



# III Jornadas JAAS Acústica, Audio y Sonido

## Ponencias

17 y 18 de agosto de 2017

Organiza: Ingeniería de Sonido de la UNTREF  
Auspician: Universidad de Mendoza y Centro de Investigación  
y Transferencia en Acústica CINTRA (UTN Facultad Regional Córdoba)

## AUTORIDADES UNTREF

Rector

**Aníbal Y. Jozami**

[ajozami@untref.edu.ar](mailto:ajozami@untref.edu.ar)

Vicerrector

**Martín Kaufmann**

[mkaufmann@untref.edu.ar](mailto:mkaufmann@untref.edu.ar)

Secretario Academico

**Ing. Agr. Carlos Mundt**

[cmundt@untref.edu.ar](mailto:cmundt@untref.edu.ar)

Secretario de Investigación y Desarrollo

**Dr. Pablo Miguel Jacovkis**

[pjacovkis@untref.edu.ar](mailto:pjacovkis@untref.edu.ar)

Coordinador de Ingeniería de Sonido

**Mg. Ing. Alejandro Bidondo**

[abidondo@untref.edu.ar](mailto:abidondo@untref.edu.ar)

## **III JORNADAS DE ACÚSTICA, AUDIO Y SONIDO (JAAS)**

**17 y 18 de agosto de 2017**

Sede Caseros II

Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF)

**Valentín Gómez 4752, Caseros**

# Buenos Aires, Argentina

## **COMITÉ CIENTÍFICO**

Jorge Arenas	UACH – Universidad Austral de Chile
Alberto Behar	Ryerson University
Alejandro Bidondo	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Sebastián Ferreyra	CINTRA – UTN Regional Cordoba
Miguel Gantuz	UM – Universidad de Mendoza
Alice Elizabeth Gonzalez Fernández	Universidad de la República de Uruguay
Joaquín Mansilla	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Florent Masson	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Juan Ignacio Mieza	Universidad Nacional de Tres de Febrero Comisión Nacional de Energía Atómica
Daniel Ottobre	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Francisco Ruffa	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Santos Tieso	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Shin-ichi Sato	Universidad Nacional de Tres de Febrero

## AUSPICIANTES

Asociación de Acústicos Argentinos - AdAA

AES Argentina

Universidad de Mendoza - UM

Centro de Investigación y Transferencia en Acústica CINTRA (UTN Facultad Regional Córdoba)

## PARTICIPAN

AES Argentina (Audio Engineering Society)

Arquisonic

Decibel Sudamericana S.A.

Equaphon

Exosound

ON OFF Producciones

Agencia de Protección Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires (APrA)

Medel

UI3F

Knauf

III Jornadas de Acústica, Audio y Sonido -JAAS 2017 /

Agustín Arias... [et al.]; compilado por Alejandro

Bidondo. -1a ed . - Sáenz Peña : Universidad

Nacional de Tres de Febrero, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: online

ISBN 978-987-4151-92-6

1. Ingeniería Acústica. I. Arias, Agustín. II. Bidondo, Alejandro, comp.

CDD 620.21

## ÍNDICE

### Abstracts

#### Procesamiento de señales

**1** Desarrollo de un dispositivo para educación STEAM basado en bloques de circuitos de audio  
(*Ignacio Giménez, Nicolás Larenas*)

**2** Desarrollos musicales nutridos por la ingeniería de software  
(*Hernán Ordiales*)

**3** ¿Cómo calculan el Tiempo de Reverberación los softwares comerciales?  
(*Fernando Muiños, Guillermo Bori, Emanuel N. A. Puca Laje*)

#### Acústica arquitectónica y materiales acústicos

**4** La acústica urbana en relación al diseño de edificios en altura  
(*J. L. Guijarro, L. M. De Innocentis, C. Segura, M. A. Galindo, M. Ramos, C. Corbella, R. Vélez*)

**5** La experiencia acústica: primeros bocetos  
(*Mariano Ferreira*)

**6** Comparación de tres tipos de excitación impulsiva para evaluar el RT60 de aulas  
del conservatorio Alfredo Luis Schiuma  
(*Matías Fernández, Agustín Gabriel González, Pablo Yacoli, Matías Pace, Florent Masson*)

**7** Acondicionamiento acústico del Aula Magna de la Facultad de Arquitectura  
de la Universidad de Buenos Aires  
(*Andrés Sabater, Santiago Novarino*)

**8** Isowall, el nuevo aislante acústico  
(*Andrés Sabater, Santiago Novarino*)

#### Acústica fisiológica y acústica médica

**9** Caracterización del índice de pérdida de inserción de tapones auditivos  
(*Marco Vittori, Daniel Guerrero, Nicolás Patiño, Emmanuel Misley, Florent Masson, Matías Pace*)

**10** HeAP Lab: Difusión de las actividades y avances del proyecto

#### Audio y electrónica de audio

**11** Pedal OSC  
(*Fernando Vera*)

**12** Aproximación de Big Data a las colecciones musicales  
(*Hernán Ordiales*)

#### Acústica musical

**13** Relationship between the autocorrelation function parameter Wf(0) and spectral centroid  
(*Shin-Ichi Sato*)

**14** Preferencia subjetiva de guitarras eléctricas y su correlación con la función de autocorrelación y  
los parámetros psicoacústicos  
(*Diego Leguizamón, Florent Masson, Shin-Ichi Sato*)

## Ciencias de la grabación

**15** Audio generativo en DAWS  
(*Eugenio Fernández Taboada*)

**16** El papel del audio en un medio no lineal e interactivo: videojuegos  
(*Eugenio Fernández Taboada, Sebastián Pappalardo*)

**17** ¿Cómo concebir en la actualidad un espacio para la producción musical?  
(*Mariano A. Ferreira*)

## Electroacústica

**18** Medición de directividad tridimensional  
(*Facundo Ramón, Bernardo Nóbrega, Eduardo Sacerdoti, Nicolás Rizzo*)

## Astrofísica

**19** Sondeos estelares  
(*Néstor Vinet, Rafael Girola*)

**20** Astro acústica estelar  
(*Joaquín Retondo, Gabriel Londonio, Lucas Medina, Rafael Girola*)

## Instrumentación y mediciones acústicas

**21** Caracterización acústica de un arma sonora menos letal  
(*Leandro Rodiño*)

**22** Estudio del coeficiente de absorción para distintas configuraciones de un absorbente compuesto por resonadores de Helmholtz  
(*Martina C. Cribari, Pablo Peláez*)

## Psicoacústica

**23** Respuesta emocional a la música y su relación con parámetros de la función de autocorrelación  
(*Fabricio D. Chungo, Shin-Ichi Sato, Florent Masson*)

## Ruido acústico y acústica ambiental

**24** Diseño de una metodología para medir y caracterizar un vehículo de transporte urbano perteneciente a la Región Metropolitana de Buenos Aires dentro de un mapa de ruido  
(*Esteban N. Lombera, Nicolás Urquiza*)

## Vibraciones, ultrasonido, emisiones acústicas y ensayos no destructivos

**25** Técnicas de ultrasonido aplicadas a la determinación de hidruros en aleaciones base circonio  
(*Diego Cowes, Ignacio Mieza, Martín Pedro Gómez*)

**26** Caracterización de películas PZT de geometría cuadrada  
(*Maximiliano M. Yommi, Fabián Acquaticci, Sergio N. Gwirc*)

## ABSTRACTS

### Procesamiento de señales

---

### **DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO PARA EDUCACIÓN STEAM BASADO EN BLOQUES DE CIRCUITOS DE AUDIO**

*Ignacio Giménez<sup>1</sup>, Nicolás Larenas<sup>2</sup>*

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. nhlarenas@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. ignaciogmez@gmail.com

#### Resumen

El mundo contemporáneo se encuentra atravesado por las tecnologías de la información. El libre acceso a datos y contenidos ha revolucionado múltiples aspectos de la sociedad, uno de ellos es la educación. En una época donde el conocimiento se encuentra a un click de distancia el alumno deja de ser un simple receptor de contenidos y el docente abandona el lugar de quien tiene todo el saber para transmitir. En este estado de situación es necesario buscar nuevos abordajes al proceso educativo. El presente trabajo describe la ingeniería de una plataforma basada en bloques de circuitos de audio para la enseñanza de contenidos de ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas (STEAM). El dispositivo desarrollado permite montar artefactos sonoros uniendo pequeños módulos. El formato constructivo de dichos bloques lo convierten en una herramienta educativa que puede ser utilizada desde temprana edad. De esta manera se estimula la creatividad, la imaginación, la empatía y el pensamiento deductivo, habilidades que cobran importancia en el contexto actual. Se introducen los conceptos de educación STEAM junto con el uso de herramientas de software y hardware libre para la actualización de los métodos de enseñanza.

#### Abstract

The contemporary world is crossed by the information technology. The free access to data and content has revolutionized many aspects of society, one of them is education. In an age where knowledge is a click away the student stops being a simple receiver of contents and the teacher leaves the place of the one who have all the knowledge to transmit. In this situation it is necessary to seek new approaches to the educational process. This paper describes the engineering of a block-based platform of audio circuits for the teaching of science, technology, engineering, art and mathematics content (STEAM). The developed device allows the user to mount sound artifacts by connecting small modules. The constructive format of these blocks makes them an educational tool that can be used from an early age. In this way, skills that are important in the current context like creativity, imagination, empathy and deductive thinking are stimulated. The concepts of STEAM education along with the use of free open source software and hardware tools is introduced for the update of teaching methods.

# DESARROLLOS MUSICALES NUTRIDOS POR LA INGENIERÍA DE SOFTWARE

*Hernán Ordiales<sup>1</sup>*

<sup>(1)</sup>RedPanal.org, Buenos Aires, Argentina, h@ordia.com.ar

## Resumen

La incorporación de tecnología en la música es una tendencia que crece constantemente, ya sea reemplazando viejas prácticas o proponiendo otras nuevas. El desarrollo de proyectos que las involucren suele encontrarse con una serie de problemáticas ya estudiadas por otras disciplinas. En el presente trabajo se repasan varias técnicas provenientes de la ingeniería software que pueden ser de utilidad en la construcción de instrumentos o aplicaciones musicales, con el objetivo de agilizar y simplificar su proceso de desarrollo. Se propone un marco de trabajo (framework) y se sugiere el uso de diferentes herramientas útiles para trabajos que involucren cualquier tipo de código, software o una performance de livecoding, procesos colaborativos, diseño de interfaces, aprovechamiento de datos masivos (Big Data) y redes en general para usos musicales, entre otras aplicaciones. Se abordan las posibles ventajas del desarrollo iterativo e incremental, la importancia del uso de estándares abiertos e interfaces de acceso bien definidas, Music Information Retrieval, sistemas distribuidos, testing de unidad y de integración, estrategias de documentación, software libre y otros.

## Abstract

The incorporation of technology into music is growing constantly, either replacing old practices or proposing new ones. The development of this kind of projects usually finds a series of problems already solved by other disciplines. In the present work, several techniques of software engineering that can be useful in the construction of instruments or musical applications are presented, with the aim of simplifying their development process. A framework and the use of different tools are proposed for works involving any type of source code. From software building or as part of a live-coding performance. Musical applications mixed with collaborative processes, the design of user interfaces, networks or Big Data usage are suggested. Also, is discussed the advantages of iterative and incremental development, the importance of using open standards and well-defined access interfaces, Music Information Retrieval, distributed systems, unit and integration testing, documentation strategies, free software and others.

# ¿CÓMO CALCULAN EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN LOS SOFTWARES COMERCIALES?

*Fernando Muiños<sup>1</sup>, Guillermo Bori<sup>2</sup>, Emanuel N. A. Puca Laje<sup>3</sup>*

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. fdmuinos@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. guillebori24@gmail.com

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. puca\_095@hotmail.com

## Resumen

Existen distintos métodos y estudios previos para calcular el tiempo de reverberación de un recinto, sin embargo, la mayoría de los softwares comerciales no explican en detalle los procesos que utilizan para obtener sus resultados.

El presente trabajo, realizo un código en Matlab capaz de obtener resultados de TR20, TR30 y EDT por banda de octava mediante diferentes procesos aplicados a la respuesta al impulso inicial.

## Acústica Arquitectónica y Materiales Acústicos

---

### LA ACÚSTICA URBANA EN RELACIÓN AL DISEÑO DE EDIFICIOS EN ALTURA

*José Luis Guijarro, L.M. De Innocentis, C. Segura, M.A. Galindo, M. Ramos, C. Corbella, R. Vélez*

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán

jlpguijarro@hotmail.com

## Resumen

En los últimos años se produjo en la ciudad de San Miguel de Tucumán un acelerado crecimiento de edificios en altura en la zona denominada casco antiguo. El acelerado crecimiento de esta tipología edilicia solo se encuentra reglamentado de manera cuantitativa por el Código de Planeamiento, dejando de lado todos los aspectos cualitativos (acústico, térmico y lumínico).

El ruido urbano se ha convertido en la actualidad en protagonista de nuestras ciudades. Es sabido que los efectos del ruido quedan grabados en la salud de las personas, por lo que el diseño de la envolvente edilicia es fundamental para lograr una situación de confort acústico interno.

El objetivo perseguido en el Proyecto de Investigación CIUNT 26/B572 es elaborar indicadores del estado de situación actual e inferir en qué medida la generación de normativas para el control acústico puede corregir los problemas planteados en la actualidad.

## LA EXPERIENCIA ACÚSTICA: PRIMEROS BOCETOS

**Mariano A. Ferreira<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>) EDAM. delosnavios@gmail.com

### Resumen

No nos referiremos a la acústica arquitectónica sólo como ciencia. Trazar el camino para llegar de la estética musical hasta la estética sonora, y ahí introducir la estética acústica. Los tres como unidad. La historicidad de la experiencia sonora, gusto de época y cultura. ¿Existe una sala ideal para la representación musical? Aun indicando la dependencia al programa musical, la función del espacio, etc., cada caso propone un nuevo vínculo con la experiencia. Conceptos sobre la buena y mala acústica. ¿Qué esperamos del espacio? Disfrute y funcionalidad. La acción pedagógica como agente productor y reproductor del gusto. Sobreestimación. Experiencias vedadas. El siglo xix y las grandes salas de concierto. Lo previo al surgimiento de la acústica arquitectónica. ¿Cuál es el criterio que utilizamos al juzgar una sala con música que no pertenece a esos espacios? Alvin Lucier y su “I’m sitting in a room”. Un caso que refiere a la generalidad más extrema, toda instancia acústica es única y particular, acompaña a la representación de una manera profunda, es un rol determinante de la ejecución, se funde en el objeto musical único que es el momento sonoro.

## COMPARACIÓN DE TRES TIPOS DE EXCITACIÓN IMPULSIVA PARA EVALUAR EL RT60 DE AULAS DEL CONSERVATORIO ALFREDO LUIS SCHIUMA

**Matías Fernández<sup>1</sup>, Agustín Gabriel González<sup>2</sup>, Pablo Yacoli<sup>3</sup>, Matías Pace<sup>4</sup>, Florent Masson<sup>5</sup>**

(<sup>1</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. fernandez.gorrion@gmail.com

(<sup>2</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. agustingonzalez568@gmail.com

(<sup>3</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. pabloyacoli@hotmail.com

(<sup>4</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. matias.pace@hotmail.com

(<sup>5</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. fmasson@untref.edu.ar

### Resumen

El presente trabajo consistió en realizar una medición del tiempo de reverberación de tres aulas del conservatorio de San Martín. Las mismas se llevaron a cabo en concordancia con lo estipulado en la norma ISO 3382-2:2008 utilizando el método de respuesta impulsiva integrada con tres tipos diferentes de estímulos: globos, paper bangs y una claqueta de cine. El objetivo de la medición fue determinar cuál de estos estímulos es el más efectivo para realizar una medición del tiempo de reverberación. La medición permitió determinar que, si bien no todos los estímulos son igualmente efectivos depen-

diendo de las características del recinto, los paper bangs son los más eficaces y versátiles al momento de realizar este tipo de mediciones.

## **Abstract**

The following research consisted in measuring reverberation time on three of the San Martín's music hall classrooms. These ones were accomplished in compliance with ISO 3382-2:2008 norm using the integrated impulsive method with three different impulses: balloons, paper bangs and a clapperboard. The main objective was to determine which of these impulses was the most effective for measuring the reverberation time. The result showed that the paper bang seems to be the most versatile and effective impulse.

# **AISLAMIENTO ACÚSTICO DE PANELES SIMPLES HOMOGÉNEOS: COMPARACIÓN ENTRE VARIOS MODELOS DE PREDICCIÓN Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN REALES**

***Joaquín Mansilla<sup>1</sup>, Florent Masson<sup>2</sup>, Leonardo Pepino<sup>3</sup>, Ignacio Calderón de Palma<sup>4</sup>,  
Laurence Bender<sup>5</sup>***

(<sup>1</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. jmansilla@untref.edu.ar

(<sup>2</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina., fmasson@untref.edu.ar

(<sup>3</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina., pepinodelrock@gmail.com

(<sup>4</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. jignacio.calderon.92@gmail.com

(<sup>5</sup>) Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. lbender@untref.edu.ar

## **Resumen**

El aislamiento acústico debido a paneles isotrópicos ha sido estudiado desde 1940. Se han desarrollado varios modelos de predicción utilizando métodos basados en teoría ondulatoria, tren de ondas, análisis de energía estadística o analogías electroacústicas. Las diferencias entre los modelos incluyen la forma en que se consideran el campo incidente o las propiedades físicas del panel. La mayoría de ellos ya han sido validados por separado con elementos de construcción reales. En este trabajo, los diferentes modelos son revisados y comparados con mediciones realizadas de acuerdo con la norma ISO 140-3. Se clasifican en dos grupos basados en paredes pesadas y ligeras. Se examinan varios parámetros globales, como el índice de aislamiento acústico RA y el índice de reducción de ruido ponderado Rw (C, Ctr). Los resultados muestran que la desviación de cada banda de tercera octava de 100 a 5000 Hz es más relevante que los valores de los parámetros globales y debe tenerse en cuenta para una correcta aproximación del aislamiento del panel. De los modelos comparados para una futura implementación en una herramienta de predicción del aislamiento acústico, el método de Sharp es el que mejor se aproxima al comportamiento de elementos de construcción reales.

# ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL AULA MAGNA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

*Andrés Sabater<sup>1,2</sup>, Santiago Novarino<sup>1,2</sup>*

<sup>(1)</sup> BRUIT Engineering, asabater@bruit-ing.com

<sup>(2)</sup> SILENTO Acoustic Design

## Resumen

El presente documento expone el acondicionamiento acústico realizado en el Aula Magna de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, de la Universidad de Buenos Aires. Con condiciones iniciales desfavorables, se planteó una mejora en el pliego de especificaciones técnicas, modificando desde los materiales, hasta la geometría de la sala. Como resultado, un auditorio multifunción que superó las expectativas de todos.

## Abstract

This document presents the acoustic conditioning done in the Aula Magna of the Faculty of Architecture, Design and Urbanism, University of Buenos Aires. With unfavorable initial conditions, it was proposed an improvement in the technical specification, modifying from the materials, to the geometry of the room. As a result, a multifunctional auditorium that exceeded everyone's expectations.

# ISOWALL, EL NUEVO AISLANTE ACÚSTICO

*Andrés Sabater<sup>1,2</sup>, Santiago Novarino<sup>1,2</sup>*

<sup>(1)</sup> BRUIT Engineering, asabater@bruit-ing.com

<sup>(2)</sup> SILENTO Acoustic Design

## Resumen

Luego de una larga experiencia en la instalación de materiales acústicos, y haber atravesado las dificultades que implicaba la manipulación e instalación de materiales aislantes acústicos vigentes en el mercado hasta entonces, se dio lugar a una investigación de laboratorio a fin de desarrollar un nuevo material aislante acústico con buenas prestaciones mecánicas. De esta manera, se simplificaría la instalación, así como también se evitarían fugas por roturas, y fisuras del material. Fue así como se llegó a ISOWALL, el cuál no sólo es aislante acústico, sino que también lo es hidrófugo y térmico.

## Abstract

After a long experience in the installation of acoustic materials, and having gone through the difficulties involved in the manipulation and installation of acoustic insulation materials of the current

market, a laboratory research was carried out in order to develop a new acoustic insulator with a good mechanical performance. In this way, the installation would be simplified, as well as avoiding leaks due to breaks, and cracks of the material. This is how ISOWALL was achieved, which is not only an acoustic insulator, but also waterproof and thermal.

## **EVALUACIÓN SUBJETIVA DE UNA FIGURA DE MÉRITO PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN BAJAS FRECUENCIAS EN SALAS PEQUEÑAS**

***Jorge Ignacio Calderón De Palma<sup>1</sup>, Florent Masson<sup>2</sup>, Shin-Ichi Sato<sup>3</sup>***

<sup>(1)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. jignacio.calderon.92@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. fmasson@untref.edu.ar

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. ssato@untref.edu.ar

### **Resumen**

En salas pequeñas y sin tratamiento acústico dedicadas a la presentación, reproducción y grabación de eventos sonoros exhiben problemas en el rango inferior del espectro de frecuencias, debido a la influencia de modos normales de sala. Este fenómeno causa fenómenos como decaimiento temporal extendido o irregularidades en la respuesta en frecuencia. A pesar de que varios parámetros y criterios han sido definidos para evaluar este rango de frecuencias y proponer potenciales soluciones, la mayoría no han sido validados subjetivamente o requieren mayor estudio. Se propone un parámetro para evaluar la calidad en bajas frecuencias, basado en la entropía acústica, el desvío de la respuesta en frecuencia de una respuesta plana y el umbral de detección de resonancias. Dos salas, cuatro posiciones dentro de cada una y dos muestras de música fueron utilizadas en una prueba de comparación de pares para evaluar la validez subjetiva del parámetro. La correlación entre el parámetro objetivo definido y la percepción subjetiva de la calidad acústica demostró ser significativa. Las dimensiones de la sala no demostraron tener influencia significativa sobre la evaluación subjetiva.

### **Abstract**

Small untreated rooms dedicated to audio presentation, reproduction and recording of audio programmes exhibit problems in the low end of the frequency spectrum due to the influence of room modes. These phenomena cause perceptual flaws such as extended decay time or spectrum irregularities. Although several parameters and criteria have been defined to evaluate this frequency range and propose potential solutions, most of them have no subjective validation or require further study. In this study, a figure of merit based on acoustic entropy, the deviation of the frequency response from an assumed flat response and the thresholds for the perception of resonances is proposed to evaluate audio quality at low frequencies. Two rooms, four listener positions per room and two music samples

were used in a paired comparison test, to evaluate the subjective validity of the figure of merit. A significant correlation was found between the figure of merit and subjective quality evaluations. Room dimensions do not seem to influence the subjective evaluation.

## Acústica Médica y Fisiológica

---

### HERRAMIENTA PARA EL ENTRENAMIENTO DEL PROCESAMIENTO AUDITIVO CENTRAL

*Emilio Luquet<sup>1</sup>*

<sup>(1)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. emilioluquet@gmail.com

#### Resumen

En este trabajo se propone el desarrollo de un programa para el entrenamiento del procesamiento auditivo central en idioma castellano. Se realiza una descripción de las habilidades y mecanismos del sistema nervioso central implicados y su déficit. Se diseñó un programa para entrenar las habilidades del sistema auditivo central en pacientes con déficit de procesamiento auditivo central. El desarrollo comprendió el registro de las señales, su procesamiento y la implementación en código para la obtención del programa. La utilización por parte de profesionales de la fonoaudiología para el tratamiento permite un abordaje a la patología y brinda la posibilidad de obtener el resultado del rendimiento del paciente en cada habilidad. Así, es posible un seguimiento de la evolución del paciente a lo largo del tratamiento y realizar una evaluación objetiva de la misma. Se plantea el aporte desde la ingeniería de sonido a un área de la medicina, describiendo los entrenamientos realizados y su implementación.

### CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE PÉRDIDA DE INSERCIÓN DE TAPONES AUDITIVOS

*Marco Vittori<sup>1</sup>, Daniel Guerrero<sup>2</sup>, Nicolás Patiño<sup>3</sup>, Emmanuel Misley<sup>4</sup>, Florent Masson<sup>5</sup>  
(tutor), Matías Pace<sup>6</sup> (tutor)*

<sup>(1)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. marcovittoricole@gmail.com

<sup>(2)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. daniel.guerrero.gil@gmail.com

<sup>(3)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. nicolasezequielpb@gmail.com

<sup>(4)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. emmanuel.misley@gmail.com

<sup>(5)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. fmasson@untref.edu.ar

<sup>(6)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. matias.pace@hotmail.com

## Resumen

En este trabajo se analiza el comportamiento de distintos protectores auditivos, en especial los del tipo tapones, los cuales han sido divididos en dos categorías: caseros y comerciales. La calificación de los mismos se ha hecho por medio del parámetro índice de pérdida de inserción con el que se pretende evaluar el rendimiento. La medición de este último se ha hecho por medio de una cabeza binaural con el objetivo de emular las condiciones de escucha del canal auditivo del usuario. A partir de los resultados que se obtuvieron se descartan los tapones caseros como protectores contra ruidos intensos en contraposición con los comerciales, no obstante, ninguno tuvo una pérdida de inserción plana a excepción del tapón Vic Firth que lo fue relativamente.

## Abstract

This paper analyses the behavior of different hearing protectors, earplugs in particular. They were divided into two categories: homemade and commercial. These protectors have been classified with the insertion loss index which tries to evaluate their performance. Every Measurement has been done with a binaural dummy head with the purpose of emulating the listening conditions of the user's aural channel. The results obtained show that handmade ear plugs are not as good as commercials in a loud noise context. Also, none of them presents a flat insertion loss, except the Vic Firth earplugs.

## Audio y Electrónica de Audio

---

## PEDAL OSC

### *Fernando Vera<sup>1</sup>*

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, Escuela de música de la Facultad de Humanidades y Artes, Buenos Aires, Argentina. fv.fernandovera@gmail.com, fvera@fceia.unr.edu.ar

## Resumen

El proyecto consiste el diseño de un pedal que envía datos vía wifi mediante el protocolo de comunicación OSC (Open Sound Control). Para la realización del mismo se utilizó una placa Raspberry Pi 3, la cual se le conectó un footswitch a una entrada GPIO como señal de entrada del sistema.

Mediante el uso de librerías de OSC para Python se programó el envío de cuatro señales a diferentes direcciones. Se envía un dato “1” a la dirección /Simple al pulsar una única vez el footswitch, y un dato “0” al soltar el pulsador (envío de señal sin retención). De igual manera se enviaron datos para las direcciones /Doble y /Triple cuando se presiona el pulsador dos o tres veces en el intervalo de un

segundo. Además, se envía un “1” a la dirección /Retención al pulsar el footswitch, este cambia al estado “0” al pulsarlo nuevamente.

Este pedal crea una red de wifi propia (access point) para conectar el dispositivo que recibe los mensajes, asignándole una dirección IP fija.

Estas señales enviadas podrán ser recibidas desde distintos software como Supercollider, Max msp y podrán ser utilizadas como señales de control para el procesamiento deseado.

## APROXIMACIÓN DE BIG DATA A LAS COLECCIONES MUSICALES

***Hernán Ordiales<sup>1</sup>***

<sup>(1)</sup>RedPanal.org, Buenos Aires, Argentina, h@ordia.com.ar

### Resumen

Frente a la cantidad de información de uso libre disponible en Internet y la necesidad de explorar más allá de las fronteras estéticas impuestas por el software de uso habitual en la música, se desarrolló un nuevo flujo de trabajo que explota las bases de datos de sonidos online en cuasi tiempo real. El mismo se apoya en herramientas preexistentes de Software Libre y protocolos estándares de comunicación, así como aprovecha tecnologías disponibles gracias al auge actual de Big Data, Analytics y Machine Learning. El resultado es un sistema distribuido que utiliza descriptores sonoros basados en algoritmos de extracción de características para explorar de forma inteligente bases de datos locales o remotas y encontrar sonidos con propiedades tímbricas bien definidas. Luego, estos son transformados, mezclados y sintetizados en tiempo real.

Más allá de facilitar la reutilización de sonidos, también promueve la colaboración entre artistas permitiendo que múltiples usuarios o clientes accedan a la API de forma concurrente. Entre las posibles aplicaciones, además de funcionar como herramienta de búsqueda o instrumento experimental en una agrupación, puede ser usado de forma automatizada e independiente, por ejemplo, como parte de una instalación multimedia.

## Acústica Musical

---

### RELATIONSHIP BETWEEN THE AUTOCORRELATION FUNCTION PARAMETER $W\Phi(0)$ AND SPECTRAL CENTROID

***Shin-Ichi Sato<sup>1</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. ssato@untref.edu.ar

#### Abstract

$W_{\varphi(0)}$  is one of autocorrelation function (ACF) parameters. It is defined by twice delay time at which normalized ACF first decreases to 0.5. Although some previous studies referred to the  $W_{\varphi(0)}$  as spectral centroid, neither mathematical nor practical evidence has been provided. Therefore, this study objectively investigated the  $W_{\varphi(0)}$  in relation to the spectral centroid. The  $W_{\varphi(0)}$  for harmonic tones corresponded to the spectral centroid of linear frequency scale. However, the  $W_{\varphi(0)}$  for the orchestral music signals showed a lower and dispersed correlation between these parameters since the signals have wider spectral and temporal variations. There are cases where one  $W_{\varphi(0)}$  value corresponds to different spectrum centroid values and vice versa. Therefore, the  $W_{\varphi(0)}$  should be referred to as higher harmonics or higher energy of harmonics rather than the spectral centroid. Due to wide variation of the ACF waveform, it is recommended to define the  $W_{\varphi(0)}$  at the amplitude of ACF greater than 0.5. Another practical problem is that common sampling frequency 44100 kHz is not enough to correctly calculate the  $W_{\varphi(0)}$  for the harmonic tones of 2000 Hz or higher fundamental frequency. This is because the delay time to define the  $W_{\varphi(0)}$  is too short (< 0.02 ms) for interpolation algorithm.

### SUBJECTIVE PREFERENCE OF ELECTRIC GUITAR SOUNDS IN RELATION TO PSYCHOACOUSTICAL AND AUTOCORRELATION FUNCTION PARAMETERS

***Diego Leguizamón<sup>1</sup>, Florent Masson<sup>2</sup>, Shin-ichi Sato<sup>3</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. leguizamon.de@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. fmasson@untref.edu.ar

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. ssato@untref.edu.ar

#### Abstract

The electric guitar is a complex system composed by several elements, such as the bridge, strings, and electromagnetic pickups that interact with each other, giving as a result an amplified version of the captured signal produced by an oscillating string made of nickel plated steel. The aim of this paper is to compare electric guitars on the basis of subjective preference in relation to psychoacoustical

and autocorrelation function (ACF) parameters. Two experiments were conducted to limit the effect of the different variables. First, four different guitars were evaluated in a listening test by 48 people, using the pair comparison method. To confirm the results of the first experiment, one of the electric guitars with two new different set of strings was also used. Another pair comparison test with the six electric guitars was conducted by a different group of subjects. For the purpose of this work, a linear slide mechanism was designed to reduce the influence of the right-hand playing technique. According to the Pearson's correlation coefficient, it was demonstrated that the mean and maximum value of Sharpness were found to be significantly correlated with subjective preference.

## Ciencias de la grabación

---

### AUDIO GENERATIVO EN DAWS

*Eugenio Fernández Taboada<sup>1</sup>*

<sup>(1)</sup> Instituto Terciario TAMABA, Buenos Aires, Argentina. fernandeztaboada@hotmail.com

#### Resumen

La investigación expone el avance sobre los resultados provistos por un uso no convencional del DAW y los plugins convencionales, a fin de posibilitar trabajos Sonoros Generativos, es decir, de propiedades narrativas no-lineales. Esto admite, en oposición a la linealidad, un campo de exploración donde no se establece un inicio, desarrollo y fin predeterminados que se repetirán de igual manera siempre, sino una obra sonora con posibilidades de auto-generarse. Los DAWs no tienen en su naturaleza la intención de narrar no-linealmente, no fueron pensados originalmente para servir a la composición y reproducción de una obra con estructura generativa, la contribución del proyecto da luz a nuevas puertas en su uso como herramienta para este desarrollo creativo.

#### Abstract

The research demonstrates the advance in the results yielded by a non-conventional use of DAWs and traditional plugins with the purpose of creating generative sound pieces, that is to say, pieces that present non-linear narrative properties. Contrary to linearity, this approach allows a field of exploration focusing on creating not a sound piece with a predetermined beginning, development and end to be repeated likewise every time, but one with auto-generating capabilities. DAWs do not produce a non-linear narrative by default; they have not been designed originally to serve the composition and reproduction of a sound piece with generative structure. The project contributes to shed light on new findings for their use as a tool for this creative development.

## EL PAPEL DEL AUDIO EN UN MEDIO NO-LINEAL E INTERACTIVO

**Eugenio Fernández Taboada<sup>1</sup>, Sebastián Pappalardo<sup>2</sup>**

<sup>(1)</sup> Image Campus, Game Audio, Buenos Aires, Argentina. fernandeztaboada@hotmail.com

<sup>(2)</sup> Asociación Argentina de Sonidistas Audiovisuales, Buenos Aires, Argentina. standardusername@gmail.com

### Resumen

Después de 40 años de evolución, la industria del Videojuego es una actividad consolidada. Un medio que en los últimos tiempos ha incluido en su estructura el trabajo de sonidistas y músicos. Para desenvolverse en este medio, dichos profesionales requieren desarrollar la capacidad de producir música y sonido de manera adaptativa y generativa, marcando una fundamental diferencia con los medios audiovisuales lineales. La industria está en constante búsqueda de nuevos caminos tanto en el aspecto discursivo como técnico y hoy son múltiples las herramientas y recursos tecnológicos que permiten abordar de manera eficiente y creativa este universo en permanente evolución. En este contexto, el jugador es quien da forma a la historia y es el responsable de construir el universo sonoro del juego. El sonido entonces debe tomar un enfoque adaptativo, contemplar las múltiples posibilidades interactivas que el escenario presenta y proveer los elementos, lógicas de comportamiento y atributos concernientes al desarrollo de los mismos. La propuesta de nuestra investigación consiste abordar estos temas presentando las últimas herramientas técnicas y teóricas que permiten definir la física y otros atributos de un ecosistema virtual mediante el procesamiento de datos y señales para generar un efecto inmersivo a partir de la estimulación psicoacústica del jugador.

### Abstract

After 40 years of evolution, the Videogame industry is a consolidated area of economic production that in recent times has included in its infrastructure the work of sound artists and musicians. To work in this medium, these professionals need to develop the ability to produce music and sound in an adaptive and generative way. A fundamentally different approach with regard to linear audiovisual media production. The industry is constantly searching for new ways both in its narrative and technical aspects. Today there are multiple tools and technological resources that allow us to efficiently and creatively approach this universe in permanent evolution. In the context of a Video Game, it is the player who unfolds the story and builds the soundscape that makes the game come to life. The Audio development must thus take an adaptive approach, contemplate the multiple interactive possibilities that the scenario presents and provide the elements, logic of behavior and attributes for the Project. Our research proposal is to work out these issues by presenting the latest technical and theoretical tools which enable the professionals to create the physics and other attributes of a virtual ecosystem by means of data and signal processing to generate an immersive effect through the psychoacoustic stimulation of the player.

## ¿CÓMO CONCEBIR EN LA ACTUALIDAD UN ESPACIO PARA LA PRODUCCIÓN MUSICAL?

**Mariano A. Ferreira<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>) EDAM. delosnavios@gmail.com

### Resumen

El estrecho vínculo entre la sala de control y el lugar de producción y cómo llegar a un espacio común de buen funcionamiento. Dónde y cómo se produce la música hoy en día, tiempo de descentralización y crisis de los grandes estudios. La grabación que no necesita del recinto: procesadores de simulación y convolución; sintetizadores, samplers, cajas de ritmo y computadoras, nuevas plataformas digitales de trabajo más dinámico, Ableton Live. Cuando cambian los modos de producción cambian los gustos sobre el material artístico. Sobre la construcción de salas de control de bajo presupuesto y buena performance. Diseños y mediciones. ¿Qué es un espacio de control? ¿Para qué lo necesitamos? ¿Cómo debería ser? Parámetros de diseño de índole psicoacústico vs lugar de escucha estandarizado (¿es posible?). Tiempo de reverberación: porqué sí o por qué no espacios semianecoicos. Panelería fonoabsorbente y difusora. Opciones del mercado y DIY. La desinformación, falta de criterio y confusión a la hora de encarar un acondicionamiento acústico. Entender el espectro y los tiempos de integración. Apuntar a crear oyentes activos y conscientes del material sonoro.

### Electroacústica

---

## MEDICIÓN DE DIRECTIVIDAD TRIDIMENSIONAL

**Facundo Ramón<sup>1</sup>, Bernardo Nóbrega<sup>2</sup>, Eduardo Sacerdoti<sup>3</sup>, Nicolás Rizzo<sup>4</sup>**

(<sup>1</sup>), (<sup>2</sup>), (<sup>3</sup>), (<sup>4</sup>) Departamento de Investigación y Desarrollo, Equaphon Sistemas de Sonido. framon@equaphon.net

### Resumen

Se midió la directividad tridimensional compleja de una fuente lineal (STS mikra4) a través de mediciones en campo lejano con el método de ventaneo temporal para lograr independencia del recinto. Se obtuvo el globo de atenuación y fase para un rango de frecuencias de 250 Hz a 18 kHz y se comprobó que la fuente es omnidiireccional hasta 400 Hz y, a partir de allí, se observa un gradual aumento del control directivo vertical debido a la interacción del arreglo lineal de transductores. Además, se resumen cronológicamente los avances en el campo de mediciones acústicas junto con los formatos digitales más utilizados en la industria del refuerzo sonoro para caracterizar fuentes y predecir su comportamiento acústico.

## Abstract

The tridimensional directivity of a linear source (STS mikra4) was measured under far-field conditions using time windowed IR technique to avoid room reflections. The complex attenuation balloon was obtained for a frequency range that goes from 250 Hz up to 18 kHz. The source was found omnidirectional for frequencies below 400 Hz, after which its vertical directivity control increases progressively due to the linear arrangement of the transducers. Furthermore, a chronological brief about electro-acoustical measurements techniques is presented along with a description of the most-used digital formats for electro-acoustic source characterization.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AMPLIFICADOR PARA BAJO

***Agustín Bonafede<sup>1</sup>, Juan Guido Cotella<sup>2</sup>, Lucas Erburu<sup>3</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. agustin.bonafede@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. juan\_g\_cotella@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. lucaserburu@gmail.com

## Resumen

En el presente trabajo se describe el procedimiento del diseño y construcción de un amplificador para bajo. En la primera etapa se realizaron las mediciones del parlante utilizado, las cuales permitieron determinar las dimensiones de la caja y ports. Una vez construido el gabinete, se llevaron a cabo las pruebas y mediciones de respuesta en frecuencia. Se modificó la longitud de los ports y se agregó material absorbente en su interior. Una vez diseñado y probado el circuito electrónico compuesto por el amplificador de potencia, fuente, preamplificador, limitador y compresor óptico y ecualizador de tres bandas, se midió en conjunto con el gabinete y se extrajeron los resultados.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CALIBRADOR MULTIBANDA

***Christian G. García Duran<sup>1</sup>, Esteban N. Lombera<sup>2</sup>, Leonardo D. Funes<sup>3</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. cggarciaduran@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. estebanlomberasonido@gmail.com

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. ON OFF Producciones. leonardofunes@onoffproducciones.com.ar

## Resumen

La mayoría de las regulaciones, como las normativas referentes a la contaminación sonora, exigen que el instrumento utilizado sea calibrado antes y después de realizar las mediciones. Un calibrador

acústico es un dispositivo que emite un tono audible, de nivel y frecuencia muy preciso, utilizado como referencia para comprobar y validar los resultados entregados por los instrumentos. Antes de realizar mediciones de ruido, el calibrador se acopla sobre el micrófono del instrumental y la lectura es controlada manualmente por el usuario o automáticamente por el artefacto. El presente trabajo de investigación tiene por objetivo principal el diseño y la fabricación completa de un calibrador multi-banda que cumpla con la norma IEC 60942 a fin de obtener un producto de bajo costo, preciso y confiable para usuarios que realicen mediciones acústicas y electroacústicas de todo tipo.

## Astrofísica

---

### SONDEOS ESTELARES

*Nestor Vinet<sup>1</sup>, Rafael Girola<sup>2</sup>*

<sup>(1)</sup> Enseñanza y Divulgación de la Astronomía (ENDIAS), Buenos Aires, Argentina. nestorvinet@yahoo.com.ar

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Artes Electrónicas, Buenos Aires, Argentina. rafaelgirola@yahoo.com.ar

#### Resumen

El objetivo de este trabajo es difundir y comunicar en el ámbito de la Acústica, temas relacionados con el estudio de las ondas que se producen en las estrellas permitiendo sondear su interior como por ejemplo explicar la naturaleza del campo magnético estelar. En particular se describe las características internas del Sol mediante el estudio de la helio sismología explicando dos modos de oscilaciones solares. Uno de ellos es el modo p que son ondas infrasonoras de frecuencia de 0,003 Hz penetrando la parte interna del Sol y las ondas g de gravedad, ondas confinadas en la parte radiactiva interna del Sol. La observación de las vibraciones solares es la base de la heliosismología. Se describe las medidas correctas de un conjunto de frecuencias a partir de observaciones continuas del proyecto GONG (Global Oscillations Network Group), IRIS, BISON y otros. También se describe los “telescopios espaciales” CoRoT y KEPLER que, debido a su alto grado de precisión de las observaciones continuas, permiten comprender los modelos del interior estelar a través de las oscilaciones estelares. Como resultado final se muestra trabajos actuales sobre sismología estelar.

## ASTRO ACÚSTICA

**Joaquín Retondo<sup>1</sup>, Gabriel Londonio<sup>2</sup>, Lucas Medina<sup>3</sup>, Rafael Girola<sup>4</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Artes Electrónicas, Buenos Aires, Argentina. juaco.sc@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Artes Electrónicas, Buenos Aires, Argentina. gabriellondonio97@gmail.com

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Artes Electrónicas, Buenos Aires, Argentina. lcs.a.medina@gmail.com

<sup>(4)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Artes Electrónicas, Buenos Aires, Argentina. rafaelgirola@yahoo.com.ar

### Resumen

El proyecto nace con la idea de ofrecer a personas no videntes la oportunidad de experimentar el cielo nocturno a través de una instalación sonora inmersiva de diferentes cuerpos celestes. Los datos astronómicos de las veinticinco estrellas más brillantes percibidas desde la tierra fueron interpretados con parámetros propios del sonido. La información resultante fue utilizada para la síntesis y procesamiento de sonidos.

### Abstract

This project was conceived with the idea of offering visually impaired people the opportunity to experiment the night sky by use of the sonorization of different celestial bodies. The astronomic data of the twenty-five brightest stars perceived from earth were interpreted with sound-related parameters. The resulting information was later used for the synthesizing and processing of sounds and the resulting material, presented in an immersive sound installation.

## Instrumentación y Mediciones Acústicas

---

## CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE UN ARMA SONORA MENOS LETAL

**Leandro Rodiño<sup>1</sup>**

<sup>(1)</sup> Gendarmería Nacional Argentina, División Acústica Forense, Argentina. leo.rodino@hotmail.com

### Resumen

El presente trabajo busca evaluar los niveles de presión sonora a distintas distancias y ángulos de incidencia producidos por un dispositivo acústico de largo alcance en campo libre. Se evalúan dos dispositivos en modos Voz (función de comunicación) y Alarma (función de disuasión), en mediana y máxima potencia, desde los 5 a los 80 metros y alrededor del dispositivo de interés. Se diseña una

grilla de medición sobre el plano para caracterizar la fuente en su campo cercano cada  $15^\circ$  con la finalidad de estudiar los niveles generados en caso de su utilización con fines tanto comunicacionales como disuasivos. Se analizan los datos obtenidos por tercios de octava y se presentan los diagramas polares de radiación para cada situación. Por último, se realizan simulaciones acústicas y se validan con los resultados obtenidos.

## **DESARROLLO DE SOFTWARE PARA LA MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE SCATTERING ACORDE A NORMATIVA ISO 17497-1**

***Mariano Arouxet<sup>1</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. marianoarouxet@gmail.com

### **Resumen**

Investigaciones anteriores han demostrado la importancia de incluir en los modelos de simulación por acústica geométrica, valores de Coeficiente de Dispersión (Scattering) de superficies, acorde a la normativa ISO 17497-1. Sin embargo, la obtención de este coeficiente es normalmente una tarea compleja que requiere mucho tiempo, tanto en la medición como en el procesamiento posterior.

Es por esto que se desarrolló un programa con el objetivo de simplificar este procedimiento. El mismo abarca la generación de señales de medición (barridos senoidales logarítmicos y secuencias MLS), reproducción y grabación de audio multicanal y manipulación de mesas giratorias necesarias, bajo una interface gráfica que sirve de guía al usuario. Además, realiza automáticamente el procesamiento de las señales obtenidas, incluyendo cálculo de respuesta al impulso, filtrado (de 31.5 Hz a 16000 Hz), promediado de respuestas, corrección de ruido de fondo, cálculo de curvas de decaimiento energético y tiempos de reverberación. Luego, los coeficientes de absorción y de dispersión se obtienen directamente de dichos parámetros.

La versión actual del programa fue evaluada en un difusor en cámara reverberante, permitiendo una correcta evaluación del Coeficiente de Dispersión, y generando un ahorro de tiempo considerable en la obtención de los resultados.

### **Abstract**

Several previous investigations have pointed out the importance of including surface scattering coefficients, complying with ISO 17497-1, to geometrical acoustic models. However, measurement of this coefficient is usually a complex and time-consuming task. In order to simplify this procedure, software is designed to measure random incidence sound scattering coefficient in a reverberation room. It includes sound signal generation (log sine sweeps and MLS sequences), multichannel sound reproduction and recording (using ASIO protocol), turntable handling using computer network, and

user guiding during measurements. This software automatically processes the recorded signals, by phased locked averaging in each octave band from 31.5 to 16000 Hz. Applying a noise correction algorithm, it calculates energy decay curves from the impulse response measurement. Absorption and scattering coefficients can be directly deduced from this proceeding. Current software version is then tested on a self-design diffuser in a reverberation room. Measurements are showing interesting time saving results and a correct evaluation of the scattering coefficient.

## **ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN PARA DISTINTAS CONFIGURACIONES DE UN ABSORBENTE COMPUESTO DE RESONADORES DE HELMHOLTZ**

***Martina C. Cribari<sup>1</sup>, Pablo Pelaez<sup>2</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. martina.cribari@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. pablopelaez5@gmail.com

### **Resumen**

El siguiente trabajo presenta el diseño y construcción de un absorbente de 6 m<sup>2</sup> compuesto principalmente por resonadores de Helmholtz sintonizados a 850 Hz. El mismo se desglosa en 4 partes iguales permitiendo estudiar y comparar su funcionamiento para distintos tipos de arreglos con diferentes materiales tanto en el interior como en el exterior de su estructura. Los resultados del coeficiente de absorción para cada configuración se obtuvieron según los lineamientos de la normativa ISO 354:2003 realizados en la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Se concluye que la mayor absorción, según en el rango de frecuencias bajo estudio, ocurrió cuando la muestra fue cubierta por una sábana delgada separada 10 cm del piso. También se pudo observar que el efecto de borde no tuvo mucha influencia cuando la muestra se separó en partes de menor superficie.

### **Abstract**

This paper presents the measurement of the absorption coefficient of a 6 m<sup>2</sup> selective absorbent using ISO 354:2003 standard. To achieve this, a Helmholtz resonator was created and measured in 7 different arrangements in the reverberation chamber of the National University of Tres de Febrero. The results showed that the highest absorption in the frequency range of studying occurs when the sample is covered by a thin sheet and separated by 10 cm from the chamber floor. Also, the results showed that the edge effect doesn't have much prominence when the sample is separated in rectangular surfaces.

## CALIBRACIÓN DE MICRÓFONOS A TRAVÉS DEL MÉTODO DE COMPARACIÓN

*Tomas B. Iaquinta<sup>1</sup>, Federico Marovic<sup>2</sup>*

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. tom.iaquinta@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. federidos@gmail.com

### Resumen

El objetivo principal de este trabajo es la calibración de un micrófono Behringer ECM8000 utilizando un método de calibración de comparación enunciado en la serie de normas IEC 60942, este método se implementa utilizando un micrófono que cumple con el estándar de laboratorio (LS1). Las mediciones se realizan en una sala de la Universidad Nacional de Tres de Febrero, aproximando sus condiciones a una cámara anecoica. Se realiza además un análisis de la dispersión del fabricante entre una muestra de cuatro micrófonos. Adicionalmente, se emplean métodos para estimar tanto el tiempo de crecimiento como la frecuencia de resonancia del micrófono bajo prueba, comparándolo con el micrófono de referencia. Las técnicas empleadas permiten realizar de forma sencilla una calibración secundaria con una incertidumbre aceptable aproximando las condiciones propuestas por la norma de referencia.

## MEDICIÓN DEL PATRÓN POLAR DE UN INSTRUMENTO PERCUSIVO

*Lautaro E. Filgueira<sup>1</sup>, Tomas B. Iaquinta<sup>2</sup>*

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. lautarofilgueira@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. tom.iaquinta@gmail.com

### Resumen

El objetivo del siguiente trabajo es el de analizar, describir y desarrollar una técnica que permita obtener el patrón polar en tres dimensiones de un instrumento percusivo ejecutado por un músico; así como también el de generar un método computacional para extraer y procesar los datos que permitan visualizar el resultante patrón de radiación en tres dimensiones. El método utilizado se aplica en un ambiente real con las dificultades que esto conlleva, pero se obtienen resultados consistentes con los trabajos previos. Los resultados extraídos permiten tener un entendimiento de las características salientes de la radiación del instrumento analizado en diferentes tercios de octava y para las dos intensidades de ejecución.

## Psicoacústica

---

### LOCALIZACIÓN EN TRAYECTORIAS DE SONIDO ENVOLVENTE ACUSMÁTICO VS VISUALIZADO

**Fabián Esteban Luna<sup>1</sup>, Melisa Estefanía Aguilera González<sup>2</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. fluna@untref.edu.ar

#### Resumen

Se describirá un estudio experimental que buscó medir y comparar el grado de precisión que los participantes ponen en práctica para identificar trayectorias de fuentes de emisión sonora envolvente experimentada de un modo acusmático frente a otro audiovisualizado.

El experimento se inscribe en el campo de estudios sobre la transmodalidad (Bahrick, 1987; D. Lewkowicz, 1992), en particular respecto de aquellas investigaciones que se han enfocado en las correspondencias entre la escucha y la visualización.

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación radicado en la UNTreF (2016/17) bajo el título: Plataforma Inmersiva de Producciones Acusmáticas. Dir. Fabián E. Luna.

