONICYT Clemente Estable. Montevideo, marzo de 1998.
- International Organization for Standardization. ISO Standard 1999 (1990) "Acoustics Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment". Suiza, 1990.
- International Organization for Standardization. ISO Standard 1999 (2013) "Acoustics Estimation of noise-induced hearing loss". Suiza, 2013.
- Majumder, J.; Mehta C.R.; Sen, D. Excess risk estimates of hearing impairment of Indian professional drivers. *International Journal of Industrial Ergonomics* **39**, 234–238 (2009).
- Sachs, Lothar (1978). Estadística Aplicada. Editorial Labor, 567 pp, Barcelona, España.

Sistemas modulares verticales: Evaluación de la absorción acústica en laboratorio

Ana Rizzo La Malfa (D1; Ariel Velis (D2; Carlos Posse (D3; Alejandro Armas (D4; Sebastián Miguel (D5; Analía Figueira (D6; Jhoanna Gabin Portmann (D7; Ricardo Cortes (D8; Martin Favre (D9; Pablo Mini (D10; Jorge Bretti (D11))

¹ Doctoranda Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Instituto de Investigación de Políticas del Ambiente Construido, La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Correo de contacto: rizzo.lamalfa@gmail.com

²Laboratorio Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC. Cno. Centenario y 506, J. M. Gonnet, Provincia de Buenos Aires, Argentina

³Laboratorio Bio-Ambiental de Diseño – Facultad de Planeamiento Socio-Ambiental – Arquitectura, Universidad de Flores, Ciudad de Buenos Aires, Argentina

⁴ Taller 5 Cátedra A, Departamento de Diseño Industrial, Facultad de Bellas Artes, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Prov. Buenos Aires, Argentina

Resumen: En el ámbito de la arquitectura sustentable, han surgido recientemente un conjunto de propuestas tecnológicas entre las que se encuentra los sistemas de naturación urbana también conocidas como "Urban Greening". Estas técnicas se caracterizan por incorporar el elemento vegetal a la envolvente arquitectónica y, de esta manera, acercar la naturaleza al ambiente construido. Las tecnologías de naturación urbana aplicadas sobre fachadas se denominan jardines verticales y se destacan las del tipo "modular" (Urban Greenery Systems). Dichos sistemas son deseables en la aplicación sobre muros por su practicidad, otorgando beneficios para el ambiente natural ya construido y, eventualmente, colaboran en la reducción del ruido urbano. Las bondades de estas envolventes dependen de múltiples variables: su composición (plantas y estructura de fijación-sostén), el sistema de riego empleado y el contexto ambiental circundante, entre otros. El presente trabajo expone el estudio de las propiedades de absorción acústica en laboratorio de un sistema de jardín vertical modular, con especial atención a la eventual incidencia del grado de la cobertura vegetal y de la humedad en la absorción acústica. La complejidad de la problemática requirió de múltiples conocimientos, conformándose para el presente estudio un grupo de trabajo interdisciplinario.

Palabras clave: jardines verticales, absorción acústica, ecosistema natural

Modular vertical garden system: laboratory evaluation of sound absortion

Abstract: In the field of sustainable architecture, a set of technological proposals has recently emerged, among which are the urban nature systems also known as "Urban Greening". These techniques are characterized by

```
1 Ana Rizzo La Malfa https://orcid.org/0000-0003-3500-0644
2 Ariel Velis https://orcid.org/0000-0002-0281-3780
3 Carlos Posse https://orcid.org/0000-0001-8660-6502
4 Alejandro Armas https://orcid.org/0000-0002-3450-2274
5 Sebastián Miguel https://orcid.org/0000-0003-1902-9118
6 Analía Figueira https://orcid.org/0000-0001-5205-8085
7 Jhoanna Gabin Portmann https://orcid.org/0000-0001-8945-6407
8 Ricardo Cortes https://orcid.org/0000-0003-0266-6554
9 Martin Favre https://orcid.org/0000-0002-8393-9608
10 Pablo Mini https://orcid.org/0000-00002-6948-4408
11 Jorge Bretti https://orcid.org/0000-0000-0000
```