Para más info: <http://fluna5.wix.com/proyecto-pipa>

### RESPUESTA EMOCIONAL A LA MÚSICA Y SU RELACIÓN CON PA-RÁMETROS DE LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN

**Fabricio D. Chungo<sup>1</sup>, Shin-Ichi Sato<sup>2</sup>, Florent Masson<sup>3</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. fabricio.chungo@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. ssato@untref.edu.ar

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. fmasson@untref.edu.ar

#### Resumen

El reconocimiento de la respuesta emocional a la música es útil para la musicoterapia como para la organización de librerías musicales digitales. Para predecir la respuesta emocional, es necesario caracterizar las señales musicales con parámetros acústicos. En este trabajo fue utilizada la Función de Autocorrelación (ACF) para obtener parámetros de las señales. Éstos luego fueron correlacionados con distintas respuestas emocionales (felicidad, tristeza, calma y tensión). Se utilizaron cinco muestras musicales instrumentales y, por medio de un test de comparación AB, se evaluó la respuesta emo-

cional de distintas personas. La media de  $W_{\phi(0)}$  mostró correlación significativa con las emociones de felicidad y tristeza, la media de  $\tau_1$  mostró correlación significativa con calma, y el sesgo de  $\tau_1$  mostró correlación significativa con felicidad y calma.

## Abstract

Recognition of emotional response to music is useful in music therapy and organization of digital libraries of music. To predict the emotional response, it's necessary to characterize the musical signals with acoustical parameters. In this work, it was used the Autocorrelation Function (ACF) to extract parameters from music and correlate them with subjective responses (happiness, calmness, sadness and tension). Five instrumental music samples were used and, through a pair comparison test, the emotional response of subjects was evaluated. Mean value of  $W_{\phi(0)}$  showed significant correlation with happiness and sadness emotions, mean of  $\tau_1$  showed significant correlation with calmness and skewness of  $\tau_1$  showed significant correlation with happiness and calmness.

## Ruido Acústico y Acústica Ambiental

---

### DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA MEDIR Y CARACTERIZAR UN VEHÍCULO DE TRANSPORTE URBANO PERTENECIENTE A LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES DENTRO DE UN MAPA DE RUIDO

*Esteban N. Lombera<sup>1</sup>, Nicolás Urquiza<sup>2</sup>*

<sup>(1)</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. estebanlomberasonido@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. nurquiza@gmail.com

## Resumen

Los altos niveles de ruido generan diversos problemas en la vida humana tanto físicos como psicológicos, es por ello, que la contaminación acústica es un indicador de gran importancia y debe ser evaluada cuantitativamente a fin de mejorar la calidad de vida en las ciudades. Actualmente existen, en diferentes partes del mundo, leyes y normativas utilizadas para controlar y prevenir ruidos que puedan causar efectos nocivos en la salud humana. En Europa, directivas como la 2002/49/CE, demandan a los agentes de control a realizar mapas de ruido a fin de poseer información respecto a los niveles sonoros existentes en las ciudades a modo de poder evaluar, corregir y mejorar la situación acústica en las mismas. Las representaciones cartográficas de los niveles de presión sonora se realizan

mediante simulaciones computacionales capaces de predecir estos niveles según las fuentes emisoras y los efectos de propagación del sonido dentro de un núcleo urbano, siendo el tránsito rodado la fuente de mayor contribución. La presente Tesis de grado pretende divulgar una metodología capaz de insertar los colectivos pertenecientes al transporte público que circula en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) dentro del modelo de predicción de ruido para tránsito rodado NMPB ROUTES utilizado como modelo estándar en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). El comienzo de este estudio consistió en el diseño de una metodología de medición capaz de caracterizar los niveles de emisión sonora de la flota de colectivos de la línea de transporte 105 de la empresa América. A partir de estos resultados, se realizó un nuevo parámetro que fue implementado en el modelo de predicción, utilizando únicamente la condición de velocidad constante. El presente trabajo permite concluir que se ha alcanzado el objetivo principal de esta tesis, cuantificando y evaluando la influencia de una línea de colectivos de la RMBA en un mapa de ruido.

## **IMPLEMENTACIÓN DE PANELES ABSORBENTES EN PASOS BAJO NIVEL DE BUENOS AIRES**

***Germán Said<sup>1</sup>, Leonardo Carilli<sup>2</sup>, Agustín Arias<sup>3</sup>, Agustín Stasi<sup>4</sup>, Federico Deuschle<sup>5</sup>***

<sup>(1)</sup> Agencia de Protección Ambiental, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. gsaid@buenosaires.gob.ar

<sup>(2)</sup> Agencia de Protección Ambiental, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. lcarilli@buenosaires.gob.ar

<sup>(3)</sup> Agencia de Protección Ambiental, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. agustinarias@buenosaires.gob.ar

<sup>(4)</sup> Agencia de Protección Ambiental, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. aastasi@buenosaires.gob.ar

<sup>(5)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. fdeuschle@buenosaires.gob.ar

### **Resumen**

En el presente informe se detallan las tareas llevadas a cabo por el equipo técnico especializado en acústica ambiental de la Agencia de Protección Ambiental (APrA) de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires sobre el proyecto de mitigación del ruido provocado por el paso vehicular en los Viaductos Carranza y Libertador, atendiendo a una inquietud originalmente planteada por la Dirección General de Regeneración Urbana (DGRU). La solución llevada a cabo finalmente se centra en la implementación de paneles absorbentes instalados dentro de los viaductos con el fin de disminuir los niveles sonoros sobre las edificaciones expuestas. Adicionalmente, se plantea una propuesta a futuro que incluye el agregado de barreras acústicas permitiendo aislar y añadir una mayor superficie de absorción. Para modelar todos los casos se utilizó el software de predicción acústica CadnaA. Los resultados fueron validados con mediciones en terreno, previa y posteriormente a la instalación de los paneles absorbentes. A su vez, se describió el Indicador de Reducción Sonora (IRS) como parámetro para evaluar

el rendimiento de los paneles absorbentes. En cada caso se obtuvieron atenuaciones considerables del nivel sonoro sobre los edificios de uso residencial que rodean ambos pasos bajo nivel.

## **RELEVAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE RUIDO EN CONSULTORIOS EXTERNOS DE HOSPITALES PÚBLICOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

***Mariano Girola<sup>1</sup>, Germán Said<sup>2</sup>***

<sup>(1)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. mchiffa@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ingeniería de Sonido. Buenos Aires, Argentina. gsaid@untref.edu.ar

### **Resumen**

En la investigación titulada “Relevamiento de las Condiciones de Ruido en Consultorios Externos de Hospitales Públicos de la Provincia de Buenos Aires” se analizó por medio de mediciones in situ y por encuestas a personal hospitalario las condiciones de ruido presentes donde se desarrolla la actividad hospitalaria.

Como resultado de las mediciones, pudo observarse cómo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud son superadas, pudiendo provocar esto afecciones a los trabajadores del lugar. Si se toman los resultados de las encuestas al personal, se observa que el dolor de cabeza es el principal síntoma a la exposición de ruido, considerando como principal fuente las conversaciones de la sala de espera.

Para atenuar esta problemática se debería proyectar una planificación en la distribución eficiente de los espacios hospitalarios, de acuerdo a la realidad del sistema de salud público.

Como trabajo a futuro, queda por desarrollar un protocolo de medición y un conjunto de límites de niveles de ruido aplicables, en primer lugar, en la Región Sanitaria V, mostrándola como la primera área de salud libre de ruido de la Provincia de Buenos Aires.

## Vibraciones, Ultrasonido, Emisiones Acústicas y Ensayos No Destructivos

---

### TÉCNICAS DE ULTRASONIDO APLICADAS A LA DETERMINACIÓN DE HIDRUROS EN ALEACIONES BASE CIRCONIO

**Diego Cowes<sup>1</sup>, Ignacio Mieza<sup>1 2 3</sup>, Martín Pedro Gómez<sup>1 4</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto Sábatto, CNEA, Universidad Nacional de San Martín, Argentina. diegocowes@cnea.gov.ar

<sup>(2)</sup> División Hidrógeno en Materiales, CNEA, Argentina.

<sup>(3)</sup> Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero.

<sup>(4)</sup> Proyecto ICES, GDTyPE, CNEA, Argentina.

#### Resumen

Las aleaciones base Zr son ampliamente utilizadas en la industria nuclear gracias a su baja sección de captura neutrónica, sus buenas propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión. Sin embargo, durante el servicio de los reactores se incorpora hidrógeno (deuterio), parte del cual puede formar hidruros de Zr, una fase frágil, que puede comprometer la integridad física o las propiedades mecánicas de los componentes. Por tal motivo, la necesidad de conocer o estimar la cantidad de hidrógeno dentro de los materiales a lo largo de su vida en servicio es de suma importancia. Las técnicas no destructivas como el ultrasonido o la emisión acústica han demostrado ser útiles para la detección temprana de hidruros en aleaciones de Zr en laboratorio, pero no han sido exploradas tan profundamente. En este trabajo se implementa el método pulso-eco ultrasónico para determinar la correlación entre la concentración de hidruros y la velocidad de fase y la atenuación de ondas longitudinales a partir de la medición de tiempo de vuelo en piezas de Zircaloy 4. Se presentan los resultados obtenidos de las mediciones.

### CARACTERIZACIÓN DE LAMINADOS DE MATERIALES COMPUESTOS A TRAVÉS DE ENSAYOS MECÁNICOS Y EMISIÓN ACÚSTICA

**Lucas Omerzu Cadorini<sup>1</sup>, Rodríguez A. A.<sup>2</sup>, Gómez M. P.<sup>3</sup>**

<sup>(1)</sup> Departamento ICES, Grupo de Ondas Elásticas, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, Argentina. lucasomerzu@cnea.gov.ar

<sup>(2)</sup> Departamento de Materiales, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, Argentina.

<sup>(3)</sup> Departamento ICES, Grupo de Ondas Elásticas, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, Argentina.

#### Resumen

Con el avance y la inserción de los materiales compuestos en las diversas áreas de la industria se ha vuelto necesario e importante contar con métodos de caracterización y predicción de fallas adecuados que permitan su evaluación y control de calidad. Los laminados de material compuesto formados por

fibra de carbono y resina epoxi que son objeto de estudio de este trabajo se están utilizando en una diversidad de ramas industriales como la aeroespacial, naval y automotriz, y suelen evaluarse mediante diversos ensayos mecánicos. El objetivo de este trabajo de investigación es incluir a la Emisión Acústica como parte de la caracterización de probetas de material compuesto sometidas a diferentes ensayos mecánicos y analizar las similitudes y concordancias entre los fenómenos acústicos y mecánicos. El trabajo se lleva a cabo en las instalaciones y laboratorios del Centro Atómico Constituyentes, ensayando cuatro tipos de laminados compuestos, en busca de los fenómenos y magnitudes que se presentan durante la solicitud del material. Se concluye, entre otras cosas, que la Emisión Acústica es una técnica complementaria de gran valor al aportar información concisa y útil sobre la generación y el avance de los modos de falla que se suceden en los materiales compuestos durante los ensayos mecánicos.

## CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS PZT DE GEOMETRÍA CUADRADA

***Maximiliano M. Yommi<sup>1</sup>, Fabián Acquaticci<sup>2</sup>, Sergio N. Gwirc<sup>3</sup>***

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Electrónica e Informática, Argentina. myommi@inti.gob.ar

<sup>(2)</sup> Instituto de Ingeniería Biomédica – UBA, Argentina

<sup>(3)</sup> Universidad Nacional de La Matanza, Laboratorio de Imágenes Ultrasónicas, Argentina

### Resumen

En este trabajo se caracteriza un transductor de titanato zirconato de plomo o PZT ( $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ ) de película gruesa y geometría cuadrada, con el objetivo de estudiar su viabilidad en sistemas de medición complejo, como los de visualización de estructuras internas. Se relevan los resultados de polarización de la película, junto a la evaluación de las características de emisión. Una primera etapa consistió en estudiar la estructura de la muestra, la polarización de la misma y la medición de la curva de impedancia eléctrica resultante. La segunda consiste en determinar las características de radiación del transductor por medio de la medición de la respuesta acustoeléctrica y la determinación del campo acústico, estudiando la zona central de emisión. Dicho procedimiento se realizó en un banco de prueba acondicionada con absorbentes de geometría piramidal, junto a un sistema automatizado de escaneo. Los pulsos emitidos por el transductor fueron captados con un hidrófono y posprocesados para obtener la respuesta temporal y espectral. El resultado de la medición del campo acústico fue comparado con simulaciones de transductores de varias geometrías (disco y cuadrado). Los transductores estudiados, de película gruesa con substrato cerámico sin backing, poseen un mayor ancho de banda que los tradicionales, siendo viable su aplicación en ensayos no destructivos.

## Abstract

In this work, a square lead zirconate titanate ZT ( $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ ) thick film transducer is characterized. The aim of this work is to assess the feasibility of use this kind of transducer in complex measurement systems such as visualization of internal structures. The results of polarization and the emission characteristics are presented. Firstly, the structure of the sample, the polarization and the electrical impedance curve were measured. Secondly, the radiation characteristics of the transducer were obtained by measuring the acoustic-electric response and the acoustic field in the central emission zone. Measurements were made in a water tank lined with pyramid shaped acoustic absorbent material and using an automated scanning system. The pulses emitted by the transducer were captured with a hydrophone and post-processed to obtain the temporal and spectral response. The results of the acoustic field measurement were compared with simulations of transducers of various geometries (disk and square). The transducers studied, of thick film with ceramic substrate without backing, have a greater bandwidth than the traditional ones. This feature makes them suitable for applications in nondestructive testing.

## **Procesamiento de señales**

---

# DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO PARA EDUCACIÓN STEAM BASADO EN BLOQUES DE CIRCUITOS DE AUDIO

*Ignacio Giménez*

*Universidad Nacional de Tres de Febrero. Buenos Aires, Argentina. ignaciogmez@gmail.com*

*Nicolás Larenas*

*Universidad Nacional de Tres de Febrero. Buenos Aires, Argentina.nhlarenas@gmail.com*

## Resumen

El mundo contemporáneo se encuentra atravesado por las tecnologías de la información. El libre acceso a datos y contenidos ha revolucionado múltiples aspectos de la sociedad, uno de ellos es la educación. En una época donde el conocimiento se encuentra a un click de distancia el alumno deja de ser un simple receptor de contenidos y el docente abandona el lugar de quien tiene todo el saber para transmitir. En este estado de situación es necesario buscar nuevos abordajes al proceso educativo. El presente trabajo describe la ingeniería de una plataforma basada en bloques de circuitos de audio para la enseñanza de contenidos de ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas (STEAM). El dispositivo desarrollado permite montar artefactos sonoros uniendo pequeños módulos. El formato constructivo de dichos bloques lo convierten en una herramienta educativa que puede ser utilizada desde temprana edad. De esta manera se estimula la creatividad, la imaginación, la empatía y el pensamiento deductivo, habilidades que cobran importancia en el contexto actual. Se introducen los conceptos de educación STEAM junto con el uso de herramientas de software y hardware libre para la actualización de los métodos de enseñanza.

## Abstract

The contemporary world is crossed by the information technology. The free access to data and content has revolutionized many aspects of society, one of them is education. In an age where knowledge is a click away the student stops being a simple receiver of contents and the teacher leaves the place of the one who have all the knowledge to transmit. In this situation it is

necessary to seek new approaches to the educational process. This paper describes the engineering of a block-based platform of audio circuits for the teaching of science, technology, engineering, art and mathematics content (STEAM). The developed device allows the user to mount sound artifacts by connecting small modules. The constructive format of these blocks makes them an educational tool that can be used from an early age. In this way, skills that are important in the current context like creativity, imagination, empathy and deductive thinking are stimulated. The concepts of STEAM education along with the use of free open source software and hardware tools is introduced for the update of teaching methods.

## Introducción

En los últimos años se han producido cambios estructurales en la sociedad a raíz de la masificación de las tecnologías de la información y la conexión a Internet. Puntualmente el ámbito educativo se encuentra frente a un cambio de paradigma: la información está ahora disponible en todos lados. Este crecimiento en la facilidad con que se puede acceder a la información genera un cambio en los roles del docente, que ya no es quien tiene todo el saber de forma incuestionable y el alumno, que deja de ser un simple receptor de conocimiento<sup>1</sup>. El nuevo paradigma del conocimiento es complejo y variable, lo que pone en cuestión la separación entre humanidades y ciencias del sistema educativo actual. Por otra parte frente a los cambios en el mundo laboral producidos por el incremento en la automatización y el uso de tecnologías como la inteligencia artificial se pone de manifiesto la necesidad de estimular otro tipo de pensamiento a la hora de educar, donde se conecten la emoción y la razón<sup>2</sup>. A esta problemática se suma un creciente desinterés por parte de los estudiantes más jóvenes en materias como las ciencias y las matemáticas, debido en parte a la manera en que estas disciplinas son enseñadas<sup>3</sup>.

Las nuevas pedagogías invitan al docente a ser un facilitador de experiencias y al alumno a ser partícipe de su propia educación. En concordancia con estas nuevas corrientes educativas es que se acuñó el término STEAM<sup>4</sup>. La sigla surge de

la integración de Ciencias (*Science*), Tecnología (*Technology*), Ingeniería (*Engineering*), Arte (*Arts*) y Matemáticas (*Math*). El modelo educativo STEAM propone actividades que integran estas disciplinas como una alternativa al método educativo actual en donde estas asignaturas son estudiadas por separado. STEAM es un sistema basado en proyectos, donde se busca estimular habilidades como la creatividad, la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la comunicación, la autonomía, la iniciativa y la colaboración<sup>5</sup>. La integración del pensamiento artístico y las humanidades a la enseñanza de las llamadas “ciencias duras” (STEM) favorece la innovación, es decir la capacidad de crear nuevas soluciones a los problemas existentes. Cuando el docente plantea un desafío que resulta interesante para los alumnos la curiosidad y las ganas de saber se convierten en el motor del aprendizaje [2]. En este modelo educativo cobran importancia herramientas como los kits educativos, el DIY (*do it yourself*, hágalo usted mismo), el *tinkering* (experimentación lúdica y libre con el objetivo de unir un problema con una solución tecnológica), el DIWO (*do it with others*, trabajo colaborativo), el OPEN SOURCE (desarrollos de software y hardware de fuentes abiertas), los laboratorios de fabricación, la impresión 3D, el CNC y el corte láser entre otras. Cuando las metodologías se integran y los estudiantes pueden ver las conexiones, el pensamiento crítico se internaliza profundamente como una manera de resolver problemas<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Mitra S., Kulkarni S., Stanfield J.

<sup>2</sup> Cilleruelo L., Zubiaga A.

<sup>3</sup> Alexopoulos I., Sotiriou S., Smyrnaiou Z., Sotiriou M., Bogner F.

<sup>4</sup> Yakman G., “Exploring the Exemplary STEAM Education in the U.S. as a Practical Educational Framework for Korea”.

<sup>5</sup> Sousa, D.A., Pilecki, T.

<sup>6</sup> Yakman G., “What-Where-How; Lessons Learned in 10 Years of STEAM”.

Partiendo de este marco teórico en el presente trabajo se explica el proceso de desarrollo de un dispositivo que cumple con los requerimientos para ser utilizado en educación STEAM desde temprana edad. La solución planteada permite montar circuitos electrónicos de sonido uniendo bloques que deben ensamblarse siguiendo una secuencia lógica para que el dispositivo funcione, con el objetivo de desarrollar en los usuarios las habilidades mencionadas en los párrafos anteriores.

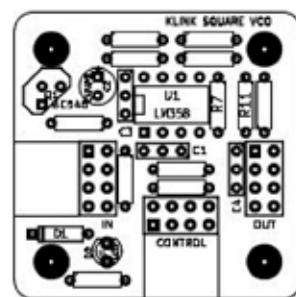
Los bloques pueden conectarse de cualquier forma y cambiarse de lugar. Cada bloque cumple una función distinta y el set puede expandirse con nuevos elementos. El diseño sigue los lineamientos de la filosofía *open source*, es decir que puede verse, estudiarse, compartirse, adaptarse a nuevos usos y replicarse.

## Desarrollo

El primer set de bloques diseñado permite montar un sintetizador para ser utilizado con fines didácticos. Un sintetizador es un instrumento musical que genera ondas de sonido de forma electrónica. Los circuitos involucrados en este desarrollo son: un oscilador controlado por voltaje (VCO), un filtro controlado por voltaje (VCF), un circuito amplificador para auriculares, un potenciómetro funcionando como divisor resistivo y otro divisor resistivo formado por una resistencia y un LDR. Cada bloque involucrado en el armado de este sintetizador corresponde a un bloque de circuito.

Una vez definidos los circuitos se realiza el diseño de los circuitos impresos. Los mismos son de tamaño estandarizado, con un conector de entrada, un conector de salida y un conector de

control. El tamaño de cada placa se decide en función del circuito que contiene.

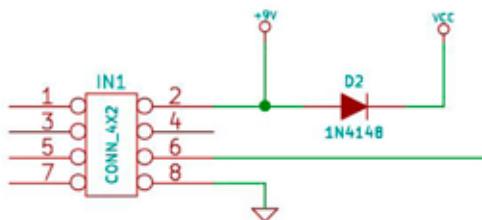


**Figura 1**

### Bloque de circuito de una unidad.

Con el objetivo de crear un diseño modular e intercambiable se establece una dimensión para el bloque unidad. La misma corresponde a un cuadrado de 40 mm x 40 mm. De esta manera los diferentes bloques con sus distintas funciones serán intercambiables entre sí para favorecer el sentido lógico y la experimentación a la hora de montar el circuito final. Actualmente todos los bloques desarrollados tienen un tamaño de un bloque unidad. Se planea diseñar nuevos bloques que dependiendo del circuito que deban alojar podrán ocupar otra cantidad de unidades, siempre respetando las dimensiones establecidas. A su vez el tamaño de cada bloque puede variar dependiendo de cuestiones geométricas y de construcción del circuito. De esta manera por ejemplo un bloque de dos unidades será un rectángulo de 40 mm x 80 mm y un bloque de 4 unidades será de 40 mm x 160 mm.

El sistema se alimenta con una batería de 9V que provee una tensión inofensiva para los usuarios. Para que los diferentes bloques sean intercambiables entre sí la disposición de las diferentes señales en los conectores de entrada, salida y control es siempre la misma, como se indica en la figura 2.



**Figura 2**  
*Topología de los conectores.*

El pin numerado con (2) es el que lleva la alimentación positiva, el pin numerado con (6) lleva la señal de audio o de control y por otro lado el pin numerado con (8) corresponde a la conexión a tierra. Cada módulo posee en su circuito de alimentación un diodo para impedir conexiones con polaridad invertida. Las líneas de alimentación de 9V y GND se encuentran en el mismo lugar en todos los conectores. De esta manera al encadenar nuevos bloques los mismos se encuentran alimentados por la misma fuente.

Al tratarse de un dispositivo que puede ser utilizado por niños se priorizan los elementos la seguridad. El primer bloque de la cadena incorpora un elemento de protección llamado Polyfuse como se observa en la figura 3 que se activa ante un eventual cortocircuito. Al activarse este elemento interrumpe la circulación de corriente por el circuito.



**Figura 3**  
*Polyfuse, elemento de protección contra cortocircuitos.*

Para funcionar como soporte para los circuitos impresos y por otro lado servir como una manera

de indicar de forma gráfica el sentido de las conexiones se diseñan placas de material plástico. Las dimensiones de estas piezas de plástico se establecen acorde al tamaño del circuito impreso que deben alojar. Cada pieza tiene muescas que indican el sentido de circulación de las señales e impiden que se conecten de manera incorrecta. A su vez el color del plástico está relacionado con la función que cumple cada bloque.



**Figura 4**  
*Pieza de plástico para montaje de circuito.*

Los bloques de color azul son módulos de alimentación. En ellos se conecta la batería.

Los bloques de color rojo son los puntos donde se genera o se inyecta señal de audio.

Los bloques de color violeta son procesadores de efecto. En ellos la señal de audio es modificada de acuerdo al tipo de efecto que se utilice.

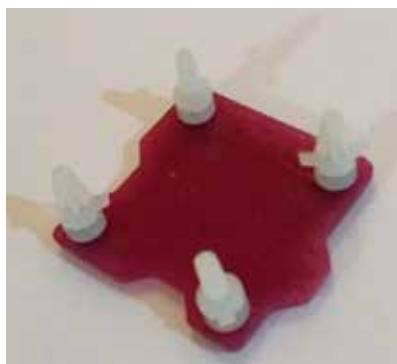
Los bloques de color celeste son los puntos de salida. Allí se pueden conectar parlantes o auriculares para poder escuchar el sonido resultante.

Los bloques de color naranja pueden ser derivaciones o sumadores que permiten a la señal de audio tomar diferentes rutas y volver a unificarse en un punto.

Los bloques amarillos son elementos de control. Puede tratarse de potenciómetros, sensores de

luz basados en LDR (resistencias variables con luz), secuenciadores, osciladores de baja frecuencia, detectores de envolvente o arreglos de divisores resistivos.

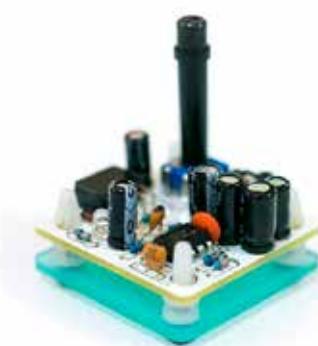
Mediante tornillos y separadores se montan los circuitos sobre las piezas plásticas. Los separadores tienen en uno de sus extremos un sistema de sujeción que permite poder colocar y sacar el circuito impreso sin necesidad de desatornillar. El sentido de este diseño es que los circuitos puedan ser retirados para ser modificados e intervenidos. Se busca promover de esta manera una forma más de experimentación.



**Figura 5**

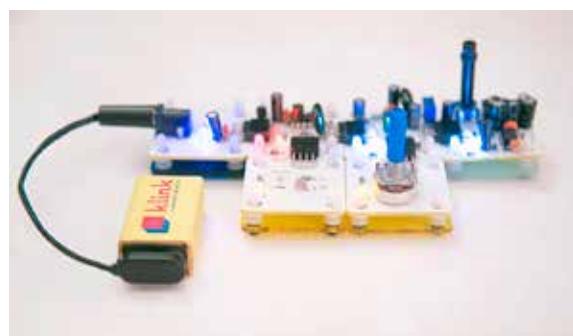
*Pieza de plástico con separadores.*

Los circuitos son desarrollados bajo la modalidad “open source hardware”. Esto quiere decir que los diagramas eléctricos están disponibles para quien quiera verlos, estudiarlos, modificarlos y adaptados a nuevos usos.



**Figura 6**

*Montaje de bloque finalizado*



**Figura 7**

*Montaje de circuito final uniendo todos los bloques.*

## Metodología

Se utilizan diseños abiertos disponibles en la red que son adaptados a las necesidades de esta solución y otros diseños propios que son licenciados de la misma manera como *open source*.

Todos los diseños son realizados utilizando herramientas de software libre: KiCad para el diseño de los circuitos impresos, FreeCad e Inkscape para el diseño de las piezas de plástico. Este software se utiliza en un entorno Linux como sistema operativo. Todas estas herramientas son de libre uso y están disponibles en la web.

## Conclusiones

Frente al cambio de paradigma en la enseñanza de ciencias el dispositivo planteado ofrece una solución que cumple con los requisitos para ser utilizada siguiendo las nuevas corrientes educativas. La inclusión del pensamiento artístico y las humanidades en la enseñanza de ciencias incorpora habilidades necesarias para los tiempos que corren.

El dispositivo diseñado se complementa con una guía de actividades que involucran experiencias de electrónica, acústica, electricidad, óptica, mecánica, tecnología, música, artes, estudios sociales, literatura, medios y otras asignaturas curriculares.

Las actividades buscan integrar estas materias de forma interdisciplinaria con el sonido como hilo conductor y considerando el trabajo en equipo como un objetivo fundamental de las mismas. En este sentido la plataforma de hardware se convierte en un medio más que en un fin en sí misma, siendo el soporte didáctico el complemento que hace que el dispositivo cobre sentido.

Se planea diseñar nuevos bloques a fin de poder estudiar otras temáticas. Al contar con la ventaja de que el sistema es modular y escalable existen múltiples posibilidades de ampliación siguiendo el mismo concepto.

encrucijada arte, ciencia y tecnología”, Jornadas de Psicodidáctica, Universidad del País Vasco, España.

Mitra S., Kulkarni S., Stanfield J. (2016), “Learning at the Edge of Chaos: Self Organizing Systems in Education”, Londres (Inglaterra), Research Gate, Universidad de New Castle.

Sousa, D.A., Pilecki, T. (2013), *From STEM to STEAM: Using Brain-Compatible Strategies to Integrate the Arts*, California, Estados Unidos, Corwin Press.

Yakman G. (2012), “Exploring the Exemplary STEAM Education in the U.S. as a Practical Educational Framework for Korea”, Seúl (Corea), *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, Vol. 32, Nº 6, pp. 1072-1086.

Yakman G. (2016), “What- Where- How; Lessons Learned in 10 Years of STEAM”, Nánníng (China), 2<sup>nd</sup> Annual Meeting of World Maker Education Alliance.

## BIBLIOGRAFÍA

Alexopoulos I., Sotiriou S., Smyrnaiou Z., Sotiriou M., Bogner F. (2016), *Developing an Engaging Science Classroom*, Atenas (Grecia), Universidad de Atenas.

Cilleruelo L., Zubia A. (2014), “Una aproximación a la Educación STEAM. Prácticas educativas en la

# DESARROLLOS MUSICALES NUTRIDOS POR LA INGENIERÍA DE SOFTWARE

*Hernán Ordiales*

*RedPanal.org, Buenos Aires, Argentina (h@ordia.com.ar)*

## Resumen

La incorporación de tecnología en la música es una tendencia que crece constantemente, ya sea reemplazando viejas prácticas o proponiendo otras nuevas. El desarrollo de proyectos que las involucren suele encontrarse con una serie de problemáticas ya estudiadas por otras disciplinas. En el presente trabajo se repasan varias técnicas provenientes de la ingeniería software que pueden ser de utilidad en la construcción de instrumentos o aplicaciones musicales, con el objetivo de agilizar y simplificar su proceso de desarrollo. Se propone un marco de trabajo (*framework*) y se sugiere el uso de diferentes herramientas útiles para trabajos que involucren cualquier tipo de código, software o una performance de *livecoding*, procesos colaborativos, diseño de interfaces, aprovechamiento de datos masivos (Big Data) y redes en general para usos musicales, entre otras aplicaciones. Se abordan las posibles ventajas del desarrollo iterativo e incremental, la importancia del uso de estándares abiertos e interfaces de acceso bien definidas, *Music Information Retrieval*, sistemas distribuidos, *testing* de unidad y de integración, estrategias de documentación, software libre y otros.

## Abstract

The incorporation of technology into music is growing constantly, either replacing old practices or proposing new ones. The development of this kind of projects usually finds a series of problems already solved by other disciplines. In the present work, several techniques of software engineering that can be useful in the construction of instruments or musical applications are presented, with the aim of simplifying their development process. A framework and the use of different tools are proposed for works involving any type of source code. From software building or as part of a live-coding performance. Musical applications mixed with collaborative processes, the design of user interfaces, networks or Big Data usage are suggested. Also, is discussed the advantages of iterative and incremental development, the importance of using open standards and well-defined access interfaces, Music Information Retrieval, distributed systems, unit and integration testing, documentation strategies, free software and others.

## 1. Introducción

En los últimos años se experimentó una proliferación de computadoras y dispositivos electróni-

cos en actividades relacionadas con la música o el audio, en gran parte debido a una baja en los costos, mejoras en el acceso y diversidad: desde *laptops* a celulares, pasando por *tablets*, dispo-

sitivos dedicados y consolas de videojuegos. De igual forma crecieron los lenguajes de programación y *frameworks* que posibilitan usos específicos, desde el procesamiento en tiempo real, a la síntesis, el *live-coding*, la mezcla y *mashing*, etcétera. Este aumento en las posibilidades y facilitación del acceso a una multiplicidad de hardware y software muy diverso y potente, de alguna forma motivo una mayor cantidad de proyectos donde se requiere *programar* en alguna de sus etapas, incluso por personas no entrenadas a fondo en ese arte. Debido a esto, en muchos casos, empezaron a notarse los problemas típicos del desarrollo de software a mediana y gran escala, como el mantenimiento, la documentación, la escalabilidad, los problemas en el diseño interno, la planificación e integración de equipos interdisciplinarios, los errores de ejecución (bugs), los requerimientos no cumplidos y una larga lista de etcéteras. Algunos, hasta pueden motivar la cancelación o el fracaso del proyecto. Esto puede interpretarse como un costo oculto, por ser problemas que suelen pasar inadvertidos o quedar eclipsados por las posibilidades que estas nuevas tecnologías prometen.

Este trabajo busca difundir alguna de las prácticas comunes de la ingeniería de software, que buscan lidiar con o solucionar los problemas comentados, mencionando cómo se pueden aplicar en casos de proyectos que involucren actividades musicales, procesamiento de señales, desde armado de instrumentos físicos a software de síntesis o sistemas dedicados, así como brindar recursos para el *live-coding*, el aprovechamiento

de datos masivos (Big Data) utilizando técnicas de *Music Information Retrieval* (MIR) y cualquier tipo de actividad que involucre el uso de la tecnología en la música.

## 2. Trabajo relacionado

Aunque existe variada bibliografía acerca de los temas relativos a la ingeniería de software tratados en este trabajo, pocos tienen un enfoque que los relacione con el desarrollo de aplicaciones musicales. Por el contrario, sí existen muchos libros centrados en la programación de *plugins*, o procesamiento de señales de audio en diversos lenguajes como C<sup>1</sup>, C++<sup>2</sup>, Matlab<sup>3</sup>, Python<sup>4</sup>, Java, etcétera. Pero normalmente con enfoques limitados a la implementación de algoritmos, generalmente mostrando ejemplos de código, careciendo de una visión más amplia del proceso de desarrollo de software. Algunos trabajos atacan cuestiones necesarias como el de proponer un *framework* para trabajo colaborativo y composición de música algorítmica<sup>5</sup>, pero no tienen una visión global a nivel desarrollo y problemas de implementación del software.

## 3. Propuesta de marco de trabajo

Dado el contexto presentado, y con el propósito de hacer énfasis en que todo el proceso de desarrollo contribuye a la calidad del código fuente, y por lo tanto del producto final, se enumeran una serie de recomendaciones para proyectos musicales que incorporen tecnología y tengan objeti-

<sup>1</sup> Véase F. Richard. Moore (1990); Richard Boulanger y Victor Lazzarini (2010).

<sup>2</sup> Véase W. Pirkle (2012).

<sup>3</sup> Véase Udo. Zolzer (2011).

<sup>4</sup> Véase John Glover, Victor Lazzarini y Joseph Timoney.

<sup>5</sup> Véase Diego Dorado y Venten Music (2016).

vos flexibles, que estén abiertos a cambios, que sean independientes de tecnologías de terceros y que puedan escalar, remarcando que no solo es importante la actividad misma de escribir el código final, como aún menos lo es la cantidad de líneas que se generan (una métrica que aún se suele utilizar para evaluar) sino que las etapas de diseño y planificación, así como las decisiones que se toman antes y durante su ejecución, influyen con igual o mayor impacto.

A continuación se mencionan los puntos en los que se centra este trabajo y que luego se explicarán con mayor detalle. No necesariamente se recomienda tener en cuenta todos, sino saber cuándo hace falta considerar cada uno.

- Definir una visión
- Arquitectura modular
- Multiplataforma
- *Refactoring* permanente
- Desarrollo iterativo e incremental
- Documentar en el mismo código
- Elegir protocolos abiertos
- Diseñar de forma genérica
- Usar y desarrollar herramientas de Software Libre
- Optimización para el final

### 3.1 Visión

En proyectos que no tengan definido un alcance de manera formal, es decir una lista concreta de requerimientos y funcionalidades necesarias, y por el contrario, más bien se trata de un proyecto flexible o experimental, es recomendable por lo menos definir una visión del proyecto. Un objetivo general, que destaque qué es lo importante y a lo que se desea llegar, estableciendo priori-

dades que ayudarán a mantenerse enfocados en el objetivo a medida que se tomen las decisiones durante el proceso de desarrollo, tanto durante el diseño como en sus iteraciones (como se verá más adelante), para cuando surjan problemas o se quiera cambiar algo por alguna razón. Parte de esta visión también puede incluir cuestiones que se explicarán en las secciones subsiguientes, como remarcar si se busca que el software resultante sea multiplataforma, modular u optar por software libre (o no).

### 3.2 Arquitectura modular

Con arquitectura o diseño modular, lo que se busca es dividir el sistema en componentes que sean intercambiables, así como definir claramente como se van a comunicar, por ejemplo por medio de protocolos estándar (OSC, MIDI, HTTP, definición de una API REST, etcétera) para luego tener la opción de intercambiarlos. Es decir, poder decidir qué componente utilizar según el contexto. Pensar el sistema de esta manera permite, entre otras cosas, poder armar algo que tenga un motor de síntesis y que el controlador físico sea intercambiable, o que la base de datos fuente de sonidos sea una que esté ubicada localmente o en la web. En este punto, toca decidir hasta qué punto se quieren distribuir las responsabilidades y que actúe como un sistema distribuido, es decir, que por más que esté formado por varios componentes interconectados, el usuario final lo perciba de forma transparente como uno solo<sup>6</sup>. Para el usuario se trata de un único sistema coherente y tiene oculto dónde se realizan los procesos o dónde se almacena la información (si es en forma local o remota, si corre en una misma computadora o si lo hace en un

<sup>6</sup> Véase Andrew S. Tanenbaum y Maarten van. Steen (2007).

único proceso o múltiples, si existe una arquitectura cliente-servidor o si es un proceso monolítico). Aunque en un principio esto puede parecer una buena idea, hay que encontrar un balance, ya que agregar componentes también incluye sumar complejidad en las conexiones y dificulta lograr un sistema robusto, así como encontrar errores en la ejecución.

### 3.3 Multiplataforma

Si se trata de una aplicación para un usuario final, buscar este objetivo (soportar múltiples plataformas) beneficia, ya que permite llegar a más personas y facilita la accesibilidad porque estas no tienen que cambiar su sistema operativo actual para utilizarla (Windows, Linux, Mac OS) o su hardware en los casos de *tablets* o celulares (iOS, Android). Este punto es especialmente importante en proyectos que apunten a ser colaborativos y/o de código abierto, que pretendan crear comunidades. Por lo menos para aplicaciones *desktop*, hoy en día existen muchos *frameworks* que facilitan esta tarea, tanto para la parte de procesamiento, como base de datos y parte gráfica. Desde las librerías para JAVA o Python, o CLAM<sup>7</sup> para C++, a RtAudio o PortAudio para manejar las interfaces de audio y MIDI.

A nivel móviles, aunque existen opciones como Apache Cordova<sup>8</sup>, aún no existe algo lo suficientemente flexible para aplicaciones multimedia. Otra opción es el *framework open-source* Electron,<sup>9</sup> que con tecnologías web como JavaScript, HTML, y CSS permite desarrollar aplicaciones

de escritorio multiplataforma y se puede reutilizar el mismo código originalmente desarrollado para correr en un *browser*.

### 3.4 Refactoring permanente

Consiste en apuntar a mejorar el código de forma ordenada, haciendo cambios aislados que no agregan funcionalidades nuevas, sino que mejoran las existentes solo cambiando la implementación. El ejemplo típico es modificar una función que devuelve un valor, pero de forma más eficiente. Como complemento se diseñan tests de unidad y de integración con otros módulos, para comprobar la integridad de las funcionalidades luego de cada serie de cambios, tratando de bajar las posibilidades de introducir algún *bug* o que algún código dependiente de este deje de funcionar. Esta técnica es esencial para lo referido en la siguiente sección, donde es posible que en una primera instancia las funcionalidades hayan sido implementadas de forma básica y requieran una actualización. Es una buena idea utilizar la métrica<sup>10</sup> de cobertura o *code coverage*, es decir un número porcentual de la cantidad de funciones que tienen su test correspondiente disponible. Si la misma tiene un alto valor porcentual sugiere una baja probabilidad de encontrar algún *bug* en el código o que alguna funcionalidad esperada no se cumpla.

### 3.5 Desarrollo iterativo e incremental

Esta forma de trabajo proveniente de lo que se denominan *metodologías ágiles*<sup>11</sup> permite adap-

<sup>7</sup> Véase Xavier Amatriain, Pau Arumi y David Garcia, (2006).

<sup>8</sup> Disponible en <https://cordova.apache.org>

<sup>9</sup> Disponible en <https://electron.atom.io>

<sup>10</sup> Véase Cem Kaner y Walter P. Bond (2004).

<sup>11</sup> Véase Alistair Cockburn.

tarse a escenarios cambiantes y de acuerdo a las necesidades del proyecto. Se basa en la idea de avanzar el desarrollo en pequeños incrementos, iterando el proceso cuantas veces sea necesario para obtener la funcionalidad deseada, con la calidad de implementación buscada (ver *refactoring* en sección 3.4). En el caso de un *plugin* de audio, se puede tener desde el principio un prototipo funcional que cumpla con lo básico de extremo a extremo, es decir, que tenga un *input* de control y otro de audio, y un *output* audio, que luego evoluciona de a pequeños pasos, incorporando mejoras en cada iteración. Este enfoque permite adaptarse mejor a los cambios constantes y evita que aparezcan, sobre el final del planeamiento, problemas en cuestiones básicas. Podría pasar que se tenga finalizada la implementación del algoritmo de procesamiento pero se dejó para el final el manejo de la interfaz de audio en tiempo real, y recién entonces se descubren cosas que no se habían tenido en cuenta hasta ese momento, como decisiones de tamaño de *buffer* o, aunque pueda sonar poco creíble, que se estaba procesando muestra a muestra y convenía hacerlo por bloques. También se puede optar por el *Test Driven Development* (TDD) o desarrollo guiado por los tests, que implica escribir los tests de las funcionalidades requeridas antes de cualquier implementación. Esto es lo contrario de lo que tal vez surge intuitivamente o lo que primero suelen hacer los programadores no entrenados. Esta aproximación tal vez es un poco más tediosa, pero asegura tener siempre disponibles los tests. Esta forma de desarrollo generalmente incluye o se complementa con el *release early* (liberar versiones de forma temprana), el *refactoring* permanente, *sprints* (hacer es-

fuerzos conjuntos de corto tiempo para avanzar) y *pair programming* (programación en parejas: uno escribe y el otro mira/sugiere, luego los roles se invierten).

### 3.6 Documentación

Como dice Martin Fowler en uno de sus artículos<sup>12</sup>, considerar al código la primera fuente de documentación puede ser una buena práctica, ya que es la única lo suficientemente precisa y detallada. Esto no quiere decir que no pueda existir otro tipo de documentación accesoria, como manuales o diagramas de clases UML<sup>13</sup> que hagan un recorte del diseño. Esto es algo especialmente valioso en grupos reducidos o de poco presupuesto, donde no se puede asignar a una persona o un grupo la única tarea de documentar, además de que para que realizarla es necesario conocer con cierto detalle el funcionamiento. Otro problema es que la misma queda fácilmente desactualizada, aún más cuando se trata de proyectos que evolucionan de forma iterativa e incremental.

Para llenar este *gap* existen herramientas que *parsean* el código fuente y generan documentación legible, por ejemplo en formato html o pdf, o incluso diagramas UML, aunque de esta forma se pierde un poco la verdadera intención de los mismos porque lo hacen de forma exhaustiva y detallada. La excepción tal vez esté en los protocolos o API's de acceso, que requieren una documentación detallada y actualizada, aunque algunos *frameworks* permiten incluirla de forma cómoda en el código.

<sup>12</sup> Véase Martin Fowler.

<sup>13</sup> Véase Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson y John Vlissides (1995).

### 3.7 Elegir protocolos abiertos

Al elegir protocolos abiertos utilizados por la industria como MIDI, o el OSC, inserto en la mayoría del *software multimedia open-source*, se abre la posibilidad a interconectar con otras aplicaciones preexistentes fácilmente. Lo mismo corre para protocolos no orientados a la música, como protocolos de red o comunicación vía el diseño de API's REST que tienen amplio uso en la actualidad, sobre todo en tecnologías web. Otra ventaja reside en que de esta forma es más fácil incorporar nuevos desarrolladores, ya que probablemente los conozcan de otros proyectos y no es necesario capacitarlos al respecto.

### 3.8 Diseñar de forma genérica

Implementación no es arquitectura y es importante no confundir los conceptos. Es conveniente diseñar a nivel módulos y no nombrando herramientas, softwares específicos, frameworks, lenguajes o sistemas operativos. Al hecho de no encerrarse o restringirse a ninguna tecnología en particular, Abbott lo denomina *diseño agnóstico*<sup>14</sup>. Entonces, lo importante pasa por definir las especificaciones y los requerimientos necesarios, cómo trabaja o cómo se comunica cada parte del sistema. Esto permite entre otras cosas, escalar mejor y no quedar cautivos de una tecnología en particular (por ejemplo, depender de un *framework* que no se actualiza o algún componente de la arquitectura pago). A la larga, ayuda a bajar costos y ser más competitivo.

### 3.9 Usar y desarrollar herramientas Software Libre

Este punto tiene varias aristas; en este trabajo

solo se mencionará que este tipo de elecciones facilitan los trabajos colaborativos y multiplataforma, haciendo más fácil recibir colaboraciones externas y por supuesto bajar costos de acceso. Por ejemplo, para *frameworks* de desarrollo de *plugins*, IDE's (entornos de desarrollo), etcétera, así como se puede recurrir a las comunidades de cada librería o software para recibir consejo sobre problemas o *bugs*.

### 3.10 Optimización

Como dice la famosa frase de Donald Knuth, “*Premature optimization is the root of all evil*”<sup>15</sup> (“La optimización prematura es la raíz de todos los males”): tratar de lograr pequeñas eficiencias agregando complejidad y sin evaluar el impacto real es probable que nos traiga más dolores de cabeza que beneficios. Lo ideal es primero cumplir los requerimientos funcionales y dejar la tarea de optimización para el final o para una etapa definida en la que se haga solo focalizándose en mantener la funcionalidad (vía un *refactoring*, ver sección 3.4), pero aumentando la eficiencia. Esto puede implicar desde reemplazar la implementación por otro algoritmo de menor orden de complejidad, a implementar un determinado método en *assembly* aprovechando las características de un *hardware* específico (por ejemplo gráfico) o a refactorizar el diseño, pero siempre verificando que esa mejora sea significativa y aporte valor real a la aplicación, sin impactar demasiado en otras variables, como podría ser el mantenimiento. Podría darse el caso de que la mejora agregara una complejidad excesiva y la ventaja conseguida fuese mínima; un tiempo después, en una etapa de mantenimiento (y,

<sup>14</sup> Véase Martin L. Abbott y Michael T. Fisher (2009).

<sup>15</sup> Véase Donald E. Knuth y Donald E. (1974).

por ejemplo, con un cambio de programador), se introdujera un bug debido a esa complejidad, por lo cual se podría llegar a decidir o preferir mantener la implementación más simple, menos eficiente a nivel ejecución pero más conveniente por otras razones.

#### **4. Consideraciones generales**

La elección del lenguaje puede depender de muchas razones, desde la capacitación de los que vayan a programar o los requerimientos de velocidad de ejecución, hasta la disponibilidad en la plataforma. En este trabajo solo se mencionará que generalmente los lenguajes interpretados suelen adaptarse mejor a desarrollos experimentales, permitiendo prototipos funcionales que luego, de ser necesario, pueden pasar a producción.

Otro tema importante consiste en saber si conviene utilizar un *framework* o no. Aunque al leer las especificaciones sobre lo que ofrecen puede ser tentador elegirlos sin dudar, hay que tener en cuenta que aprender a usarlos tiene una curva de aprendizaje que no siempre es baja. Es decir, para poder utilizarlos hay que seguir una gran cantidad de indicaciones y adaptarse a hacer las cosas de la forma que proponen. Esto puede ser una desventaja si se quiere extender la funcionalidad haciendo algo que el *framework* no permite por defecto, ya que la complejidad para modificarlo aumenta de manera drástica. En general, si la tarea se va a realizar una sola vez, no conviene usarlos (por lo menos aquellos que agregan mucha abstracción); en cambio, si es una tarea que se va a repetir en el mismo o diferentes proyec-

tos, como por ejemplo crear interfaces gráficas, desarrollar *plugins* (muchas instancias diferentes), generar servicios o API's, sí conviene, porque una vez que se aprenden a usar, el desarrollo es mucho más rápido y con menos errores.

Aunque se recomienda usar diagramas para mostrar ideas o documentar, por ejemplo los ya populares diagramas UML<sup>16</sup>, hay que saber usarlos: que solo contengan lo que se quiere mostrar y que no abunden en detalles innecesarios (ver sección 3.6 sobre documentación).

Siempre que se pueda, conviene programar por interfaces. Clases abstractas sin atributos que no se instancian y que definen los servicios que brindan, pero no su implementación. Separan por ejemplo la API de la implementación y facilitan el citado *refactoring*.

El uso de repositorios de código, que permiten el manejo de versiones y el control de cambios de forma centralizada y distribuida, son habituales hoy en día en todos los proyectos de software (y esenciales en todo proyecto colaborativo). Y bien se pueden utilizar en cualquier proyecto que utilice archivos de texto plano, como scripts para SuperCollider<sup>17</sup>, partituras en modo texto, CSound<sup>18</sup>, etcétera. Se recomienda la herramienta *git*, y manejar *branchs*, *diffs* (archivo de diferencias) así como saber como aplicar *patches* (una colección de cambios en el código que se comparten con la intención de aplicarlos en el repositorio). Tener a una sola persona responsable que se encargue de integrar (o aprobar) colaboraciones externas suele ser la forma conveniente de administrar proyectos medianos y grandes.

<sup>16</sup> Véase Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson y John Vlissides, *ob. cit.*

<sup>17</sup> Véase James McCartney (1996).

<sup>18</sup> Véase Richard Charles Boulanger (2000).

## 5. Aplicaciones en *Big Data*

Gracias a las diversas técnicas que integran los ítems de la sección 3, se pueden construir instrumentos que aprovechen los sonidos que actualmente están disponibles en la nube (Internet). Más aún, muchos de ellos se encuentran compartidos con licencias libres como *Creative Commons*<sup>19</sup>, que permite su reutilización, remix, y hasta su uso en proyectos comerciales (hay diferentes licencias que contemplan estas opciones). Para dar un contexto de la cantidad de material *online* por explotar, se puede observar que recientemente se alcanzó la marca de un billón<sup>20</sup> de trabajos licenciados como *Creative Commons*<sup>21</sup> de todo tipo, y esto es una tendencia que continua en alza. Una gran parte de ellos incluye audio como contenido: efectos de sonido, grabaciones de voz, muestras y piezas musicales completas *hosteadas* en plataformas *online* como Freesound, Jamendo, Redpanal, cc-Mixer, etcétera. También existen iniciativas como Europeana, que recopilan contenido de bibliotecas nacionales e instituciones y las disponibilizan al público en general<sup>22</sup>.

Valiéndose de técnicas MIR que permiten obtener metadata del audio, calculando valores que lo describan de alguna forma de interés, se puede caracterizar toda una base de datos o colección de sonidos. Estos descriptores o *features* permiten definir las características deseadas de un sonido, haciendo que el usuario o compositor piense en términos de descriptores MIR, ampliando así el lenguaje y las posibilidades. Integrándolos con el citado contexto de contenidos disponibles

en la web, se puede pensar en instrumentos o en buscadores web o *desktop*, que sean capaces de realizar búsquedas más inteligentes que por palabras o *tags* (etiquetas). Esto abre la posibilidades, dado que, dependiendo del texto de búsqueda, las chances de encontrarlo quedan subordinadas a lo que la persona que los compartió puso en su momento, o a las sesiones de escucha y etiquetando que se suelen realizar sobre este tipo de bases de datos.