incorporating the vegetal element into the architectural envelope, and in this way, bringing nature closer to the built environment. The technologies of urban nature applied on facades, are called vertical gardens specially the "modular" type (Urban Greenery Systems). These systems are desirable for their practicality in the application on walls, providing benefits for the natural environment already built and eventually contribute to the reduction of urban noise. The benefits of these envelopes depend on multiple variables: their composition (plants and structure of fixation-support), the irrigation system and the surrounding environmental context, among others. The present work exposes the study of the properties of acoustic absorption in the laboratory of a system of modular vertical garden, with special attention to the eventual incidence of the degree of the vegetal cover and humidity in the acoustic absorption. The complexity of the problem required multiple knowledge, conforming to the present study an interdisciplinary working group.

Keywords: vertical gardens, acoustic absorption, natural ecosystem

Sistemas modulares de jardins verticais: Avaliação da absorção acústica no laboratório

Resumo: No contexto da arquitetura sustentável, surgiu recentemente um conjunto de propostas tecnológicas, entre as quais os sistemas de natureza urbana, também conhecidos como "Urban Greening". Essas técnicas são caracterizadas pela incorporação do elemento vegetal no envelope arquitetônico e, assim, aproximando a natureza do ambiente construído. As tecnologias de natureza urbana aplicadas em fachadas, chamadas jardins verticais, e as do tipo "modular" (Urban Greenery Systems) destacam-se. Estes sistemas são desejáveis pela sua praticidade na aplicação em paredes, proporcionando benefícios para o ambiente natural já construído e, eventualmente, contribuem para a redução do ruído urbano. Os benefícios desses envelopes dependem de múltiplas variáveis: sua composição (plantas e estrutura de fixação-suporte), o sistema de irrigação utilizado e o contexto ambiental circundante, entre outros. O presente trabalho expõe o estudo das propriedades de absorção acústica em laboratório de um sistema de jardim vertical modular, com especial atenção para a eventual incidência do grau de cobertura vegetal e da umidade na absorção acústica das mesmas. A complexidade do problema exigiu múltiplos conhecimentos, conforme o presente estudo, um grupo de trabalho interdisciplinar.

Palavras-chave: jardins verticais, absorção acústica, ecossistema natural

PACS: 43.55. – n

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de los principios de sustentabilidad ambiental, la naturación urbana surgió como una alternativa interesante que busca vincular la naturaleza y la arquitectura, proporcionando servicios ecosistémicos en las ciudades. Las envolventes vegetales son aplicables a muros y techos existiendo interesantes propuestas con diversos grados de desarrollo y tecnologización, entre las cuales se encuentran los jardines verticales modulares. Estos sistemas se presentan en diversos diseños dependiendo del objetivo estético y funcional que se pretende. Así, existen jardines con cobertura parcial o total, concentrada o dispersa, intensiva o extensiva, y cada uno de ellos presenta

ventajas y desventajas en cuanto a las prestaciones que ofrecen. Los sistemas modulares básicamente se componen de un ecosistema natural (vegetación + sustrato), un ecosistema construido (paneles + contenedores + estructura de soporte + anclaje a la fachada), y un sistema de alimentación y mantenimiento del sistema vivo (riego + nutrientes + podas). Los sistemas mencionados se encuentran expuestos al ambiente exterior y a los factores climáticos, condiciones que inciden para su funcionamiento y mantenimiento. Uno de los factores climáticos que afecta su-funcionamiento es la variabilidad del régimen pluvial y en este trabajo se evaluará el efecto de la humedad en las cualidades acústicas del sistema bajo análisis.

2. ANTECEDENTES CONSIDERADOS PARA EL ESTUDIO

El presente estudio tomó en consideración algunos trabajos que profundizaron el conocimiento de los jardines verticales desde el punto de vista acústico. Yang et al (2013)0, desarrolló un conjunto de mediciones en cámara reverberante para conocer el aporte del sustrato y la vegetación a partir del estudio de variables tales como la profundidad del suelo, el porcentaje de cobertura y la incidencia de la humedad. Dichas investigaciones demostraron que la presencia de humedad resulta un factor negativo en relación con la absorción acústica.

Respecto al sustrato, cabe señalar que aquellos más permeables y de baja densidad poseen mayor coeficiente de absorción acústica que los menos permeables y de alta densidad, de acuerdo con los trabajos realizados por Horonchenkov et al (2013)0.

En cuanto a la cobertura vegetal, tanto Yang et al (2010)0 como Wong et al. (2013)0 pudieron corroborar la relación directa de la densidad de cobertura vegetal y la absorción acústica.

A su vez, las plantas tienen particularidades foliares que inciden en el coeficiente de absorción acústica (Van Renterghem et al, 2012)0, ya que el mismo es controlado por el área foliar, la densidad de la misma y la orientación de la hoja (ángulo de incidencia de la onda sonora) De manera que, cuanto mayor es el área foliar, mayores son los coeficientes de absorción. (Horonchenkov et al, 2013)0.

Mediante mediciones in situ se ha logrado caracterizar el comportamiento de la vegetación y el sustrato frente al ruido urbano. Así, Wong et al (2016)0, desarrolló una investigación sobre ocho tipologías de fachadas vegetales en una vía de tránsito y pudo determinar que el nivel de ruido disminuía.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE LA MUESTRA

3.1 Ecosistema construido

Para el tratamiento de envolventes edilicias verticales existen variados sistemas y alternativas de cobertura parcial o total. Por lo general, es necesario desarrollar algún sistema que garantice el aislamiento hidráulico y la proliferación de raíces que atenten contra las aislaciones de los muros que se desean intervenir.

Para tal fin, se ha optado por desarrollar un sistema modular de paneles de jardines verticales que está compuesto por una serie de componentes, en donde cada uno cumple una función determinada, que entre todos constituyen un sistema eficiente que permite el desarrollo de un jardín vertical de cobertura total y que garantiza el aislamiento hidrófugo del muro por ser independiente.

El jardín se configura por módulos individuales de 1,20 m de alto x 0,80 m de ancho cada uno, colocados de manera adyacente unos a otros, que conforman el jardín vertical completo. Estos módulos fueron desarrollados y aportados por el Laboratorio Bio-Ambiental de la Universidad de Flores0. El diseño de los paneles se compone de tres capas superpuestas tal como se indica en la Figura 1.

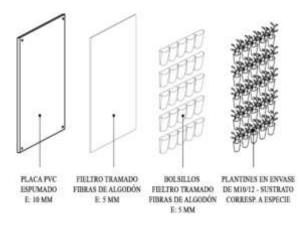


Figura 1. Esquema compositivo del módulo Los materiales utilizados en las capas son los siguientes:

Capa 1: base rígida de placas aislantes de PVC espumado de 10 mm de espesor y dimensiones 0.80 m x 1,20 m. Los detalles técnicos se indican en la Tabla I.

Tabla III. Propiedades de la placa rígida de PVC espumado.

Propiedad	Característica Valor
Espesor	10 mm
Estructura	Celular
Toxicidad	No posee
Reciclabilidad	Si
Inflamabilidad	Escasa
Densidad aparente	0.65 gr/cm^3
Fuerza de tracción	12 - 20 Mpa
Resistencia a la flexión	12 – 18 Mpa
Elasticidad a la flexión	800 - 900 Mpa
Fuerza de impacto	$8 - 16 \text{ KJ/m}^2$

Capa 2: compuesta por un fieltro tramado de fibras de algodón que recubre la cara exterior. Las

propiedades de dicho estrato se indican a continuación (Tabla II).

Tabla IV Propiedades del fieltro.