Entre los descriptores más comúnmente usados y que pueden ser útiles para realizar este tipo de búsquedas con fines musicales se encuentran: BPM (*beats* por minuto o *tempo*) *spectral centroid* (centro de gravedad del espectro), duración del archivo, contenido en alta o baja frecuencia, *key* (clave musical), *onsets* (la ubicación temporal de los comienzos de eventos musicales), cantidad de disonancia armónica y *spectral complexity* (índice de complejidad del espectro)<sup>23</sup>. La lista de descriptores posibles es amplia y no está limitada, ya que cualquier parámetro de interés plausible de ser calculado sirve como tal. Muchas veces puede ser necesario trabajar con más de un valor por archivo, para poder tener una mayor granularidad y conocimiento sobre la evolución temporal del sonido dentro de la muestra o *sample*. Excepto para descriptores como el BPM o el *key*, donde tiene sentido que sean valores únicos, se calcula un vector de valores, el cual se obtiene dividiendo el archivo en *frames* (cuadros) de igual longitud. Típicamente se segmenta en *frames* de 512 muestras y se calculan los descriptores para cada uno de ellos, generando así el

<sup>19</sup> Véase Terry Flew (2005),

<sup>20</sup> Véase Ryan Merkley (2015).

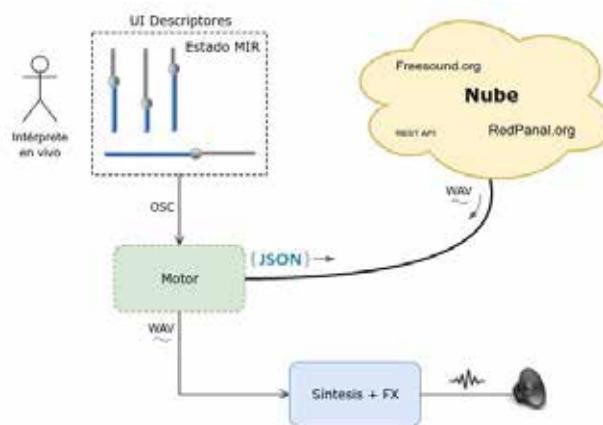
<sup>21</sup> Véase Terry Flew, *ob. cit.*

<sup>22</sup> Véase Frederic Font, T. Brookes, G. Fazekas, M. Guerber, A. La Burthe, D. Plans, M. Plumbe, M. Shaashua, W. Wang y Xavier Serra (2016).

<sup>23</sup> Véase Alexander Lerch (2012).

mencionado vector. Luego, de necesitar un único valor general, se trabaja con valores estadísticos calculados sobre estos, como ser (y dependiendo de la necesidad) la media, la varianza, mínimo, máximo y otros.

En la **Figura 1** se plantea un posible esquema en el que, por medio de una interfaz gráfica (posiblemente manejada por controladores externos) se eligen valores para los descriptores de interés; luego, un motor que recibe estos parámetros vía mensajes OSC realiza la búsqueda en la Nube, descarga el archivo y lo convierte de ser necesario a formato WAV, para luego enviarlo como parámetro al motor de síntesis. Este módulo aplica efectos de procesamiento en tiempo real comúnmente usados como *freeze*, *reverb*, *delay* o cualquier otra técnica de síntesis, como la granular. Los parámetros de la síntesis también se pueden controlar en tiempo real de forma externa, haciendo todo el sistema apto para una performance en vivo.



**Figura 1**

*Instrumento basado en la Nube.*

Por ejemplo, una búsqueda podría consistir en definir un valor promedio de *spectral complexity* menor a 0.02, un contenido de alta frecuencia igual a 0.7 y una duración entre 100ms y 2 se-

gundos. En la **Figura 2** se muestra el prototipo de una interfaz para controlar los valores de los descriptores MIR. Cuando se presiona el botón de la derecha, se envían los mensajes OSC con el valor de cada *widget* en estado activado. Es decir, si BPM está en modo ON con valor 110 y el valor medio del *Spectral Centroid*, también en ON, es 3500Hz y duración (en ON) es igual a 3.5 segundos, se envían esos tres mensajes. Con esa información, el *engine* o motor se ocupa de hacer una búsqueda en la base de datos configurada de uno o más audios, que cumplan con esos tres parámetros. Por defecto, la duración se toma como “menor igual”; es decir, si el valor es “3.5” buscará cualquier sonido de la base de datos cuya duración esté dentro del rango 0 y 3.5 segundos. Las condiciones activadas son de “AND”, lo que significa que se deben cumplir todas.



**Figura 2**  
*UI para recuperar muestras o samples.*

## 6. Resultados

Estas técnicas fueron utilizadas por el autor en diferentes proyectos de Software Libre<sup>24</sup>, así como en productos en el ámbito privado, sobre todo involucrando procesamiento en tiempo real, sensores y sistemas embebidos con GNU+Linux.

<sup>24</sup> Véase Hernán Ordiales (2010); Xavier Amatriain, Pau Arumi y David Garcia, *ob. cit.*

Pero fue durante el desarrollo del proyecto de Software Libre APICultor<sup>25</sup> donde se pusieron en práctica todas ellas.

### **Visión:**

Desde el principio se tuvo claro que se buscaban formas de aprovechar sonidos libres de la web, en particular los de la plataforma RedPanal.org que solo almacena contenidos con licencias Creative Commons, excediendo las aplicaciones típicas, como que cada usuario suba diferentes pistas de una canción tratando de, por ejemplo, aprovechar esos nuevos sonidos y transformarlos para utilizarlos en performances en vivo.

### **Módular:**

Diseño con diferentes módulos separados e interconectados (ver **Figura 1**). Para ello se definen protocolos de comunicación e internamente las clases se trabajan usando *interfaces* genéricas para permitir cambiar fácilmente la implementación que se quiere utilizar por medio de un archivo de configuración en texto plano; por ejemplo, elegir la base de datos de consulta. Para soportar una nueva web que comparta sonidos con una API diferente, solo es necesario implementar cada una de las llamadas de la mencionada interfaz, a modo de *wrapper* o envoltorio de la misma. Como se mencionó, esta técnica permite que el cambio se mantenga transparente para el resto de los componentes.

### **Multiplataforma:**

Construido con Python, incluye preprocesamiento de sonido usando ffpmeg, MIR análisis con las librerías Essentia<sup>26</sup> y LibRosa<sup>27</sup>, todas ellas herramientas multiplataforma, así como el motor de síntesis SuperCollider<sup>28</sup> y el módulo Pyo<sup>29</sup> para Python, para procesos en tiempo real.

### **Refactoring permanentemente y desarrollo iterativo e incremental:**

Arrancó como un *script*, luego fue una librería y ahora esta reorganizándose como un *framework*. Muchas de las funcionalidades fueron evolucionando desde lo básico (recuperar un sonido de Internet y reproducirlo) hasta lo más complejo, como definir un estado MIR que abarque muchos descriptores, recuperando el sonido, segmentándolo y enviándolo al proceso de síntesis. Todos los avances fueron incrementales y sumando pequeñas cosas en cada interacción. Lo mismo en cuanto al diseño interno, que se fue dividiendo en más clases y reorganizando el módulo a medida que avanzaba el proyecto. Para las pruebas se utilizaron en un principio una base de datos local *mockeada*, y luego sonidos obtenidos de una web externa como Freesound.org, que cuenta con una amplia y diversa base de datos, además de una API muy completa y bien documentada.

### **Documentación:**

La mayoría se realizó dentro del código, tanto en cada método de las clases como en los *scripts* de

<sup>25</sup> Otra aproximación de Big Data a las colecciones sonoras. Disponible en <https://github.com/sonidosmutantes/apicultor>

<sup>26</sup> Véase D Bogdanov, Nicolas Wack, Emilia Gómez, Sankalp Gulati, P Herrera, O Mayor, G Roma, J Salamon, J Zapata, and Xavier Serra (2013).

<sup>27</sup> Véase Brian Mcfee, Colin Raffel, Dawen Liang, Daniel P W Ellis, Matt Mcvicar, Eric Battenberg y Oriol Nieto (2015).

<sup>28</sup> Véase James McCartney, *ob. cit.*

<sup>29</sup> Véase Olivier Belanger and Olivier (2016).

ejecución en el código y, también, del servicio web con API REST, que comunica con una base de datos propia. En este caso la documentación se autogenera para su consulta como html. La única documentación fuera del código fueron los README para el usuario final con instrucciones de uso e instalación.

### **Protocolos standard:**

Para la parte de control se utilizaron indistintamente controladores MIDI, computadoras, tabletas y celulares enviando mensajes OSC (**Figura 2**) dentro de una red local especialmente implementada para el instrumento. La API REST diseñada para la consulta de la base de datos local, cumple con las recomendaciones para definir las operaciones, las nomenclaturas de los *paths* de acceso y el uso de los métodos http GET/POST.

### **Diseñar de forma genérica:**

Tanto en la documentación como en los diagramas se buscó describir los módulos de acuerdo a su funcionalidad y responsabilidades, así como las entradas y salidas, y quién se comunica con quién, más allá de hablar del protocolos de comunicación o del software utilizado. Dando sugerencias de implementación, pero brindando más de una opción, como para que quede claro que no hay dependencia. En este aspecto, tal vez sea necesario redactar un documento aparte, libre de toda mención que tenga que ver con un nombre propio de software, protocolo o sistema operativo.

### **Software Libre:**

APICultor actualmente se encuentra liberado como Software Libre y está abierto a colabora-

dores externos; de hecho ya cuenta con más de uno, que han enviado *patches* y sugerencias. Y como se mencionó, todas las librerías que utiliza están liberadas con el mismo tipo de licencia.

### **Optimización:**

Por ser un proyecto aún en sus primeras etapas de desarrollo y que se encuentra cerca de liberar su primer versión, aún no se han planificado ni realizado optimizaciones significativas. Pero tampoco se han encontrado cuellos de botella importantes, es decir, partes de la ejecución donde el proceso se demore por demás.

## **7. Conclusiones**

Aunque algunas de las técnicas mencionadas requieren de cierta capacitación y práctica para utilizarlas de forma correcta, no son complejas y están al alcance de cualquiera que cuente con conocimientos básicos de programación. El primer paso es dejar atrás viejos preconceptos sobre la programación que solo le dan importancia a saber escribir algoritmos eficientes. Y el desarrollo de soluciones de software es mucho más que eso.

Entre las ventajas de adoptar un enfoque de ingeniería de software se pueden encontrar facilidades para manejar complejidad y ejecutar proyectos grandes de forma iterativa e incremental, adaptándose a requerimientos y cambios de forma eficaz. Sin estas técnicas de trabajo, muchos proyectos de bajo presupuesto y/o tiempo serían irrealisables, o lograrían menos calidad final u objetivos esperados al inicio. Esto hace pensar que manejar bien lo citado puede ser una puerta para encarar proyectos más ambiciosos. Elegir las herramientas adecuadas también puede ser

un factor determinante. Este trabajo es solo un breve resumen de algunas técnicas, pero el tema es mucho más amplio y complejo<sup>30</sup>.

Para finalizar, en el contexto actual de diversidad tecnológica, para llevar a cabo desarrollos musicales ambiciosos que involucren tecnología y/o software de algún tipo, se requiere de equipos interdisciplinarios donde distintos participantes dominen diferentes aspectos técnicos y teóricos. Una buena combinación de artistas, científicos e ingenieros (al menos alguien con la visión de cada uno) pareciera ser lo ideal para lograr los mejores resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

F. Richard. Moore (1990), *Elements of Computer Music*, EE.UU.: Prentice-Hall, Inc.

Richard Boulanger y Victor Lazzarini (2010), *The Audio Programming Book*, The MIT Press.

W. Pirkle (2012), *Designing Audio Effect Plug-Ins in C++: With Digital Audio Signal Processing Theory*, Taylor & Francis.

Udo. Zolzer (2011), *DAFX: Digital Audio Effects*, Wiley.

John Glover, Victor Lazzarini y Joseph Timoney, *Python For Audio Signal Processing*.

Diego Dorado y Venten Music (2016), *Openensemble: A Framework for Collaborative Algorithmic Music*.

Andrew S. Tanenbaum y Maarten van. Steen (2007), *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, Pearson Prentice Hall.

Xavier Amatriain, Pau Arumi y David Garcia, (2006), “CLAM”, en *Proceedings of the 14th annual ACM International Conference on Multimedia-MULTIMEDIA '06*, New York: ACM Press, p. 951.

Cem Kaner, Cem Kaner, Senior Member y Walter P. Bond (2004), “Software Engineering Metrics: What Do They Measure and How Do We Know?”, en *METRICS 2004*, IEEE CS.

Alistair Cockburn, *Agile Software Development* (2002), Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Martin Fowler, “CodeAsDocumentation”.

Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson y John Vlissides (1995), *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley.

Martin L. Abbott y Michael T. Fisher (2009), *The Art of Scalability: Scalable Web Architecture, Processes, and Organizations for the Modern Enterprise*, Addison-Wesley Professional (1<sup>a</sup> edición).

Donald E. Knuth and Donald E. (1974), “Computer programming as an art”, en *Communications of the ACM*, vol. 17, N° 12, pp. 667–673.

James McCartney (1996), “SuperCollider: A New Real Time Synthesis Language”, en *Proceedings of the 1996 International Computer Music Conference*, pp. 257–258.

Richard Charles Boulanger (2000), *The Csound Book: Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming*, MIT Press.

Terry Flew (2005), “Creative Commons and the Creative Industries”, en *Media and Arts Law Review*, vol. 10, N° 4, pp. 257-264.

Ryan Merkley (2015), “State of the Commons 2015”, *Creative Commons Newsletter*.

Frederic Font, T. Brookes, G. Fazekas, M. Guerber, A. La Burthe, D. Plans, M. Plumbey, M. Shaashua, W. Wang y Xavier Serra (2016), “Audio Commons: Bringing Creative Commons Audio Content to the Creative Industries”, en *61<sup>st</sup> AES Conference on Audio for Games*.

<sup>30</sup>Véase N. Paez, D. Fontdevila, P. Suárez, C. Fontela, M. Degiovannini y A. Molinari (2014); Karl Fogel (2005).

Alexander Lerch (2012), *An Introduction to Audio Content Analysis: Applications in Signal Processing and Music Informatics.*

Hernán Ordiales (2010), “Ap-gen: framework generador de esqueletos de plugins de audio a partir de abstracciones y templates”, en *2do Congreso Internacional de Acústica UNTREF*, pp. 1–10.

D Bogdanov, Nicolás Wack, Emilia Gómez, Sankalp Guñati, P Herrera, O Mayor, G Roma, J Salamon, J Zapata y Xavier Serra (2013), “ESSENTIA: An Audio Analysis Library for Music Information Retrieval”, en *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*, pp. 493-498.

Brian Mcfee, Colin Raffel, Dawen Liang, Daniel P W Ellis, Matt Mcvicar, Eric Battenberg y Oriol Nieto, “librosa: Audio and Music Signal Analysis in Python”, en *PROC. OF THE 14th PYTHON IN SCIENCE CONF*, 2015.

Olivier Belanger and Olivier (2016), “Pyo, the Python DSP toolbox”, en *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference-MM '16*, New York: ACM Press, pp. 1214–1217.

N. Paez, D. Fontdevila, P. Suárez, C. Fontela, M. De-giovannini y A. Molinari (2014), *Construcción de software: una mirada ágil*, Buenos Aires: EDUNTREF.

Karl Fogel (2005), *Producing Open Source Software: How to Run a Successful Free Software Project*, O'Reilly Media (1<sup>a</sup> edición).

# ¿CÓMO CALCULAN EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN LOS SOFTWARES COMERCIALES?

**Bori, Guillermo - Guevara, Manuel - Puga laje, Emanuel - Muiños, Fernando**

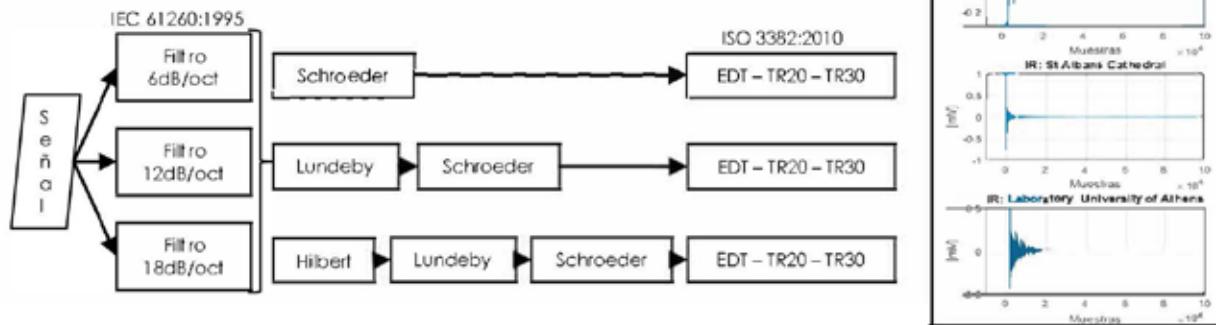
## Introducción

Existen distintos métodos y estudios previos para calcular el tiempo de reverberación de un recinto, sin embargo, la mayoría de los software comerciales no explican en detalle los procesos que utilizan para obtener sus resultados.

El presente trabajo, realizo un código en Matlab capaz de obtener resultados de TR20, TR30 y EDT por banda de octava mediante diferentes procesos aplicados a la respuesta al impulso inicial

### Proceso

- Suavizado la señal / **Transformada de Hilbert**
- Corrección del ruido de fondo / **Método Lundeby**
- Aproximación de la señal / **Integral inversa de Schroeder**

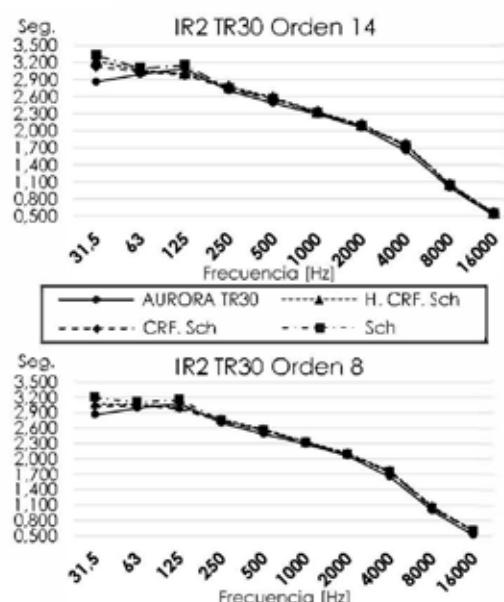


## Resultados

Utilizando únicamente Schroeder, los resultados en bajas frecuencias presentan mayor dispersión. El uso del suavizado por la transformada de Hilbert en la señal no presenta grandes variaciones.

Resultados	Frecuencia [Hz]			
	63	1000	8000	
Schroeder	EDT	6,090	2,130	1,070
	TR20	4,985	2,239	1,195
CRF y Schroeder	TR30	11,275	2,236	1,226
	EDT	2,449	2,130	1,070
Hilbert, CRF, Schroeder	TR20	3,282	2,239	1,195
	TR30	3,183	2,236	1,225
AURORA	EDT	2,572	2,159	1,099
	TR20	3,323	2,240	1,198
	TR30	3,164	2,235	1,228
	EDT	3,127	2,151	1,016
	TR20	3,224	2,245	1,122
	TR30	5,081	2,235	1,146

Tabla: Comparación IR1 orden 8



## Conclusiones

- Se logró realizar un código capaz de modificar una IR en tres procesos distintos obteniendo los resultados pertinentes.
- Se comprobó que el software comercial Aurora realiza correcciones de ruido de fondo. Se discute si la misma es mediante la teoría de Lundeby.
- Al modificar el orden el filtro, se observan diferencias en bajas y altas frecuencias. Estas variaciones son insignificantes.
- La mejor aproximación obtenida respecto al software Aurora, corresponde al uso de Schroeder luego de realizar una corrección por ruido de fondo (Lundebey).

## Acústica arquitectónica y materiales acústicos

---

# INFLUENCIA DE LA ACÚSTICA URBANA EN EL DISEÑO DE EDIFICIOS EN ALTURA EN LA ZONA CENTRAL DE SAN MIGUEL DE TUCUMÁN

## **PROYECTO CIUNT 26/B572**

**DIRECTOR:**

**Esp. Arq. José Luis P. Guijarro**

**INTEGRANTES:**

**Esp Arq. Luis M. De Innocentiis**  
**Arq. Carolina Segura**  
**Esp. Arq. María Agustina Galindo**  
**Esp. Arq. Mariela Ramos**  
**Arq. Cesar Corbella**

**Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II**  
**Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán**

## **ANTECEDENTES:**

El actual Proyecto de Investigación es continuación del Proyecto CIUNT 26/B511 en el cual se realizó un Diagnóstico de situación edilicia del casco antiguo de la ciudad de San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

En base a un relevamiento general del área de 252 manzanas, se confeccionó una base de datos de la situación del parque edilicio en altura de la ciudad de San Miguel de Tucumán.

Características generales relevadas: Función, Alturas, Tipología, Protecciones y Aberturas en fachadas.

También se relevaron edificios públicos, escuelas, comercios y demás funciones como así también recorridos de líneas de transporte público y todo tipo de fuente de ruido molesto.

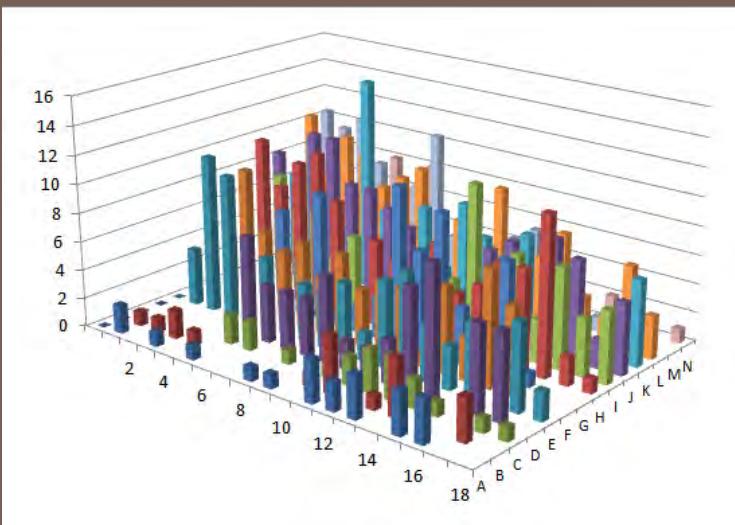
# OBJETIVOS GENERALES

- Estudiar el comportamiento acústico de la zona en estudio a nivel urbano y de edificios en altura correspondiente al sector.
- Estudio de métodos de cálculo que permiten analizar el diseño de edificios acústicamente bien acondicionados.
- Elaborar indicadores para definir el estado de situación y bases de actualización y/o generación de normativas (Ordenanzas) para el casco antiguo que permitan el control acústico.
- Incorporar este tópico en los currículos de la enseñanza profesional y técnica de la carrera de arquitectura.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

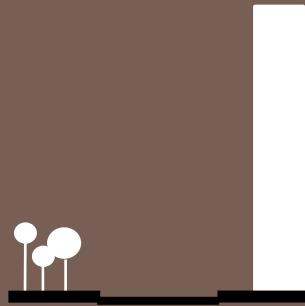
- Establecer las condiciones acústicas requeridas por edificios para ser considerados aptos para sus funciones específicas.
- Evaluar el comportamiento acústico de la zona central de San Miguel de Tucumán con relación al perfil edilicio y de los edificios en altura, considerando características constructivas y de diseño representativo del parque edilicio y la normativa de planificación urbana vigente.
- Generar instrumentos de mediciones de tipo subjetivo que indaguen sobre el diagnóstico del usuario promedio, respecto al ambiente acústico que lo rodea; contemplando cuestionamiento que se refieran a aspectos psicológicos, fisiológicos y físicos del usuario y del ambiente en que se encuentra.
- Aplicar modelos informáticos aplicables a la evaluación acústica edilicia a ser aplicadas, en especial, para la zona en estudio y tipologías edilicias..

# DENSIDAD EDILICIA Y DETERMINACION DE ZONA DE MEDICIONES

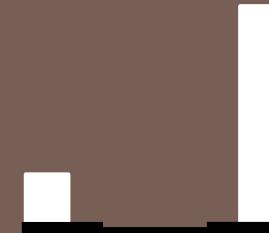


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	XX													
1	2	1			4	4			9	7	11	11	8	
2		1			11	9	6	11	8	7	10	7	10	
3	1	2			10	10	5	8	6	11	6	10	11	6
4		1			4	6	7	10	6	11	4	9	8	8
5	1		2	7	5	5	4	11	3	8	15	7	7	6
6			2	4	2	6	9	8	5	8	6	8	7	8
7					4	4	4	1		7	5	9	11	3
8	1			1	4	4	6	2	6	2	6	7	6	4
9	1				6	5	4	3	5	3	3	6	5	2
10			1	1	2	2	5	11	4	4	3	8	3	4
11	3	4	2	2		6	5	7	7	4		6	9	5
12	2		3	3		7	1	10	4	11	6	5	1	6
13	3	1	3	7		4	6	4	5	3	7	7	5	6
14		4	2	9	3	3	1	7	7		6	7	4	
15	3		1		5	8	8	7	3	8	4	3	1	2
16	3				6		6	1	11	7	7	2	1	1
17		3	1	6	6				2	4	2	2	6	
18					1	2			1	5	5	6	3	1

# PERFILES EDILICIOS A NIVEL URBANO



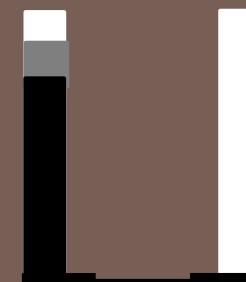
**1 - Edificio frente a  
Espacio verde**



**2 - Edificio frente a  
Construcción baja**



**3 - Edificio frente a  
Edificio en altura**



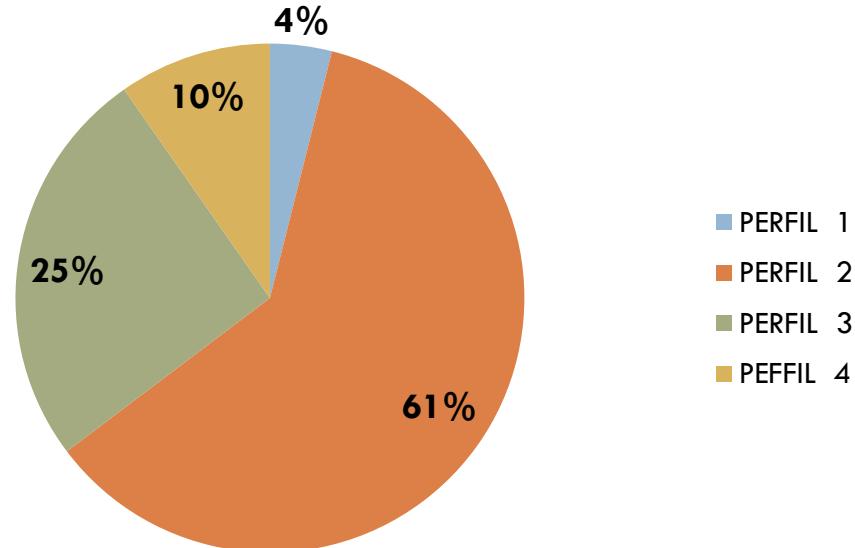
**4 - Edificio frente a  
Edificios en altura**

# PERFILES EDILICIOS A NIVEL URBANO

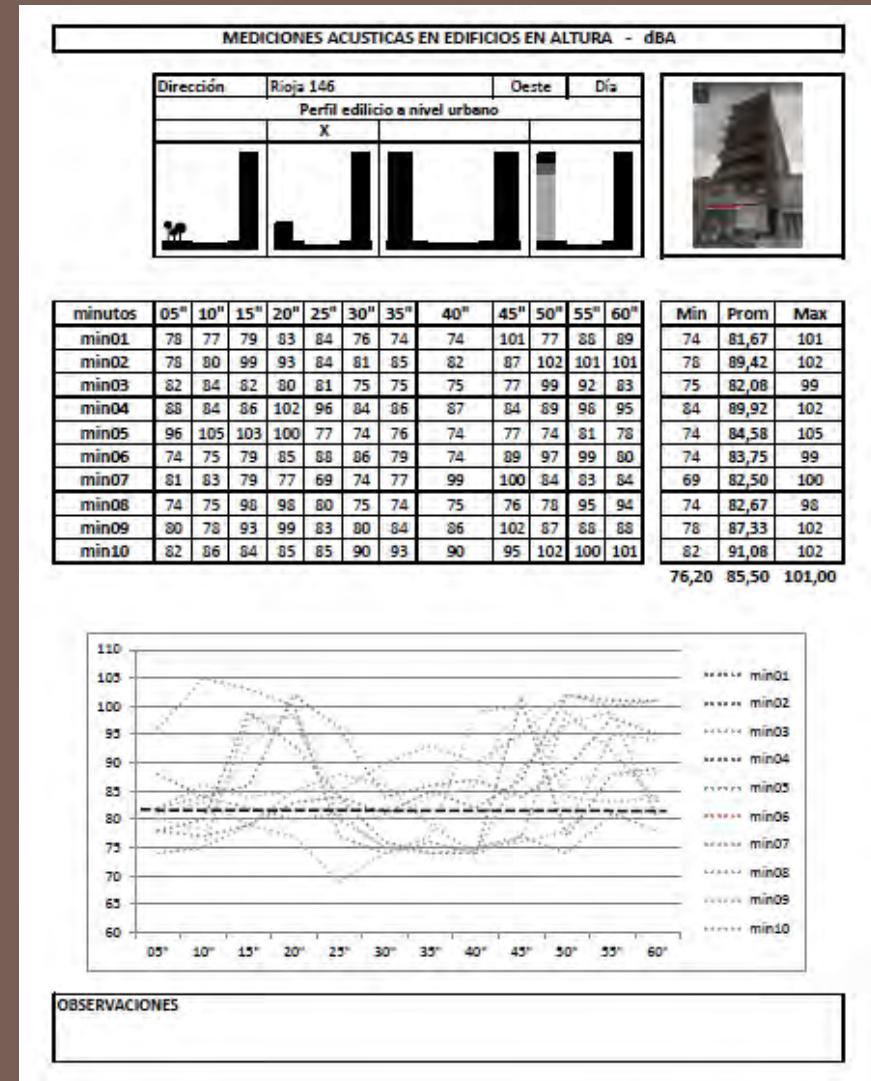
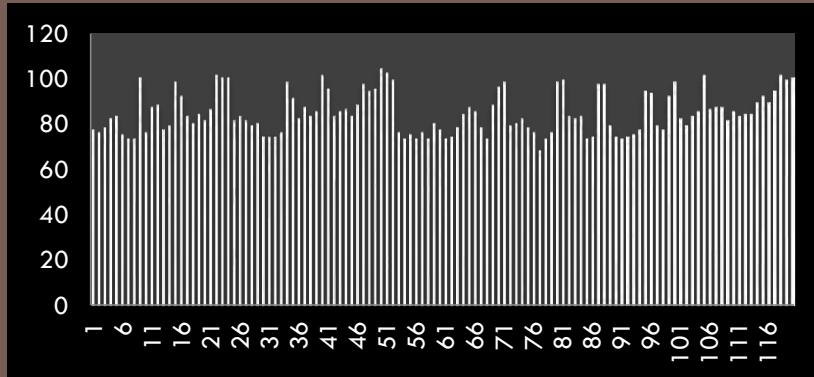
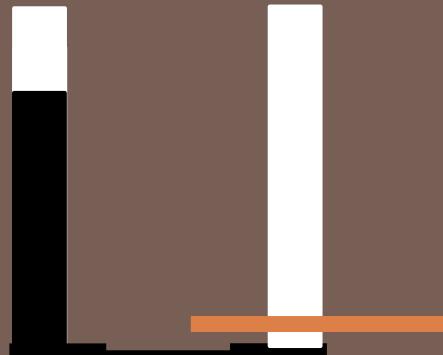
TIPOLOGIAS EDILICIAS	
PERFIL 1	42
PERFIL 2	651
PERFIL 3	274
PEFFIL 4	104



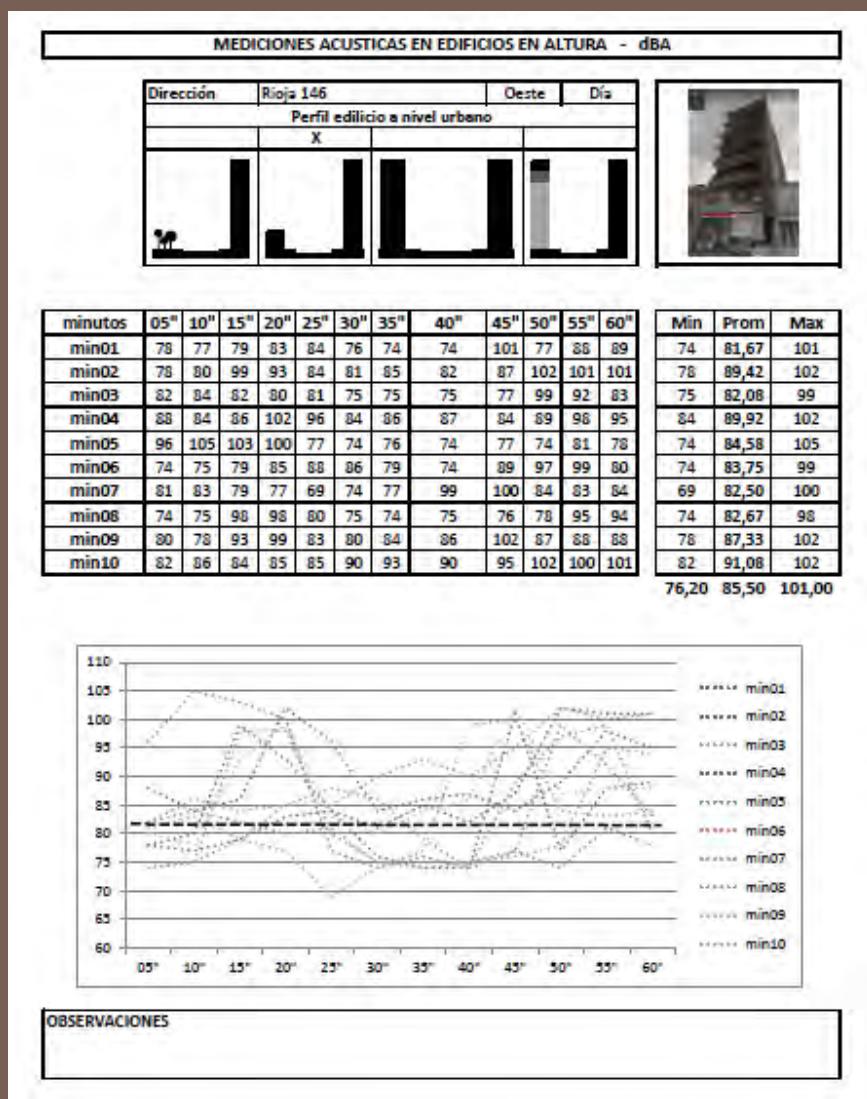
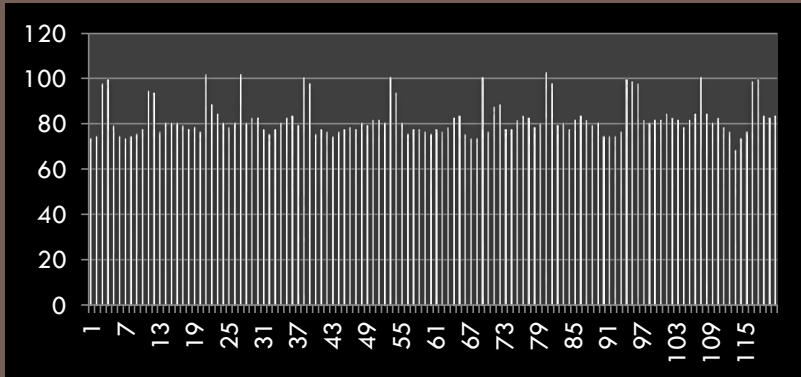
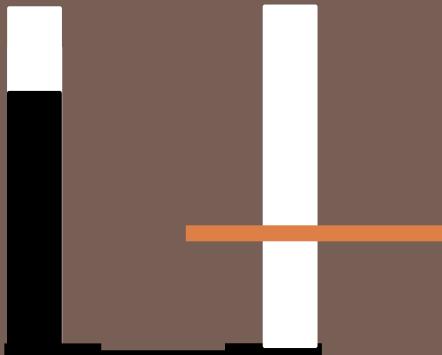
**TIPO DE PERFIL URBANO EN EDIFICIOS  
EN ALTURA**



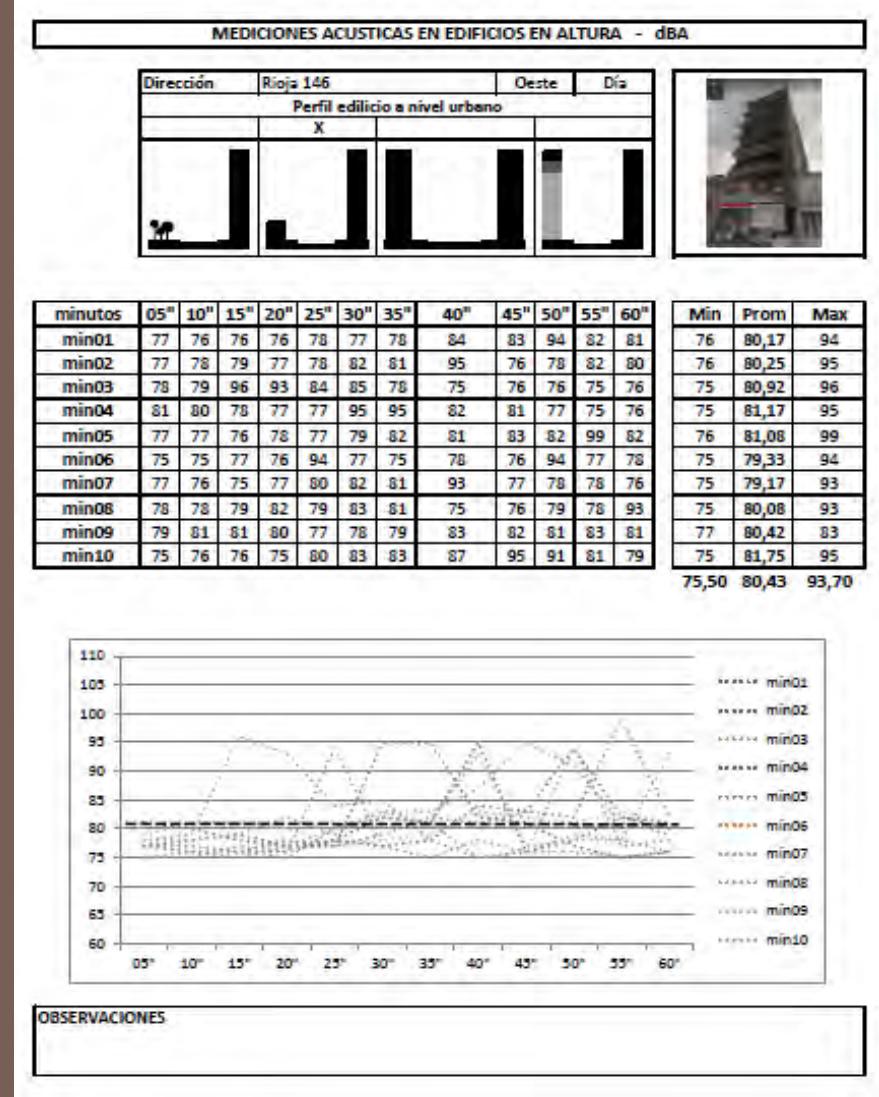
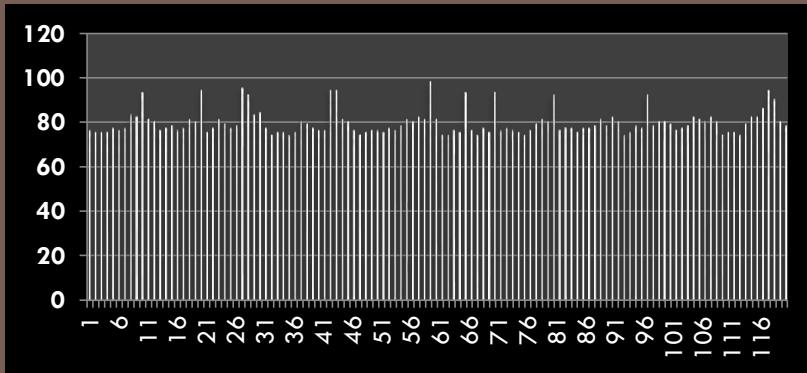
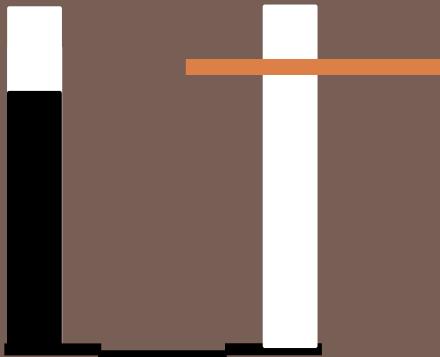
# MEDICIONES – PB DÍA



# MEDICIONES – PA DÍA



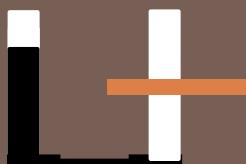
# MEDICIONES – PA DIA



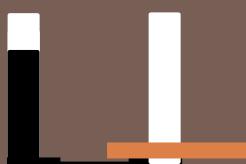
# MEDICIONES – PB-PA DIA



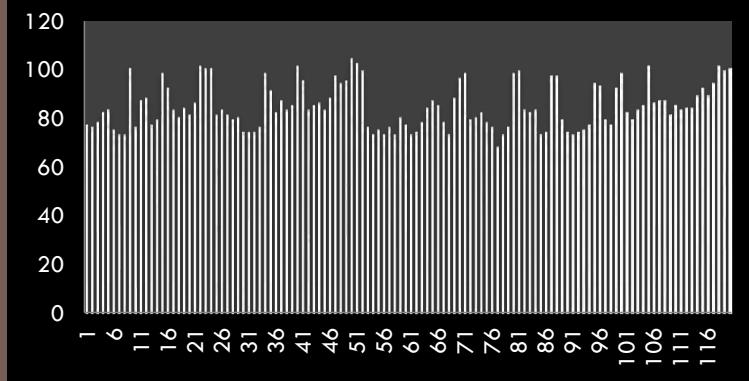
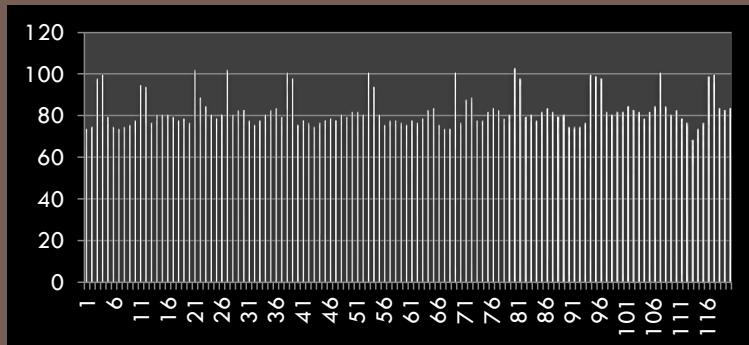
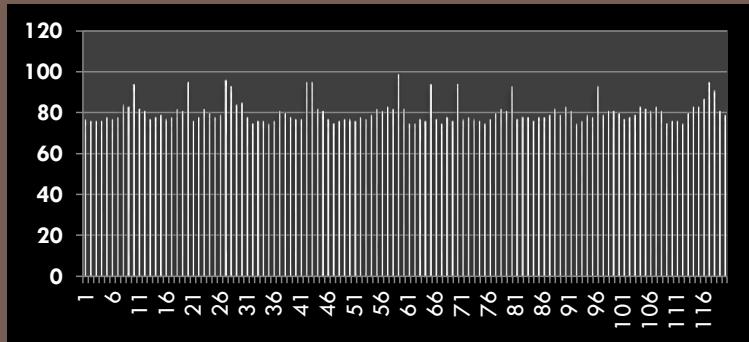
PLANTA ALTA



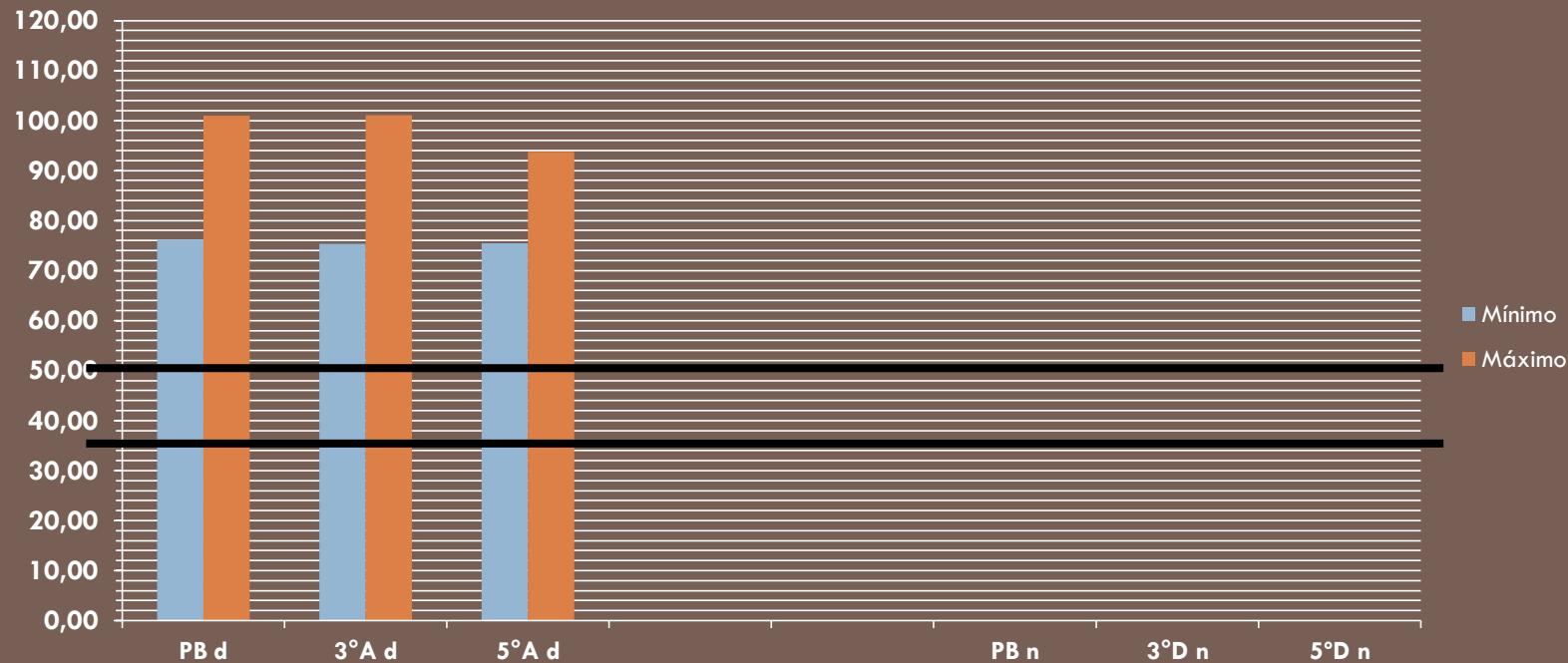
PLANTA ALTA



PLANTA BAJA



# MEDICIONES – PB - PA



# BALCONES EDIFICIOS MEDIDOS

Edificio N°: 1

Ubicación edificio: Crisóstomo Álvarez esquina Las Heras

Tipo de balcon			Tipo de baranda							
Con alero superior	Laterales mamposteria completos	Laterales mamposteria 1,2m	Otros	Rejas metálicas	Mamposteria / H°	Vidrio	Combinacion mamposteria/h° + vidrio	Combinacion mamp/h° + rejas metálicas	Sin balcon / Antepecho de mamposteria	Otros
	X			X	X					



Edificio N°: 7

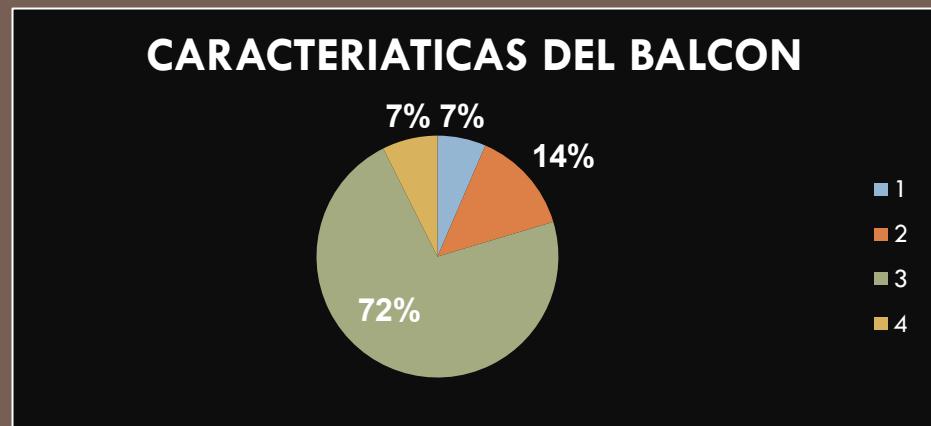
Ubicación edificio: San Lorenzo 837

Tipo de balcon			Tipo de baranda							
Con alero superior	Laterales mamposteria completos	Laterales mamposteria 1,2m	Otros	Rejas metálicas	Mamposteria / H°	Vidrio	Combinacion mamposteria/h° + vidrio	Combinacion mamp/h° + rejas metálicas	Sin balcon / Antepecho de mamposteria	Otros
	X		X							