Propiedad	Característica	Valor		
Espesor	variable	≅10 mm		
Estructura	Fibras de			
	algodón + sintéti	cas		
Aglomerante	Resinas			
Masa	termoplásticas			
	460 a	640 gr/m^2		
Reciclabilidad	Si			
Inflamabilidad	Escasa			

Capa 3: recubre la capa 2 con el mismo material y está compuesta por 25 bolsillos (5 filas y 5 columnas) que serán el albergue de 25 plantines y sus respectivos sustratos. El detalle de la composición se muestra en la Figura 2.

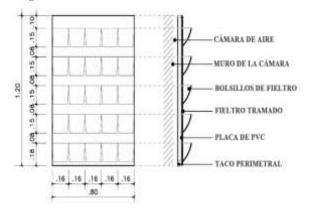


Figura 2. Esquema del módulo (frente y perfil).

3.2 Ecosistema natural

La selección inicial del ecosistema natural se basó en el estudio de cuatro especies de amplia difusión en nuestro país a fin de garantizar la buena adaptación y supervivencia de las plantas. Las especies elegidas fueron: Incienso (*Plectranthus coleoides*), Plectranthus (*Plectranthus neochilus*), Tradescantia (*Tradescantia purpurea*) y Salvia (*Salvia procurrens*). En la Figura 3 se pueden ver dichas especies.

La vegetación seleccionada se colocó en los bolsillos de los paneles utilizando un sustrato ligeramente alcalino. A continuación, en la Tabla III, se ilustran las especificidades del sustrato.



Figura 3. Detalle de la vegetación utilizada

Tabla III Características del sustrato.

Composición Fisicoquímica	Valores	Unidad
РН	7,2 - 7,5	_
C.E. (conductividad eléctrica)	1,2	ms/cm
M.O. (materia orgánica)	45	%
Cenizas	55	%
Densidad seca	470	gr/cm ³
Porosidad total	77	%

En el momento inicial del armado de los módulos del jardín vertical que configuraron la muestra, se decidió realizar una distribución homogénea de los plantines de cada especie seleccionada (25 % c/u) con el sustrato correspondiente. Dichos plantines, contenidos en envases plásticos soplados Nº 12 con capacidad de 1 litro de sustrato, se colocaron en cada bolsillo tal como se expone en la Figura 4.



Figura 4. Ubicación de las especies en el módulo

Cabe destacar que, durante el proceso de adaptación de la vegetación, algunos plantines no lograron desarrollarse y fueron reemplazados por otros de nuevas especies, como la Tradescantia Zebrina (*Zebrina*) y Manto de Virgen 1 %.

En el momento de la medición de absorción acústica se evidenció la predominancia de las especies Plectranthus (*Plectranthus neochilus*) con un 40 % del total, e Incienso (*Plectranthus coleoides*) con un 33 %, quedando la Tradescantia (*Tradescantia purpurea*) con el porcentaje inicial del 25 %. La Salvia (*Salvia procurrens*) desapareció por completo y quedaron unas pequeñas proporciones de Tradescantia Zebrina (1 %) y Manto de Virgen (1 %). Con esta composición de especies se realizaron las mediciones en la cámara reverberante del laboratorio.

3.2.1 Evolución del ecosistema natural

Previo a la medición de absorción y con el objeto de alcanzar un desarrollo adecuado de la vegetación de la muestra, se dispuso la colocación de los 12 módulos en paredes exteriores del Laboratorio de Acústica para su cuidado. De esta manera, se aseguró el desarrollo y adaptación de las plantas en un ambiente abierto y bajo condiciones ambientales y climáticas similares a las que tendrían en la realidad. La vegetación se desarrolló en las condiciones indicadas durante un periodo de 11 meses. La Figura 5 ilustra dicha etapa.



Figura 5. Desarrollo del jardín vertical en el exterior.

3.2.2 Riego, mantenimiento, fertilización y control de plagas

Por motivos prácticos, el mantenimiento del jardín en cuanto a la vegetación (reposición de plantas deterioradas), la fertilización y el control de plagas se realizó in situ a partir de la observación directa de la

muestra. El riego se realizó de manera manual por cuestiones prácticas.