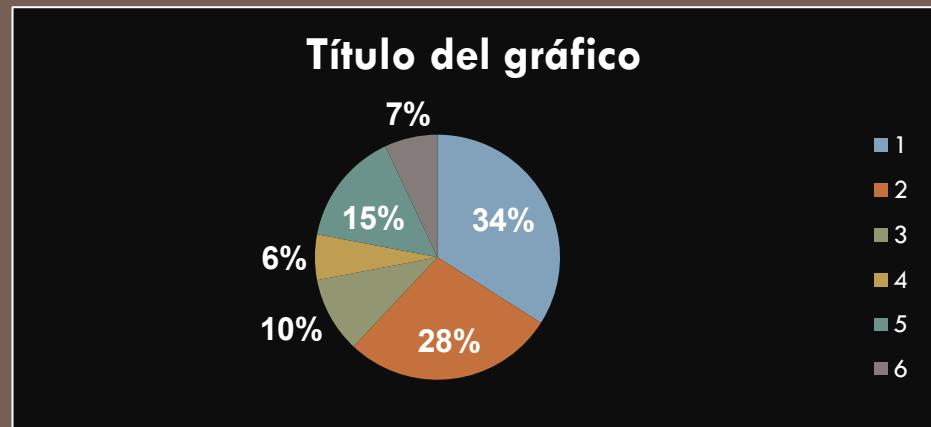


# BALCONES EDIFICIOS MEDIDOS

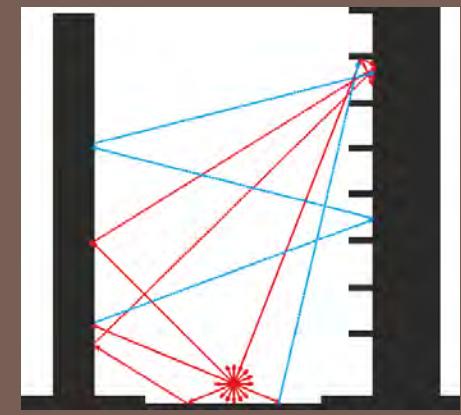
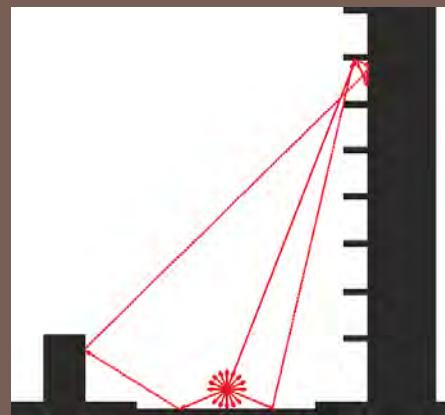
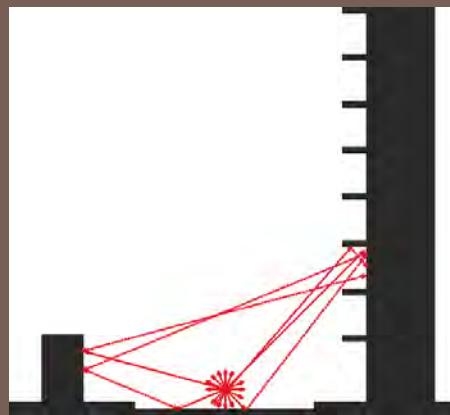
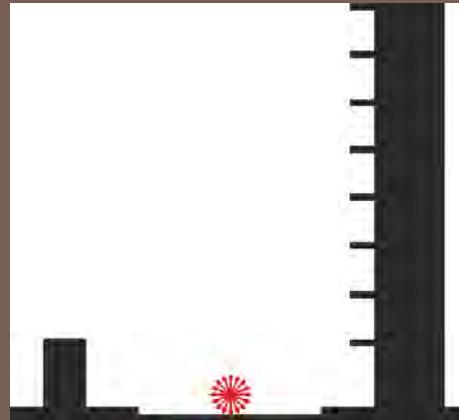
TIPO DE BALCON
1- CON ALERO SUPERIOR
2- LATERALES DE MAMPOSTERIA COMPLETOS
3- ANTEPECHOS LATERALES 1,2M
4- OTROS



TIPO DE BARANDA	
1- REJAS METALICAS	34
2- MAMPOSTERIA/HORMIGON	28
3- VIDRIO	10
4- COMBINACION MAMPOSTERIA + VIDRIO	6
5- COMBINACION MAMPOSTERIA + REJAS METALICAS	15
7- OTROS	7

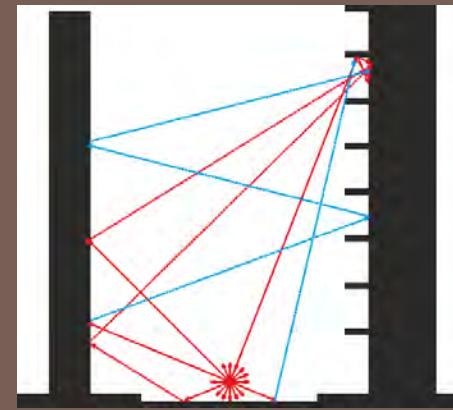
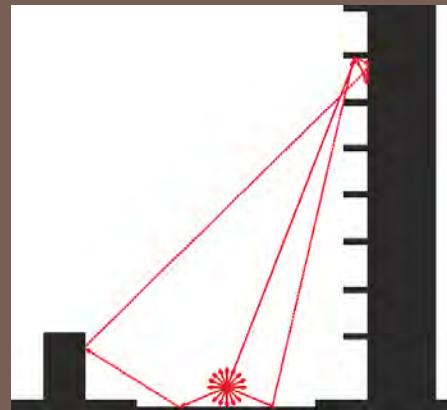
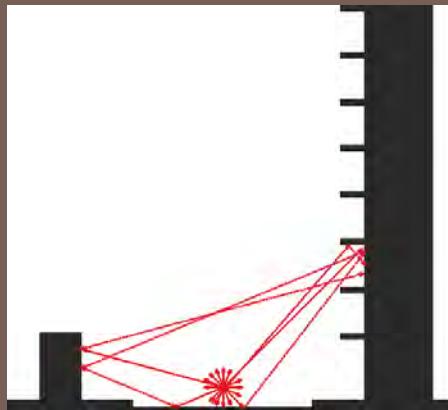


# BALCONES: COMPORTAMIENTO FREnte AL RUIDO



# BALCONES: COMPORTAMIENTO FREnte AL RUIDO

	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>PB d</b>	76,20	101,00	85,50
<b>2ºA d</b>	75,30	101,10	82,75
<b>6ºA d</b>	75,50	93,70	80,43



# ENCUESTAS – EDIFICIOS MEDIDOS

**ENCUESTA DE EXPOSICION A LOS RUIDOS**

Nombre y apellido:			
DNI:	Sexo:	Domicilio:	
<b>1. Estadística Compleja</b>			
	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	
Educación Primaria			
Educación Secundaria			
Educación Terciaria Completa			
Universitario de grado			
Universitario de postgrado			
Otros:			
COMENTARIOS:			
<b>2. Evaluación del nivel de la Exposición al Ruido:</b>			
El nivel de ruido exterior es en residencia / puesto de trabajo es:	<input type="checkbox"/> BAJO	<input type="checkbox"/> MEDIO	<input type="checkbox"/> ALTO
COMENTARIOS:			
<b>3. Período crítico de la Exposición al Ruido:</b>			
Durante que períodos del día se te ve más afectado por ruidos exteriores?	<input type="checkbox"/> MAÑANA	<input type="checkbox"/> TARDE	<input type="checkbox"/> NOCHE
COMENTARIOS:			
<b>4. Como percibe el ruido exterior: (Ha vivido alguna de estas situaciones a causa del ruido?)</b>			
	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	
Siente que le molesta la constancia de los ruidos exteriores en horas pico			
No le permite concentrarse en una conversación con una persona o en otra actividad.			
Tiene la necesidad de moverse la voz en una conversación.			
Utiliza otro tipo de actividad para tapar el ruido exterior como un radio, tv, etc.			
Otros:			
COMENTARIOS:			
<b>5. En el INTERIOR de su vivienda, escucha sonidos provenientes de las siguientes fuentes sonoras?</b>			
Percepción de calidad e intensidad con la que Ud lo escucha	<input type="checkbox"/> BAJO	<input type="checkbox"/> MEDIO	<input type="checkbox"/> ALTO
Ruido de coches			
Llamadas telefónicas			
Radio o TV de televisión			
Calefacción, bombillas o motores			
Música			
Baños, Despensa, Locales de observación			
Almacenes y bodegas			
Comercios cercanos			
Ruidos de autos			
Motos gritando en la calle			
Vehículos (Motos, autos, etc.)			
Otros:			
COMENTARIOS:			

<b>6. Escucha Auditiva: ¿A qué volumen la gusta escuchar radio, TV, música, etc.?</b>				
Por favor seleccione sólo una de las siguientes opciones				
<input type="checkbox"/> Muy Alta				
<input type="checkbox"/> Alta				
<input type="checkbox"/> Normal				
<input type="checkbox"/> Baja				
<input type="checkbox"/> Muy Baja				
COMENTARIOS:				
<b>7. Efectos Auditivos: Ocasionalmente, ¿cuál es la frecuencia alguna de los siguientes síntomas?</b>				
	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO		
Sufre dolores de oído				
Sufre mareos o vértigo				
Incuba zumbidos o pitidos				
COMENTARIOS:				
<b>8. Efectos sobre Auditivo:</b>				
	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO		
El ruido del exterior a su vivienda hace que le cueste dormir el sueño?				
Se despierta durante la noche a causa de ruidos exteriores? (Cuantas veces?)				
El ruido exterior distrae le impide concentrarse en casa?				
El ruido exterior distrae le produce dolor de cabeza?				
Mejor que la reposición prolongada los ruidos lo pone triste?				
Mejor que sus ruidos exteriores no le permite concentrarse de manera adecuada?				
COMENTARIOS:				
<b>9. Consideraciones de la Vivienda:</b>				
	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO		
Puede incluirse a sus vecinos?				
Para minimizar el ruido exterior, tiene la necesidad de mantener las ventanas cerradas?				
COMENTARIOS:				
<b>10.origen del ruido:</b>				
Por donde considera Ud. Que ingresa el ruido exterior?	<input type="checkbox"/> Puertas y Ventanas	<input type="checkbox"/> Paredes	<input type="checkbox"/> Techos	<input type="checkbox"/> Conductos/Aeropuente
COMENTARIOS:				
<b>11. Valoraciones de la problemática del Ruido:</b>				
	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> NO SÉ	
Estoy de acuerdo con las siguientes afirmaciones?				
Las personas que viven en ambientes ruidosos tienen consecuencias en su salud?				
Ud cree que presta atención a otros en un lugar ruidoso?				
Ud cree que se debe la mayoría de las enfermedades a ruido?				
Ud cree que las personas que viven en un ruido de la industria?				
COMENTARIOS:				

Finalizar por completar esta encuesta.

Influencia de la acústica urbana en el diseño de edificios en altura  
en la zona central de San Miguel de Tucumán

Proyecto CIUNT - 26/B572

# BIBLIOGRAFIA GENERAL Y ESPECIFICA

- IRAM 4062 Acústica. Ruidos molestos al vecindario. Mediciones.
- IRAM 4063-4 Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- NORMATIVA ACUSTICA EUROPEA: DIRECTIVA 20027497CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- NORMATIVA ACUSTICA ESPAÑA: lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental y zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas
- COMUNIDAD DE MADRID: Decreto contaminación acústica de la comunidad de Madrid
- NORMATIVA ACUSTICA DEL AYUNTAMIENTO DE VALENCIA: Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica

## LA EXPERIENCIA ACÚSTICA. (FRAGMENTOS)

*Mariano A. Ferreira*

### La historicidad de la experiencia sonora, gusto de época y cultura

"La primera pregunta que cualquier amante de la música clásica usualmente le hace a un acústico es: ¿Cuales son las mejores salas en el mundo? La respuesta -las tres salas con mejor estima por los mundialmente más elogiados directores y críticos de música fueron construidos en 1870, 1888 y 1900- siempre lleva a la siguiente pregunta: ¿Por qué esas son tan buenas y otras hechas con posterioridad a 1950 aparentan ser mediocres o defectuosas?"

Así comienza el prefacio de Salas de concierto y Casas de Opera de Leo Beranek. Aunque el libro luego refiere a la necesidad de la música de cada período de ser interpretada en un espacio que sea o simule al originario, olvida en nombrar que estas salas se construyeron en el momento inmediato anterior al quiebre de una estética musical.

Una transformación de múltiples factores, desde el surgimiento de la radio , la amplificación y la industria discográfica hasta la destrucción del sistema tonal, de 400 años de vigencia. Esas salas pertenecen todavía a un tiempo donde la mayor cantidad de música representada era de compositores vivos. Y sus criterios de construcción no obedecían a fundamentos acústicos, si no de visual, ventilación o estructurales.

¿Son estas salas el ideal para la representación de una sinfonía de Bramhs o Mahler, o es sencillamente que ya estaban en la cabeza del compositor -o mejor dicho, ya estaban ahí- y en su

génesis conjunta conforman -entre otras cosas- al gusto socialmente aceptado?

Hoy la música que se denomina culta habita entre la vanguardia y la tradición que sini remedio ha sido quebrada sin poderse sobreponer al acta de defunción que le presentara la segunda escuela de Viena, o más que nada, lo que vino después.

Si las salas de concierto deben hacer malabares cada vez que se representan obras como el Prometeo de Nono -y ni hablar de las del nuevo milenio, que están todo en tiempo buscando lugares alternativos para su representación-, significa que una parte del vínculo entre la conciencia acústica y musical se ha destruido, o al menos truncado. ¿Por qué estas cajas de zapato del siglo XIX son dueñas de la gran acústica cuando la música actual no pasa por ellos?



### Estética sonora: Tiempo y Espacio. El sistema

En 1969 en la Universidad de Brandeis, Alvin Lucier realiza la primera grabación de su "I'm sitting in a room".

Un texto de 80 segundos es grabado y repetido, y vuelto a grabar y repetir durante 45 minutos. El sistema que conforman la voz de Lucier, el espacio -en este caso el estudio de música electrónica de la universidad- y los elementos encargados de la captura y reamplificación, dan forma y contenido a una obra que apunta más allá de una

demostración técnica -como se refiere el mismo texto- si no al espíritu de integración y desintegración del material artístico.

Un caso que refiere a la generalidad más extrema; ·toda instancia acústica es Onica-y particular,·· acompaña a la representación de una manera profunda, es un rol determinante de la ejecución, se funde en el objeto musical único que es el momento sonoro.

El objeto sonoro se une al espacio acústico, y en la transición, al no poder situar el instante en el cual pasa a ser ese fondo queda al descubierto la inseparabilidad de los elementos.

*speaking voice and I' am going to play it back into the room again and again until the resonant frequencies of the room reinforce themselves so that any semblance of my speech, with perhaps the exception of rhythm, is destroyed. What you will hear, then, are the natural resonant frequencies of the room articulated by speech. I regard this activity not so much as a demonstration of a physical fact, but more as a way to smooth out any irregularities my speech might have."*

Música, arte temporal y espacial. El espacio es una durabilidad en el tiempo. Lo invisible del medio, de extensión finita, tan finita que en unos instantes no queda nada.

### **Texto de la obra de Lucier:**

*"I am sitting in a room different from the one you are in now. I am recording the sound of my*



# COMPARACIÓN DE TRES TIPOS DE EXCITACIÓN IMPULSIVA PARA EVALUAR EL RT60 DE AULAS DEL CONSERVATORIO ALFREDO LUIS SCHIUMA

MATIAS FERNANDEZ <sup>1</sup> AGUSTIN GABRIEL GONZALEZ <sup>2</sup> PABLO YACOLI <sup>3</sup> MATIAS PACE <sup>4</sup>  
FLORENT MASSON <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
fernandez.gorron@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
agustingonzalez568@gmail.com

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
pabloyacoli@hotmail.com

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
matias.pace@hotmail.com

<sup>5</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina. fmasson@untref.edu.ar

**Resumen –** *El presente trabajo consistió en realizar una medición del tiempo de reverberación de tres aulas del conservatorio de San Martín, las mismas se llevaron a cabo en concordancia con lo estipulado en la norma ISO 3382-2:2008 utilizando el método de respuesta impulsiva integrada con tres tipos diferentes de estímulos, globos, paper bangs y una claqueta de cine. El objetivo de la medición fue determinar cuál de estos estímulos es el más efectivo para realizar una medición del tiempo de reverberación. La medición permitió determinar que si bien no todos los estímulos son igualmente efectivos dependiendo de las características del recinto, los paper bangs son los más eficaces y versátiles al momento de realizar este tipo de mediciones.*

**Abstract –** *The following research consisted in measuring reverberation time on three of the San Martín's music hall classrooms, these ones were accomplished in compliance with ISO 3382-2:2008 norm using the integrated impulsive method with three different impulses, balloons, paper bangs and a clapperboard. The main objective was to determine which of these impulses was the most effective for measuring the reverberation time. The results were that paper bangs seems to be the most versatile and effective ones.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen varios motivos por los cuales se decide medir el tiempo de reverberación en un recinto, como por ejemplo su incidencia en la inteligibilidad de la palabra y la música o la estimación del nivel de presión sonora global de una fuente sonora dentro del mismo. La norma ISO 3382-2:2008 introduce dos métodos de medición del RT60, el método de ruido interrumpido y el método impulsivo integrado, siendo este último el utilizado en esta investigación.

El objetivo de este trabajo es medir el tiempo de reverberación en las aulas de la planta baja de conservatorio Alfredo Luis Schiuma, para determinar cuál de los impulsos utilizados es el más efectivo al momento de realizar una medición de esta índole. A continuación se expondrá el marco teórico en el cual se centra este trabajo; se describirá el proceso de medición y su posterior análisis.

## 2. MARCO TEÓRICO

Se define la reverberación como el fenómeno de permanencia del sonido en un recinto una vez que la fuente cesa la emisión del mismo. La magnitud de este tiempo de estancia del sonido está vinculada a las características de las superficies donde las ondas inciden. El tiempo de reverberación es el tiempo que tarda un sonido en decaer 60dB (a una millonésima parte de su energía inicial) una vez que la fuente emisora discontinúa la emisión.

Uno de los objetivos principales de realizar una medición del tiempo de reverberación de un recinto es determinar si la misma se acerca o se contrapone a los parámetros que resultan beneficiosos para la inteligibilidad de la palabra o la música.

### 3. DESARROLLO DE LA MEDICIÓN

#### 3.1. Locación y particularidades:

La presente medición se llevó a cabo en las aulas B2, B4 y B5 de la Sede San Lorenzo del Conservatorio de Música “Alfredo Luis Schiuma” del partido de Gral. San Martín.

Las mismas presentan las siguientes medidas:

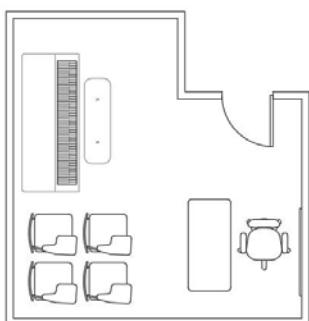


Figura 1: aula B2

B2:  $[(1.17 \times 1.1) + (2.75 \times 3.0) + (3.95 \times 4.1)] \times 3.9 \text{ m}$

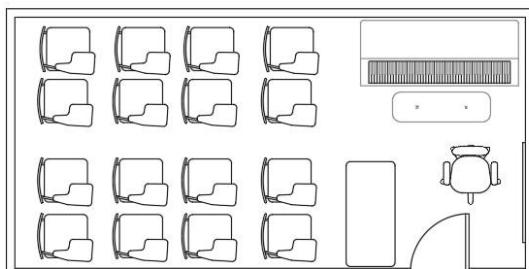


Figura 2: aula B4

B4:  $3.5 \times 6.3 \times 3.9 \text{ m}$

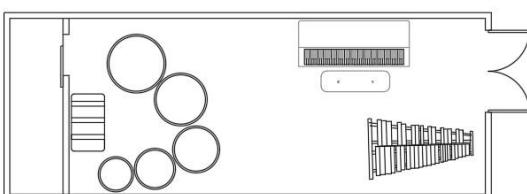


Figura 3: aula B5

B5:  $3.0 \times 8.2 \times 2.9 \text{ m}$

El aula B2, está compuesta por 2 paredes de placas de yeso, y dos de material, no poroso. Las paredes de placas de yeso son las lindantes a otras aulas y al pasillo. Cuenta con una ventana de vidrio simple hacia el pasillo y una puerta de madera hueca. Esta aula se utiliza como sala de clases grupales, para materias tanto teóricas como prácticas (música). El mobiliario en B2 se conforma de 2 pianos verticales, 6 bancos individuales, 9 sillas, 1 banco doble, split de aire acondicionado, una tubería de desagüe correspondiente al primer piso, una pizarra de 1,80 m x 1,20 m una ventana de 5 bandas de vidrio simple de 81 cm x 56 cm y un router de dos antenas. Cabe

destacar que todas las mesas y bancos son de superficie reflectiva, así como también la pizarra. Las paredes están revestidas por material fonoabsorbente conformado.

El aula B4, de forma rectangular, también posee dos paredes de yeso en este caso lindantes con el aula B5 y el pasillo. Cuenta con 2 ventanas orientadas al pasillo de 50 cm x 109 cm y una puerta de madera hueca. Tanto las sillas como los bancos son de superficie reflectiva y en este caso hay ausencia de material fonoabsorbente en las paredes.

Esta aula se utiliza como sala de clases grupales, para materias tanto teóricas como prácticas (música).

El mobiliario en B4 se conforma de 1 piano vertical, 1 pizarrón, 8 bancos dobles con 16 sillas, 3 bancos individuales, 1 router.

El aula B5, es de forma rectangular, con un depósito de instrumentos construidos posteriormente a la construcción del edificio. Este depósito es de 1,3 m x 3 m y está construido enteramente con placas de yeso, siendo éstas las únicas de este material. Dentro de esta aula el piso de ruido es elevado, debido a la ubicación dentro de ésta de la fosa de almacenamiento de agua y también del router y tablero eléctrico general del establecimiento.

El aula B5 tiene la particularidad de tener el piso cubierto de planchuelas de goma semirrígida.

El mobiliario en B5 se conforma de 5 timbales, 1 gran cassa, 1 vibráfono, 1 xilofón, tambores varios, 1 armario de metal contenido libros, 1 piano vertical, 6 sillas y una mesa. Las paredes están revestidas por material fonoabsorbente conformado.

#### 3.2 Instrumental:

Como instrumento de registro se utilizó una grabadora portátil Tascam dr40 (toma estéreo AB, 48000 Hz, 24 bit) montada en un pie de micrófono.

Como generadores de impulsos se utilizaron en partes iguales paper bangs, globos y una claqueta de cine.

Las tomas registradas por la grabadora fueron procesadas utilizando el software Audacity v2.0.0 y el plug-in Aurora v12.2.20.

#### 3.3 Desarrollo de la medición:

Para efectuar dicha medición, dos de los integrantes del grupo fueron los encargados de medir las dimensiones de cada aula, marcar posiciones para los impulsos y ubicación de la grabadora portátil, y a su vez facilitar los materiales de medición al otro subgrupo encargado de efectuar las grabaciones de los impulsos. Una vez registradas las dimensiones de las aulas y establecidas las posiciones de impulsos y receptor, siguiendo las estipulaciones de la norma ISO 3382-2:2008 la cual normaliza como debe ser efectuada la medición, se procedió a situar la grabadora montada en un pie de micrófono a 1,20 m del suelo nivelando horizontalmente la misma con la ayuda de un nivel de burbuja. Con solo dos sujetos

dentro del aula para no perturbar la condición de recinto vacío, se procedió a ejecutar los impulsos en el siguiente orden: paper bangs, globos y claqueta, discriminando los tracks registrados para un posterior análisis y reconocimiento con software especializado.

Fueron efectuadas 54 mediciones alternando las posiciones de fuente y receptor cuidando de mantener la distancia mínima a las paredes establecida por norma, además, se cuido de no repetir el uso de los paper bangs para evitar lecturas erróneas.

### 3.4 Observaciones:

Con el objetivo de evitar diferencias en la intensidad del impulso generado por los globos, se limitó el tamaño de inflado de los mismos a un diámetro de 30 cm. Al momento de ejecutar los impulsos en el aula B5, se advirtió la existencia de un elevado nivel de ruido ambiente ya que la bomba de llenado de la cisterna se encontraba encendida, la misma se aloja en una fosa bajo el piso del aula. Ante este contratiempo se resolvió efectuar una grabación de una pista de ruido ambiente para realizar una posterior cuantización de éste y considerarlo al momento de analizar los resultados.

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En los gráficos siguientes se verá ilustrado el tiempo de reverberación discriminado en bandas de frecuencias normalizadas y tipo de impulso utilizado. Comenzando por el aula B2 podemos observar (*Figura 1*) que el tiempo de reverberación no superó el valor de un segundo, la mayor duración fue generada por la claqueta principalmente en la banda de 250 Hz (0,8 s). Se puede observar también una ausencia total de energía en la banda de 63 Hz.

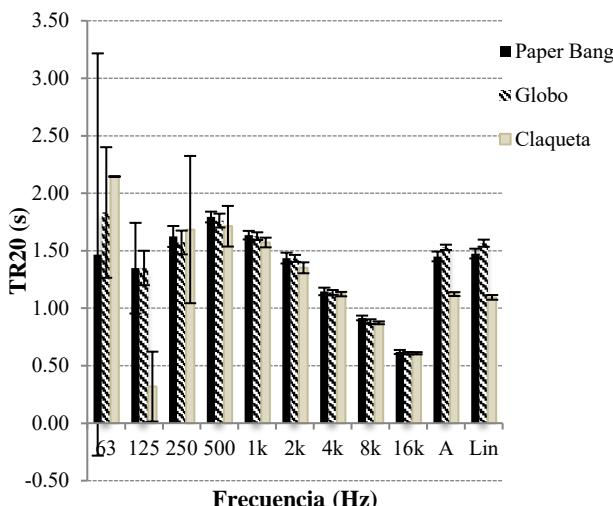


Figura 4: Tiempo de Reverberación en B2 [s].

Para el aula B4 (*Figura 2*) con el impulso generado por la claqueta no se registra energía en la banda de

31,5 Hz. En las bandas de 63 Hz y 250 Hz se superan los 2 s de tiempo de reverberación, sin embargo en 125 Hz no se llega a 0,5 s. El globo presenta una permanencia considerable en frecuencias bajas, concentrándose en las bandas de 31,5 Hz y 63 Hz.

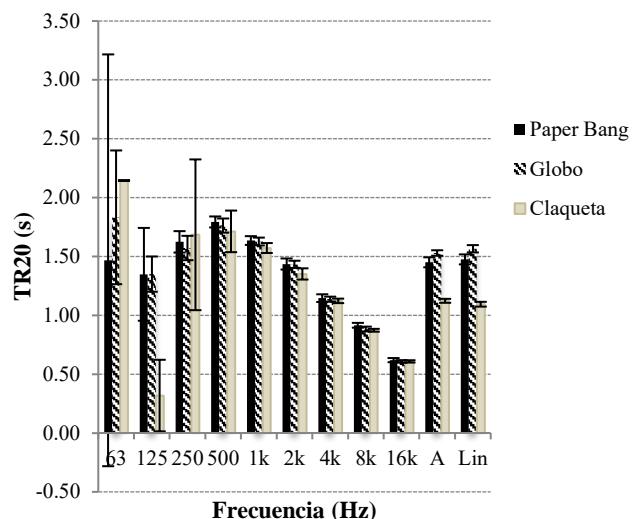


Figura 5: Tiempo de Reverberación en B4 [s].

En el aula B5, los tres métodos muestran una respuesta similar desde la banda de 1 KHz manteniéndose por debajo de los 0,5 s. El globo, entre las bandas de 63 Hz y 250 Hz, se observa una caída de 0,5 s por banda de frecuencia. En la banda de 31,5 Hz su energía es más duradera con un tiempo de 3,1 s. Mientras que el paper bang en la banda de 125 Hz se mantuvo a 1,5 s

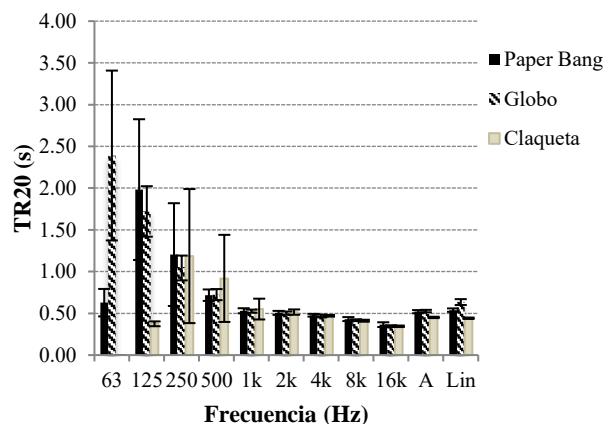


Figura 6: Tiempo de Reverberación en B5 [s].

## 5. DISCUSIÓN

Analizando los gráficos previamente expuestos es notoria una falta de correlación en los resultados obtenidos según los impulsos utilizados. Dependiendo del recinto analizado los impulsos fueron más o menos efectivos pudiendo realizar la siguiente observación:

para el aula B2, la cual cuenta con material fonoabsorbente en parte de su superficie el impulso más efectivo fue el paper bang ya que presenta una buena distribución de la energía para todas las frecuencias.

Para el aula B4 el mejor método de impulso es también el paper bang teniendo una excelente respuesta en todas las frecuencias, también se observa en esta aula un incremento en el tiempo de reverberación comparándola con B2 debido a la ausencia de material fonoabsorbente. Por último en el aula B5 el impulso con mejor respuesta fue el globo presentando una buena distribución en la energía para todas las frecuencias, sobre todo para frecuencias bajas. Esta es también el aula con mayor tiempo de reverberación, lo cual es congruente con el hecho de que sus dimensiones son considerablemente mayores que las de las otras dos aulas sumándole a esto el hecho de que dentro de esta se encuentran almacenados instrumentos grandes, del tipo membranófonos los cuales actúan como cajas reverberantes, aumentando así el contenido general en frecuencias bajas.

## 6. CONCLUSIÓN

Los resultados que arroja el análisis presentado fueron acotados en algunos casos. Para determinados impulsos, ciertas frecuencias no lograron superar el piso de ruido necesario para medir el tiempo de reverberación. A modo de conclusión, se afirma que, a excepción de los paper bangs, los otros impulsos tienen un contenido tonal no equitativo a lo largo de todo el espectro de frecuencias; es decir que hay bandas de frecuencias que contienen más energías que otras.

La utilización de paper bangs como impulso fue el más efectivo para las distintas características de los recintos evaluados.

## 7. REFERENCIAS

- [1]Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms (ISO 3382-2:2008)

# ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL AULA MAGNA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

SABATER, ANDRÉS<sup>(1)(2)</sup> NOVARINO, SANTIAGO<sup>(1)(2)</sup>

<sup>(1)</sup>BRUIT Engineering

<sup>(2)</sup>SILENTO Acoustic Design

asabater@bruit-ing.com

**Abstract –** This document presents the acoustic conditioning done in the Aula Magna of the Faculty of Architecture, Design and Urbanism, University of Buenos Aires. With unfavorable initial conditions, it was proposed an improvement in the technical specification, modifying from the materials, to the geometry of the room. As a result, a multifunctional auditorium that exceeded everyone's expectations.

**Resumen –** El presente documento expone el acondicionamiento acústico realizado en el Aula Magna de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, de la Universidad de Buenos Aires. Con condiciones iniciales desfavorables, se planteó una mejora en el pliego de especificaciones técnicas, modificando desde los materiales, hasta la geometría de la sala. Como resultado, un auditorio multifunción que superó las expectativas de todos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de proyectar el acondicionamiento acústico del Aula Magna de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires, se realizó un cálculo predictivo para poder evaluar distintos parámetros acústicos y garantizar la correcta caracterización de la Sala, bajo el criterio de acondicionar acústicamente el interior de la sala.

Para lograrlo, se realizó una simulación en el software EASE de la sala principal, con el fin de realizar las modificaciones necesarias, tanto en la geometría como en los materiales que quedarán expuestos, aportando en forma mayoritaria al acondicionamiento acústico.

En los casos de simulación, se evaluó la excitación del recinto con una fuente emitiendo ruido rosa a 60 dB, y un nivel de ruido de fondo de 40 dB. Los niveles de fuente se consideraron a fin de simular la voz hablada sin ningún tipo de refuerzo electroacústico, y el ruido de fondo se contempló según mediciones realizadas en obra.

## 2. PARÁMETROS EVALUADOS

A continuación se describen los parámetros evaluados.

### 2.1 Tiempo de Reverberación (RT60)

Es el tiempo, expresado en segundos que requeriría el Nivel de Presión Sonora (NPS o SPL Sound Pressure Level) a una tasa de decaimiento obtenida por una regresión lineal de mínimos cuadrados, de la curva de

decaimiento medida desde un nivel de 5 dB por debajo del nivel inicial hasta 35 dB por debajo de este [1], duplicado en el tiempo.

### 2.2 Direct SPL

Nivel de presión sonora generado por la emisión en propia de la fuente, en campo directo, es decir, sin contemplar ningún tipo de reflexión. Este valor depende principalmente de la proximidad a la fuente [2].

### 2.3 Total SPL

Nivel de presión sonora percibido en el punto evaluado producto de la recepción de señal en campo directo más el campo difuso, producto de la reverberación de la sala. Este valor está vinculado no sólo a la proximidad de la fuente, sino también a la caracterización acústica propia de la sala [2].

### 2.4 D/R Ratio

Es la relación entre la cantidad de energía directa y la energía reflejada en un determinado punto de la sala. (Direct SPL [dB] – Reverb SPL [dB]) [2].

### 2.5 C50

“Clarity Level 50 dB” (Claridad de la voz). Se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las

primeras reflexiones) y la que le llega después de los primeros 50 ms. (El parámetro es logarítmico) [2].

## 2.6 C80

“Clarity Level 80 dB” (Claridad musical). Indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical. Se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 ms. (El parámetro es logarítmico) [2].

## 2.7 STI

“Speech Transmission Index”. Índice de Transmisión del Habla. Método objetivo de medición de la inteligibilidad del habla. Está basado en una señal acústica de prueba producida en la posición del orador y recibida en la posición del oyente por medio de un micrófono.[3].

## 2.8 %Alcons

“Articulation Consonant Loss”. Perdidas de articulación de consonantes. Determina en forma porcentual la cantidad de consonantes que se pueden mal interpretar, como producto de las reflexiones tardías generadas por la sala [4].

## 3. METODOLOGÍA EMPLEADA

Se realizaron, para la correcta proyección de obra, los análisis que se detallan a continuación:

- Simulación de sala auditorio en software Ease
- Optimización de la sala
- Detalle de materiales a utilizar para el acondicionamiento acústico
- Cálculo de tiempo de reverberación de la sala
- Cálculo de parámetros de inteligibilidad de la palabra
- Cálculo y proyección de materiales a utilizar en el revestimiento de los pasillos.

## 4. SALA PRINCIPAL

### 4.1 Modelización

Se modelizó el interior de la sala principal del Aula Magna en software EASE contemplándose un área de escucha a 1m de altura por sobre el área de asientos. Se simularon tanto las butacas como solo las gradas vacías, al mismo tiempo, se simuló a sala vacía y sala llena. Los resultados que se mostrarán en este informe son sólo a sala llena, a fin de facilitar su comprensión.

Se utilizó como emisor experimental una fuente emitiendo ruido rosa a 60 dB según lo exige la normativa utilizada, debido a que el objetivo de estudio es alcanzar condiciones acústicas en el interior de la sala, que permitan la ejecución de voz hablada sin la necesidad de un refuerzo sonoro electro-acústico. Esta fuente se situó en tres posiciones distintas sobre el escenario, con el objetivo de obtener valores reales. La figura 1 muestra la modelización en EASE con vista en perspectiva.

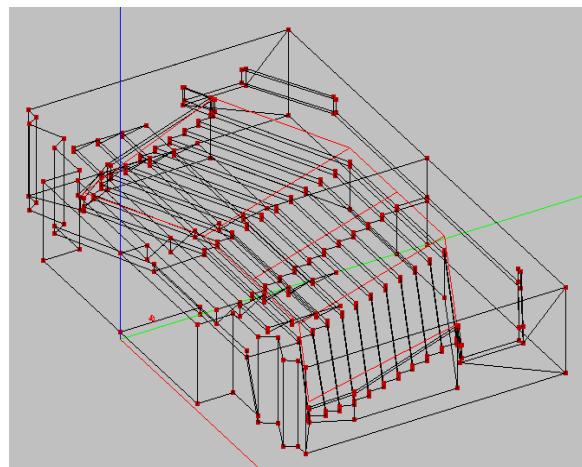


Figura 1. Sala modelizada en software

### 4.1 Acondicionamiento acústico

Se muestran en la tabla 1, los parámetros evaluados en forma espectral, promediados para el total de la sala, por fracción de tercio de octava. La última fila de esta tabla, describirá en forma general los valores de los parámetros evaluados comparados con los óptimos de una sala de conferencias, lo cual se asemeja mayoritariamente al proyecto.

La figura 2 muestra los valores obtenidos de tiempo de reverberación en función a la geometría dispuesta en la sala y los materiales propuestos, alcanzando valores óptimos tanto para dar a la sala la finalidad de auditorio como la de sala de conferencias. Se evaluó el parámetro C80 puesto que es probable que se utilice el recinto para fines didácticos mediante la utilización de multimedia y fuentes electro-acústicas para proyecciones.

Se obtuvieron también valores de STI de 0,76 y %Alcons de 2,73. Lo que corresponde a valores óptimos para una sala con las características que se pretenden [6].

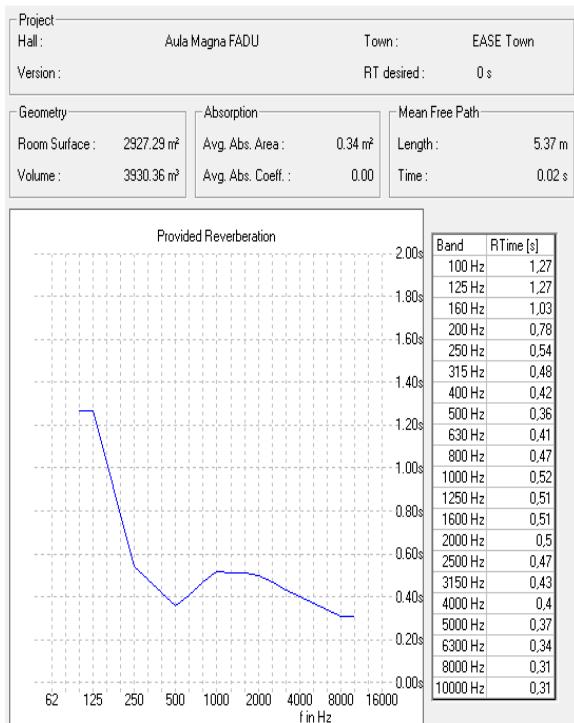


Figura 2. TR60 calculado en forma predictiva en función a la geometría y materiales que propuestos para el interior de la sala

Tabla 1: Resultados obtenidos por simulación en software Ease. Valores promedio por banda de tercio de octava..

Frec.	Direct SPL	Total SPL	D/R Ratio	C50	C80
Hz	dB	dB	dB	dB	dB
500	49	55	-4	6	12
630	50	57	-4	5	10
800	50	58	-6	5	8
1000	51	58	-6	4	7
1250	50	58	-6	4	7
1600	52	58	-6	4	7
2000	51	58	-6	4	8
2500	50	58	-6	5	8
3150	52	57	-5	6	10
4000	51	57	-5	6	10
Muy Bueno		Óptimo	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno

#### 4.3 Geometría de la sala y materiales propuestos

Para alcanzar los valores indicados anteriormente, se realizaron leves modificaciones en la geometría de la sala. Lo cual, corresponde a modificaciones en los paneles reflectivos ubicados en el cielo raso. Centralizando en el área correspondiente al escenario, alcanzando una superficie total de 200 m<sup>2</sup>, componiéndose de 5 paneles centrales, y 6 paneles laterales (3 a cada lado). Variando las inclinaciones entre 30°, 15° y 7°. Esto permite optimizar el tiempo

de arribo de las primeras reflexiones, favoreciendo así la respuesta en frecuencia de la sala y la relación entre campo directo y campo reverberado. Al mismo tiempo, se logra así evitar resonancias de la sala en bajas frecuencias.

Las modificaciones realizadas en cuanto a la geometría de la sala se realizaron considerando la posibilidad de conservar el plano original, sin realizar mayores alteraciones, por lo cual se trabajó sólo con el cielo raso. Así mismo, los resultados obtenidos fueron óptimos para la finalidad que se pretende dar a la sala.

Se propone la utilización de placas de madera ranuradas y perforadas como revestimiento. El sistema constructivo (correspondiente a los muros) queda definido como el de una estructura tipo "sandwich" en donde se requiere una cámara de aire (50mm), lana de vidrio (50mm), y por último, la placa mencionada. De esta forma se logra alcanzar los valores de absorción deseados para poder cumplir con los estándares propuestos anteriormente.

En cuanto al cielo raso reflectivo, se utilizaron las mismas placas por una cuestión de diseño, pero sin material fono-absorbente o cámara de aire que interrumpa con la difusión requerida.

La tabla 2 muestra los valores del coeficiente de absorción del sistema constructivo, en tercios de octava, en el rango de 500Hz hasta 4000Hz

Tabla 2: Coeficiente de absorción del sistema constructivo propuesto, por tercio de octava según ISO 3382.

Frec.	$\alpha$
Hz	
500	0,88
630	0,7
800	0,6
1000	0,5
1250	0,48
1600	0,44
2000	0,43
2500	0,41
3150	0,48
4000	0,6

#### 5. CONCLUSIONES

Mediante simulación predictiva por software se logró el diseño del sistema constructivo de cielo raso y muros que permitió reducir el tiempo de reverberación destructivo a sala vacía, y llevarlo a los niveles correspondientes para su aplicación.

Al mismo tiempo, se optimizaron los parámetros acústicos empleados para la caracterización de salsa según distintas normativas, favoreciéndose la inteligibilidad de la palabra, y permitiendo también la utilización del recinto para conferencias, y fines didácticos sin la obligación de utilizar algún tipo de

refuerzo electro-acústico. Aun si se precisara, el recinto responderá de manera óptima. El concepto de cielo raso difuso-reflectivo, logra una dispersión correcta de las primeras reflexiones hacia sectores de campo difuso, alejados de la fuente.

## REFERENCES

- [1] ISO 3382, Acoustic, Measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters, second edition (1997)
- [2] DIN 18041, Acoustic Quality in small to medium sized rooms (2004)
- [3] IEC 60268 – 16 Sound system equipment, part 16, objective rating of speech intelligibility by speech transmission index (STI) (2003)
- [4] ANSI S 3.5 Method for the calculation of the articulation index.
- [5] UNE EN ISO 140-4 Acústica. Aislamiento a ruido aéreo entre locales.
- [6] Barron, M., The subjective effects of first reflections in concerts halls, the need for lateral reflections, Journal Sound and Vibration, Vol 15, pag. 475 – 494.

# ISOWALL, EL NUEVO AISLANTE ACÚSTICO

**SABATER, ANDRÉS<sup>(1)(2)</sup>**  
**NOVARINO, SANTIAGO<sup>(1)(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>BRUIT Engineering

<sup>(2)</sup>SILENTO Acoustic Design

asabater@bruit-ing.com

**Abstract –** *After a long experience in the installation of acoustic materials, and having gone through the difficulties involved in the manipulation and installation of acoustic insulation materials of the current market, a laboratory research was carried out in order to develop a new acoustic insulator with a good mechanical performance. In this way, the installation would be simplified, as well as avoiding leaks due to breaks, and cracks of the material. This is how ISOWALL was achieved, which is not only an acoustic insulator, but also waterproof and thermal.*

**Resumen –** *Luego de una larga experiencia en la instalación de materiales acústicos, y haber atravesado las dificultades que implicaba la manipulación e instalación de materiales aislantes acústicos vigentes en el mercado hasta entonces, se dio lugar a una investigación de laboratorio a fin de desarrollar un nuevo material aislante acústico con buenas prestaciones mecánicas. De esta manera, se simplificaría la instalación, así como también se evitarían fugas por roturas, y fisuras del material. Fue así como se llegó a ISOWALL, el cuál no sólo es aislante acústico, sino que también lo es hidrófugo y térmico.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Al momento de elegir un aislante acústico, de forma usual, se considera fundamental la masa del mismo. De hecho, algunas normativas, se rigen sólo por este valor [1][2]. Al mismo tiempo, mucha bibliografía hace referencia a la ley de masas [3] en la cual, el valor de las perdidas por transmisión es dependiente sólo de la masa y de la frecuencia. Sin embargo, al buscar métodos de cálculo más aproximados a los valores que se obtendrían en laboratorio, se puede observar que entran en juego, no solo las dimensiones que tendrá el tabique o muro compuesto, sino también características físicas del material [4] como ser el coeficiente de elasticidad, o módulo de Young, rigidez, módulo de poisson, etc [5].

Por otro lado, en cuestiones de mercado, es muy escasa la oferta de materiales desarrollados específicamente para la optimización del aislamiento acústico de un cerramiento, tabique o muro. Y dentro de esta poca variedad, los materiales que se presentan son poco prácticos, ya que sus prestaciones mecánicas son desfavorables para la manipulación de los mismos, lo que genera grietas, fisuras y roturas al momento de la colocación. Esto trae aparejado, fugas acústicas y disminución de las perdidas por transmisión del sistema constructivo final.

Por lo tanto, este documento expone el proceso que se llevó a cabo para lograr un aislante acústico de máxima calidad, y al mismo tiempo excelentes prestaciones mecánicas, que permitan la simplificación de la instalación del mismo y la

reducción al mínimo de las fugas generadas por daños en el material.

## 2. DESARROLLO DEL MATERIAL

Como se mencionó anteriormente, al momento de desarrollar el aislante acústico Isowall, se tuvo en cuenta dos objetivos principales. Por un lado, el de obtener valores de pérdidas por transmisión lo suficientemente elevados para ser considerado un aislante acústico óptimo, y por otro lado, lograr prestaciones mecánicas favorables para evitar roturas y grietas en el material al momento de la colocación en obra.

En primera instancia, se realizaron pruebas con distintos tipos de materiales, buscando aquél que permitiera mayor maleabilidad de sus características físicas y mecánicas, a fin de poder adaptarlo. Fue así como se eligió trabajar con elastómeros termoplásticos vulcanizados.

En forma posterior, se trató de equilibrar la relación entre la masa y el módulo de Young del material, buscando reducir así la velocidad de propagación del sonido en el material [3].

Finalmente, se optimizaron las prestaciones mecánicas, agregándole en su interior fibra textil direccionada, que aumenta su resistencia a roturas y grietas. Al mismo tiempo, este agregado transforma al material en un compuesto tricapa (elastómero, fibra, elastómero), lo que genera dos variaciones de impedancia acústica [6], aumentando aún más las pérdidas por transmisión.

## 3. MEDICIONES DE LABORATORIO

### 3.1 Materiales utilizados y condiciones

Para la medición de parámetros físicos se utilizaron los siguientes equipos, Balanza Analítica marca Adventur Ohaus, modelo AR2140, nro. de serie E3431225351899; Durómetro Manual tipo A marca Petri nro, de serie 7536; Dinamómetro marca HP, modelo Orrls nro. de serie C43365. En todos los casos, la temperatura ambiente fue de 20C° y la presión de 1atm. El espesor del material utilizado fue de 2mm.

### 3.2 Parámetros evaluados

Se evaluaron distintos parámetros, siguiendo normativa especial para las evaluaciones de elastómeros. Los parámetros evaluados fueron los siguientes.

- Densidad – ASTM D792 [7]
- Dureza – ASTM D2240 [8]
- Tracción – ASTM D412 [9]
- Elongación – ASTM D412 [9]
- Módulo de Young – ASTM D412 [9]
- Transmitancia térmica – IRAM 11564 [10]
- Permeancia al vapor de agua - IRAM 1735 [11]

### 3.3 Resultados de laboratorio

Los resultados obtenidos en el laboratorio de mediciones físicas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Resultados obtenidos en laboratorio de mediciones físicas.

Parámetro	Resultado	Tolerancia	Unidad
Densidad	1,12	0,03	gr/cm <sup>3</sup>
Dureza	72	5	ShoreA
Tracción	41,6		Kg/cm <sup>2</sup>
Elongación	280		%
Mód. Young	11,5		Kg/cm <sup>2</sup>
T. Térmica	0,12		W/(m.K)
P.V. Agua	0,05		Kg/(cm.h.Pa)

### 4. PERDIDAS POR TRANSMISIÓN

A partir de los valores físicos evaluados en laboratorio, se procedió al cálculo de pérdidas por transmisión. Para esto se utilizaron distintos métodos de cálculo, como ser los criterios de primera y segunda aproximación para pared simple [3][6], y tercera aproximación, considerando una pared simple, elástica, homogénea y finita, según norma ISO 12354-1[4]. Para este último modelo se contempló una pared de 10 metros de largo por 3 metros de alto. Se contempló también, un espesor del material de 2mm, coincidente con lo evaluado en laboratorio.

No se contempló en ningún caso evaluar el material como una pared doble, pese a su criterio de compuesto tricapa, ya que se obtuvieron los valores físicos para distintos parámetros del compuesto final.

### 5. RESULTADOS OBTENIDOS

A fin de simplificar la comprensión del presente trabajo, se muestran en la figura 1 sólo los resultados del cálculo según la norma ISO 12354-1, considerando a esta el mejor criterio de aproximación.

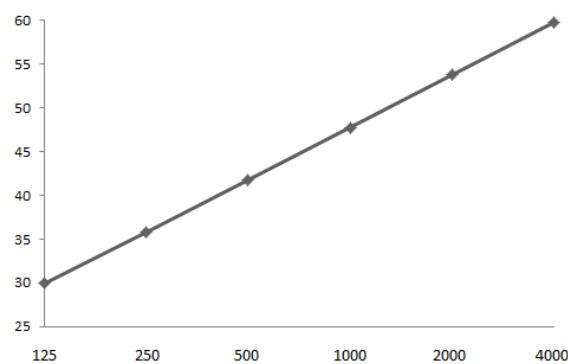


Figura 1: Pérdidas por transmisión en dB, en función de la frecuencia [Hz].

### 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores obtenidos corresponden a un nivel de aislación acústico óptimo, ya que son congruentes con valores similares a los de un muro de 12cm de espesor de obra húmeda [12].

Se observa también que el incremento del coeficiente de atenuación sonora es de 6dB por octava, lo que coincide con lo establecido en la ley de masas. Sin embargo, no se observan alteraciones dentro del rango de frecuencias evaluado, ya que la frecuencia de coincidencia, producción de ondas de la existencia de ondas de flexión en el material es muy alta, ya que se logró generar un módulo de Young muy elevado. Por otro lado, debido al espesor y masa del material, la frecuencia de densidad es extremadamente alta. Ambas frecuencias, coincidencia y resonancia se encuentran fuera de los límites audibles.

Por otro lado, los resultados obtenidos en laboratorio corresponden a niveles óptimos de aislación térmica e hidrófuga según las normativas IRAM de habitabilidad [13-17].

### 7. CONCLUSIONES

A partir del análisis de distintos materiales se ha logrado alcanzar un aislante acústico de muy buenos niveles de pérdidas por transmisión, y de excelentes prestaciones mecánicas, lo que simplifica la colocación en obra del mismo evitando así la

generación de fugas acústicas, producto de grietas y fisuras en el material.

Al mismo tiempo, este producto muestra excelentes propiedades de habitabilidad, mostrando muy buenas condiciones como aislante hidrófugo, y también generando un muy buen aporte a la transmisibilidad térmica del sistema constructivo final que componga.

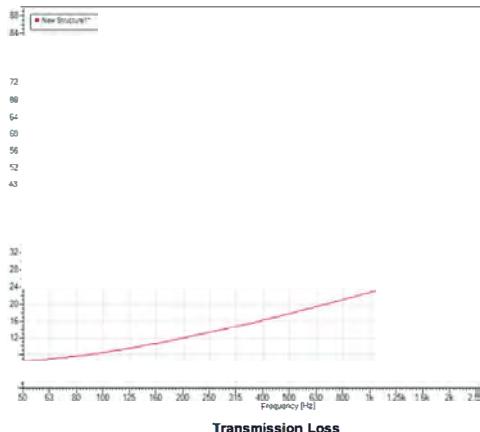
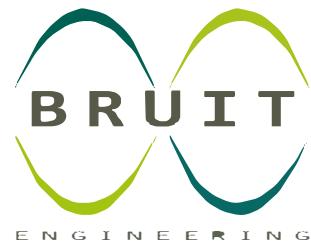
## REFERENCIAS

- [1] Ministerio español de obras públicas y urbanismo, NBE CA 88, Condiciones acústicas en los edificios, España, (1988).
- [2] Ministerio de obras públicas y urbanismos, CTE DB HR, Protección frente al ruido, España, 2009.
- [3] Barron, Randall F, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker (2003).
- [4] ISO 12354-1 Acústica de la edificación, Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos, Parte 1Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. (2000)
- [5] Serway, Física para Científicos e Ingenieros, 6ta Ed. (2004)
- [6] Mommerts, E. Acoustic and sound insulation, Edition Detail (2008)
- [7] ASTM D792, Standard test method for density and Specific Gravity of Plastic and Displacement (2008).
- [8] ASTM D2240, Standard test Method of Rubber Property (2003)
- [9] ASTM D412 - A, Standard test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers – Tension.
- [10] IRAM 11564, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de calor en régimen estacionario. Métodos de la caja caliente con guarda y calibrada (1994)
- [11] IRAM 1735, Materiales de construcción. Método de ensayo de la permeabilidad al vapor de agua.
- [12] ISO 140, Medición de aislación sonora en edificios y sus componentes. (2004)
- [13] IRAM 11601, Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo, propiedades térmicas de las componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.
- [14] IRAM 11603, Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la república Argentina. (1996)
- [15] IRAM 11604, Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. (2001)
- [16] IRAM 11625, Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones Higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de

agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. (2000).

[17] IRAM 11630 Verificación de sus condiciones Higrotérmicas. Verificación riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. (2000)

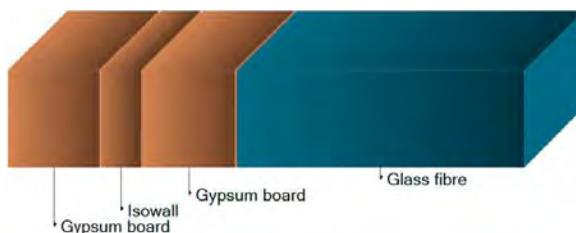
A fin de optimizar las características de los aislantes acústicos, Se desarrolló un material de mejores prestaciones mecánicas, lo cual permite evitar fugas por roturas y grietas, al mismo tiempo que se facilita la instalación. Además es también aislante hidrófugo y térmico.



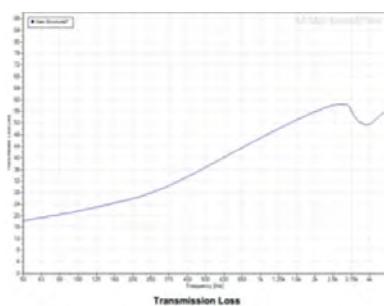
El aislante se trata de un elastómero termoplástico vulcanizado, el cual cuenta con una fibra textil direccionada en su interior. Lo que permite, por un lado, contemplar 3 cambios de impedancia acústica, favoreciendo las pérdidas por transmisión y, por otro lado, brindarle mayor resistencia mecánica al material.

$$Rw = 22 \text{ dB} \quad C = -1 \quad Ctr = -4$$

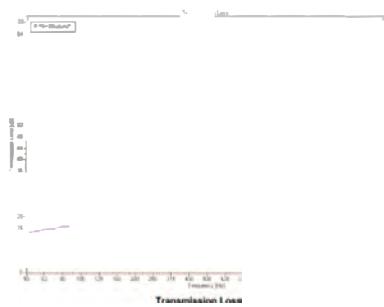
### Yeso 12mm + ISOWALL + Yeso 12mm + Lana de vidrio 50mm



### Espuma PU 30mm + ISOWALL + Chapa galvanizada 1,2mm



$$Rw = 40 \text{ dB} \quad C = -1 \quad Ctr = -6$$



$$Rw = 34 \text{ dB} \quad C = -1 \quad Ctr = -5$$

## **Acústica fisiológica y acústica médica**

---

# CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE PÉRDIDA DE INSERCIÓN DE TAPONES AUDITIVOS

Marco Vittori<sup>1</sup>, Daniel Guerrero<sup>2</sup>, Nicolás Patiño<sup>3</sup>, Emmanuel Misley<sup>4</sup>, Florent Masson (tutor)<sup>5</sup>, Matias Pace<sup>6</sup>(tutor)

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina  
marcovittoricole@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina  
daniel.guerrero.gil@gmail.com

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina  
nicolasezequielpb@gmail.com

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina  
emmanuel.misley@gmail.com

<sup>5</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina fmasson@untref.edu.ar  
Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina

<sup>6</sup>matias.pace@hotmail.com

**Resumen -** En este trabajo se analiza el comportamiento de distintos protectores auditivos, en especial los del tipo tapones, los cuales han sido divididos en dos categorías: caseros y comerciales. La calificación de los mismos se ha hecho por medio del parámetro índice de pérdida de inserción con el que se pretende evaluar el rendimiento. La medición de este último se ha hecho por medio de una cabeza binaural con el objetivo de emular las condiciones de escucha del canal auditivo del usuario. A partir de los resultados que se obtuvieron se descartan los tapones caseros como protectores contra ruidos intensos en contraposición con los comerciales, no obstante ninguno tuvo una pérdida de inserción plana a excepción del tapón Vic Firth que lo fue relativamente.

**Abstract -** This paper analyses the behavior of different hearing protectors, earplugs in particular. They were divided into two categories: homemade and commercial. These protectors have been classified with the insertion loss index which tries to evaluate their performance. Every Measurement has been done with a binaural dummy head with the purpose of emulating the listening conditions of the user's aural channel. The results obtained show that handmade ear plugs are not as good as commercials in a loud noise context. Also, none of them presents a flat insertion loss, except the Vic Firth earplugs.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los protectores auditivos pertenecen a la clasificación de los equipos de protección individual. Tienen como propósito evitar que un ruido excesivo llegue al oído interno disminuyendo los niveles de exposición hasta valores que puedan considerarse como seguros. Estos pueden ser más o menos efectivos ya que dependen del contexto en el que se está inmerso, de su uso durante todo el periodo de exposición y de su correcta inserción en el canal auditivo. Por ello, para seleccionar el protector más adecuado habrá que tener en cuenta las condiciones de trabajo, la evaluación de riesgos y el nivel de atenuación que se persigue [1]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) “calcula que 1100 millones de jóvenes de todo el mundo podrían estar en riesgo de sufrir pérdida de audición debido a prácticas

auditivas perjudiciales” [2].

De esta manera se hace énfasis en la importancia del uso de protectores en lugares donde se superen los 85 dBA eq en una jornada de 8 horas disminuyendo a la mitad el periodo de exposición al aumentar el nivel de presión en 3 dB [3]. El éxito de los protectores auditivos se basa en la prevención de traumas acústicos; leves como los acúfenos o corrimientos del umbral de percepción y severos como la ruptura timpánica [4]. Entre los diversos tipos de protectores que se pueden obtener en el mercado para lograr este cometido se encuentran: las orejeras, los protectores no pasivos y pasivos y tapones.

En consecuencia el objetivo del presente trabajo se centra en comparar el rendimiento de distintos tipos de protectores auditivos, en particular los del tipo tapones; para ello se ha tomado el índice de pérdida de inserción (IL) como parámetro de medida y

caracterización de los mismos.

El IL es un indicador que proporciona información sobre la reducción de nivel de ruido debido a un objeto interpuesto entre la fuente y el receptor (óido, micrófono). Por tanto su valor estará determinado por las características de todo el sistema. Se define como la diferencia en dB entre los niveles de potencia sonora medidos en un punto antes y después de que el objeto sea insertado entre el punto de medida y la fuente de ruido. En este caso se define como la diferencia entre los niveles dentro y fuera del canal auditivo[5]; es decir que cuanta mayor sea esta última más aislará el protector.

$$IL = SPL_1 - SPL_2(1)$$

Donde SPL1 equivale al nivel de presión sonora medido fuera del canal auditivo y SPL2 al nivel medido dentro del canal auditivo.

En este trabajo se presentará en la sección metodología lo que respecta al desarrollo de las mediciones con sus respectivos equipamientos; en la siguiente sección en resultados y discusiones se mostrarán los resultados que se obtuvieron, su análisis y una reseña de los errores a tener en cuenta. Por último se darán las conclusiones de este trabajo y las implicaciones que tendrá en un futuro.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales utilizados

En esta experiencia se evaluó el desempeño de cuatro tipos de protectores auditivos. En primer lugar se probaron los protectores de algodón cuyo peso es  $(0,28 \pm 0,01) g$ . En segundo lugar los protectores hechos de papel higiénico de peso  $(0,56 \pm 0,01) g$ ; estos se presentan en la figura 1. En tercer lugar se midieron dos modelos de protectores de silicona de la marca Farmacity, un par descartable y otro par reutilizable (figura 2) y por último los protectores reutilizables Vic Firth (figura 3).

Los primeros dos entran en la categoría de tapones caseros y los restantes en la categoría de los comerciales.



Figura 1: Protectores hechos con papel higiénico (izquierda) y con algodón (derecha)



Figura 2: Protectores de silicona marca Farmacity



Figura 3: Protectores auditivos Vic Firth

El sistema de medición que se utilizó se ilustra en la figura 4. Desde una notebook [1] se envió una señal de ruido blanco hacia un parlante KRK Rokit 8 Generation II [2] con la finalidad de probar el rendimiento de cada protector. Luego las variaciones de presión son captadas por dos micrófonos: un micrófono DPA 4062 [3] ubicado en la oreja de la cabeza binaural marca Kemar Grass [4] y otro micrófono localizado en la parte interna de la cabeza [5]. Luego ambas señales son conducidas hacia el preamplificador Grass 26AC de 1/4" [6]. Cada señal ingresa a un canal de la interfaz de audio Focusrite Scarlett 2i2 [7] en la que es convertida y procesada con el programa Cubase 5. Antes de comenzar con el proceso de medición se midió el nivel de presión sonora al lado de la oreja de la cabeza binaural con un sonómetro Svanek Svan 959 en el que se registró un nivel de presión sonora de 80 dBA aproximadamente.

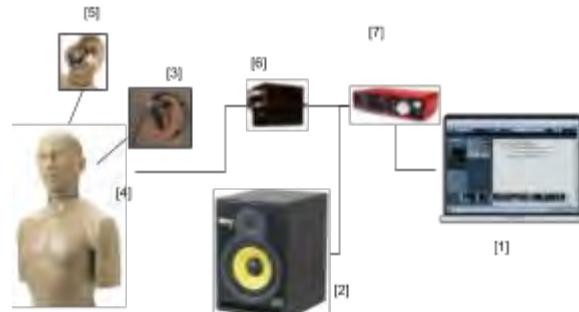


Figura 4: Configuración utilizada para grabar las muestras

## 2.2. Proceso de medición

Éste consistió en hacer una toma de referencia con ruido blanco y otra con el mismo ruido pero con el protector (esta metodología se explicará detalladamente en la sección 3.1 donde se analizarán los errores del proceso de medición). Luego de probar cada protector, se obtuvo una señal interna, tomada con el micrófono de la cabeza binaural, y otra externa tomada con el micrófono DPA 4062. La relación entre estas dos señales es el parámetro de índice de pérdida de inserción (IL).

Posteriormente las señales capturadas fueron recopiladas y analizadas mediante la utilización de la FFT (Fast Fourier Transform), luego se obtuvieron los valores del IL en dB por banda de octava. Esta información se volcó más tarde en los gráficos de los distintos tapones [6].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 3.1. Resultados de los protectores en la categoría caseros con ruido blanco

En los gráficos que se presentan a continuación, se pueden observar los valores de presión sonora (dB) adentro y afuera de la cabeza, es decir, antes y después de ser atenuados con el protector, contra un espectro de frecuencia desde 32 Hz a 16000 Hz. Para los tapones caseros hechos de papel higiénico (figura 5) y algodón (figura 6). Finalmente se hizo una comparación entre los tapones caseros (figura 7).

### 3.2. Resultados de los protectores en la categoría comerciales con ruido blanco

En los siguientes gráficos, se presentan los datos que se obtuvieron de las mediciones de los tapones comerciales. Se utilizaron los mismos criterios que en los caseros. Por lo tanto, en la figura 8, se puede observar el nivel de presión sonora, antes y después de la atenuación, de los tapones marca Farmacity reutilizable. En la figura 9, el de los tapones marca Farmacity descartables y en figura 10, el de los tapones marca Vic Firth. Además, al igual que anteriormente, se comparó la atenuación de los tres tapones y se volcó la información en un gráfico (figura 11).

Finalmente se presenta en la tabla 1 una recapitulación del IL por octava para todos los protectores mencionados.

### 3.3. Análisis de los resultados para los protectores caseros

Los tapones de algodón presentaron una atenuación baja en las frecuencias más graves

creciendo levemente hasta los 250 Hz, donde se presenta un salto importante. Luego, la atenuación siguió en aumento moderado.

Los tapones de papel están en una situación similar a la de los de algodón, pero el salto nombrado anteriormente es menos abrupto, y el crecimiento de la atenuación tiene una notoriedad menor entre octava y octava.

### 3.4. Análisis de los resultados para los protectores comerciales

Los tapones de la marca Farmacity descartables brindaron una atenuación elevada desde las frecuencias bajas, y esta sigue aumentando muy rápidamente a medida que se duplica la frecuencia.

Los tapones de la marca Farmacity reutilizables, presentan una atenuación notable a partir de 1 kHz, y luego ésta fluctúa sin tener un aumento por octava como en el resto de los tapones.

Los tapones de la marca Vic Firth presentan una atenuación leve en las bajas frecuencias, la cual va en aumento de octava a octava, hasta llegar a un pico en los 1000 Hz. Luego desciende abruptamente, y vuelve a ascender de una forma pareja hasta llegar a las frecuencias más altas.

### 3.5. Errores en la metodología

La siguiente lista contempla los errores que se han detectado en las mediciones:

- Como se mencionó en la sección anterior se realizaron dos tomas para cada protector; ¿Por qué no cambiar el protector directamente y medir?, la respuesta a ello es que la inserción de cada protector en el canal auditivo cambiaba la posición del micrófono que se encontraba afuera de la oreja, lo cual alteraba la medición. Esto se ve en detalle en [3] de la figura 4.
- No es igual la inserción del tapón en el canal auditivo de un persona que en la cabeza binaural, cuando se lo inserta no hay control de qué tan adentro puede estar; es decir la inserción depende de la comodidad del usuario. En esta experiencia este aspecto se omitió, lo que quiere decir que un protector pudo tener mayor IL que el que tendría dentro del oído de un usuario.
- Si bien la sala estaba preparada para este tipo de experiencias, la aislación de la sala no fue suficiente como para despreciar los sonidos incidentes del exterior. Esto ocasionó que en los resultados de las mediciones de algunos tapones se denote un aumento del nivel de presión sonora en las frecuencias bajas, respecto a la medición anterior a la atenuación.

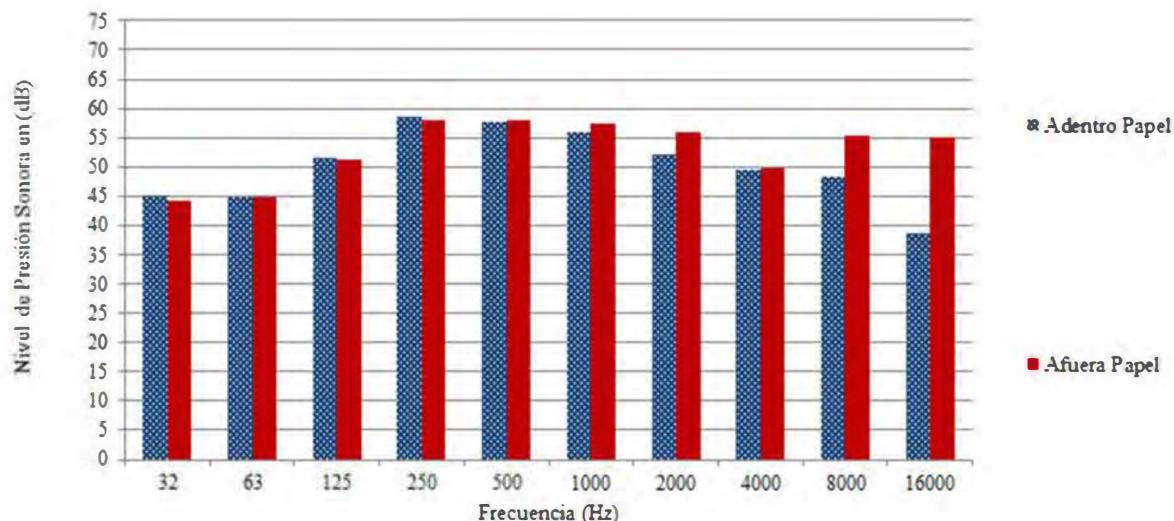


Figura 5: nivel de presión sonora antes (afuera) y después (adentro) de los tapones de papel

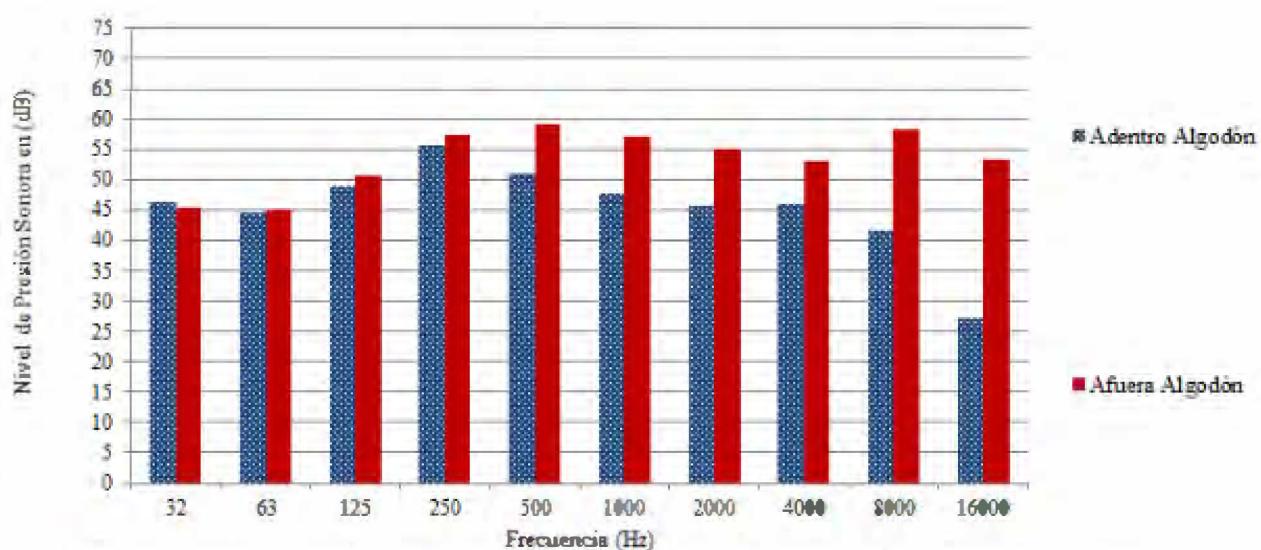


Figura 6: nivel de presión sonora antes (afuera) y después (adentro) de los tapones de algodón

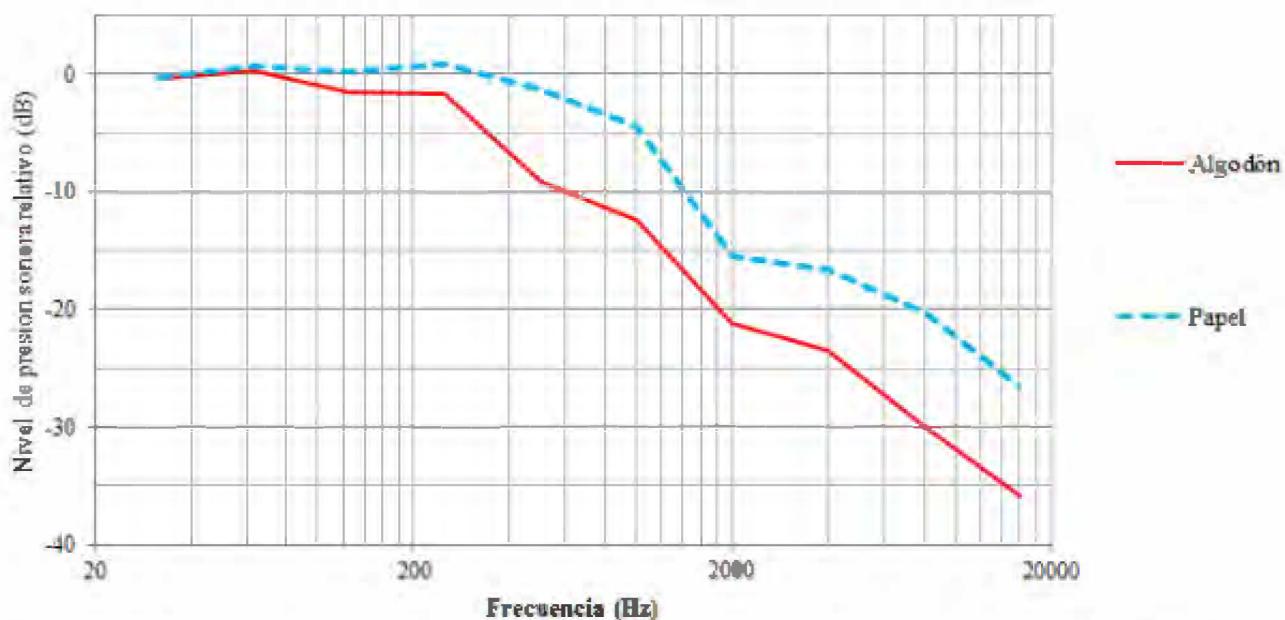


Figura 7: comparación de la atenuación según la frecuencia entre los tapones de papel y de algodón

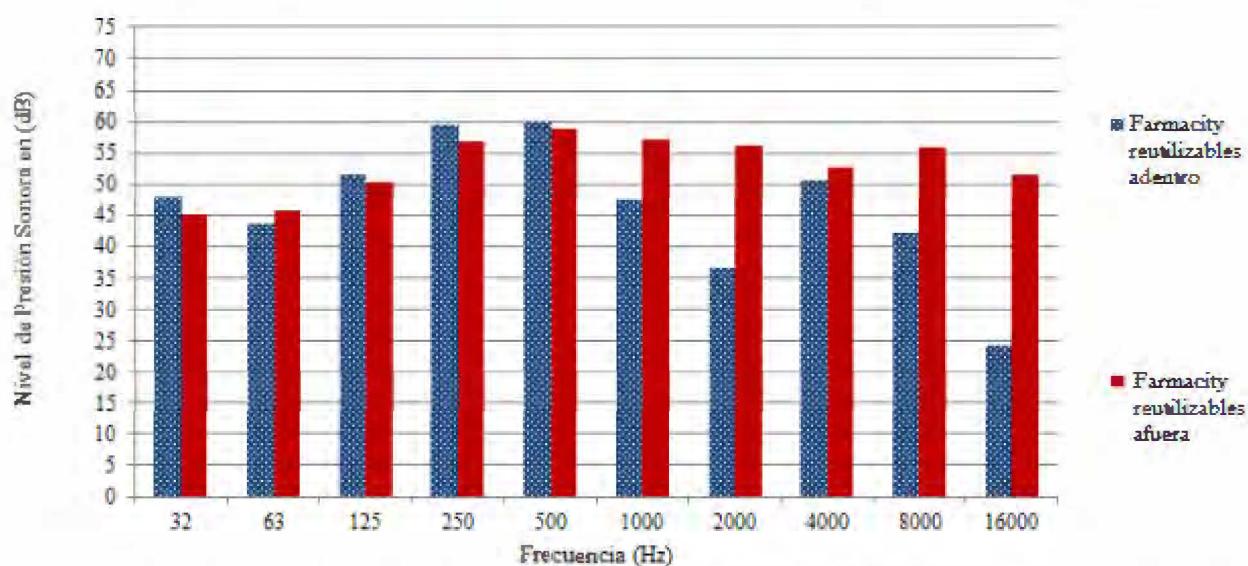


Figura 8: nivel de presión sonora antes (afuera) y después (dentro) de los tapones marca Farmacity reutilizables

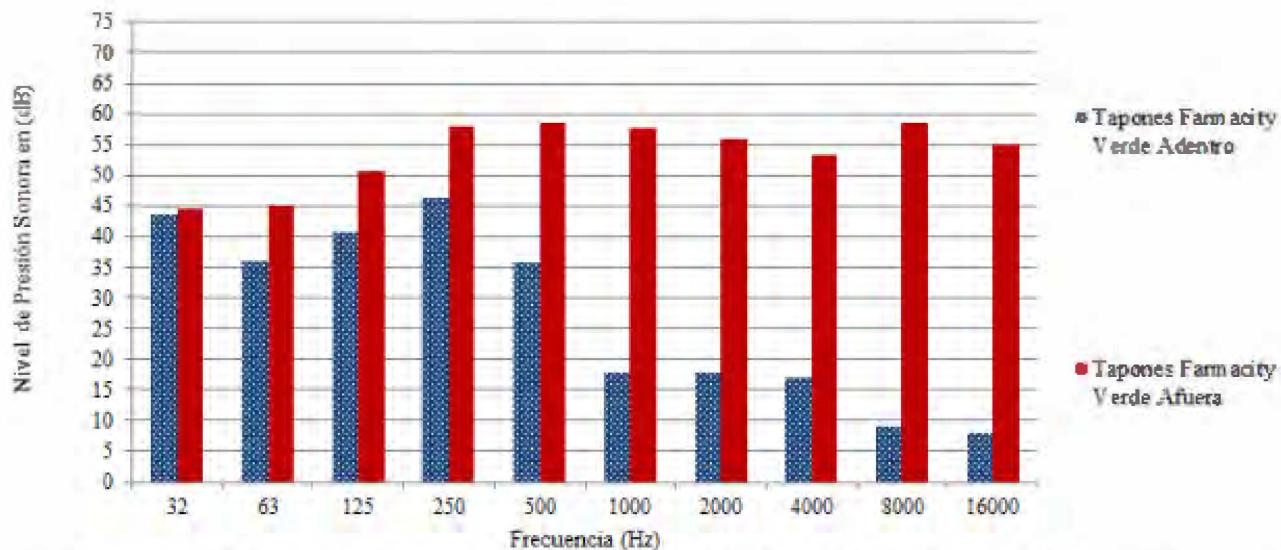


Figura 9: nivel de presión sonora antes (afuera) y después (adentro) del tapón marca Farmacity descartable

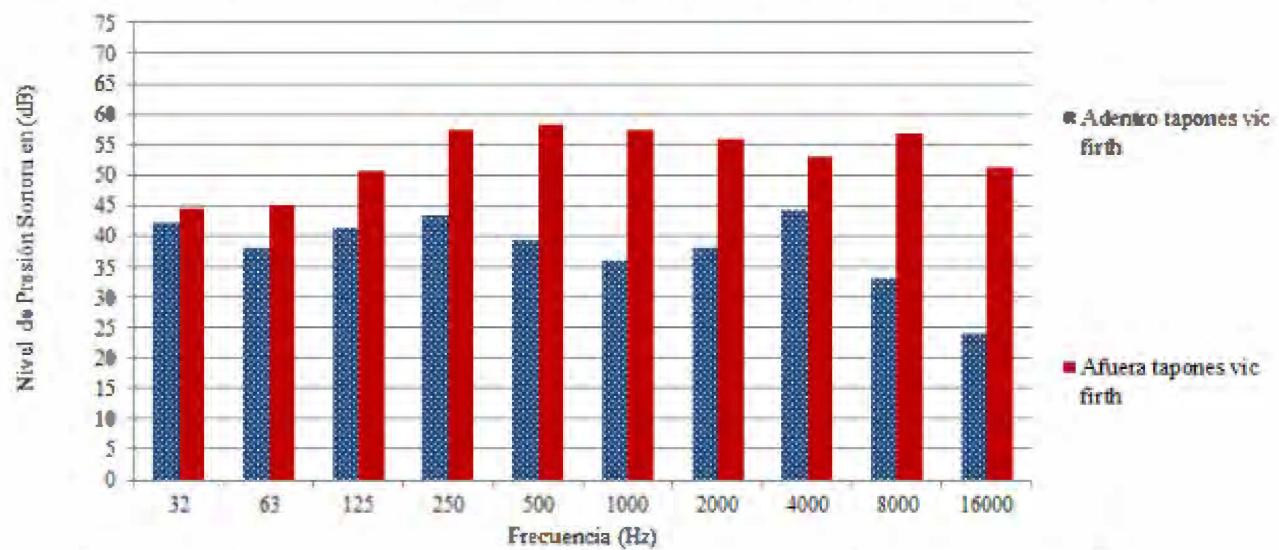


Figura 10:nivel de presión sonora antes (afuera) y después (adentro) del tapón marca Vic Firth

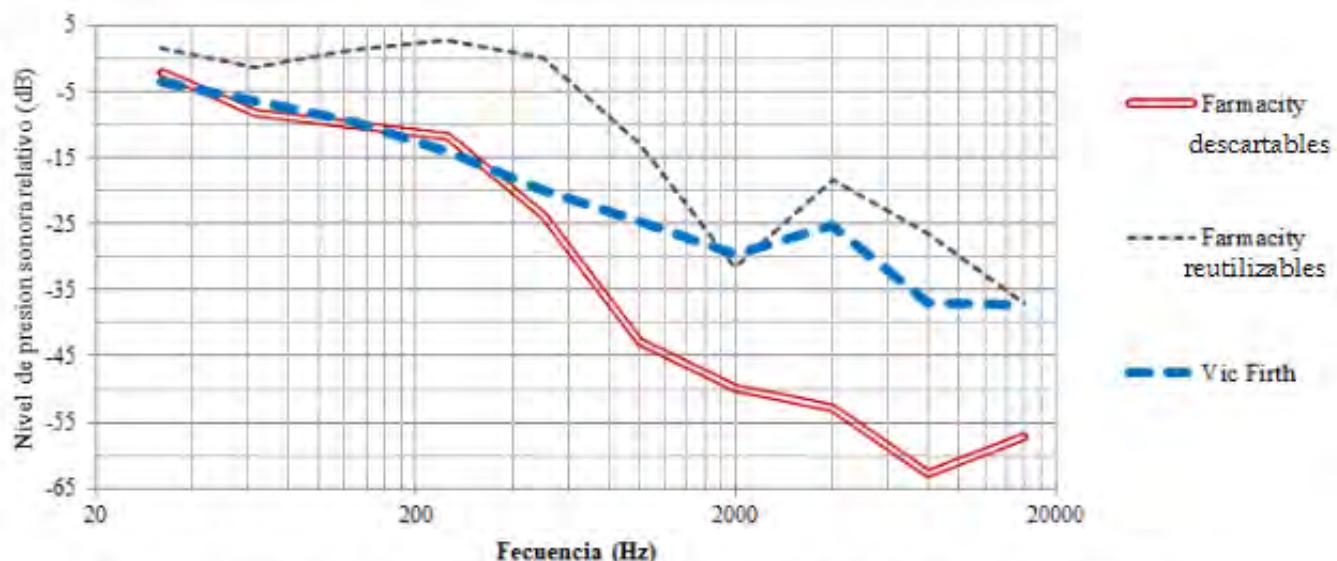


Figura 11: comparación de la atenuación según la frecuencia entre los tapones comerciales

Tabla 1: atenuación por frecuencia de todos los tapones

FRECUENCIA (Hz)	ATENUACIÓN (dB)				
	Algodón	Papel	Farmacy descartables	Vic Firth	Farmacy reutilizables
32	0,1	0,6	2,9	4,3	-1,4
63	0,6	0	9	6,6	0,6
125	1,4	-0,6	10,2	9,4	-1,1
250	2,8	-0,6	11,9	14,1	-2
500	9,2	2,2	24,9	22,9	0,9
1000	11,9	3,6	45,7	28	15,5
2000	21,6	14,6	39,1	19,2	20,8
4000	21,9	18,5	48,6	20,9	14,1
8000	25,6	19,2	55	31,4	22,6
16000	35,4	24	54,4	37,9	38,5

#### 4. CONCLUSIONES

Los protectores más apropiados en toda la medición fueron los Vic Firth ya que protegen muy bien el rango de frecuencias que comprende la voz humana y la música, atenuando de una forma sutil y controlada, para brindar al usuario un sonido con menos presión, pero claro.

De todos los protectores el que mayor porcentaje de absorción obtuvo fue el protector Farmacity descartable. La atenuación de este protector fue muy abrupta a partir de los 250 Hz en adelante, este tipo de atenuación es muy poco conveniente para ámbitos en los que se escucha música como por ejemplo un concierto, pero puede ser usado con buenos resultados en ambientes ruidosos.

El protector Farmacity reutilizable no tuvo un porcentaje de absorción provechoso debido a que la atenuación de frecuencias por encima de los 200 Hz fue muy despareja y se puede observar que, en este sentido, no sigue ningún criterio específico.

Mediante el análisis de los protectores caseros se observó que la atenuación del protector de papel se hizo efectiva alrededor de 1 kHz, lo que lo convierte en un protector deficiente para ambientes ruidosos; de la misma manera para los protectores de algodón, aunque estos atenuaron de forma más pareja en todo el espectro. Vale mencionar que la atenuación producida por estos protectores despierta curiosidad puesto que el material es de muy fácil acceso; en otros trabajos se ha encontrado el IL bastante plano con tapones hechos de papel [7]; queda entonces como tarea futura

experimentar con tapones hechos caseramente para conseguir maximizar el índice de pérdida de inserción.

## 5. REFERENCIAS

- [1][http://cenormadrid.org/prl/pdf/BOLETIN\\_2-2012.pdf](http://cenormadrid.org/prl/pdf/BOLETIN_2-2012.pdf)
- [2]<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/es/>
- [3]<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/90000-94999/90396/norma.htm>
- [4]<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001038.htm>
- [5][https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en\\_US/documents/technical/ger/ger-4248-acoustic-terms-definitions-general-information.pdf](https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/technical/ger/ger-4248-acoustic-terms-definitions-general-information.pdf)
- [6] El programa WavToNPS es un analizador de señales, el cual tiene la capacidad de medir, mediante algoritmos parámetros como el TR (Tiempo de reverberación), LP (Nivel de Presión Sonora), análisis de frecuencias por medio de FFT (fast Fourier transform), entre otras aplicaciones. El mismo está diseñado por un profesor de la Universidad Nacional de Tres de Febrero para que los alumnos tengan acceso a implementar los cálculos en la plataforma Matlab.
- [7]Bevilacqua G, Massolo E, Rivero G, Ortiz M. “*Evaluación sobre la eficiencia de tapones auditivos de bajo costo en relación con los cambios en la percepción auditiva*” Buenos Aires, Argentina. Junio 2016

# ***Caracterización del índice de pérdida de inserción de tapones auditivos***

Guerrero, Daniel; Patiño, Nicolás; Misley, Emmanuel;  
Vittori S., Marco.

[daniel.guerrero.gil@gmail.com](mailto:daniel.guerrero.gil@gmail.com) [nicolasezequielpb@gmail.com](mailto:nicolasezequielpb@gmail.com)  
[emmanuel.misley@gmail.com](mailto:emmanuel.misley@gmail.com) [marcovittoricole@gmail.com](mailto:marcovittoricole@gmail.com)

---

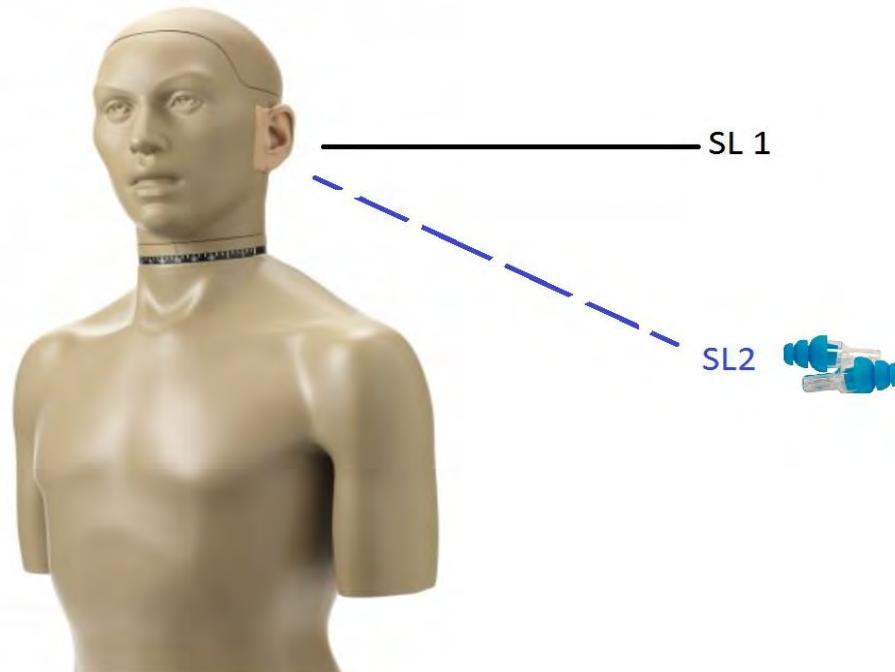
# Protectores auditivos

---

- Su función principal es proteger contra altos niveles de exposición
- Uso recomendado:
  - La selección del protector auditivo más adecuado, está conectada con las condiciones de trabajo del usuario, la evaluación de riesgos y el nivel de atenuación que se persigue (85 dBA eq en 8 horas como máximo)
- Importancia de su uso:
  - La Organización Mundial de Salud, calcula que 1100 millones de jóvenes en el mundo están en riesgo de sufrir pérdida de audición
  - Prevención de traumas acústicos.

Indice de perdida de insercion (**IL**)

**INSERTION LOSS (IL)**: Diferencia en dB entre los niveles dentro y fuera del canal auditivo con protector.



$$\text{IL} = \text{SL1} - \text{SL2}$$

## Materiales utilizados

- Tapones caseros
  - Tapón hecho de algodón de  $(0,28 \pm 0,01)$  g
  - Tapón hecho de papel higiénico de  $(0,56 \pm 0,01)$  g

### Tapones comerciales

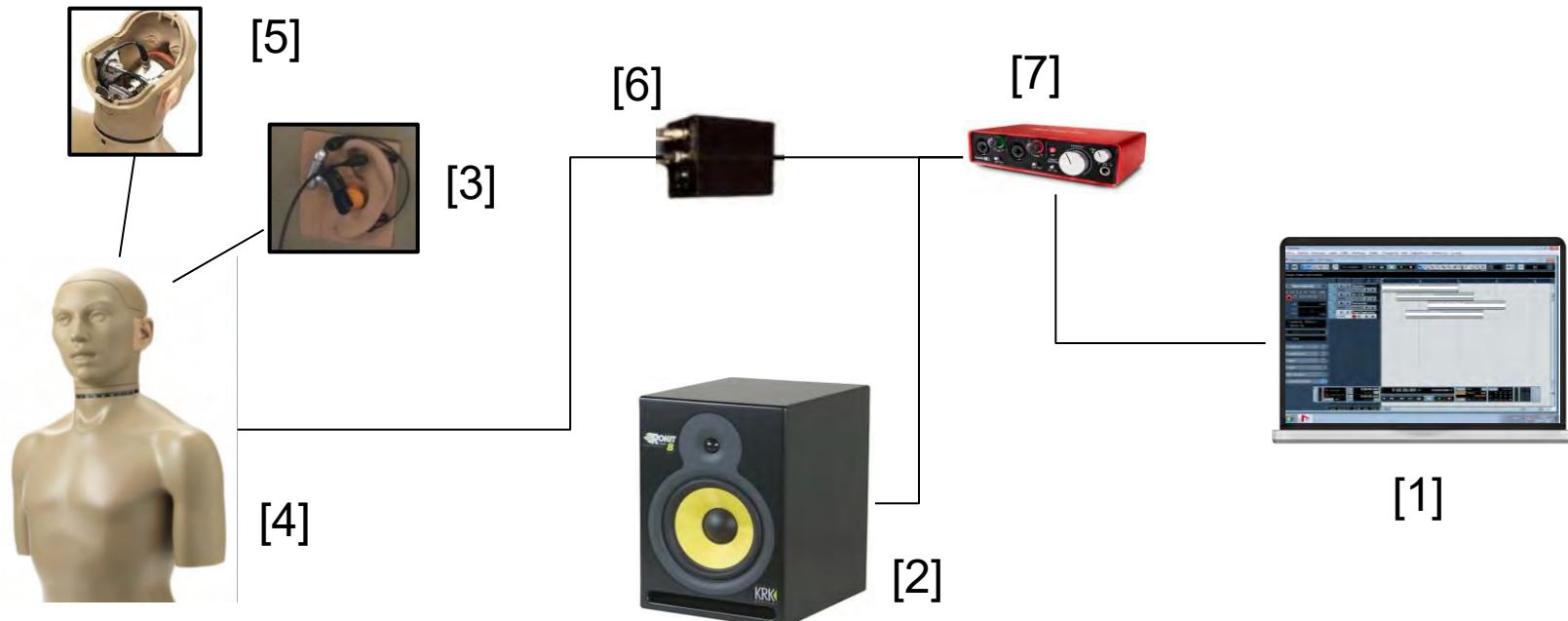
- Tapón marca Vic Firth
- Tapón marca Farmacity reutilizable y descartable



# Materiales utilizados

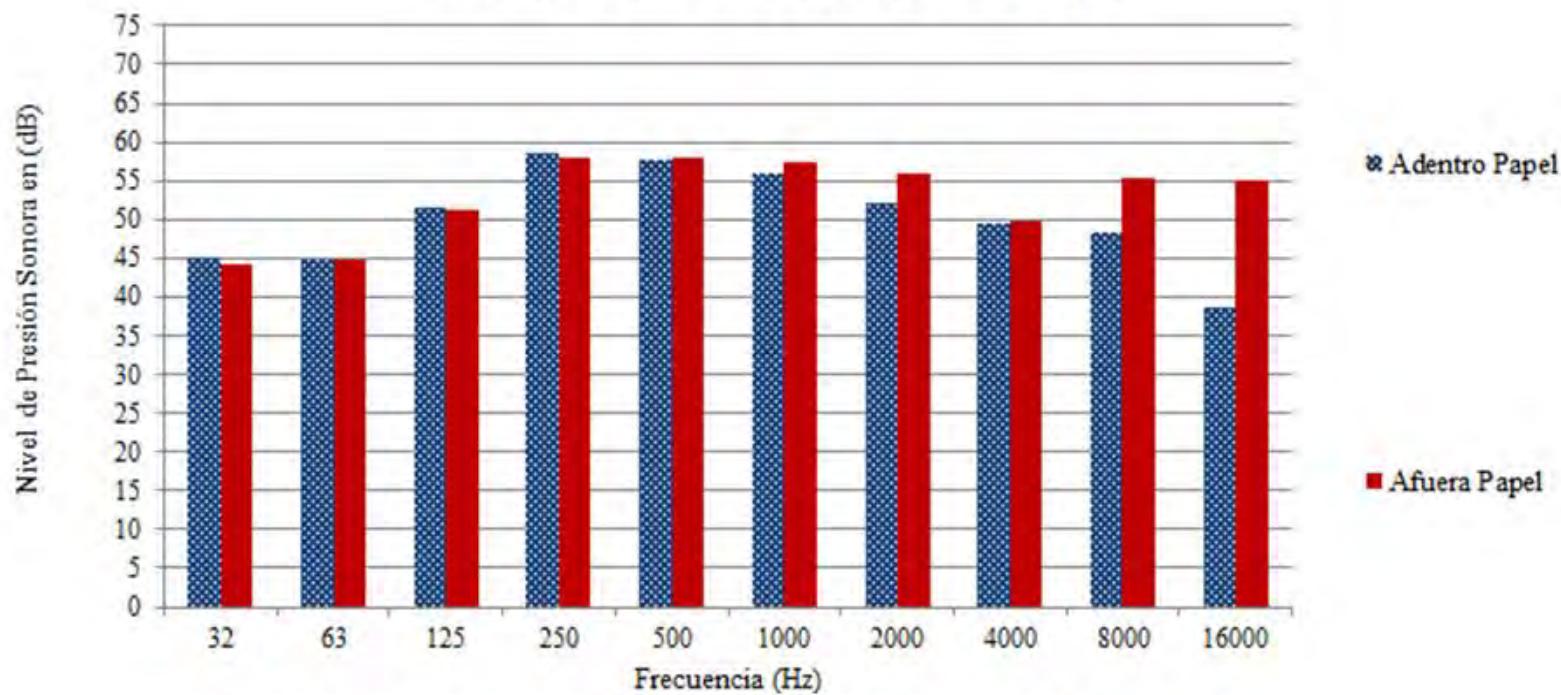
## Notebook [1]

- Parlante KRK Rokit 8 Generation II [2]
- Micrófono DPA 4062 [3]
- Cabeza binaural marca Kemar Grass [4]
- Micrófono localizado en la parte interna de la cabeza [5]
- Preamplificador Grass 26AC de 1/4" [6]
- Interfaz de audio Focusrite Scarlett 2i2 [7]



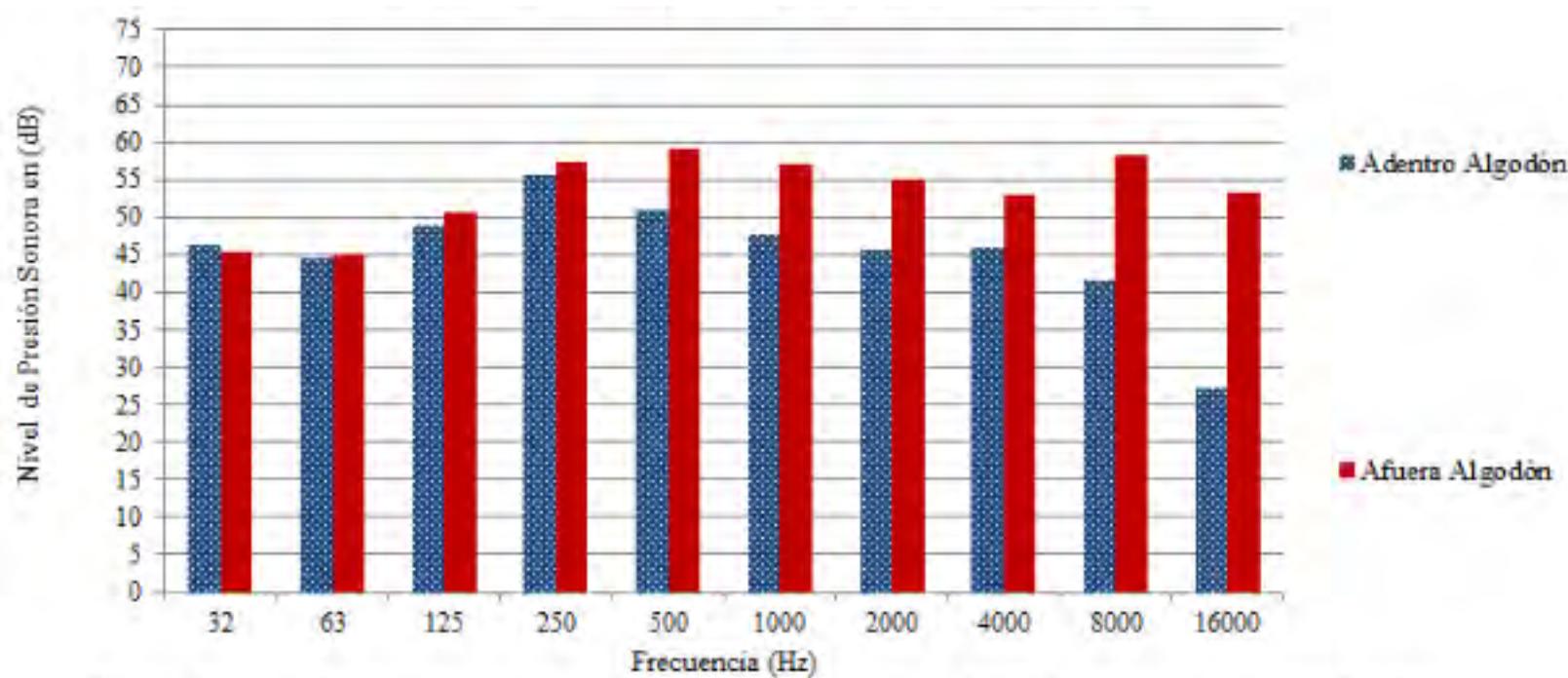
## Resultados de los protectores caseros

Nivel de presión antes y después de los tapones de papel



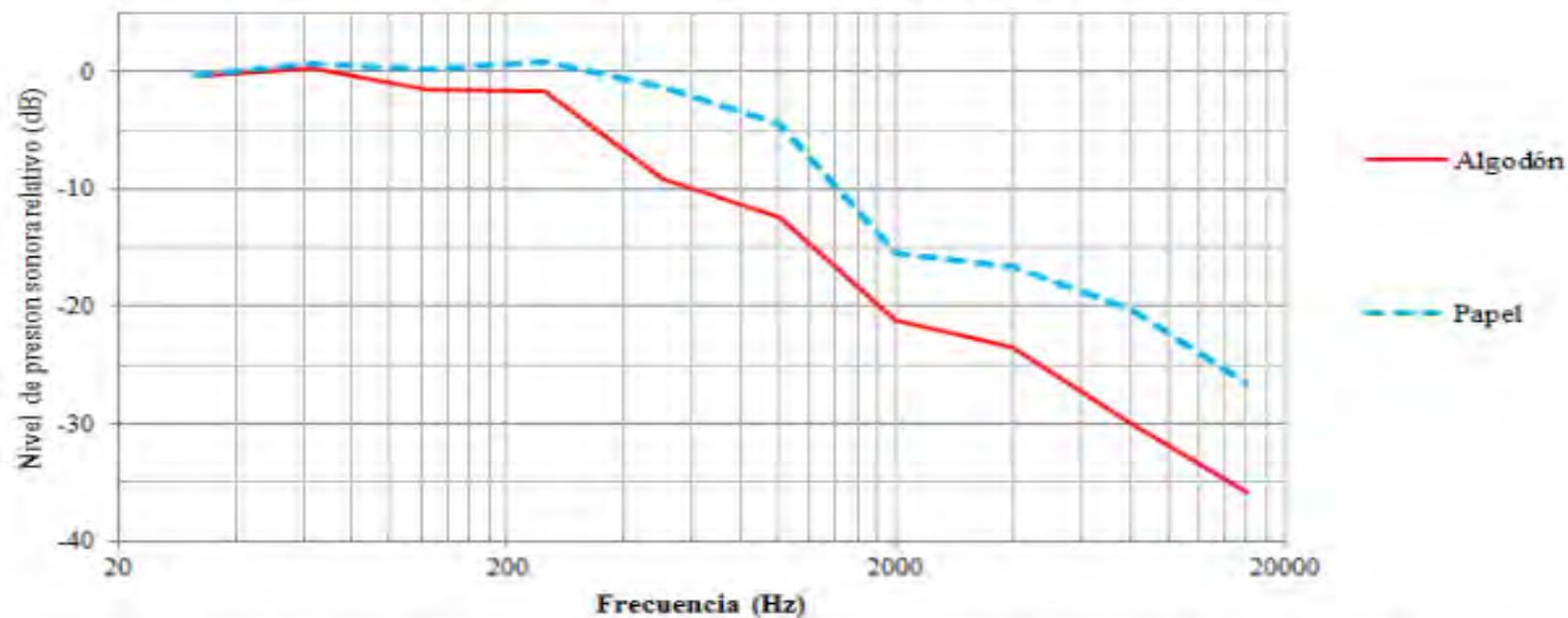
## Resultados de los protectores caseros