Las condiciones de humedad del sustrato de la vegetación dependen no solo de los requerimientos de la vegetación sino también del periodo del año, de las condiciones climáticas, de la orientación y de la ubicación del jardín vertical. Durante el periodo estivo el sistema requirió un mayor cuidado. Las altas temperaturas y la radiación en la pared producían una rápida evaporación del agua, situación que obligo a colocar una cobertura provisoria tensada de monofilamento de polietileno de alta densidad con protección UV tipo "malla media-sombra" para proteger las plantas (Figura 6).



Figura 6. Protección del jardín modular durante el período estivo.

Las fertilizaciones y las podas necesarias para el desarrollo se efectuaron en función del crecimiento y evolución particular de cada planta.

4. MEDICIONES ABSORCIÓN ACÚSTICA EN LABORATORIO

4.1. Construcción de la muestra

La muestra ensayada se conformó por un conjunto de 12 paneles modulares verticales vegetados simulando un jardín vertical aplicado a una fachada expuesta al ruido urbano. El sistema modular fue ensayado para indagar las características de absorción acústica bajo condiciones controladas de laboratorio según lo especificado por la normativa ISO 354/19850.

Entre los requerimientos de la norma se exige una muestra cuya superficie debe estar entre los 10 m² y los 12 m². Para alcanzar tal objetivo se necesitaron entonces 12 paneles, los cuales cubrieron 11.52 m². Los paneles se colocaron de forma vertical y de

manera contigua distribuyéndose en 3 filas (3,60 m) y 4 columnas (3,20 m) tal como se indica en la Figura 7.

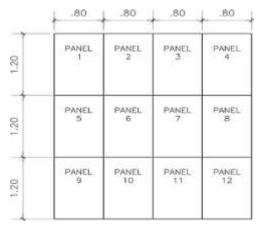


Figura 7. Configuración de la muestra.

La colocación de la muestra en una de las paredes internas de la cámara reverberante, que haría las veces de fachada, requirió la construcción de una grilla con listones de madera (0.050m x 0.076m). Dicha estructura permitió que se pudieran fijar cada uno de los paneles mediante tornillos auto-perforantes. La grilla conformó cavidades de aire de 0.050m de espesor entre la superficie interior de los paneles y la pared. Esta cavidad de aire evita la producción de humedad cuando se aplica el sistema de jardín vertical a una fachada real. El detalle de la misma puede verse en la Figura 8.



Figura 8. Detalle de la cavidad de aire.

Teniendo en consideración que los jardines verticales se instalan en paredes exteriores, se plantearon 4 condiciones distintas de la muestra para las mediciones de absorción. Dichas condiciones están asociadas a situaciones climáticas, desperfectos del sistema de riego, variaciones del crecimiento de las plantas e incluso desaparición parcial o total de la vegetación por eventuales eventos que puedan producirse. La primera condición se corresponde con los paneles vacíos (caso extremo de desaparición total de la vegetación) y las otras 3 a los paneles cubiertos de plantas, pero con 3 grados diferentes de humedad (llamadas cualitativamente baja, media y alta).

4.2. Disposición de muestra en las cámaras

La muestra se dispuso en una de las paredes de la cámara reverberante del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la CIC, de forma vertical, con la estructura de soporte buscando recrear condiciones similares a las de un jardín vertical montado en una fachada. La Figura 9, expone como quedaron colocadas las muestras para los paneles vacíos y con plantas.

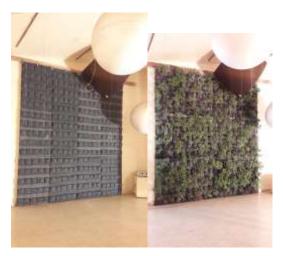


Figura 9. Colocación de la muestra en la cámara reverberante.

4.3. Evaluación de paneles vacíos

En la primera etapa del estudio, se determinó la absorción acústica del sistema de jardín vertical con ausencia de la vegetación, con lo cual se esperaba ver el comportamiento acústico en uno de los casos extremos y a la vez ponderar la absorción acústica intrínseca de los paneles.

4.4. Evaluación del jardín completo (paneles con sustrato y plantas) con 3 condiciones de humedad

Para que la muestra tenga una cobertura vegetal adecuada, el ecosistema natural se conformó con 300 plantas. El sistema presentaba una cobertura vegetal de aproximadamente el 70% de la muestra.

En cuanto a las 3 condiciones de humedad del jardín, se definieron como "Condición A" (humedad mínima para subsistencia de la vegetación), "Condición B" (humedad media o equilibrio del sistema) y "Condición C" (humedad a punto de saturación). En base a las condiciones indicadas se confeccionó la Tabla que se presenta a continuación:

Tabla IV Condición de humedad de cada panel del sistema en relación al peso

Condición	Humedad ponderada	Peso de cada panel (kg)
A	Hidratación mínima del sistema (≅ mínimo)	21,3
В	Hidratación media del sistema (≅ equilibrio)	22,8
С	Hidratación máxima o saturación del sistema (≅ inundación)	25,2

De acuerdo al peso obtenido de los paneles secos y saturados, se puede deducir que la máxima cantidad de agua que puede retener este jardín vertical es de aproximadamente 4 litros por metro cuadrado.

4.5. Características de la cámara reverberente e instrumental utilizado

Los ensayos de la muestra para obtener el coeficiente de absorción α se realizaron en la sala reverberante del Laboratorio cuya superficie interior es de 208 m² y cuyo volumen es de 189 m³, cumpliendo los requisitos de la Norma ISO-354/19850. El instrumental empleado en las mediciones se detalla a continuación:

- Medidor de nivel sonoro y analizador de espectros en tiempo real marca Brüel & Kjaer, Type 2250 con pre-amplificador de micrófono marca Brüel & Kjaer, Type ZC-0032 y micrófono de ½" marca Brüel & Kjaer Type 4189.
- Software de medición de tiempo de reverberación, marca Brüel & Kjaer, Type BZ-7227.
- Amplificador de audio frecuencias, marca Pyramid, modelo PA1000X.
- Fuentes sonoras de cámara reverberante (2 bafles cúbicos de 3 parlantes cada uno).

4.6. Metodología de investigación

El cálculo de absorción sonora requirió la medición de los tiempos de reverberación según procedimiento indicado en la Norma ISO 35/19850. Para la medición se ubicaron las fuentes sonoras en 2 posiciones diferentes y los micrófonos se dispusieron en 6 ubicaciones distintas. Respetando la norma considerada, se realizaron 3 registros para cada combinación fuente-micrófono, siendo cada uno de los tiempos de reverberación aquellos resultantes de las 36 caídas. Se calcularon los coeficientes de absorción sonora α_s en cámara reverberante (adimensional) para las bandas de tercios de octava comprendidas entre 100 y 5000 Hz, aplicando el método indicado en la Norma ISO-354/1985 0.

Además, se obtuvo el valor del Noise Reduction Coefficient (NRC), y el valor del Sound Absorption Average (SAA), de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM C423-02a 0:

- Noise Reduction Coefficient (NRC): obtenido como el promedio de los coeficientes de absorción sonora de las bandas de tercios de octavas centradas en 250, 500, 1000 y 2000 Hz, redondeado al múltiplo más próximo de 0,05.
- Sound Absorption Average (SAA): obtenido como el promedio de los coeficientes de absorción sonora de las bandas de tercios de octava comprendidas entre 200 y 2500 Hz, redondeado al múltiplo más próximo de 0,01.

4.7. Desarrollo de la medición

Las mediciones, debido a las necesidades de modificar las condiciones de humedad del jardín vertical, se desarrollaron en dos días consecutivos. Durante el primer día se midieron los tiempos de reverberación de la cámara vacía mientras se desmontaban los paneles ubicados en una de las paredes exteriores del laboratorio con la vegetación hidratada en la condición B. La instalación de los paneles en uno de los muros de la cámara reverberante puede observarse en la Figura 10.