Nivel de presión antes y después de los tapones de algodón



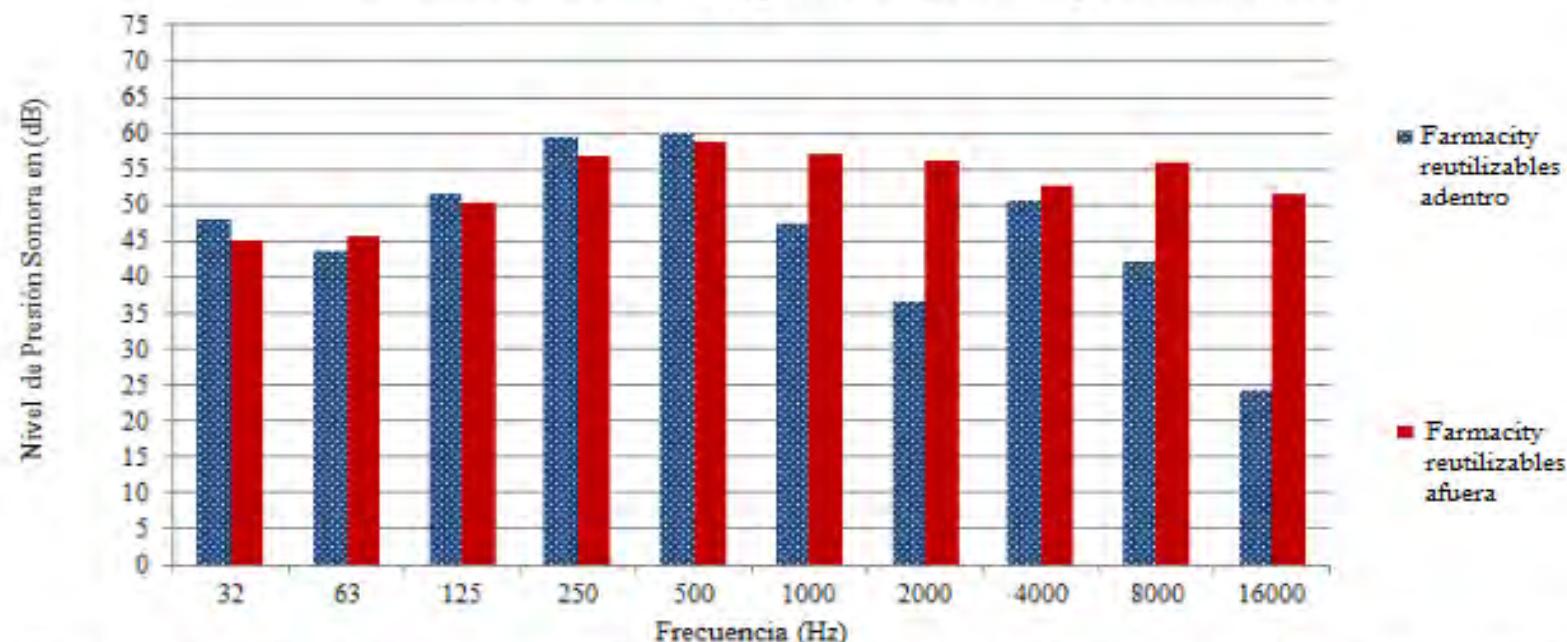
## Resultados de los protectores caseros

Comparación de atenuación de los dos tapones caseros respecto de la frecuencia



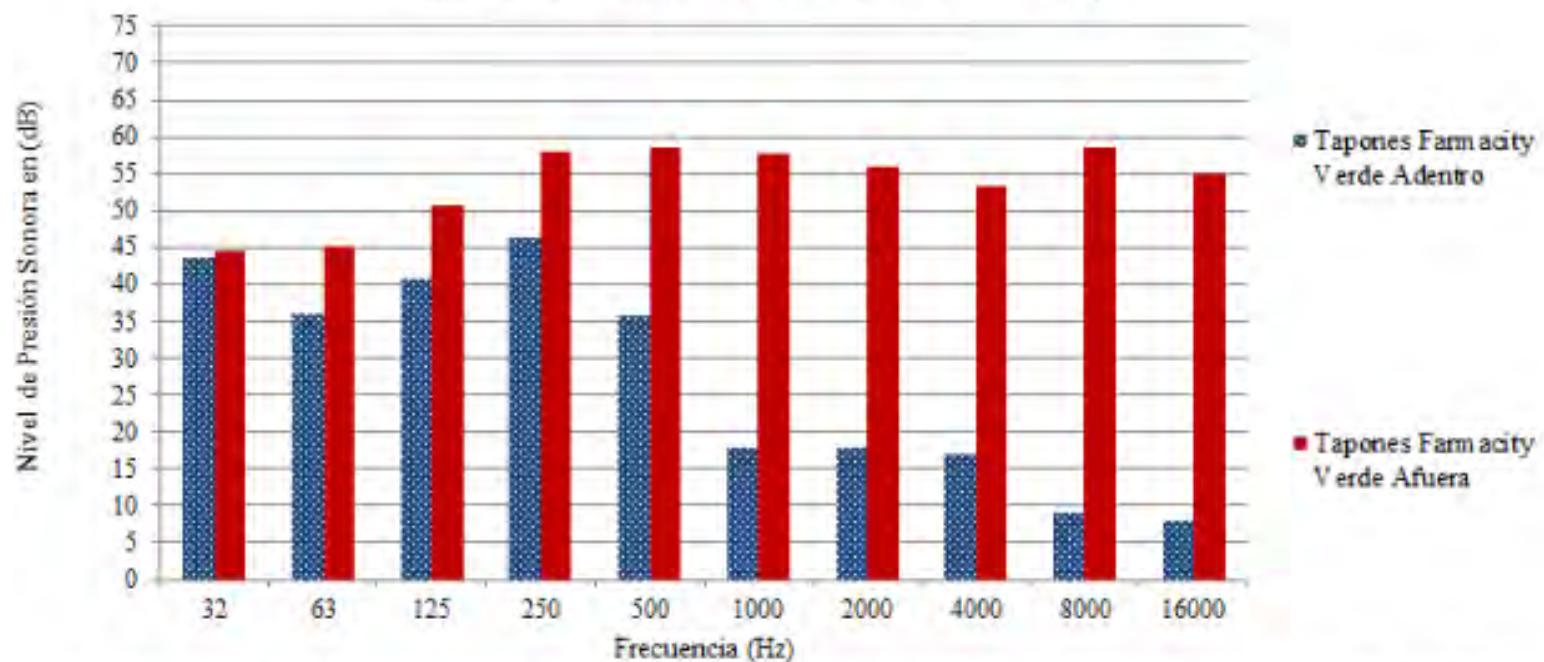
## Resultados de los protectores comerciales

Nivel de presión sonora antes y después de los tapones marca Farmacity reutilizables



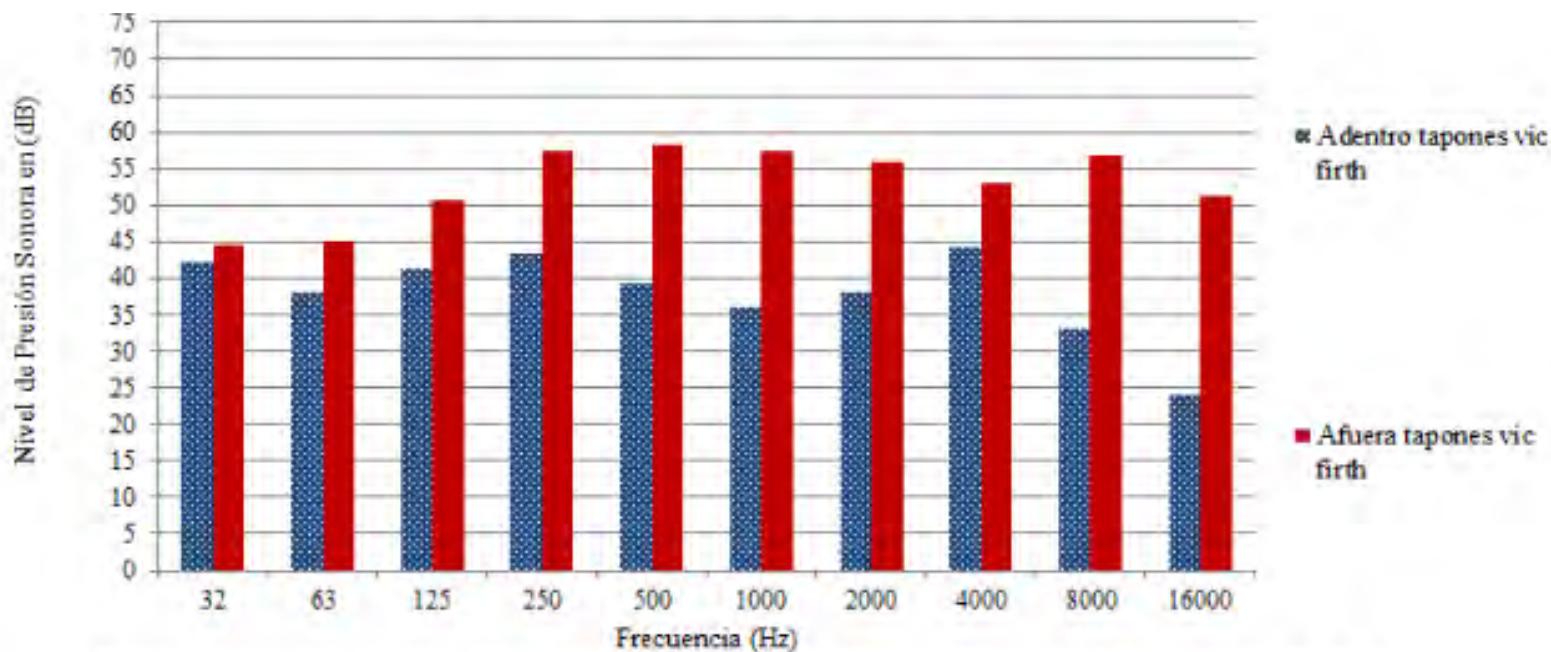
## Resultados de los protectores comerciales

Nivel de presión sonora antes y después de los tapones marca Farmacity descartables



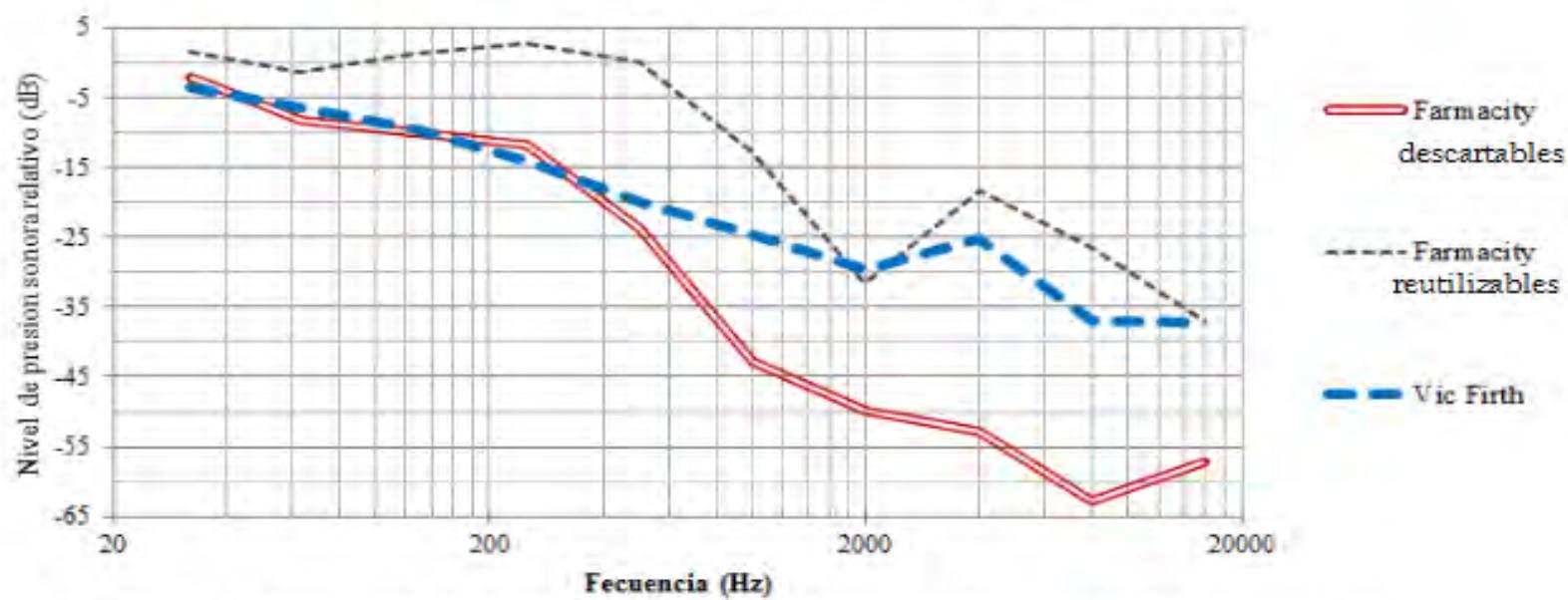
## Resultados de los tapones comerciales

Nivel de presión sonora antes y después de los tapones marca Vic Firth



## Resultados de los tapones comerciales

Comparación de atenuación de los tapones comerciales respecto de la frecuencia



## Resultados generales

---

Tabla en la que se muestra la atenuación por frecuencia de todos los tapones

FRECUENCIA (Hz)	ATENUACIÓN (dB)				
	Algodón	Papel	Farmacy descartables	Vic Firth	Farmacy reutilizables
32	0,1	0,6	2,9	4,3	-1,4
63	0,6	0	9	6,6	0,6
125	1,4	-0,6	10,2	9,4	-1,1
250	2,8	-0,6	11,9	14,1	-2
500	9,2	2,2	24,9	22,9	0,9
1000	11,9	3,6	45,7	28	15,5
2000	21,6	14,6	39,1	19,2	20,8
4000	21,9	18,5	48,6	20,9	14,1
8000	25,6	19,2	55	31,4	22,6
16000	35,4	24	54,4	37,9	38,5

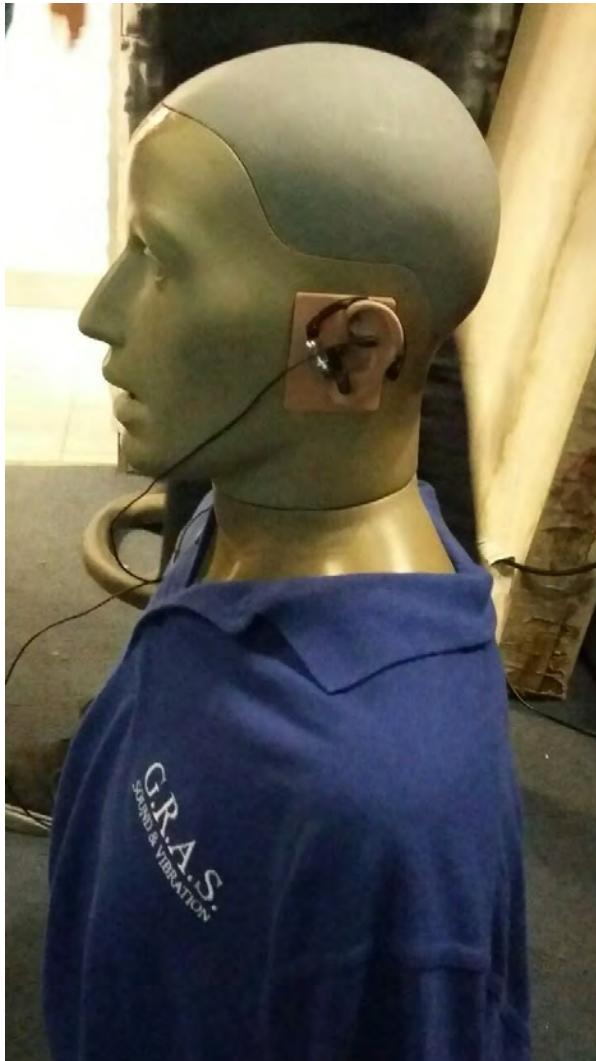
## Errores en la metodología

- Por problemas de aislación hubo un aumento en el nivel de presión sonora en bajas frecuencias

Insertion Loss - Tapones Farmacity reutilizables



## Errores en la metodología



- Cambio de la posición del micrófono
- Inserción en el canal auditivo



## Conclusión

---

### Protectores Vic Firth:

Son más apropiados ya que protegen muy bien el rango de frecuencias que comprende la voz humana y la música, atenuando de una forma muy sutil y controlada.

### Protectores Farmacity descartables:

Presentan una atenuación muy abrupta a partir de los 250 Hz en adelante. Son poco recomendables para ámbitos en los que se escucha música, pero muy efectivos en ambientes ruidosos.

### Protectores Farmacity reutilizables:

No tuvieron un porcentaje de absorción provechoso debido a que la atenuación de frecuencias por encima de los 200 Hz fue muy despareja y tampoco sigue un criterio específico.

### Protectores de Papel:

La atenuación se hizo efectiva alrededor de 1 kHz, lo que lo convierte en un protector deficiente para ambientes ruidosos con contenido en bajas frecuencia.

### Protectores de Algodón:

Estos presentaron una atenuación similar a los tapones hechos de papel higiénico. Pero con la particularidad de que estos atenuaron de forma más pareja a lo largo del espectro



# Laboratorio de Fisiología Auditiva y Percepción Sonora - UNTREF

III Jornadas de Acústica, Audio y Sonido UNTREF  
2017

**UNTREF** UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE TRES DE FEBRERO

- Laboratorio de investigación en el marco de la carrera de **Ingeniería de Sonido** de la **UNTREF**
  - Creado a principio del año **2015**
- Objetivos principales:
  - Centralizar, organizar y dar seguimiento dentro de la carrera a las investigaciones vinculadas a:
    - La psicoacústica y la percepción sonora
    - La fisiología auditiva
  - Tener una mejor comprensión de la fisiología auditiva y su procesamiento auditivo central



- Tecnologías que se utilizan para mejorar la calidad de vida de los hipoacúsicos:
  - Vinculadas con la electrónica, el procesamiento digital de la señal, de la acústica y del conocimiento psico-fisiológico del oído humano
- Los alumnos de la carrera se proyectan como:
  - De los mejores posicionados a nivel nacional y de los más preparados en toda Latinoamérica para poder investigar y seguir contribuyendo a la mejora de la audición de las personas con capacidades auditivas reducidas



- No existe ningún laboratorio en toda Latinoamérica que se dedique a la investigación y realización de experimentos para poder optimizar y mejorar los sistemas actuales de ayuda o sustitución del oído humano
- Generar lazos institucionales entre la Universidad Nacional de Tres de Febrero y centros de investigaciones médicas, hospitales y organismos dedicados a la audición en Latinoamérica, especialmente en Argentina, y a nivel internacional



- Crear vínculos con las empresas comerciales que se dedican a la fabricación y comercialización de tecnologías dedicadas a pérdidas auditivas y equipamientos audiológicos



## ■ OMS:

- En 2004: más de 275 millones de personas en el mundo padecían defectos moderados o severos en la audición, de las cuales el 80% viven en países de ingresos bajos y medianos
- En 2014: 360 millones de personas



## ■ Según datos del INDEC\*, en Argentina 520.533 personas tienen discapacidad auditiva:

- 69.753 son sordos
- 450.780 tienen dificultades para oír
- En tercer lugar luego de las discapacidades motoras y visuales



\*INDEC Primera Encuesta Nacional de Personas con Discapacidad 2002-2003



- **El HeAP Lab** pretende responder y profundizar distintas necesidades de investigación:
  - Sobre tecnologías actuales utilizadas por personas con pérdida auditiva
  - En las distintas soluciones auditivas implantables para la hipoacusia
  - Sobre elementos electrofisiológicos de ayuda y screening auditivo
  - En los procesos cognitivos de interpretación sonora de la vía auditiva que hacen a la psicoacústica
  - Sobre la complejidad del ser humano en interpretar y analizar señales acústicas en distintos escenarios sonoros



- Generar líneas de investigación y desarrollos tecnológicos en materia de medicina auditiva
- Responder a una necesidad en investigación de centros de investigaciones médicas, de laboratorio de audiológia pero también de profesionales de la audición
- Ayudar a mejorar la comprensión del funcionamiento de los dispositivos actuales utilizados por los profesionales de la audición a partir de capacitaciones, seminarios y jornadas
- Contribuir a la sociedad con material formativo e informativo de la especialidad y áreas relacionadas con la audición



- Fomentar la gran diversidad de aplicaciones de la Ingeniería de Sonido y de la Acústica
- Ofrecer servicios de calibración de equipamientos audiológicos
- Desarrollo de hardware y software para pruebas audiológicas



- El equipo de trabajo esta constituido por docentes, alumnos y ex-alumnos de la carrera
- Los estudiantes:
  - Pueden realizar formaciones extracurriculares a la carrera
  - Obtienen experiencia en la investigación y pueden generar vínculos con otras disciplinas
  - Pueden realizar **Pasantías o Prácticas Profesionales** con un profesional vinculado a la fisiología auditiva o un **Trabajo de Tesis** sobre una temática concreta de interés para un profesional



- Pasantías y experiencia profesional de varios estudiantes.



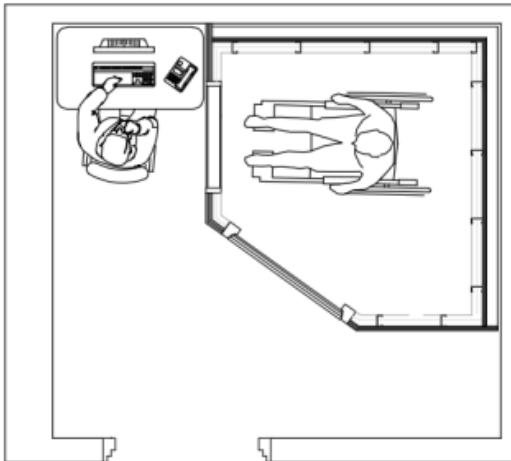
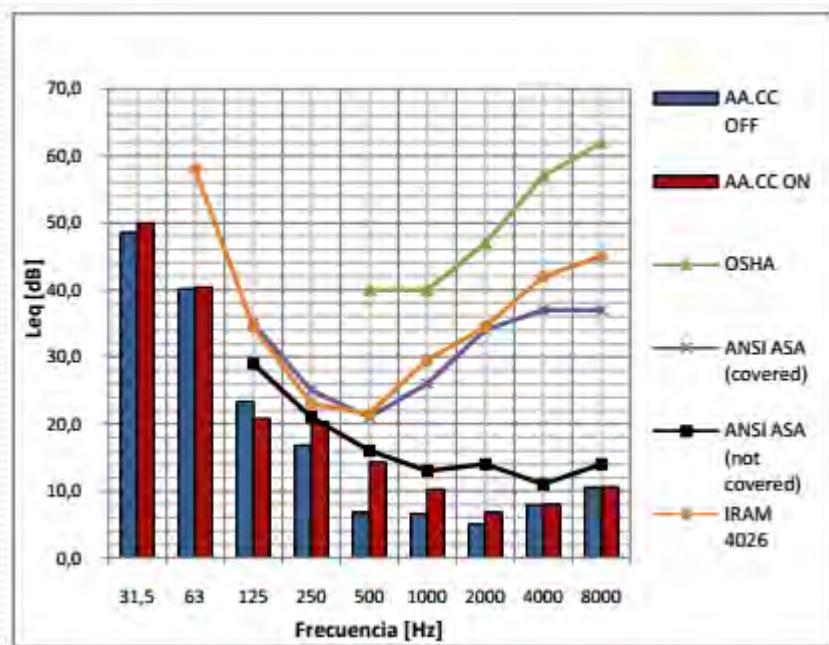
- Desarrollo de trabajos de investigaciones y presentación en congresos nacionales e internacionales
  - IX Congreso Iberoamericano de Acústica FIA (2014)
  - 3º Congreso de la Academia Iberoamericana de ORL (2015)
  - 23rd International Congress on Sound and Vibration (2015)
  - 14th International Conference on Cochlear Implants (2016)
  - International Congress of Acoustic ICA (2016)



- Publicación de trabajos en revista internacional y nacionales.
- 3 tesis de grado de la carrera terminadas y 5 en curso.



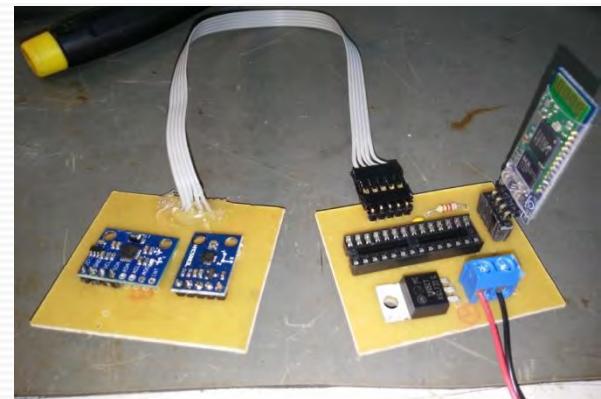
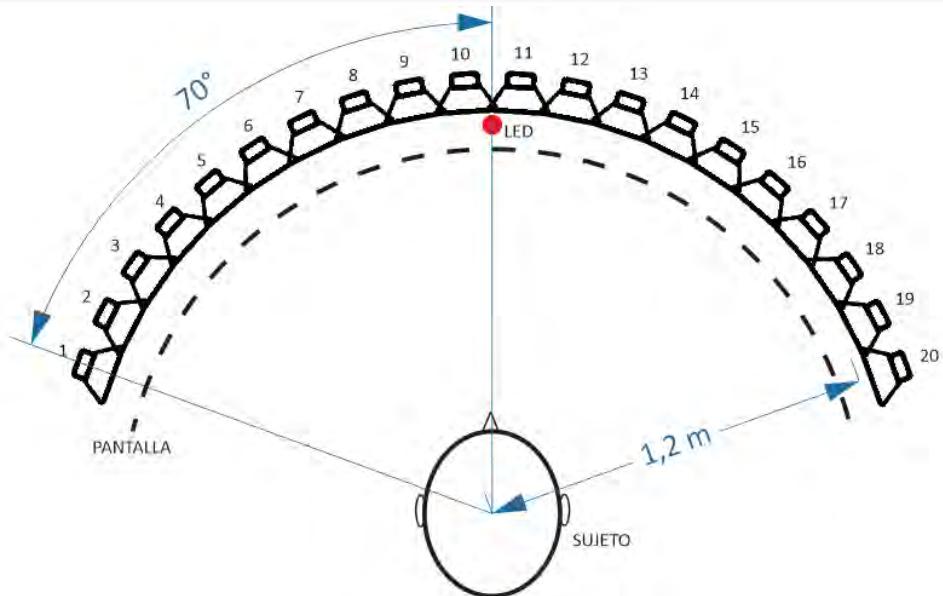
- Trabajo de tesis: desarrollo de una cabina Audiométrica cumpliendo con los estándares internacionales (CEMIC)  
*Pablo Chocca*



- Trabajo de tesis: Desarrollo de un Head Tracker y pruebas de detección de posición de una fuente en el espacio.

*Andres Piegari*

- Para poder detectar los movimientos de cabeza
- Dispositivo necesario para poder hacer pruebas de detección de posición de una fuente en el espacio



- Trabajo de tesis: Desarrollo de una herramienta de procesamiento auditivo central (PAC).

*Emilio Luquet*

- Trabajo de tesis: Desarrollo de un software para poder realizar audiometrías.

*Lucas Fantini*



- Desarrollo de una placa de audio con control digital para pruebas audiológicas
- Desarrollo de una cabina audiométrica y de un sistema de transductor para realizar mediciones de autoemisiones acústicas en ratas
- Investigación sobre apreciación musical de implantados
- Investigación sobre Implantes Cocleares de tronco
- Evaluación de la estrategia de codificación temporal de Medel para poder ubicar una fuente en el espacio



- Estudio de la Fisiología auditiva:
  - Inertancia hidromecánica coclear variable
  - Fisiología de la membrana timpánica
- Desarrollo de un sistema de medición por timpanometría
- Percepción de espacialidad en pacientes de IC
- Inteligibilidad en aulas y influencia de la escucha binaural en el reconocimiento de la palabra



## Actuales vínculos:



## Actuales vínculos:

- **Dr. Perez Gramajo (ORL)**
  - Hospital de Alta Complejidad en Red "El Cruce", Dr. Nestor Carlos Kirchner
  - Hospital Regional de Ushuaia
  - Centro de Implante Coclear San Martín
- **Dr. Ricardo Marengo (ORL)**
  - Jefe Otorrinolaringología - CIAC - CEMIC - FLENI
- **Dr. Diego Marcomini (ORL)**
  - Jefe de Servicio Otorrinolaringología Sanatorio V. Franchín
  - Equipo Implantes Auditivos Buenos Aires
- **Lic. Marcela Garrido (Fonoaudióloga)**
  - Directora CIANTAL - Centro rehabilitación



- **Lic. Elisa Giraudo (Fonoaudióloga)**
  - INSTITUTO ORAL MODELO (IOM)
- **Lic. María Lorena Sánchez (Fonoaudióloga)**
  - Especialista en Procesamiento Auditivo Central.
- **Ing. Horacio Cristiani**
  - Director de la Mutualidad Argentina de los Hipoacúsicos
- **PhD. Maria Eugenia Gomez Casati**
  - Investigadora CONICET, grupo INGEBI



## **Audio y electrónica de audio**

---

## PEDAL OSC

**Ing. Fernando Vera**

**Docente en la Escuela de Música FHUMYAR -UNR Docente en la FCEIA - UNR**

**fv.fernandovera@gmail.com**

El *Pedal OSC* es un dispositivo electrónico que envía datos vía wifi mediante el protocolo de comunicación OSC (Open Sound Control).

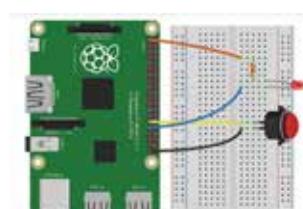
Este pedal crea una red de wifi propia (Access Point) para conectar el dispositivo que recibe los mensajes, asignándole una dirección IP. Además permite conectar a la red otros dispositivos que envían datos al dispositivo receptor.



Las señales enviadas podrán ser recibidas desde distintos software como Supercollider, Max entre otros, para ser utilizadas como señales de control para el procesamiento deseado.

Para la realización del mismo se utilizó una placa Raspberry Pi 3, se le conectó un footswitch a una entrada GPIO como señal de entrada del sistema. Y un led RGB como indicador.

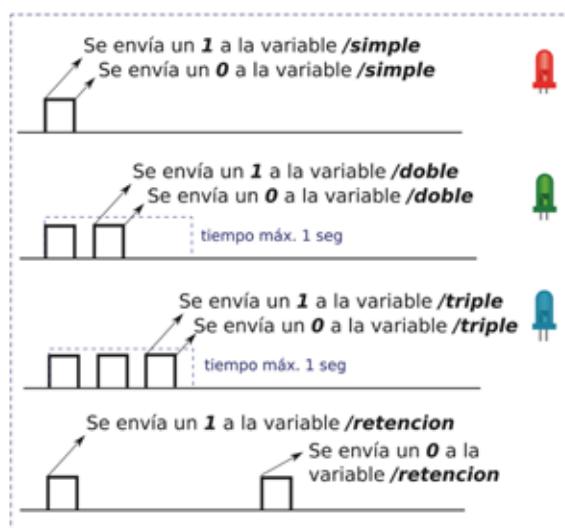
Mediante el uso de la librería Python-OSC



se programó el envío de cuatro señales a diferentes direcciones:

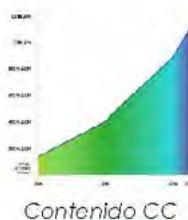
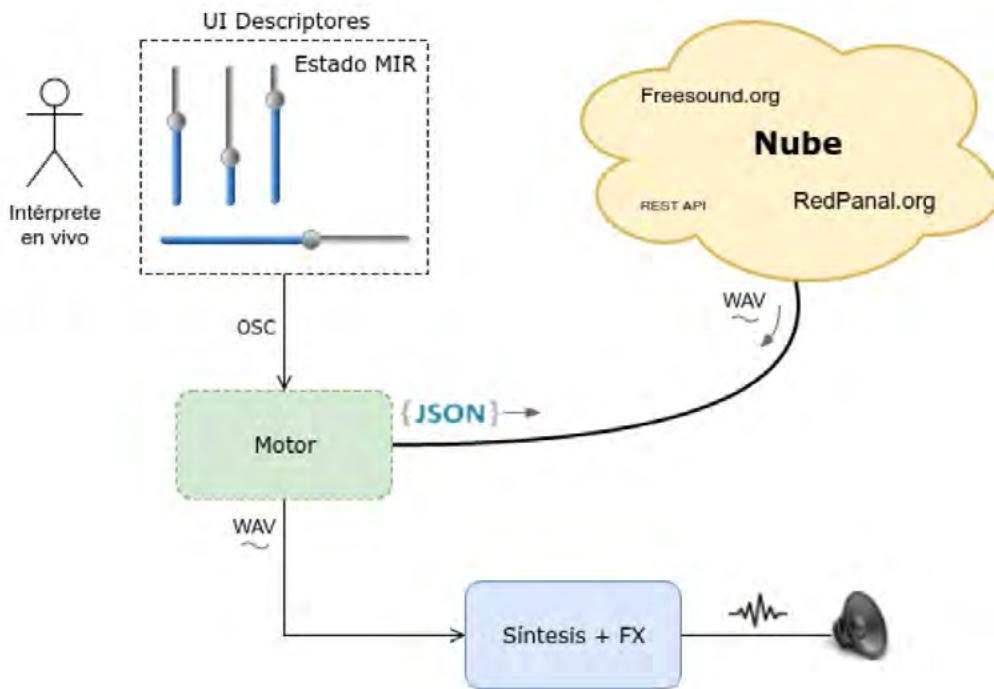
- Se envía un dato “1” a la dirección */Simple* al pulsar una única vez el footswitch, y un dato “0” al soltar el pulsador.
- Se envía un dato “1” a la dirección */Doble* al pulsar una única vez el footswitch, y un dato “0” al soltar el pulsador.
- Se envía un dato “1” a la dirección */Triple* al pulsar una única vez el footswitch, y un dato “0” al soltar el pulsador.
- Se envía un “1” a la dirección */Retencion* al pulsar el footswitch, este cambia al estado “0” al pulsarlo nuevamente.

Este dispositivo fue diseñado para ser utilizado como señal de control de una loopera para un sistema de sonido envolvente.



# APROXIMACIÓN DE BIG DATA A LAS COLECCIONES MUSICALES

*Hernán Ordiales*

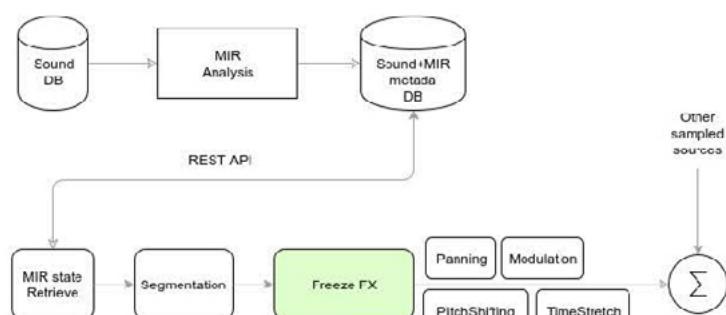


*¿Por qué reciclar?*



Interfaz MIR vía OSC

- Modular
- Colaborativo
- Software Libre
- Multiplataforma
- Datos Masivos en la Nube
- Live coding
- Protocolos Estándar
- Experimental



**RedPanal**  
Música libre y colaborativa



## Acústica musical

---

# RELATIONSHIP BETWEEN THE AUTOCORRELATION FUNCTION PARAMETER $W_{\phi(0)}$ AND SPECTRAL CENTROID

SHIN-ICHI SATO

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
ssato@untref.edu.ar

*Abstract*  $-W_{\phi(0)}$  is one of autocorrelation function (ACF) parameters. It is defined by twice delay time at which normalized ACF first decreases to 0.5. Although some previous studies referred to the  $W_{\phi(0)}$  as spectral centroid, neither mathematical nor practical evidence has been provided. Therefore this study objectively investigated the  $W_{\phi(0)}$  in relation to the spectral centroid. The  $W_{\phi(0)}$  for harmonic tones corresponded to the spectral centroid of linear frequency scale. However, the  $W_{\phi(0)}$  for the orchestral music signals showed a lower and dispersed correlation between these parameters since the signals have wider spectral and temporal variations. There are cases where one  $W_{\phi(0)}$  value corresponds to different spectrum centroid values and vice versa. Therefore the  $W_{\phi(0)}$  should be referred to as higher harmonics or higher energy of harmonics rather than the spectral centroid. Due to wide variation of the ACF waveform, it is recommended to define the  $W_{\phi(0)}$  at the amplitude of ACF greater than 0.5. Another practical problem is that common sampling frequency 44100 kHz is not enough to correctly calculate the  $W_{\phi(0)}$  for the harmonic tones of 2000 Hz or higher fundamental frequency. This is because the delay time to define the  $W_{\phi(0)}$  is too short (< 0.02 ms) for interpolation algorithm.

## 1. INTRODUCTION

Multidimensional characterization of sound signals can be used for evaluation and identification of sounds. Autocorrelation function (ACF) is one of possible signal processing, which is performed in the auditory pathways [1-3]. From the ACF, a parameter  $W_{\phi(0)}$  is defined by the delay time at the first 0.5 crossing of the normalized ACF [4]. The  $W_{\phi(0)}$  was referred to an objective parameter for timbre, as the quality of sound texture that distinguishes two sound signals of equal pitch, loudness, and duration. Ando et al. used this parameter to evaluate electric guitar sounds with various distortion levels [5]. They showed that the  $W_{\phi(0)}$  was significantly correlated with the subjective response to the dissimilarity judgments of the electric guitar sounds. Later, a series of studies by Soeta and Shimokura used the  $W_{\phi(0)}$  as spectral centroid [6-10]. Although the studies in [8-10] showed the spectrum of the sound signals investigated, neither theoretical nor practical relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectral centroid has been clearly shown.

The spectrum centroid has been used as an objective parameter for the timbre, especially for brightness perception. Grey and Gordon first made the objective quantification of the timbre of musical instrument tones [11]. They used the spectral centroid as one of objective parameter to explain similarity judgments. This first version of the spectral centroid was based on the loudness model of Zwicker and

Scharf [12]. Different versions of the spectrum centroid have been used for the classifications of musical instrument tones [13-17] and environmental sounds [18,19]. The Timbre Toolbox developed by Peeters et al. calculates a set of objective parameters including the ACF parameter and the spectrum centroid for musical signal analysis [20]. The ACF analysis came from the study by Brown et al. who also used the ACF and the spectrum centroid separately to characterize the music signals [14]. These facts imply that the ACF was not recognized as a descriptor of the spectral centroid.

Therefore, the relationship between the ACF parameter  $W_{\phi(0)}$  and the spectrum centroid should be investigated. This study aims to clarify whether the  $W_{\phi(0)}$  corresponds to the spectrum centroid or not. First, the ACF and the spectral centroid of various harmonic tones were calculated. Then, several orchestral music signals were analyzed to confirm the relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectral centroid.

## 2. PROCEDURES

### 2.1 Test signals

To show the relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectrum centroid, harmonic tones were analyzed since the ACF analysis is usually used to analyze signals including tonal components. The fundamental

frequencies  $f_0$  of the harmonic tones were 250, 500, 1000, and 2000 Hz. To cover wide variation of the signal, the harmonic structure and amplitude were varied (Table 1).

To confirm the relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectrum centroid for signals with more timbral variations, several orchestral music signals were also analyzed. Eight music signals from the CD (DENON PG-6006) were analyzed. These music signals were previously investigated by long term and running ACF [21,22]. The duration of the signals and the number of frames for the r-ACF analysis are shown in Table 2. Since the music signals analyzed sometimes included a silence between the notes or the bars, the frames whose energy was at least -30 dB below the maximum were excluded.

The sampling frequency of both the harmonic tones and the orchestral music signals was 44100 kHz.

Table 1: Harmonic tones used in the study. The fundamental frequencies  $f_0$  were 250, 500, 1000, and 2000 Hz. In Cases 1, 2, and 4, the amplitudes of all components were the same.

Case	
1	Increasing higher harmonics from the 1st to the 9th: $f_0$ $f_0, f_1$ $f_0, f_1, f_2$ ... $f_0, f_1, f_2, \dots, f_9$
2	Decreasing lower harmonics from the 1st to the 8th: $f_0, f_2, \dots, f_9$ $f_0, f_3, \dots, f_9$ $f_0, f_4, \dots, f_9$ ... $f_0, f_9$
3	$f_0$ and all harmonics from $f_1$ to $f_9$ Increasing the amplitudes of the higher harmonics: 1,1,1,1,1,1,1,1,2 1,1,1,1,1,1,1,2,3 1,1,1,1,1,1,2,3,4 ... 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
4	Case 2 without $f_0$

Table 2: Eight orchestral music signals used in the study.

	Title	Duration [min]	ACF frames
1	L' Arlésienne, Suite No. 2	4'12	2487
2	Prelude to Act 1, La Traviata	3'26	1981
3	Overture, Le nozze di Figaro	4'18	2551
4	Pizzicato Polka	2'34	1505
5	Prélude à l'après-midi d'un Faune	1'53	1066
6	Overture, Ruslan and Lyudmila	5'21	3133
7	4th mov., Symphony No. 3 in a minor Op. 56 'Scottish'	2'18	1360
8	1st mov., Symphony No. 4 in E flat major 'Romantic'	1'40	981

## 2.2 Calculations of the $W_{\phi(0)}$ and spectral centroid

The definition of the  $W_{\phi(0)}$  is shown in Figure 1. The r-ACF of the signals was calculated by the FFT

method according to Wiener-Khinchin theorem. The integration interval  $2T$  was 1.0 s and the running step was 0.1 s. To observe the objective relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectrum centroid, no frequency weighting was applied. Note that the ACF analysis usually applies the A-weighting filter to the signals to simulate the transfer function of the external and the middle ears.

The spectral centroid of linear frequency scale was calculated since the linear frequency scale was thought to be a neutral definition although other versions were used in the previous studies (Bark bands, EBR bands, 1/3 octave bands, and 1/96 octave bands). The power spectral density of the signals were calculated by using the MATLAB function "pwelch" with 50% overlap and a Hamming window. The spectral centroid is calculated by:

$$\text{Centroid} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} f(n)x(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} x(n)} \quad (1)$$

where  $x(n)$  is the magnitude of bin number  $n$  and  $f(n)$  is the frequency of that bin.

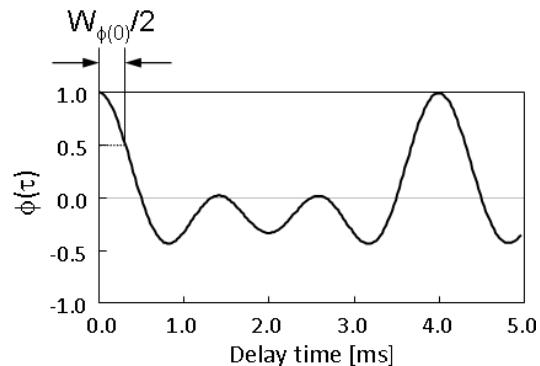


Figure 1: Definition of the  $W_{\phi(0)}$ . The delay time at which the normalized ACF first decreases to 0.5 is multiplied by the factor 2.

## 3. RESULTS

Figure 2(a) shows that the  $W_{\phi(0)}$  and the spectral centroid for the harmonic tones closely correlated to each other. On the contrary, Figure 2(b) shows much scattered result for the orchestral music signals. There are many cases where one  $W_{\phi(0)}$  value corresponds to different spectrum centroid values and one spectral centroid value corresponds to different  $W_{\phi(0)}$  values, especially for lower spectral centroid and greater  $W_{\phi(0)}$  values.

Although the relationship of the two parameters for the harmonic tones was almost linear when both axes are indicated in the logarithm scale, a deviation from the linear relationship is observed at the higher spectral centroid above 8000 Hz and the lower  $W_{\phi(0)}$  below 0.04 ms. Figure 3 shows one of the ACF for the spectral centroid of 10000 Hz ( $W_{\phi(0)} = 0.03$  ms). The sampling frequency 44100 kHz was not enough

to correctly calculate the  $W_{\phi(0)}$  for the harmonic tones of  $f_0 = 2000$  Hz. This is because the delay time to define the  $W_{\phi(0)}$  is too short for interpolation algorithm.

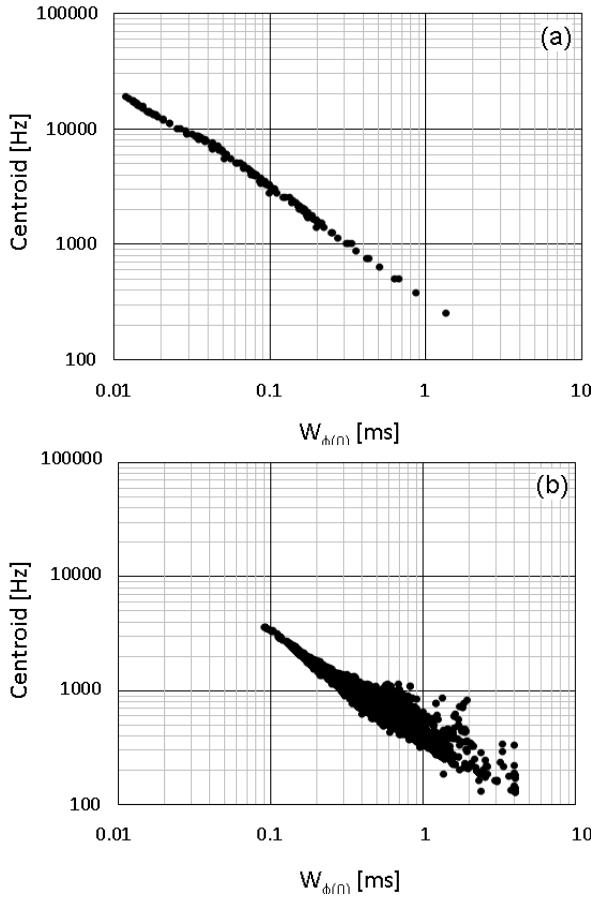


Figure 2: Relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectral centroid. (a) Harmonic tones; (b) Orchestral music signals.

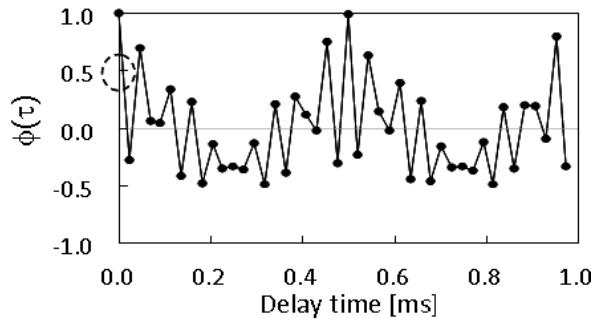


Figure 3: ACF of a harmonic tone ( $f_0, f_8$ , and  $f_9$ ;  $f_0 = 2000$  Hz). Plot shows the values according to the sampling frequency (44100 Hz).

Since the ACF is usually calculated by applying a filter corresponding to the transfer function of the external and middle ears, the  $W_{\phi(0)}$  and spectral centroid for the tonal harmonic signal were also calculated by applying the equal loudness contour (Figure 4). Although a general tendency was not different from the result without filtering, several outliers were observed because the initial values of

ACF did not monotonously decrease as shown in Figure 5. Therefore, the  $W_{\phi(0)}$  were calculated by other definitions; the twice delay time at which the normalized ACF first decreases to 0.75 and 0.9. Figure 6 shows that the definition of 0.75 still produced some outliers while the definition of 0.9 did not give outliers although the linear relationship was a bit distorted comparing to the result of the original definition. The  $W_{\phi(0)}$  may be defined by the first decay when the initial values of ACF did not monotonously decrease. As far as the harmonic tones investigated in this study are considered, the definition by the twice delay time at which the normalized ACF first decreases to 0.9 seems to be better than the original definition (to 0.5).

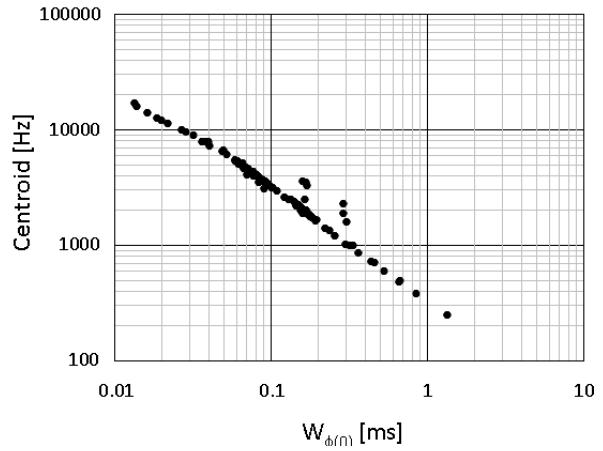


Figure 4: Relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectral centroid for the harmonic tone signals applying the equal loudness contour.

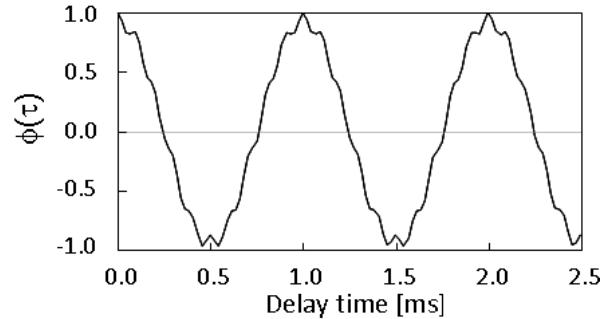


Figure 5: ACF of a harmonic tone ( $f_0$  and  $f_9$ ;  $f_0 = 1000$  Hz).

#### 4. CONCLUSIONS

The ACF parameter  $W_{\phi(0)}$  was objectively investigated in relation to the spectral centroid. The  $W_{\phi(0)}$  for harmonic tones corresponded to the spectral centroid of linear frequency scale. However, these parameters for the orchestral music signals showed a lower and dispersed correlation due to wider spectral and temporal variations of the signals. There are cases where one  $W_{\phi(0)}$  value corresponds to different spectrum centroid values and one spectral centroid value corresponds to different  $W_{\phi(0)}$  values. Therefore, the  $W_{\phi(0)}$  should be referred to as higher harmonics or higher energy of harmonics rather than the spectral

centroid. Although the  $W_{\phi(0)}$  does not precisely correspond to the spectral centroid, it is still useful ACF parameter to describe the timbre as the previous studies have shown. The  $W_{\phi(0)}$  can be used to compare musical instruments of different manufacturers/brands/models, different performing styles, different performers (individual difference), etc.

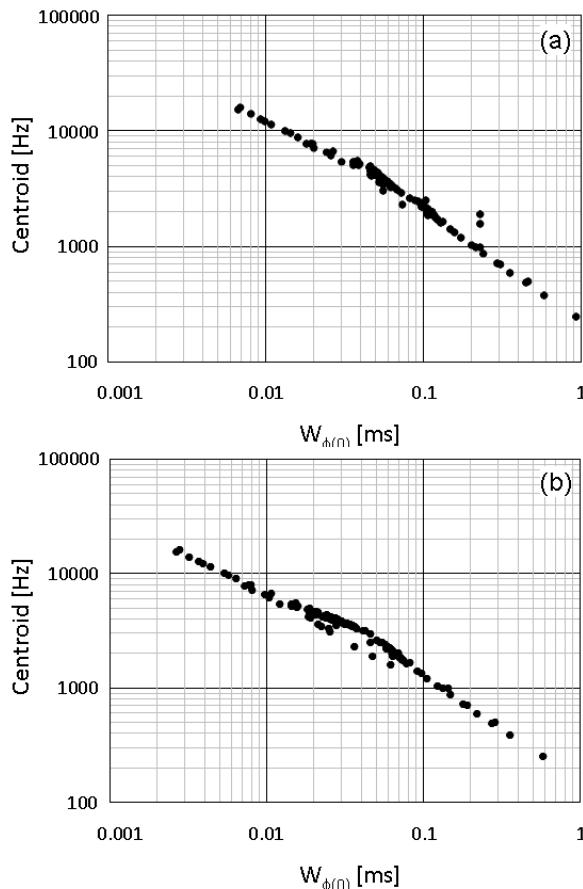


Figure 6: Relationship between the  $W_{\phi(0)}$  and the spectral centroid for the harmonic tone signals applying the equal loudness contour. The  $W_{\phi(0)}$  was calculated by the definitions of the twice delay time at which the normalized ACF first decreases to 0.75 (a) and 0.9 (b).

This study only examined the spectrum centroid for linear frequency scale. Since the original spectral centroid was calculated based on the Bark scale and different frequency scales (1/3 octave bands, EBR scale, etc.) were used in other studies, a further investigation should correlate these spectral centroid values with the  $W_{\phi(0)}$ .

Due to wide variation of the ACF waveform, the original definition of the  $W_{\phi(0)}$  by the twice delay time at which the normalized ACF first decreases to 0.5 did not always work well. It is recommended to define the  $W_{\phi(0)}$  by the first decay when the initial decay of ACF shows several slopes. As far as the signals investigated in this study are considered, the definition by the twice delay time at which the normalized ACF first decreases to 0.9 might be more appropriate.

Another practical problem is that a common sampling frequency 44100 kHz is not enough to

correctly calculate the  $W_{\phi(0)}$  for the harmonic tones of 2000 Hz or higher fundamental frequency. This is because the delay time to define the  $W_{\phi(0)}$  is too short ( $< 0.02$  ms) for the interpolation algorithm. Higher sampling frequency should be used considering the high frequency contents of a signal.

## 5. REFERENCES

- [1] Licklider, J. C. R. “The duplex theory of pitch perception”. *Experientia* Vol. 7, pp. 128–134. 1951.
- [2] Meddis, R., O’Mard, L. “A unitary model of pitch perception”. *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 102, pp. 1811–1820. 1997.
- [3] Ando, Y. “Architectural Acoustics: Sound Source, Sound Fields, and Listeners”. Springer-Verlag, New York. 1998. Chap. 5.
- [4] Ando, Y. “Auditory and Visual Sensations”. Springer. New York. 2009.
- [5] Ando, Y., Kaijada, S., Yano, T., Kawai, K. “A study on measures of timbre of electric guitar sounds in terms of power spectrum and auto correlation function”. *J. Temporal Des. Arch. Environ.* Vol. 9, pp. 43–46. 2009.
- [6] Soeta, Y., Shimokura, R. “Comparison of noise characteristics in airplanes and high-speed trains”. *J. Temporal Des. Arch. Environ.* Vol. 9, pp. 22–25. 2009.
- [7] Soeta, Y., Shimokura, R. “Change of acoustic characteristics caused by platform screen doors in train stations”. *Appl. Acoust.* Vol. 73, pp. 535–542. 2012.
- [8] Shimokura R., Soeta, Y. “Listening level of music through headphones in train car noise environments”. *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 132, pp. 1407–1416. 2012.
- [9] Soeta, Y., Shimokura, R. “Survey of interior noise characteristics in various types of trains”. *Appl. Acoust.* Vol. 74, pp. 1160–1166. 2013.
- [10] Soeta, Y., Shimokura, R., Kim, Y. H., Ohsawa, T., Ito, K. “Characteristics of Buddhist chanting in Japanese temples”, *Appl. Acoust.* Vol. 91, pp. 73–76. 2015.
- [11] Grey, J., Gordon, J. “Perceptual effects of spectral modifications on musical timbres,” *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 63, pp. 1493–1500. 1978.
- [12] Zwicker, E., Scharf B. “A model of loudness summation”. *Psychol. Rev.* Vol. 72, 3–26. 1965.
- [13] Lakatos, S. “A common perceptual space for harmonic and percussive timbres”. *Percept. Psychophys.* Vol. 62, pp. 1426–1439. 2000.
- [14] Brown, J. C. “Feature dependence in the automatic identification of musical woodwind instruments”. *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 109, pp. 1064–1072. 2001.
- [15] Marozeau, J., de Cheveigné, A., McAdams, S., Winsberg, S. “The dependency of timbre on fundamental frequency”. *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 114, pp. 2946–2957. 2003.
- [16] Schubert, E., Wolfe, J., “Does timbral brightness scale with frequency and spectral centroid?”. *Acta Acust. united Ac.* Vol. 92, pp. 820–825. 2006.
- [17] Marozeau, J., de Cheveigné, A. “The effect of fundamental frequency on the brightness dimension of

*timbre”.* J. Acoust. Soc. Am. Vol. 121, pp. 383–387. 2007.

[18] Jeon, J. Y., Hong, J. Y. “*Classification of urban park soundscapes through perceptions of the acoustical environments*”. Landsc. Urban Plan. Vol. 141, pp. 100–111. 2015.

[19] Rådsten, M., Peter, E., Mats, L., Nilsson, E. “*Similarity and pleasantness assessments of water-fountain sounds recorded in urban public spaces*”. J. Acoust. Soc. Am. Vol. 138, pp. 3043–3052. 2015.

[20] Peeters, G., Giordano, B. L., Susini, P., Misdariis, N., McAdams, S. “*The Timbre Toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals*”. J. Acoust. Soc. Am. Vol. 130, pp. 2902–2916. 2011.

[21] Hidaka, T., Kageyama, K., Masuda, S. “*Recording of anechoic orchestral music and measurements of its physical characteristics based on the auto-correlation function*”. Acustica Vol. 67, pp. 68–70. 1988.

[22] Sato, S., Wu, S. “*Comparison of different calculation methods of effective duration ( $\tau_e$ ) of the running autocorrelation function of music signals*”. Acta Acust. united Ac. Vol. 97, pp. 432–440. 2011.

**PREFERENCIA SUBJETIVA DE GUITARRAS ELÉCTRICAS Y SU  
CORRELACIÓN CON LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN Y  
LOS PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS**

Diego Leguizamón, Florent Masson, Shin-ichi Sato

[leguizamon.de@gmail.com](mailto:leguizamon.de@gmail.com)

Universidad Nacional de Tres de Febrero  
Buenos Aires, Argentina

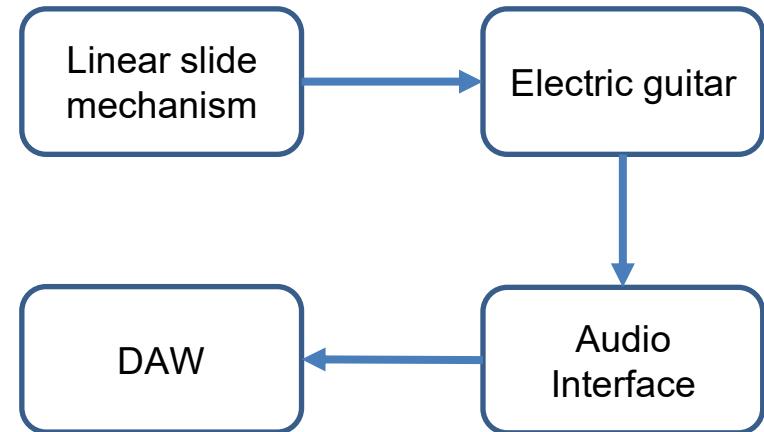
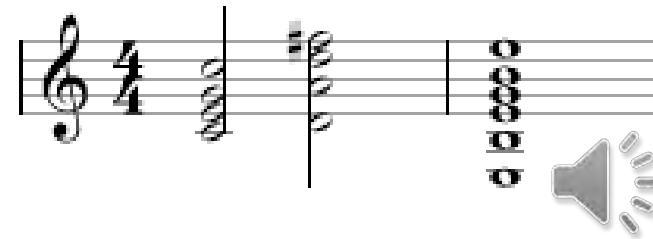
# Introducción

- Parámetros Psicoacústicos (Zwicker and Fastl, 1999).
  - **Sonoridad [sones]**
    - Percepción de los Niveles de Presión Sonora por el ser humano.
  - **Agudeza (Sharpness) [acum]**
    - Atributo auditivo que traduce la calidad del timbre que depende de la distribución frecuencial.
    - Toma en cuenta las características subjetivas de la sonoridad.
    - A medida que aumenta la energía en altas frecuencias aumenta la “agudeza” del sonido.
- Función de Autocorrelación (ACF) (Ando, 1998).
  - Informa las similitudes de una forma de onda consigo misma tras un desfasaje.
  - Permite encontrar patrones repetitivos dentro de una señal.

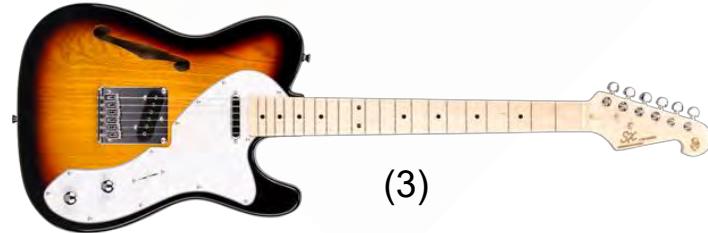
- **Kaieda et al. (2009)**
  - Análisis de la densidad espectral del sonido de varias guitarras electricas.
  - Existe una relación entre el timbre y los parámetros de la ACF.
- **Fabre et al. (2014)**
  - Comparación entre mástiles de ébano y de palisandro.
  - Los sonidos generados por las diferentes maderas pueden ser percibidos por los guitarristas.
- **Le Carrou et al. (2012)**
  - Estudios de 3 guitarras idénticas con diferentes tipos de conexiones entre el mástil y el cuerpo del instrumento.
  - No existe una preferencia significativa para un tipo de conexión.

- 2 ejes de investigación para evaluar la preferencia subjetiva de:
  - 4 guitarras eléctricas distintas.
  - distintas cuerdas de guitarras en un mismo instrumento.
- Análisis cruzado de la correlación entre los resultados de 2 tests subjetivos y:
  - Los parámetros psicoacústicos: Sonoridad y Agudeza
  - Los parámetros de la ACF.

- Estimulo: Melodía compuesta por 3 acordes: C, D y Em (en ese orden).
  - Pulso: 40 bpm.
  - Duración: 12.5 s.
  - Sin efectos (sonido «limpio»).
- Sistema de grabación:
  - Mecanismo de translación lineal.
  - Guitarras eléctricas.
  - li>▪ Interfaz de audio.
  - li>▪ Digital audio workstation.



# Guitarras eléctricas

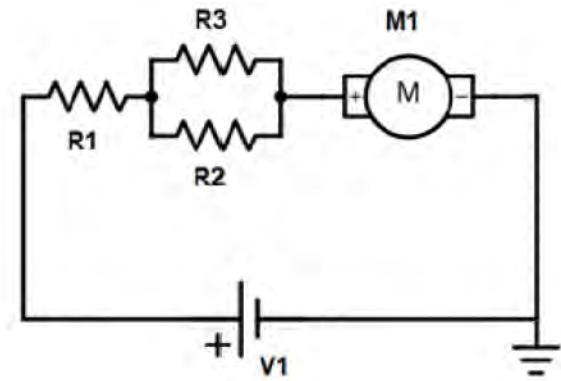


Electric guitar	Conexión mástil-cuerpo	Madera mástil	Micrófonos
<b>(1) PRS SE Singlecut</b>	Misma pieza	Palisandro	PRS pickups
<b>(2) Schecter Damien Elite 6-fr</b>	Atornillado (bolt-on neck)	Palisandro	EMG 81 / EMG 85
<b>(3) SX Thinline Telecaster</b>	Atornillado	Arce	SX pickups
<b>(4) Washburn WE-10TS</b>	Atornillado	Palisandro	Washburn pickups

- En el **primer test** las 4 guitarras eléctricas tienen distintas cuerdas:
  - PRS: Ernie Ball Skinny top Heavy bottom.
  - Schecter: D'Addario EXL120.
  - SX: Martin Blust RL120.
  - Washburn: D'Addario EXL110.
- Total de 4 estímulos.
- En el **segundo test** la guitarra Washburn fue nuevamente grabada con cuerdas usadas (2 años de uso) y con cuerdas nuevas.
  - Used Strings: D'Addario EXL110.
  - New Strings: Ernie Ball Hybrid Slinky, .09.
- Los 4 estímulos anteriores fueron utilizados con estos 2 nuevos para obtener un test con **6 estímulos**.

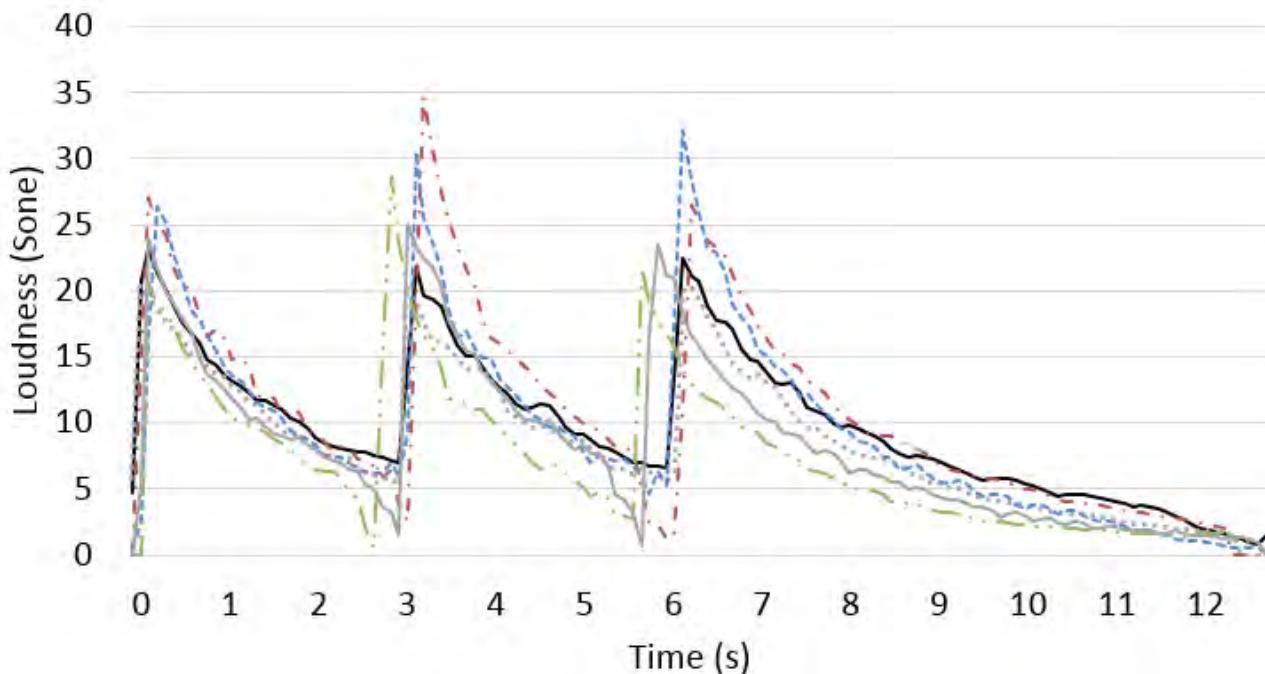
# Procedimiento de la grabación

- Mecanismo de translación lineal mecanizado para poder aplicar la misma fuerza en todas las grabaciones:
  - Motor DC.
  - Fuente DC (12 V, 1 A).
  - 3 resistencias para poder controlar la corriente.
  - Estructura metálica extraída de una impresora.
  - A varilla de madera con una púa de 1,5 mm.
- Posición de la excitación: a medio camino entre el mástil y el micrófono del puente.
- Afinación: E estándar (EADGBE).



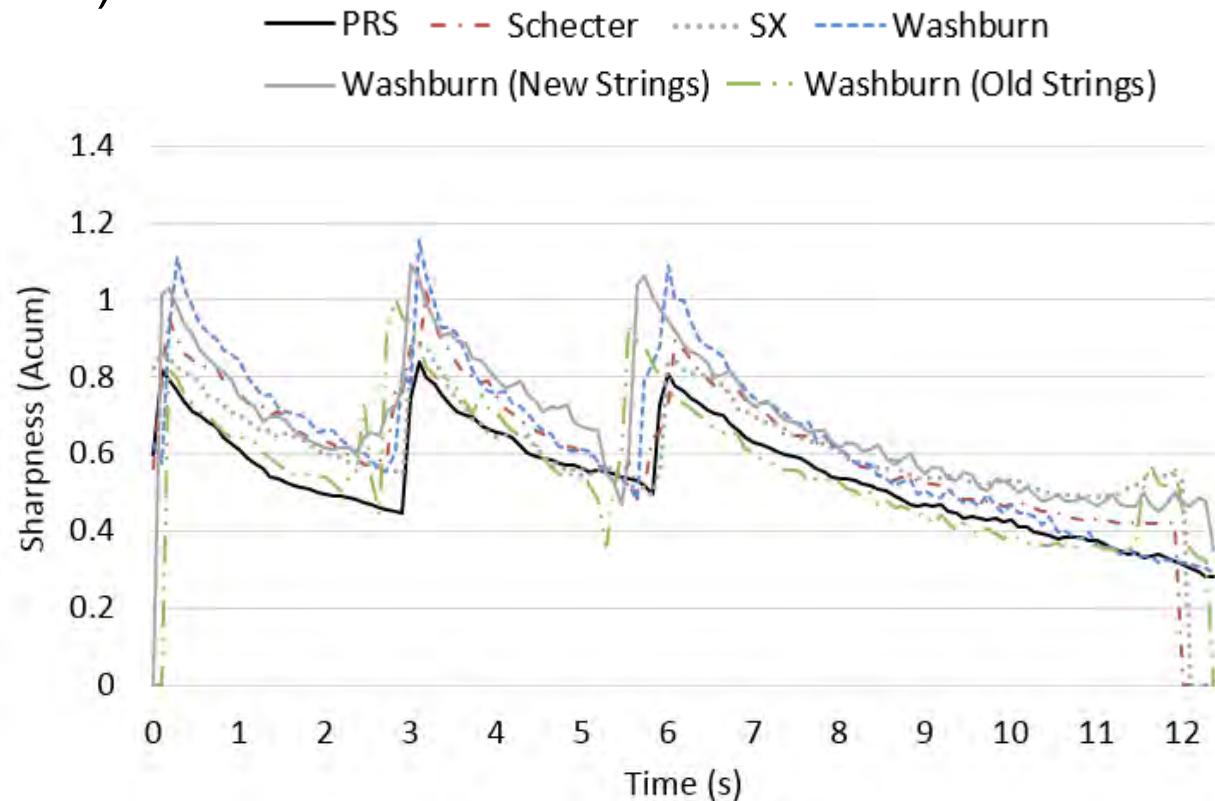
- **Sonoridad** calculada con el modelo de Moore (Moore, 1996).

— PRS   - - - Schecter   ..... SX   - - - Washburn  
— Washburn (New Strings)   - - - Washburn (Old Strings)



- Guitarra **Washburn** con **cuerdas usadas** con el **menor valor** de sonoridad.
- Guitarra **Schecter** con **mayor valor**.
  - Guitarra con circuito activo para los micrófonos.

- **Agudeza** calculado de acuerdo con el modelo de Zwicker y Fastl (Zwicker and Fastl, 2007).
- Guitarra **Washburn** con **mayor valor** de agudeza.
- The **PRS** and the **Washburn** con **cuerdas usadas** presenta el **menor valor** de agudeza.



- El análisis de los parámetros de la función de ACF no mostraron tendencias generales que permiten una simple análisis.

# Test subjetivo

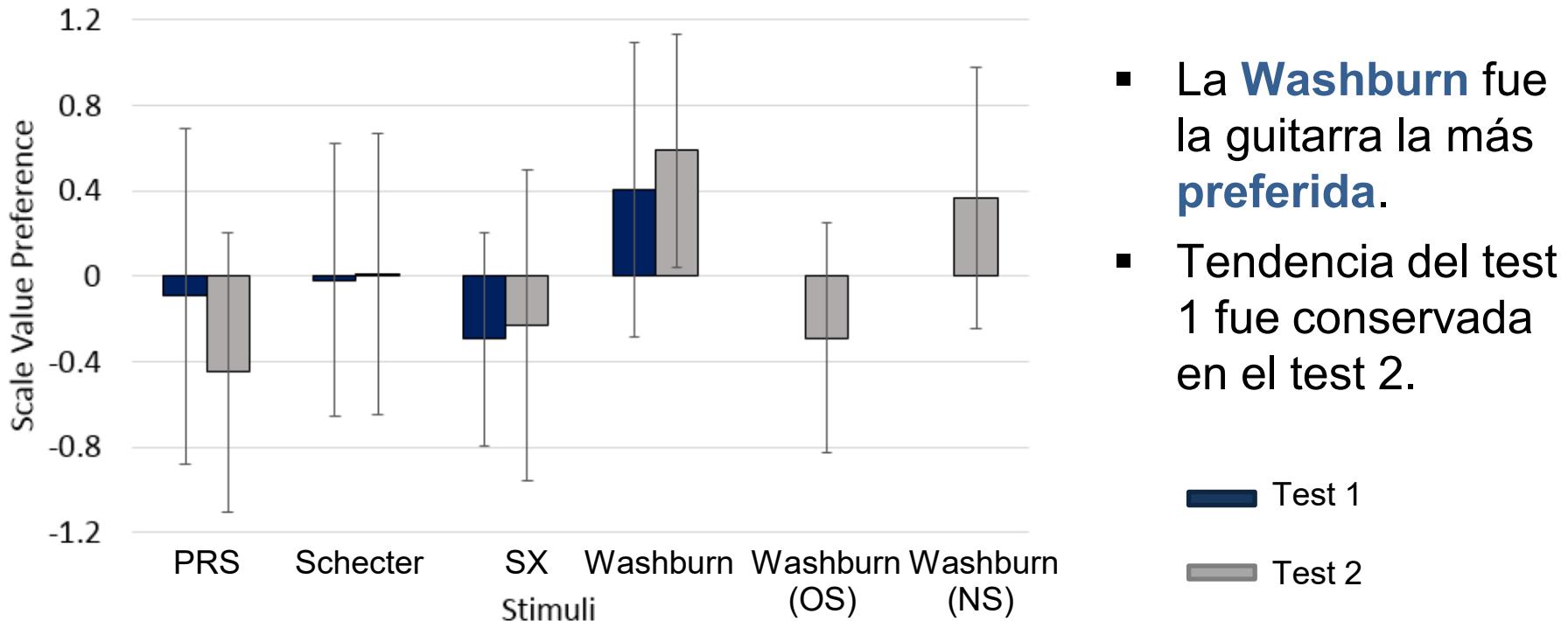
- 2 test subjetivos.
- Tipo: Comparación por pares (sin empate).
  - Posibles respuestas:
    - Se prefiere A frente a B.
    - Se prefiere B frente a A.
- Sujetos:
  - Primer test:
    - 49 sujetos entre 18 y 31 años.
  - Segundo test:
    - 29 sujetos entre 19 y 36 años.
    - Ninguno informó tener perdidas auditivas.

# Test subjetivo

- Los diferentes pares fueron ordenados aleatoriamente con un algoritmo:
  - Primer test: 6 pares.
  - Secundo test: 15 pares.
- Duración de una sesión completa: de 5 a 10 minutos.
  - Cada par con una duración de 25 a 30 s con 2 s de pausa entre cada par.
  - Test auto-guiado (tiempo de toma de decisión libre).
- Estímulos reproducidos con auriculares para minimizar los efectos del entorno.
  - Sennheiser HD202.
  - Relación señal a nivel de ruido de fondo > 30dB .

# Resultados

- Consistencia y aprobación fueron evaluados para los 2 test (respuestas con errores circulares descartadas).
- Valores de escala para cada guitarra calculado (*Thurstone's case V*, Thurstone, 1927) y validados.



- La **Washburn** fue la guitarra la más preferida.
- Tendencia del test 1 fue conservada en el test 2.

# Resultados

- Análisis de las correlación entre los valores de escala de la evaluación subjetiva y los parámetros objetivos.

Parámetros		Sonoridad		Agudeza	
		Mean	Max.	Mean	Max.
<b>Pearson's Correlation Coefficient</b>	<b>Test # 1</b>	0.392	0.698	0.580	0.873
	<b>Test # 2</b>	0.178	0.477	0.887*	0.921**

\* $p < 0.05$

\*\* $p < 0.01$

- El análisis de las correlaciones muestra que la preferencia subjetiva esta significativamente correlacionada con el promedio ( $r = 0.887$ ) y el valor máximo de **Agudeza** ( $r = 0.921$ ) con niveles de confianza de 0,05 y 0,01 respectivamente.

- La preferencia de los sonidos limpios de guitarra vinculado con las componentes de alta frecuencia de la señal.
- En el primer test la correlación con el valor máximo de Agudeza es alta pero no significativa.
- Los resultados del segundo test muestran que **la influencia de las cuerdas de las guitarras no es depreciable**.
- Las preferencias no son tan marcadas y no se obtuvo correlación con los parámetros de la función de autocorrelación.

# Limitaciones

- El mecanismo de translación lineal.
  - Aunque permite limitar la influencia de la mano derecha no permite controlar de forma completa el esfuerzo aplicado sobre las cuerdas.
- El circuito electrónico.
  - Se debería modificar para poder controlar la velocidad de desplazamiento en tiempo real (el sistema utilizado tenía una velocidad fija).
- El sistema de fijación de la guitarra al momento de la grabación
- Se debería aumentar la cantidad de sujetos para mejorar la confiabilidad en las respuestas.
- Algunos elementos de las guitarras eléctricas deberían estar mejor controlados:
  - Tipo de puente, de cuerda, de madera, de junción con el mástil, de micrófono.

# Conclusión

- el promedio y el valor máximo de **Agudeza** son significadamente correlacionados con la preferencia subjetiva.
  - Los sonidos limpios de guitarras eléctricas con más contenido en altas frecuencias son preferidos (más “brillantes”).
- Los sujetos pueden percibir sin dificultades las diferencias de una misma guitarra con distintas cuerdas.
  - La influencia de las cuerdas es significativa.

- Evaluar más guitarras eléctricas.
- Evaluar la influencia del punto de excitación.
- Estudiar la influencia de los micrófonos manteniendo los otros parámetros constantes (puente, junción mástil/cuerpo, cuerdas, madera).
- Distintos materiales para las cuerdas y tipo de enrollado podría analizarse.
- Analizar la influencia de la muestra musical utilizada.
  
- Esa investigación es un primer paso para poder:
  - Encontrar una relación entre la preferencia subjetiva de guitarras eléctricas comerciales y la psicoacústica.
  - Definir cuales son los parámetros que más influencian el sonido de guitarras eléctricas.

## Ciencias de la grabación

---

# AUDIO GENERATIVO EN DAWs

EUGENIO FERNÁNDEZ TABOADA

Instituto Terciario TAMABA, Buenos Aires, Argentina.  
fernandeztaboada@hotmail.com

*Resumen – La investigación expone el avance sobre los resultados provistos por un uso no convencional del DAW y los plugins convencionales, a fin de posibilitar trabajos Sonoros Generativos, es decir, de propiedades narrativas no-lineales. Esto admite, en oposición a la linealidad, un campo de exploración donde no se establece un inicio, desarrollo y fin predeterminados que se repetirán de igual manera siempre, sino una obra sonora con posibilidades de auto-generarse. Los DAWs no tienen en su naturaleza la intención de narrar no-linealmente, no fueron pensados originalmente para servir a la composición y reproducción de una obra con estructura generativa, la contribución del proyecto da luz a nuevas puertas en su uso como herramienta para este desarrollo creativo.*

*Abstract – The research demonstrates the advance in the results yielded by a non-conventional use of DAWs and traditional plugins with the purpose of creating generative sound pieces, that is to say, pieces that present non-linear narrative properties. Contrary to linearity, this approach allows a field of exploration focusing on creating not a sound piece with a predetermined beginning, development and end to be repeated likewise every time, but one with auto-generating capabilities. DAWs do not produce a non-linear narrative by default; they have not been designed originally to serve the composition and reproduction of a sound piece with generative structure. The project contributes to shed light on new findings for their use as a tool for this creative development.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los DAW's (Digital Audio Workstation) o Estaciones de Audio Digital, son los Editores de Audio que se utilizan en trabajos de Sonido para Medios lineales como el Cine o la Televisión, o la Producción de Música, donde decimos que la narración es lineal porque nosotros organizamos en el tiempo un trabajo Sonoro definiendo: qué, cuándo y cómo se desarrollará el Audio. Significa que estos sonidos, una vez renderizada la composición, serán siempre los mismos y estarán siempre ubicados en un mismo lugar en la secuencia de eventos predefinidos. Anteriormente a la llegada de la era Digital el trabajo se realizaba en Cinta Magnética, por lo que los DAWs suelen ser llamados Non Linear Digital Recording (Grabación Digital No Lineal), utilizando el término no lineal para diferenciarse al trabajo en Cinta, donde posicionarse sobre una sección implica irremediablemente un proceso físico de mover la Cinta hasta la ubicación deseada (no se puede saltar de un lugar a otro) y que editar es destructivo. Dado que la era digital no tiene estas particularidades se utilizó el termino "non linear", pero como se aclaraba en el resumen de la investigación, los DAWs no tienen en su naturaleza la intención de narrar no-linealmente, no fueron pensados para servir a la composición ni a la reproducción de una obra con

estructura generativa. Las posibilidades del desarrollo del Audio generativo permiten una aplicación en entornos donde la obra no tiene una duración específica de exposición, ni una forma definida en el tiempo (videoarte, instalaciones, arte multimedia, paisajes sonoros, música, etc, podrían ser el caso). Podemos asumir entonces, que el espectador tampoco recibirá una única experiencia sonora por más tiempo o veces que visite la exposición.

Si bien existen software que fueron creados con la intención de servir para un tratamiento narrativo no-lineal, la investigación propone ondear sobre el uso del DAW y los plugins convencionales, encontrando maneras de producir con ellos trabajos Sonoros Generativos, es decir, de una naturaleza narrativa no lineal. El papel del Autor en este caso, será poder encontrar mecanismos que permitan el desarrollo de trabajos sonoros de estas características, como también utilizarlos en busca de enmarcar los límites donde la obra se desarrollará con el objetivo de proporcionar una coherencia a pesar de que la misma pueda evolucionar por si sola, como también morir y renacer.

Se presentarán a continuación lógicas de flujo de señal que permitan encontrar soluciones alternativas al

uso lineal del DAW a fin de encontrar mecanismos para la composición sonora generativa.

## 2. OBJETO DE ESTUDIO

- Las posibilidades del desarrollo no-lineal del Audio
- La creación Sonora Generativa.
- Su aplicación a entornos.
- El DAW convencional y su uso no convencional
- Los procesos sonoros tradicionales al servicio de un sistema generativo
- La coherencia en una obra auto generada.
- Los límites de un ecosistema vivo.

## 3. CONTEXTUALIZACIÓN

Inicialmente diremos que la idea de la música generativa puede pensarse de muchas manera si incluso un músico improvisando está generando una obra que no está definida de antemano, aunque es evidente que ciertas leyes de organización lo proveen de herramientas para forjar una construcción coherente en su estructura organizativa, a pesar de estar desarrollándose a medida que avanza. Incluso si se tuvieran porciones predefinidas compositivamente y se ejecutan como tal, pero en ordenes aleatorios, también podríamos decir que son música generativa, como la composición “in C” de Terry Riley (1964) y hay una intención clara de que esto se produzca desde el autor en el diseño de la obra. Pero estos ejemplos requieren a los intérpretes ejecutando la música, de lo contrario si se grabaran estas performance, cada vez que lo reprodujésemos escucharíamos una misma música, ya no volvería a cambiar jamás, por lo que dejaría de ser una obra generativa, para ser una composición Algorítmica.

Con el mundo sonoro también se está continuamente siendo espectador de una ambientación generativa en la naturaleza y en la ciudad, aunque no haya en esta una intención de hacerse.

La primeras respuestas que pueden pensarse, son diseñar un sistema capaz de funcionar produciendo audio generativo, mezclando información sonora ya definida o creando la información sonora en el momento del funcionamiento, pero esto, sin la necesidad de estar siendo el sistema “operado” por el compositor, a fin de no convertirse en una Performance. A su vez generar que el sistema pueda seguir creando una obra sonora distinta cada vez que se oiga.

Si volvemos al ejemplo de la ambientación, un artista sonoro puede juntar en una instalación seres vivos y/o artefactos para que produzcan un ambiente sonoro, así mismo sería concretamente el compositor de su obra, a su vez nadie estaría operándola para que funcione y cada vez que se oiga será siempre distinta. Pero de nuevo, si se grabara el sonido de una obra de estas características, al reproducirse dejaría de ser una

obra generativa, para ser una obra sonora que utilizó la composición algorítmica.

El término música generativa fue popularizado por el compositor Brian Eno, quien inició sus experiencias generando loops en cintas magnéticas, cada uno con diferentes duraciones, reproduciéndose a la vez para lograr mezclas orgánicas. Trabajos como los de Alvin Lucier con “Music on a long thin wire” (1977) son un ejemplo de la búsqueda de dispositivos que puedan existir en un entorno para producir música generativa. En estos casos el problema que se puede observar, es que se expone el dispositivo a ser “el reproductor” de la obra, por lo que sólo es viable poder escuchar la composición generativa a partir de estar presente (o virtualmente presente) en el lugar en que está dicho dispositivo que la origina.

El Mismo Brian Eno editó en floppy disk “Generative Music 1” (1996), que mediante la programación crea la música cada vez que se reproduce, el sistema ahora es un código y su soporte, por lo que es más fácil de transportar o de que esté simultáneamente (y físicamente) en 2 lugares a la vez. Como también, que cada persona que lo adquiera pueda oír, en el momento que lo desee, música generativa.

En la era digital la distribución de la obra sonora es mucha más sencilla y ya han salido varios software para componer música generativa que incluso el mismo Brian Eno utilizó como “SSEYO” (1994) en el disco mencionado.

Muchas veces el problema pasa por si el usuario tendrá la forma de poder reproducirla, ya que un reproductor ordinario carecería de esta posibilidad. Por otro lado las aplicaciones que permiten crear tu propia música generativa también se han vuelto muy populares como “Bloom” de Brian Eno y Peter Chilvers

El futuro parece ser propicio para que la música generativa continúe expandiéndose, e incluso más aun, poder ser además de generativa, adaptativa, en el sentido que se adapte a las situaciones que vive el entorno donde se reproduce. mismo la reciente aplicación de Jorge Drexler Ñ (2017) permite esto.

Por nuestra parte, esta investigación propone el uso del DAW para la composición y para la reproducción mediante una sesión abierta de la obra.

## 4. PRIMERAS

### APROXIMACIONES AL METODO DE TRABAJO

El uso del DAW y su sistema general, es un entorno que a pesar de no haber sido diseñado con fines no lineales, permite mediante la creación de matrices la elaboración de flujo de señales. En el momento en que se empiezan a esquematizar los ruteos se pueden encontrar similitudes con la programación visual que se ven en entornos gráficos como Pure Data o Reaktor, diferente de la

programación por código con lenguajes de alto nivel como pueden ser, C# (utilizado en software como Unity que permite desarrollar Videojuegos, justamente un medio no lineal) o Processing muy utilizados en el arte multimedia (normalmente obras interactivas y por ende no lineales), al igual que Arduino. En todos los casos la Programación, ya sea por código o visual, nos permite establecer lógicas para el desencadenamiento de señales. Si bien el DAW no se maneja con lenguaje de código por el usuario, ni tiene un entorno gráfico donde programemos visualmente como en los software mencionados de Pure data y Reaktor, si se va a utilizar, a fin de exemplificar el ruteo de una señal, gráficos a modo de programación visual.

Si se comienza a utilizar también una lógica distinta a la habitual con respecto a pensar en la composición de una manera no lineal, se puede comenzar a ver nuevas puertas en el uso de los DAWs y los plugins convencionales. Los DAWs tienen grandes virtudes en el manejo y flujo de la señal, es decir, los buses como se mencionaba en el párrafo anterior, nos permiten rutear señales de canales en canales, por ejemplo, una misma señal puede ir a varios canales a la vez que reciban el mismo bus en su entrada (Figura 1), o también, varias señales pueden ingresar en un mismo canal gracias a que recibe un bus en su entrada al cual estas fueron dirigidas (Figura 2). Puede ser una gran ayuda pensar en estas situaciones para los objetivos de la composición generativa que vendrán a continuación.

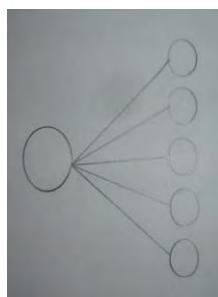


Figura 1: Ruteo de un bus a varios canales.

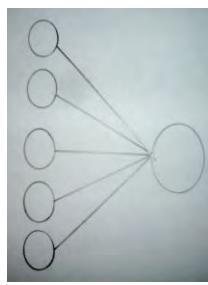


Figura 2: Ruteo de varios canales a un bus.

Desde el lado de los plugins pensar en EQ, Compresores, Limitadores, Compuertas, también se los pueden mirar desde otro punto de vista. Por ejemplo un HPF suele concebirse como una herramienta para recortar frecuencias agudas en un determinado sonido, y es así, pero también puede verse como una abertura a 2 posibilidades: si el sonda

que ingresamos supera un determinado valor en las frecuencias que lo componen, estas serán recortadas, de lo contrario pasarán. Esto empieza a cobrar más carácter sobre todo si pensamos en la señal sonora a ingresar como una variable no definida, a diferencia de utilizar el HPF con objetivos estéticos de modificar un sonido en particular. O también en especial, si se piensa en la señal no como un elemento sonoro que será utilizado dentro de la composición, si no como un pulso que servirá para moverse entre ruteos de la sesión. Por ejemplo, si se piensa en la señal como una sinusoida, o sea una frecuencia pura, ingresando en un HPF ya no se está hablando de cuento del componente de frecuencias pasará dependiendo del corte del filtro, sino que se definirá simplemente como "Si" o como "No", si pasa o no pasa, se obtiene un 1 o se obtiene un 0 en la salida.

Con las compuertas por ejemplo, también estamos abriendo 2 posibilidades con respecto al sonido que ingresa: si la señal que entra supera un determinado valor se abrirá la compuerta y pasará (podemos decir que se obtiene un 1), de lo contrario quedará cerrado su paso (se obtiene un 0). Las Compresores y las Compuertas tienen además la posibilidad no sólo de funcionar con respecto a la señal que ingresamos, sino también con respecto a la señal que aparece en otro lugar de la sesión de trabajo gracias a poder rutearla hasta la entrada Key (Side-Chain) que ofrecen los mismos. Sin entrar en detalles con analogías a la lógica binaria que trabaja con variables de 1 y 0 y operaciones lógicas del Álgebra de Boole, ahora entonces se puede pensar, en el caso de las compuertas, que la señal pasará solamente, si sucede que en otro sector de la sesión hubo un estímulo, estos resultados coinciden obviamente con la Compuerta AND, de las Compuertas Lógicas. (Figuras 3 a y b)

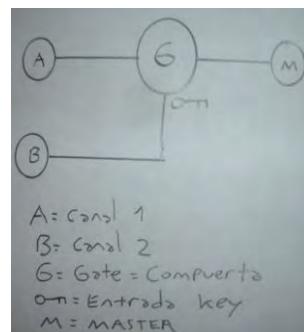


Figura 3a: Ruteo de compuerta con entrada Key.

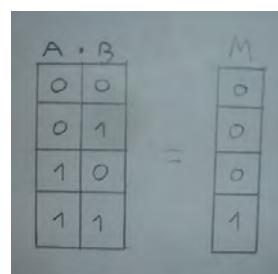


Figura 3b: Resultados de la compuerta con entrada Key en el master.

Aunque se pueden pensar en las señales concretamente y mediante variaciones en el modulo obtener varias posibilidades de resultados, un ejemplo podría ser este (Figuras 4 a y b).

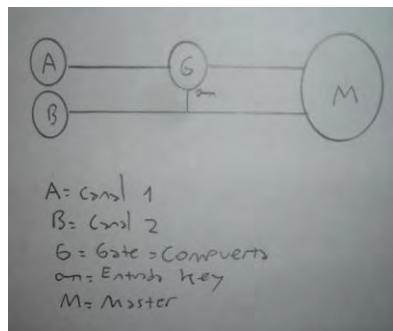


Figura 4a: Compuerta con canal enviado a Key y al master.

A	B	M
0	0	0
0	1	B
1	0	0
1	1	A + B

Figura 4b: Resultados de la Compuerta con canal enviado a Key y al master.

Si se piensa en otro plugin con grandes virtudes para la composición y reproducción de obras sonoras generativas, el Trigger utilizado para reemplazar las señales en una batería posee grandes cualidades, como la posibilidad de ingresar samplers de cualquier índole (no solamente sonidos percusivos) y además obtener en la salida una respuesta aleatoria de los mismos. Agregado a esto además posee una cualidad que se considerará de suma importancia, por permitir (siempre y cuando el canal que se insertó el Trigger tenga el monitor de entrada activado), que los samplers se puedan disparar si una señal ingresa sin necesidad de que la sesión se encuentre en Play. (De igual manera que podemos conectar un instrumento en la entrada de un canal y escucharlo si el monitor de entrada está activado aunque la sesión nunca haya iniciado la reproducción). Esta es una cualidad a la que sobrevaloraremos, por la intensión pretendida de utilizar una computadora con una sesión abierta como mecanismo para la generación de la obra sonora durante el tiempo que dure la exposición. Será más estable y se correrán menos riesgos de faya, si la sesión que mantendrá viva la obra no depende de estar en el modo Play. Por lo tanto de ahora en más en la investigación se partirá desde esta condición para el resto de las operaciones propuestas.

## 5. LA CREACIÓN DE MÓDULOS COMO MATRIZ DE UN ECOSISTEMA

Como se hablaba en el punto anterior, las posibilidades de ruteos de una señal en la sesión no deben pasarse inexorablemente como sonidos que compondrían la obra, sino también como el uso de señales que sirvan de impulsos para generar mecanismos, aunque probablemente el objetivo final de ese flujo sea desencadenar sonidos para la obra generativa.

El uso de los Triggers como opción por su virtud (entre otras) de mantener la composición y reproducción del trabajo sonoro sin la utilización del modo Play. Si se sigue ondeando en esta particularidad, parece lógico en función de una obra que no se rige por una línea de tiempo definida como presentan los DAWs. Tener que ejecutar la obra en Play caería inexorablemente en una reproducción que avanza sin fin (lo cual tampoco parece posible para un exposición de días), o establecer un espacio de trabajo en el tiempo, para volver al inicio de la sesión el cursor y repetirse continuamente. El monitoreo de entrada en los canales será la opción a seguir.

Otra cuestión a tener presente en función de los Triggers para la tarea a realizar, es que la señal que ingresamos en su entrada no es la que obtendremos en la salida (aunque estos plugins si suelen tener la opción de combinar parte del sonido desencadenante y el sampler a reproducir). Por lo tanto, si la señal que ingresa es reemplazada en su totalidad por otra, esto admite sin generar un feedback, es decir un acople, la posibilidad de retroalimentación, en el sentido que el sampler disparado por el Trigger es capaz de utilizarse para volver a ingresar y seguir desencadenando la obra sonora (Figura 5 a y b).

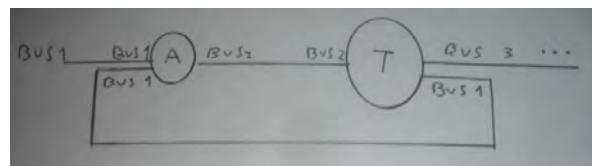


Figura 5a: Ruteo cíclico con Trigger.

canal	input	output	insert
A	BUS1	BUS2	-
T	BUS2	BUS1+BUS3	Trigger

Figura 5b: Aclaraciones de Buses en el Ruteo cíclico con Trigger.

(Cabe aclarar, que en los DAWs no suele poder utilizarse un mismo bus de entrada y de salida del canal, no lo admite, por lo que se puede resolver teniendo en cuenta al canal previo que alimentará al Trigger. Desde la salida de dicho Trigger se envía hacia la entrada del canal que lo exitó inicialmente)

El condicionamiento de mantener la obra sin recurrir a que el cursor avance en el tiempo, requeriría

que algo externo al sistema propio, pueda inicialmente estimular su inicio. Una chispa debe existir inicialmente para desencadenar la evolución de la vida en el ecosistema sonoro, de lo contrario nunca se comenzaría a desarrollar el flujo de la señal. Para esto se seguirá en relación a la idea de una chispa como progenitora de la vida en manos del creador.

Se pensará inicialmente en un impulso, un sonido que sirva para estimular el inicio, activado por un ejecutante, el partícipe sólo realizaría esta acción para iniciar la obra y luego la misma evolucionará en virtud de la matriz propuesta.

Si avanzamos en base a esta idea, donde un impulso ingresa en el sistema, ya se puede comenzar a pensar en ciertos módulos que mediante su combinación generen las diferentes opciones de evolución. Las posibilidades son infinitas, pero a fin de buscar un camino sencillo para la lectura, el primer impulso creador, al que se llamará “la chispa”, puede ser llevada hacia un Trigger que contenga en su interior los samplers de 3 impulsos de sinusoides, es decir un sonido impulsivo/tónico, como denomina Pierre Schaeffer (1988) en la tipología central. Impulsivo, porque si analizamos su envolvente, el desarrollo de su amplitud en el tiempo posee solamente un rápido ataque y un rápido decaimiento. Tónico, dado que sería una sinusoide, estaría compuesto por una única frecuencia, (aunque la denominación de tónico también se aplica a los sonidos compuestos por varias frecuencias en relación de multiplicidad, es decir todo sonido con una altura definida).

Siguiendo con el ruteo planteado, se puede suponer que el Trigger con los 3 sonidos impulsivos de sinusoides, tienen valores de 50 hz, 1500 hz y 15000 hz. Si la opción del Trigger está seteada para que elija en orden aleatorio alguno de los samplers, no se puede saber cual de ellos obtendremos en la salida.

Volviendo al uso de los buses, y retomando lo explicado inicialmente sobre el HPF, si la salida de este canal de Trigger que disparó alguno de los 3 impulsos sinusoidales pueden recibirlas 3 canales distintos, el primer canal con un LPF, el segundo con un BPF y el tercero con un HPF, solamente obtendremos en la salida, (dependiendo de la respuesta aleatoria que defina al impulso sinusoidal) un 1 en alguno de los 3 canales y un 0 en los otros 2. Esto se debe a que el canal con el LPF sería calibrado para sólo dejar pasar el impulso de 50hz, el canal con el BPF se calibraría para dejar pasar sólo el impulso de 1500hz y el canal con el HPF se calibraría para que pase sólo el impulso de 15000hz (Figura 6).

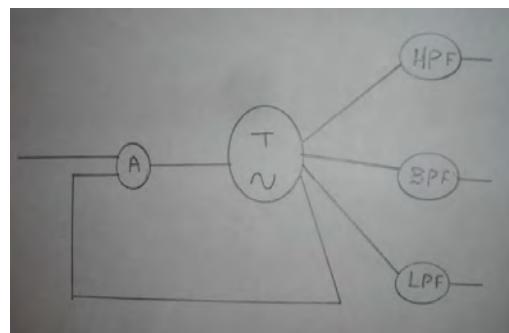


Figura 6: Ruteo de Trigger con impulsos de Sinusoides hacia filtros.

De esta manera inició una estructura de matriz del tipo árbol donde se ramifica la señal, es evidente que mientras más canales y plugins se puedan tener en tiempo real, mayor serán las posibilidades de creación del ecosistema. Pero bien se puede generar una composición generativa con esta matriz haciendo primero que en los 3 canales, luego del LPF, BPF y HPF, cada uno contenga en el siguiente Insert de su Rack un trigger con varios samplers en modo aleatorio saliendo hacia el master. A su vez, los 3 canales pueden llevar por Send la señal por un mismo bus hacia un nuevo canal con un Trigger, que posea 4 archivos de silencio y un impulso, el objetivo es rutear su salida de este nuevo canal al comienzo del flujo del ecosistema (al Triggger de las 3 sinusoides), de esta manera se cierra el circuito y la dinámica de los samplers sirve para disparar de nuevo el impulso inicial. (Figura 7). Donde T Ø 1 es el Trigger con los 4 silencios y el impulso, T ~ es el Trigger con las 3 sinusoides y T S es el Trigger con los Samplers.

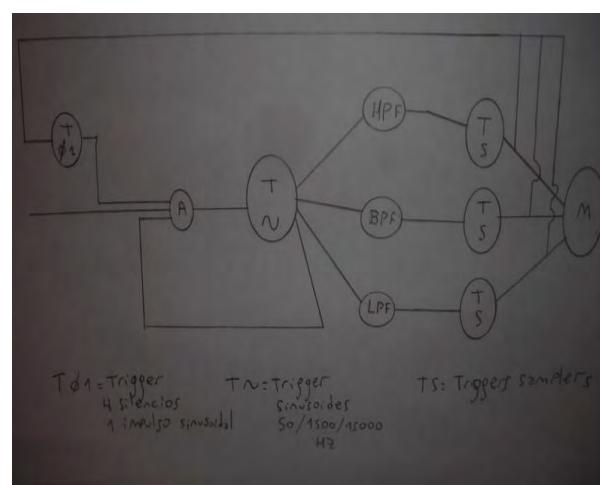


Figura 7: Ruteo cílico con Samplers.