Figura 10. Montaje de los paneles para las mediciones.

Una vez montados los paneles y efectuada la medición de absorción, se dejaron colocados allí hasta el día siguiente con la finalidad de obtener la condición de humedad A (Figura 11) y realizar la medición para dicha condición.



Figura 11. Condición "A" de la muestra.

Con posterioridad a la medición de la condición "A", se regó abundantemente toda la muestra hasta saturar los poros del sustrato y empapar todo el panel a fin de medir la última situación posible (condición "C"). Por último, se retiró la totalidad de la muestra y se volvieron a medir los tiempos de reverberación de la cámara reverberante vacía, con el objeto de aplicarse los valores relevados a los cálculos de absorción acústica del segundo día.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en consideración los valores adquiridos durante las mediciones en las cuatro condiciones de los paneles (vacíos, humedad mínima, media y máxima), se calcularon los coeficientes de absorción α_s (adimensional), discriminados por bandas de tercios de octavas. Los valores se presentan a continuación, incluyéndose los números únicos calculados NRC y SAA según lo especificado en la norma ASTM C 423-02a. Los mismos se indican a continuación en la Tabla V.

Tabla V. Coeficientes de absorción αS, NRC y SAA.

	αs	αs					
Frecuen	Paneles	condición de humedad de los					
[Hz]	vacíos	sustratos en los paneles					
		A (baja)	B (media)	(saturació n)			
100	0,13	0,14	0,16	0,16			
125	0,35	0,29	0,28	0,29			
160	0,43	0,32	0,34	0,41			
200	0,48	0,49	0,53	0,46			
250	0,48	0,53	0,51	0,47			
315	0,53	0,49	0,4	0,48			
400	0,55	0,54	0,53	0,47			
500	0,59	0,53	0,54	0,49			
630	0,63	0,57	0,58	0,57			
800	0,70	0,67	0,67	0,66			
1000	0,74	0,71	0,71	0,73			
1250	0,79	0,76	0,82	0,78			
1600	0,80	0,83	0,84	0,81			
2000	0,84	0,87	0,87	0,86			
2500	0,87	0,91	0,92	0,92			
3150	0,92	0,97	0,95	0,93			
4000	0,97	0,97	0,95	0,96			
5000	1.02	0,99	0,95	0,97			
NRC	0,65	0,65	0,65	0,65			
SAA	0,67	0,66	0,67	0,64			

Los coeficientes de absorción α_s obtenidos en la cámara reverberante para las cuatro condiciones, ("vacíos", "A", "B" y "C") se ilustran a continuación en la Figura 12.

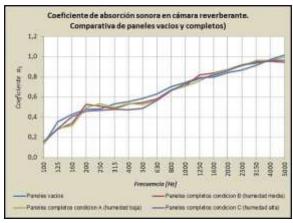


Figura 12. Comportamiento de la muestra en las cuatro condiciones.

Una comparación de las prestaciones de absorción acústica media del sistema de jardines verticales modulares en laboratorio (promedio de las 3 condiciones de humedad), respecto a otros materiales constructivos, se ilustra a continuación (Figura 13).

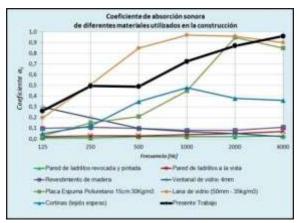


Figura 13. Comparación de los coeficientes de absorción de la muestra estudiada frente a otros elementos constructivos

6. CONCLUSIONES

La primera conclusión se desprende de la Figura 12: el coeficiente de absorción acústica es prácticamente independiente tanto de la existencia o no de plantas y sustrato, como así también del grado de humedad que posea el sistema. Esto puede explicarse en base a que evidentemente la absorción que otorgan las plantas (en las condiciones de crecimiento medidas) y el sustrato es despreciable frente a la absorción acústica de los paneles por si solos. Como ventaja de esto podría decirse que este tipo de jardín vertical mantendría sus características de absorción acústica prácticamente constantes a pesar de los cambios que puede sufrir en cuanto a humedad (riego, lluvia, etc.) y desarrollo de las plantas (período estacional, clima, etc.).

Otra conclusión que puede obtenerse es que la absorción acústica respecto a otros materiales de construcción (Figura 13) no solo es aceptable sino además ofrece un gran potencial que investigaciones futuras. Esto puede verse simplemente comparando en dicha figura la absorción del sistema frente a otros materiales constructivos considerados como de "alta absorción acústica", como por ejemplo las espumas de poliuretano y los paneles de lana de vidrio. En este último caso, resulta evidente que la curva de

absorción acústica presenta un comportamiento similar (espesor 50 mm y densidad 35 kg/m³), fundamentalmente en las bajas frecuencias entre las bandas de 125-250 Hz y en las altas frecuencias a partir de los 2000 Hz.

Considerando que el comportamiento de un muro de ladrillos posee una absorción muy baja (ver Figura 13), la aplicación de un sistema similar al aquí estudiado podría resultar una mejora significativa, fundamentalmente para el caso de las fachadas.

Las conclusiones del trabajo expuesto-tienen muchos puntos en común respecto a los resultados obtenidos en otros trabajos que estudiaron la absorción acústica de diversos sistemas modulares de jardines verticales en similares condiciones de medición tales como los de Wong et al (2013)0, 0 Thomazelli et al (2016) y Azkorra et al (2015)0.

En la actualidad se están desarrollando otras tipologías de jardines verticales conjuntamente con el Departamento de Diseño Industrial de la Facultad de Bellas Artes (FBA-UNLP) los que serán ensayados a futuro con el fin de producir una mayor cantidad de datos sobre este tipo de tecnologías de naturación urbana y realizar un aporte a su comportamiento acústico.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la constante guía y disponibilidad del Director de Tesis, Prof. Dr. Ing. Gustavo J. Basso (Facultad de Bellas Artes-Universidad de La Plata); al apoyo del Codirector Dr. Prof. Dr. Ing. Patrizio Fausti (Dipartimento di Ingegneria-Universita' di Ferrara-Italia; a la invalorable ayuda del Director del Instituto de Investigación y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC-FAU-UNLP); y a todo el personal del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

ASTM C423-02a, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.

Azkorra, Z.; G. Pérez, J. Coma, L. Z. Cabeza, S. Bures, J. E. Álvaro, A. Erkoreka y M. Urrestazaru

- (2015). "Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings", *Applied Acoustics.*, vol. 89, pg. 46–56.
- ISO 354/1985 Acoustics Measurement of sound absorption in a reverberation room.
- Kirill V. Horoshenkov, Amir Khan and Hadj Benkreira (2013). "Acoustic properties of low growing plants", *Journal of the Acoustical Society of America*. 133 (2013) pp 2554-2565
- Miguel S., Figueira A., Faggi A., Gabin Portmann J. (2017) "Cubiertas verdes y jardines verticales. Comportamiento térmico y acústico de sistemas modulares". Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES) Vol. 5, pp. 09.13-09.24, 2017. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5 1234
- Thomazelli, R.; F Caetano y S. Bertoli. (2016) "Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation" en *Actas ICA'16*, 2016, volúmen 28, 015017.
- Van Renterghem T., Botteldooren D., Verheyen K. (2012). "Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth". *Journal Sound and Vibration* 331, pp. 2404-2425
- Wong N.H., Kwang Tan A.Y., Tan P.Y., Chiang K., Wong N. C. (2010). "Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Build. Environ.* 45 (2010), pp.411-420Yang H. S., Kang J., Cheal K. (2013). "Random-Incidence Absorption and Scattering Coefficients of Vegetation". *ACTA Acustica United With Acustica*, 2013; 99(3): 379 388