En este caso la utilización de 4 silencios y un impulso se debe a una manera de evitar saturar el sistema con una sobrecarga de samplers sonando simultáneamente, más adelante en la investigación se hablará sobre cómo controlar la señal resultante del master, cómo componer los samplers en función de mantener una coherencia en la obra y cómo

profundizar la composición mediante las posibilidades combinatorias de módulos.

Antes de seguir avanzando con la lógica de la programación de la obra generativa, es necesario pensar en la composición para lo que va ser diseñada.

## 6. CUESTIONES FORMALES EN LA COMPOSICIÓN DE LA OBRA GENERATIVA

Si se piensa en Paisajes Sonoros como la denominación de Murray Schafer (citado en Sonnenschein, 2001), ya sean paisajes sonoros naturales, urbanos o poéticos en contraposición a lo narrativo del sonomontaje (Saitta, 2014), donde el sonomontaje, cuando es narrativo, está compuesto por sonidos que remiten a una fuente productora, en cambio, cuando el sonomontaje es poético está diseñado por sonidos que carecen de valor índice, es decir, que no podemos reconocer un fuente que produzca tal sonido, diremos entonces que son sonidos acusmáticos (Saitta, Revista Cibertronic N5). Los samplers dentro de los Triggers se pensaran en esta primera instancia para servir a la composición de un paisaje sonoro poético generativo. Siendo que la propuesta inicial no será la de música sino la de paisaje sonoro, se puede evitar pensar para los samplers en tempos definidos, de todas maneras, es inevitable procurar que si los samplers tendrán alturas definidas, determinar una tonalidad en pos de la combinación de los sonidos.

La primera observación que se puede hacer con respecto a cuestiones formales de la composición, ahora que ya se tiene un mecanismo inicial para la construcción generativa, es que los samplers deben tener una duración que se ajuste a un valor entre, no muy cortos como para evitar correr riesgo de perder coherencia en la composición total, ni muy largos como para arriesgar un colapso en la mezcla total por una posible superposición excedida de los samplers. Al mismo tiempo, la envolvente de los samplers debería poder permitir fluidez en la entrada y salida de ellos al sumarse al resto de las capas, no necesariamente deben tener un lento ataque todos, pero ayudaría a favor de una mayor estabilidad que la mayoría si lo tengan. Así mismo, en todos los casos, los samplers dentro de una matriz diseñada con esta propuesta, convendría tenerlos con una Extinción prolongada ya renderizada, un fade out de por lo menos 3 segundos.

También se puede pensar la posibilidad de que los mismos samplers que ingresan puedan automatizar la dinámica de los que están sonando mediante la compresión de la entrada key de estos. Así entonces, también se mejorará la mezcla del total y le dará más protagonismo al nuevo sampler que entra, creando figuras con respecto a la nota tónica de fondo como define Schaffer (citado en Sonnenschein, 2001). Esto demuestra que se puede procurar que el mismo

ecosistema provea las acciones para mantener la coherencia en la vida de la obra total.

## 7. EXPLORANDO LAS POSIBILIDADES COMBINATORIAS DE MÓDULOS

Para realizar esta modificación en la matriz, cada uno de los 3 canales con Triggers debe tener luego un compresor, donde la entrada key de estos recibe un bus de los otros 2 canales de samplers. Con este nuevo agregado en la matriz cada sampler que entra por un canal comprime a los otros 2, estén estos reproduciendo sonido o no. (Figura 8).

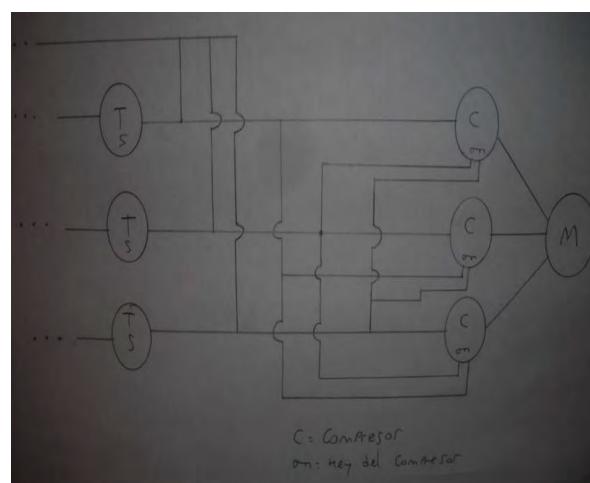


Figura 8: Agregado del compresor con entrada Key, para controlar la dinámica de los samplers.

En este momento se debería también procurar observar la posibilidad existente, de que por cuestiones de variables, puede llegar a ocurrir que el ecosistema muera. Debido esto a que, para evitar su saturación, se utilizó un circuito cerrado que vuelve al inicio solo con un 20 porciento de posibilidades, (producto de que hay 4 archivos de silencio y un solo impulso). No podemos descartar el riesgo de que en sucesivas entradas al Trigger la respuesta sea un cero y la amplitud del sonido total de la obra decaiga, tanto hasta ya no poder volver a disparar un nuevo impulso al inicio mediante el circuito cerrado, en este momento la obra moriría. A fin de no correr el riesgo de que por ese u otro motivo, durante su exposición la obra se detenga, se debe recurrir a crear un seguro que pueda, en el caso que esto suceda, revivir a la obra siguiendo con la lógica de no intervención humana. Para esto primero se debe diseñar un nuevo módulo que luego agregaremos en la matriz madre.

Si se piensa un poco en esto, una opción es que haya un elemento sonando siempre a quien podamos recurrir en caso de que el ecosistema muera, se debe pensar entonces en la posibilidad de crear un loop, (dado que no podemos utilizar un sampler de infinita duración). La eventualidad de que un sampler pueda auto regenerarse proveería al ecosistema la señal constante a donde recurrir en caso de necesitar reenacer. Si se piensa que esta señal debe existir desde

el momento en que germina la obra, (ya que siempre debe estar disponible para recurrir a ella), el momento inicial de la chispa debe desencadenarla además de al resto del ecosistema. Una vez que la señal de emergencia fue originada, se debe poder cerrar un circuito en ella para que el mismo sampler vuelva una y otra vez a auto accionarse (convirtiéndose en un auto loop). Para esto se puede pensar en un canal con un Trigger que solamente posea un único archivo de sampler, que el mismo comience con un fragmento de silencio y luego aparezca un impulso (más adelante se explica el por qué de esto). Lo próximo que debería ocurrir, es que la salida de este sampler de emergencia vaya a la entrada del impulso chispa (el primer impulso inicial creador de la obra), para que de esta manera pueda volver a generar la vida como también disparar el modulo de seguro nuevamente, y así cerrar su circuito (Figuras 9 a y b). Esto aun se debe terminar para quedar funcionando correctamente. (El resto del circuito fue abreviado en la sección “Matriz” por fines visuales)

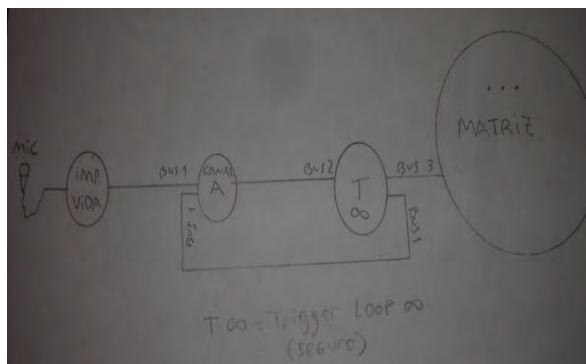


Figura 9a: Trigger de seguro, loop infinito ( $T \infty$ ).

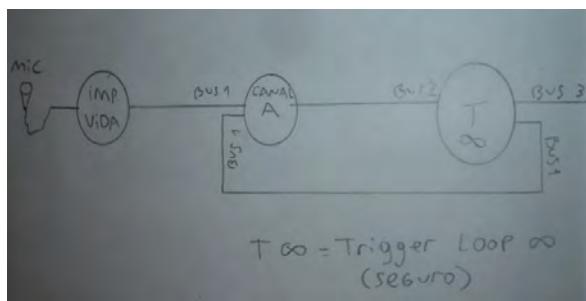


Figura 9b: Zoom de gráfico de Trigger de seguro, loop infinito ( $T \infty$ ).

Primero, el motivo de poner un sampler que comienza en silencio y luego aparece el impulso, se debe a que de lo contrario, (poniendo un impulso y después el silencio o sólo un impulso) se generaría un feedback al cerrar el circuito de este modulo, ya que se estaría auto-accionando inmediatamente el pulso una y otra vez.

Ahora bien, hecha esta primera aclaración, si se observa bien, cerrar este circuito volviendo a la entrada de la chispa creadora, generara que haya chispas todo el tiempo yendo a la matriz madre. Para evitarlo y que solamente la chispa aparezca en el

ecosistema cuando el mismo esté muriendo, se puede usar un compresor entre la salida del Trigger “seguro” y las 3 sinusoides por donde comienza la matriz. La entrada key del compresor será excitada por un bus desde el master del ecosistema. (Figura 10)

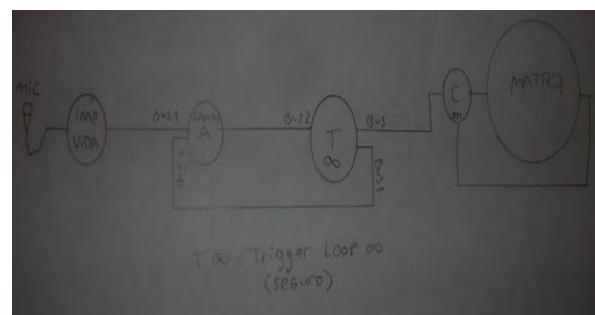


Figura 10: Trigger de seguro, loop infinito ( $T \infty$ ) + Compresor con entrada Key alimentada desde el Master.

De esta manera cuando la vida va a crearse el compresor la deja pasar a la chispa (ya que no hay señal de audio aun para comprimirlo desde el key) y al momento que empieza a correr sonido en la obra se comprime el paso del Trigger de seguro, que estará igual funcionando cíclicamente aunque su señal no entre a la matriz, (salvo que el ecosistema muera y deba volver a renacer).

Así quedaría el flujo si uniéramos los gráficos totales y no abreviáramos la Matriz. (Figura 11).

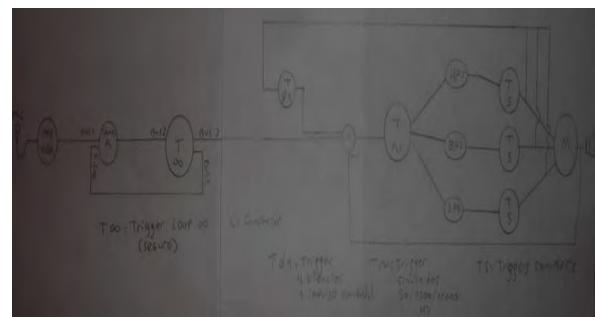


Figura 11: Circuito Matriz entera sin abreviar.

Este mismo seguro para regenerar la obra muestra claramente la posibilidad de tener un tempo definido en el ecosistema, un beat, conviviendo en la matriz, apta para trabajos que se acerquen a la música en el sentido popular de la palabra. Si se piensa en esa idea se puede utilizar este pulso de beat, que mantiene un tempo definido gracias a la duración de silencio inicial antes del impulso, como el disparador de los samplers, es decir, que los impulsos dentro de la matriz (que ahora están disparando los samplers de los Triggers), sirvan en vez, para levantar la entrada key de una compuerta que deje pasar el impulso beat. Si los Triggers que contienen sampler en la sesión, reciben en su entrada el bus que viene del beat, el disparo quedaría cuantizado permitiendo la superposición de melodías armonías y ritmos como samplers siguiendo una organización rítmica definida (Figura 12).

(Se visualiza como un zoom de un fragmento en la matriz)

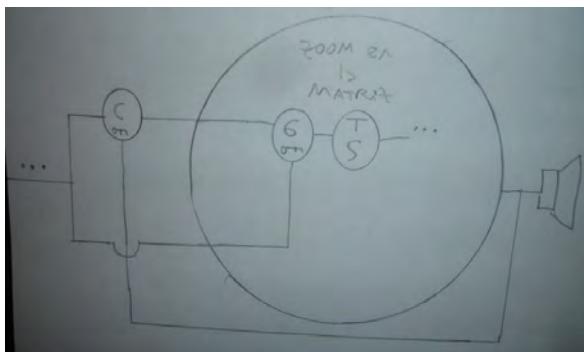
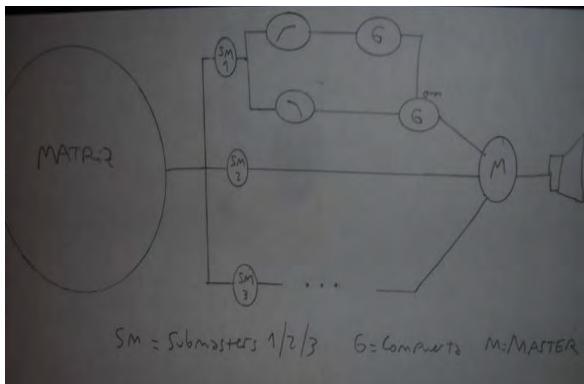


Figura 12: Utilización del Trigger como beat para disparar samplers cuantizados

Para finalizar por ahora este escrito y a modo de mantener una mezcla más estable del espectro de graves, medios y agudos, se puede por ejemplo, triplicar el master convirtiéndolo en 3 sub master paralelos, antes del ahora nuevo master final que debe existir. El segundo submaster iría limpio hacia el final. En el primer submaster la señal se manda a 2 canales más, que uno tendrá un LPF y el otro un HPF, es decir, los graves por un lado y los agudos por el otro. En los graves hay una compuerta que no lo deja pasar salvo que superen un determinado valor, o sea, que haya en estos graves un valor alto de amplitud. Si esto pasa, la señal va a la entrada a key de una compuerta que estaba luego de la salida de los agudos que separamos, por lo que los dejaría pasar para sumarse al master final, haciendo con esto, que se incrementen los agudos en la mezcla master cuando haya un exceso de graves grave. Con el 3er submaster se hace lo contrario, para levantar los graves cuando haya un exceso de agudos. (Figura 13). Si el Ataque y la Extinción en las compuertas es lento, la transición en el cambio de ecualización serán menos bruscas. También se sugeriría utilizar un Limitador en el Master para evitar que la señal supere el 0 en caso de que la suma de samplers aumente tanto la amplitud como para llegar al clip.

(SM, son los submaster 1, 2 y 3)



## 8. CONCLUSIONES

La utilización del DAW para crear obras generativas es completamente viable a pesar de no estar pensada en su naturaleza, y si bien existen software específicos que permiten este tipo de composición, el DAW sigue siendo un posible sistema para estas creaciones a pesar de la primera dificultad inicial de resolver lógicas y del tiempo que puede llevar crear y resolver módulos para integrarlos en la matriz madre. Las posibilidades de seguir profundizando una matriz son infinitas y siempre se encuentran nuevas maneras para resolver situaciones o situaciones que se pueden resolver de maneras más eficientes.

A modo de no saturar al lector, no se continuaron profundizando las posibilidades, pero parece haber una puerta infinita abierta.

Se pretende en el futuro ampliar la investigación hacia este campo, no solamente a partir del sampler si no a partir de la posibilidad de disparar notas midi desde el Trigger, lo que permitiría cargar VSTi en tiempo real para ejecutar música generativa. Las dificultades en ese caso y como siempre no serán encontrar mecanismos si no proporcionar coherencia en la obra total.

Las aplicaciones posibles de esta investigación son muchas, desde música y paisajes sonoros generativos, para entornos, como también para acompañar a una obra mayor, en el caso de incluir imagen por ejemplo, y establecer relaciones via midi entre ambos. Del mismo modo, las posibilidades que aparecen a futuro no son sólo las de lo generativo, si no también las de lo adaptativo y de lo interactivo, teniendo en cuenta lo que sucedería en el entorno y las acciones de los usuarios.

## 9. REFERENCIAS

SAITTA, Carmelo: "La construcción de la banda sonora en las artes polisémicas". Revista Cibertronic Número 5, Nota 12, Universidad Nacional de Tres de Febrero

[http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen\\_sonido/nota12/carmelo-saitta-1.html](http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen_sonido/nota12/carmelo-saitta-1.html)

SAITTA, Carmelo: "La construcción de la banda sonora en las artes polisémicas". Revista Cibertronic Número 5, Nota 13, Universidad Nacional de Tres de Febrero

[http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen\\_sonido/nota13/carmelo-saitta-1.html](http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen_sonido/nota13/carmelo-saitta-1.html)

SAITTA, Carmelo: "Carmelo Saitta, artículos – música, cine, pedagogía, entre otros". Editado por el Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras [CMMAS], 2014

[http://www.cmmas.org/PDF/2014/Libro\\_Saitta.pdf](http://www.cmmas.org/PDF/2014/Libro_Saitta.pdf)

SEBA, Alejandro: Soundtrack, Universidad Nacional de Tres de Febrero, Revista número 5, Nota 15, Imagen y Sonido. (s/f)

[http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen\\_sonido/nota15/alejandro-seba-1.html](http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen_sonido/nota15/alejandro-seba-1.html)

SONNENSCHEIN, David. Sound Design. The Expressive Power of Music, Voice, and Sound Effects in Cinema. Seattle: Michael Wiese Productions. (2001)

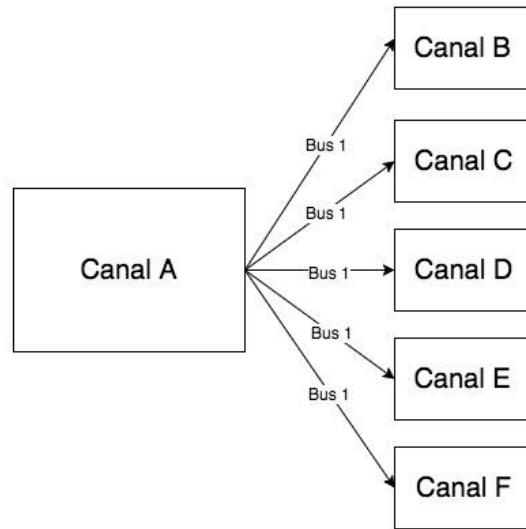
Traducción: Leandro de Loredo

<http://rocio-enerc.blogspot.com.ar/2007/03/lenguaje-alejandro-seba.html>

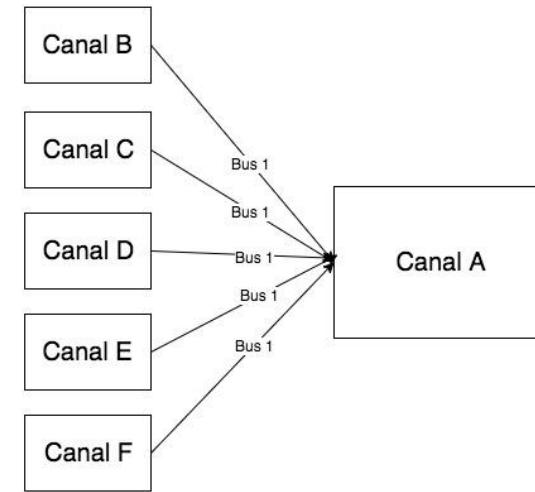
SCHAEFFER, Pierre: “Tratado de los objetos musicales”. Alianza Editorial, Madrid (1988)

ROMERO COSTAS, Matías: “Entornos interactivos e Interactividad”

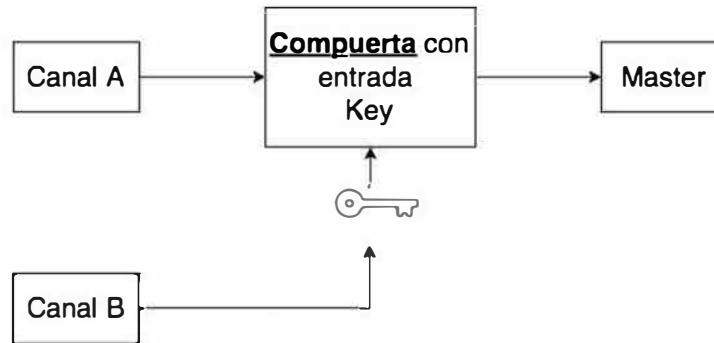
[http://www.biopus.com.ar/matias/materias/apuntes/entornos\\_interactivos\\_e\\_interactividad.pdf](http://www.biopus.com.ar/matias/materias/apuntes/entornos_interactivos_e_interactividad.pdf) (Revisado en 2014)

**Figuras:**

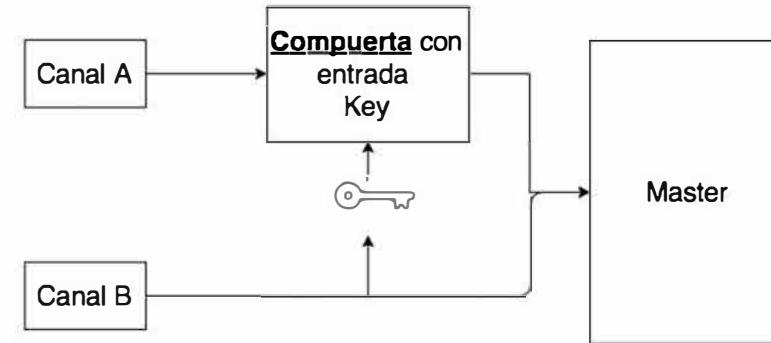
**Figura 1:** Ruteo, salida de *Canal A* por *Bus 1*, recibida por varios *Canales* simultáneamente.



**Figura 2:** Ruteo, salida de varios *Canales* por *Bus 1*, recibidas simultáneamente por la entrada del *Canales A*.



**Figura 3 a:** Ruteo de Compuerta (Gate), con entrada Key



**Figura 4 a:** Ruteo de Compuerta (Gate),  
con Canal B enviado a entrada Key y al Master

Tabla de resultados A x B		
Canal B	Canal A	Master
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**Figura 3 b:** Resultados en el Master de la compuerta con entrada Key.

Tabla de resultados A y B		
Canal B	Canal A	Master
0	0	0
0	1	B
1	0	0
1	1	A+B

**Figura 4 b:** Resultados en el Master de enviar el Canal B  
a la entrada Key y al Master.

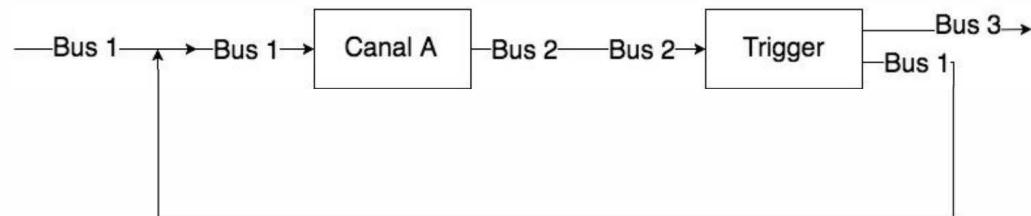
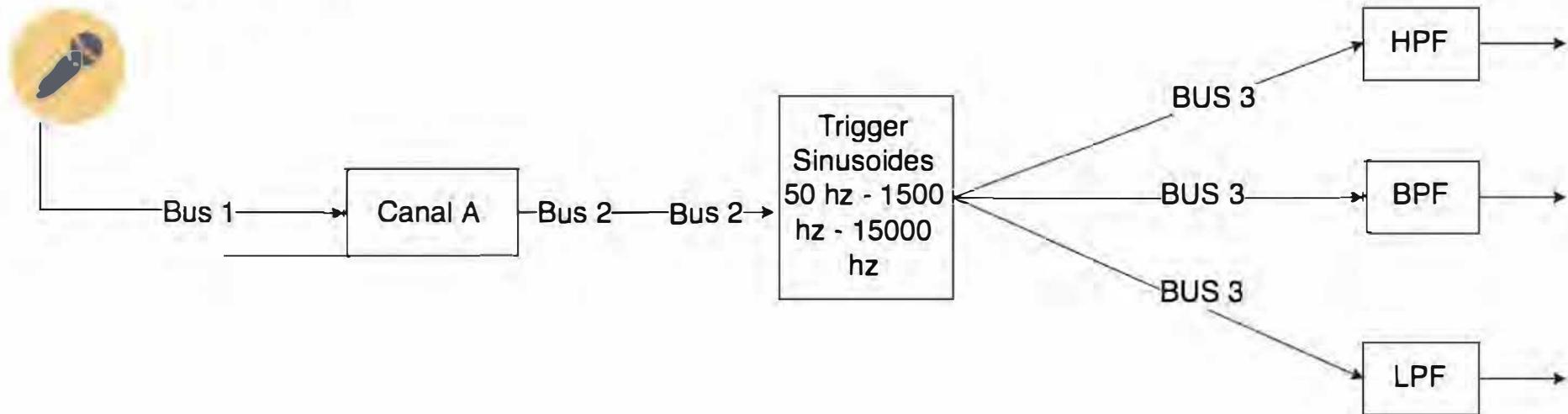


Figura 5a: Ruteo cíclico con Trigger.

Canal	Imput	Output	Insert
CANAL A	BUS 1	BUS 2	CANAL A
CANAL T	BUS2	BUS 1 + BUS 2	CANAL A

Figura 5b: Aclaraciones de Buses en el Ruteocíclico con Trigger.

Entrada de micrófono



*Figura 6: Ruteo de Trigger en modo de reproducción aleatoria, con impulsos de Sinusoides hacia filtros.*

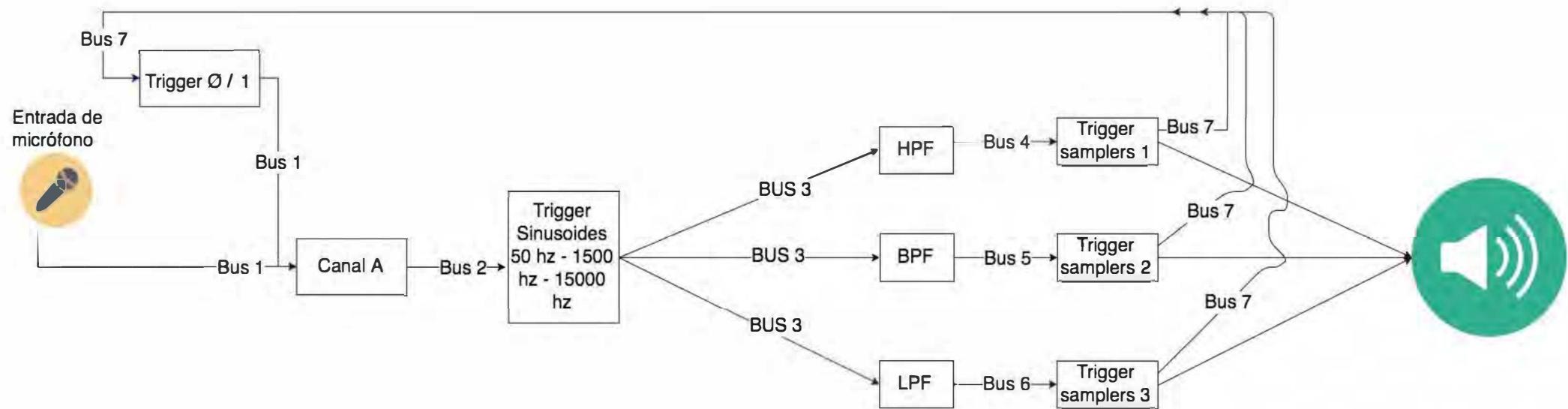
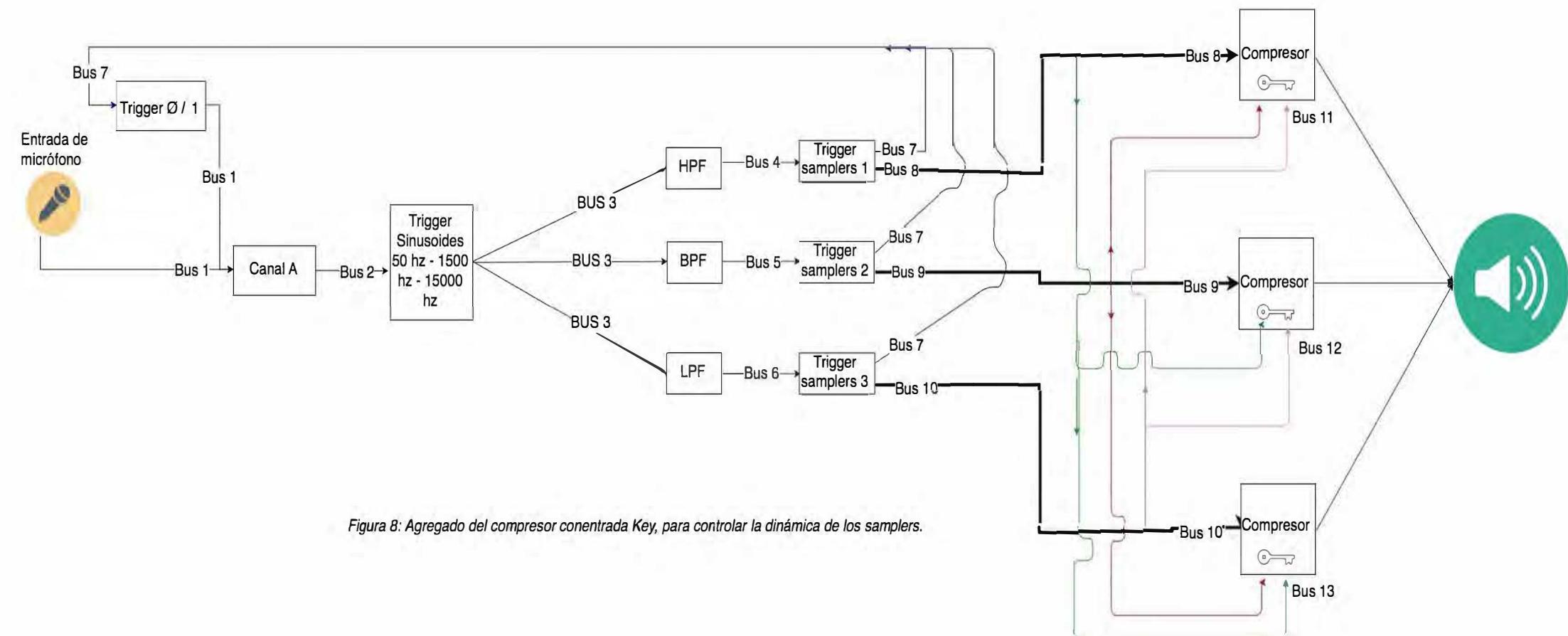


Figura 7: Ruteo cílico con Samplers. El Trigger Ø / 1 posee 4 archivos de silencio y 1 impulso.



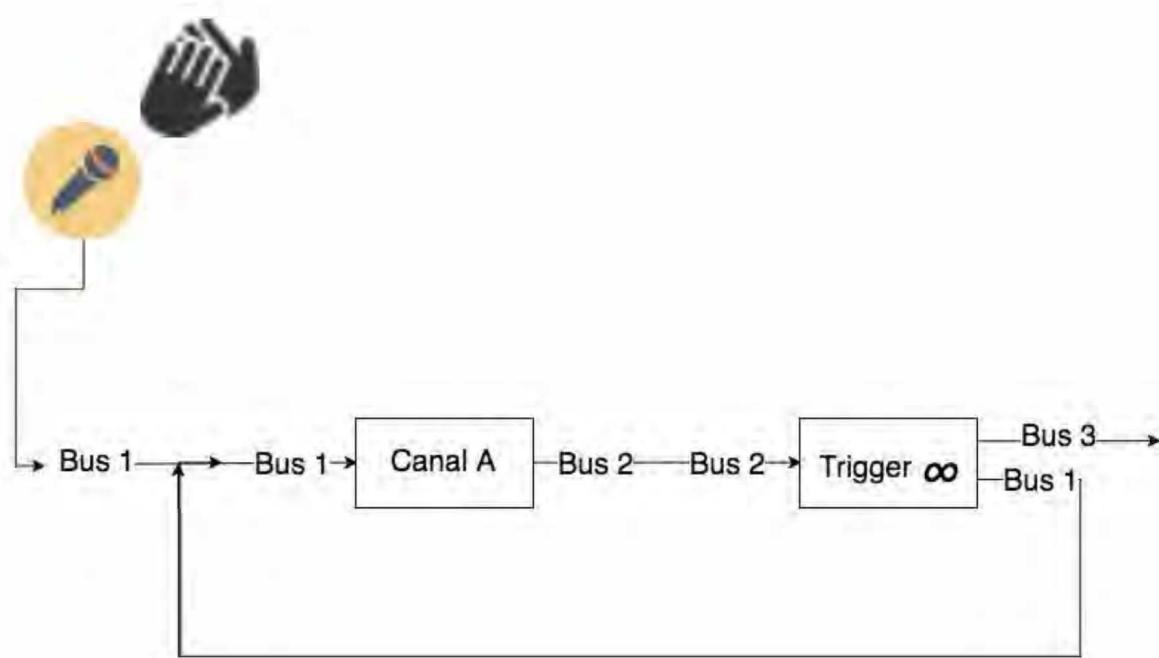


Figura 9: Módulo Trigger de seguro, loop infinito ( $T \infty$ ).

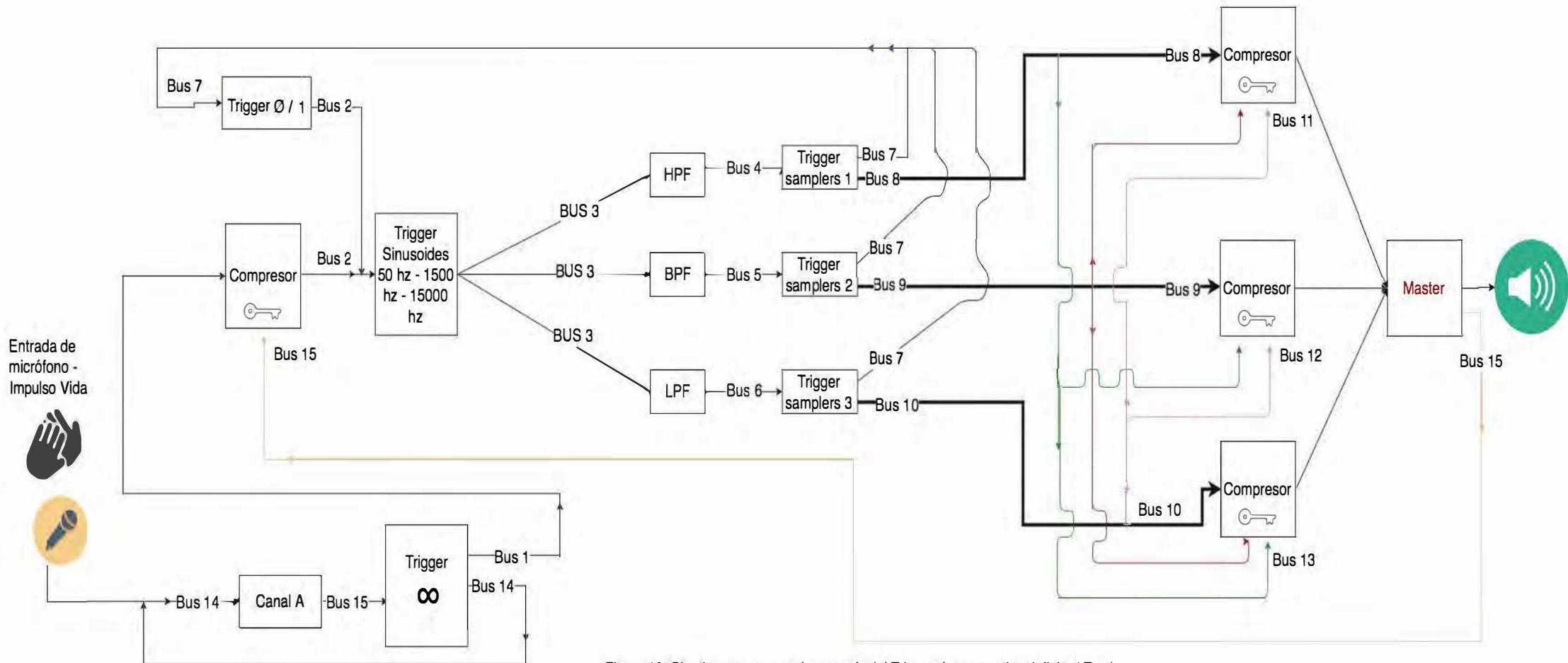


Figura 10: Circuito entrero con el agregado del Trigger de seguro, loop infinito ( $T_\infty$ ).

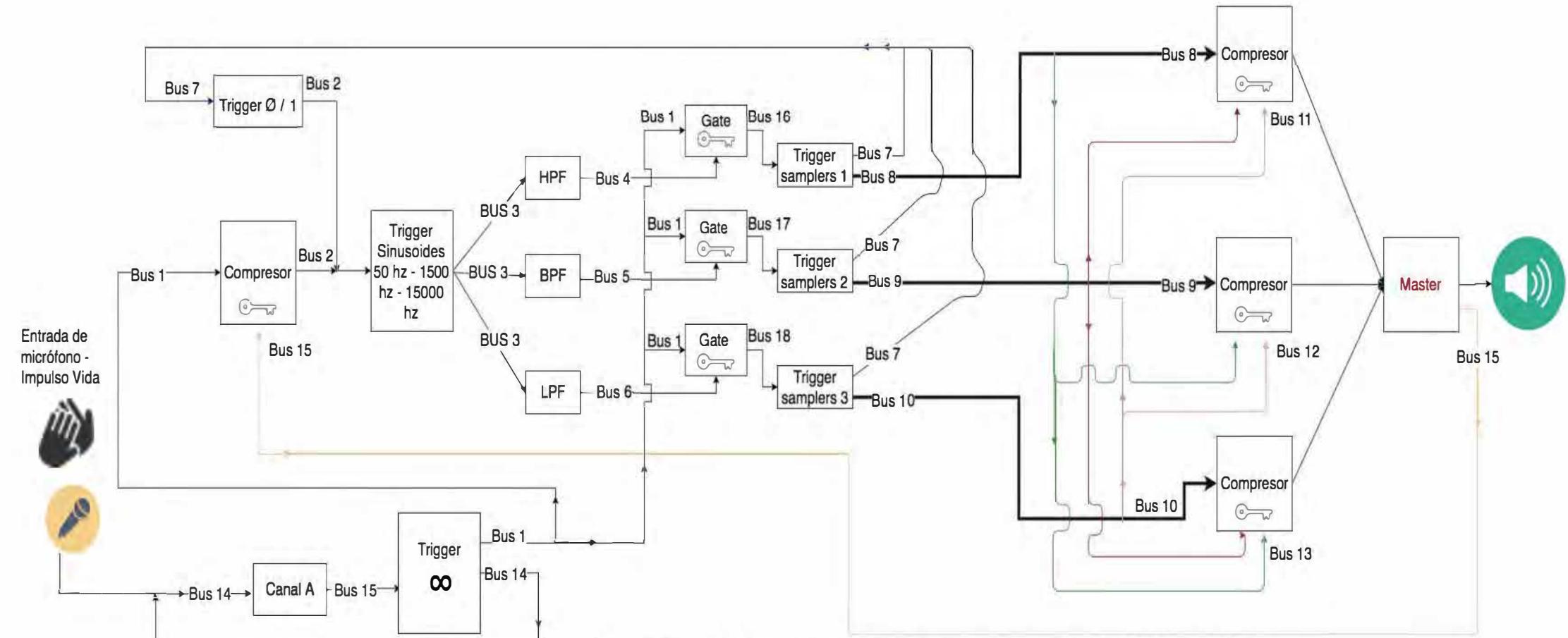


Figura 11: Utilización del Trigger oo como seguro de vida y como beat para disparar samplers cuantizados

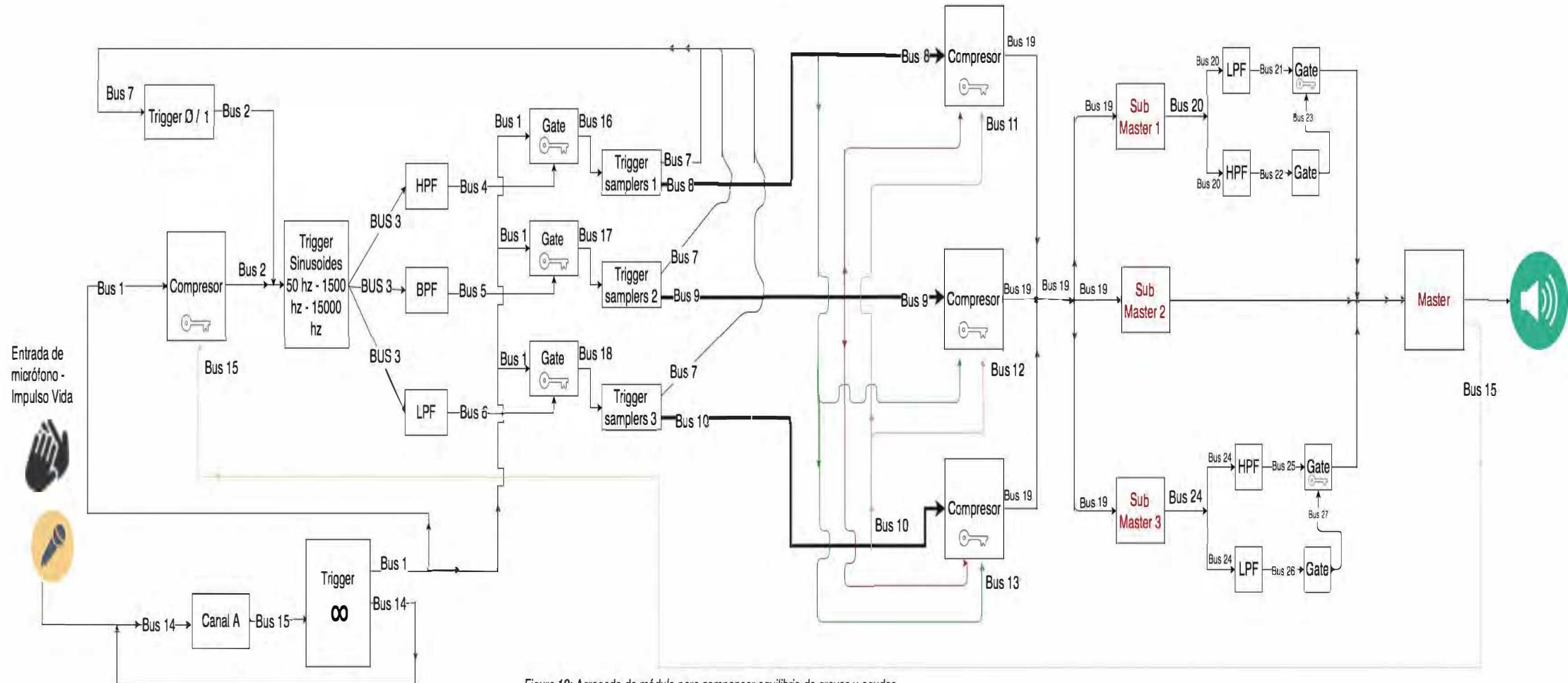
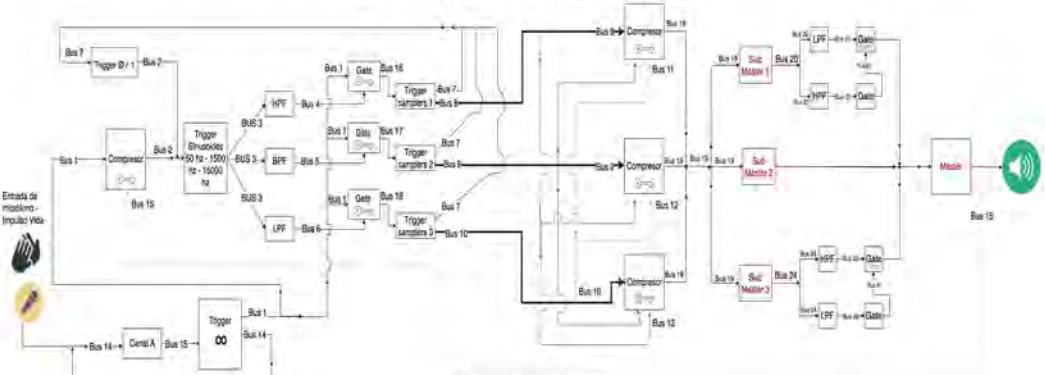


Figura 12: Agregado de módulo para compensar equilibrio de graves y agudos.

# RESUMEN

La investigación expone el avance sobre los resultados provistos por un uso no convencional del DAW y los plugins convencionales, a fin de posibilitar trabajos Sonoros Generativos, es decir, de propiedades narrativas no-lineales. Esto admite, en oposición a la linealidad, un campo de exploración donde no se establece un inicio, desarrollo y fin predeterminados que se repetirán de igual manera siempre, sino una obra sonora con posibilidades de auto-generarse. Los DAWs no tienen en su naturaleza la intención de narrar no-linealmente; no fueron pensados originalmente para servir a la composición y reproducción de una obra con estructura generativa, la contribución de esta investigación da luz a nuevas puertas en su uso como herramienta para este desarrollo creativo.

Mediante los diagramas de flujo de señales se expondrán mecanismos para la creación de un sistema generativo con el uso del DAW y los Plugins convencionales.



## INTRODUCCIÓN

Los DAW's (Digital Audio Workstation) o Estaciones de Audio Digital, son los Editores de Audio que se utilizan en trabajos de Sonido para Medios lineales como el Cine o la Televisión, o la Producción de Música, donde decimos que la narración es lineal porque nosotros organizamos en el tiempo un trabajo Sonoro definiendo: qué, cuándo y cómo se desarrollará el Audio. Significa que estos sonidos, una vez renderizada la composición, serán siempre los mismos y estarán siempre ubicados en un mismo lugar en la secuencia de eventos predefinidos. Anteriormente a la llegada de la era Digital el trabajo se realizaba en Cinta Magnética, por lo que los DAWs suelen ser llamados Non Linear Digital Recording (Grabación Digital No Lineal), utilizando el término no lineal para diferenciarse al trabajo en Cinta, donde posicionarse sobre una sección implica irremediablemente un proceso físico de mover la Cinta hasta la ubicación deseada (no se puede saltar de un lugar a otro) y que editar es destructivo. Dado que la era digital no tiene estas particularidades se utilizó el término "non linear", pero como se aclaraba en el resumen de la investigación, los DAWs no tienen en su naturaleza la intención de narrar no linealmente, no fueron pensados para servir a la composición ni a la reproducción de una obra con estructura generativa. Las posibilidades del desarrollo del Audio generativo permiten una aplicación en entornos donde la obra no tiene una duración específica de exposición, ni una forma definida en el tiempo (videoarte, instalaciones, arte multimedia, paisajes sonoros, música, etc. podrían ser el caso). Podemos asumir entonces, que el espectador tampoco recibirá una única experiencia sonora por más tiempo o veces que visita la exposición.

Si bien existen software que fueron creados con la intención de servir para un tratamiento narrativo no-lineal, la investigación propone ondear sobre el uso del DAW y los plugins convencionales, encontrando maneras de producir con ellos trabajos Sonoros Generativos, es decir, de una naturaleza narrativa no lineal. El papel del Autor en este caso, será poder encontrar mecanismos que permitan el desarrollo de trabajos sonoros de estas características, como también utilizarlos en busca de enmarcar los límites donde la obra se desarrollará con el objetivo de proporcionar una coherencia a pesar de que la misma pueda evolucionar por si sola, como también morir y renacer.

## CONTEXTUALIZACIÓN

Inicialmente diremos que la idea de la música generativa puede pensarse de muchas maneras si incluso un músico improvisando está generando una obra que no está definida de antemano, aunque es evidente que ciertas leyes de organización lo proveen de herramientas para forjar una construcción coherente en su estructura organizativa, a pesar de estar desarrollándose a medida que avanza. Incluso si se tuvieran porciones predefinidas compositivamente y se ejecutan como tal, pero en ordenes aleatorios, también podríamos decir que son música generativa, como la composición "in C" de Terry Riley (1964) y hay una intención clara de que esto se produzca desde el autor en el diseño de la obra. Pero estos ejemplos requieren a los intérpretes ejecutando la música, de lo contrario si se grabaran estas performances, cada vez que lo reproducísemos escucharíamos una misma música, ya no volvería a cambiar jamás, por lo que dejaría de ser una obra generativa, para ser una composición Algorítmica.

Con el mundo sonoro también se está continuamente siendo espectador de una ambientación generativa en la naturaleza y en la ciudad, aunque no haya en esta una intención de hacerse.

Las primeras respuestas que pueden pensarse, son diseñar un sistema capaz de funcionar produciendo audio generativo, mezclando información sonora ya definida o creando la información sonora en el momento del funcionamiento, pero esto, sin la necesidad de estar siendo el sistema "operado" por el compositor, a fin de no convertirse en una Performance. A su vez generar que el sistema pueda seguir creando una obra sonora distinta cada vez que se oiga.

El término música generativa fue popularizado por el compositor Brian Eno, quien inició sus experiencias generando loops en cintas magnéticas, cada uno con diferentes duraciones, reproduciéndose a la vez para lograr mezclas orgánicas. Trabajos como los de Alvin Lucier con "Music on a long thin wire" (1977) son un ejemplo de la búsqueda de dispositivos que puedan existir en un entorno para producir música generativa. En estos casos el problema que se puede observar, es que se expone el dispositivo a ser "el reproductor" de la obra, por lo que sólo es viable poder escuchar la composición generativa a partir de este presente (o virtualmente presente) en el lugar en que está dicho dispositivo que la origina.

El mismo Brian Eno editó en floppy disk "Generative Music 1" (1996), que mediante la programación crea la música cada vez que se reproduce, el sistema ahora es un código y su soporte, por lo que es más fácil de transportar o de que esté simultáneamente (y físicamente) en 2 lugares a la vez.

En la era digital la distribución de la obra sonora es mucha más sencilla y ya han salido varios software para componer música generativa que incluso el mismo Brian Eno utilizó como "SSEYO" (1994) en el disco mencionado.

Muchas veces el problema pasa por si el usuario tendrá la forma de poder reproducir música generativa, ya que un reproductor ordinario carecería de esta posibilidad. Por otro lado las aplicaciones que permiten crear tu propia música generativa también se han vuelto muy populares como "Bloom" de Brian Eno y Peter Chilvers.

El futuro parece ser propicio para que el Audio generativo continúe expandiéndose, e incluso más aun, poder ser además de generativo, adaptativo, en el sentido que se adapte a las situaciones que vive el entorno donde se reproduce, mismo la reciente aplicación de Jorge Drexler N (2017) permite estos dos aspectos.

# EL PAPEL DEL AUDIO EN UN MEDIO NO-LINEAL E INTERACTIVO

EUGENIO FERNÁNDEZ TABOADA<sup>1</sup> Y SEBASTIÁN PAPPALARDO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Image Campus, Game Audio, Buenos Aires, Argentina.*

*fernandeztaboada@hotmail.com*

<sup>2</sup> *Asociación Argentina de Sonidistas Audiovisuales, Buenos Aires, Argentina*

*standardusername@gmail.com*

## Resumen

Después de 40 años de evolución, la industria del Videojuego es una actividad consolidada. Un medio que en los últimos tiempos ha incluido en su estructura el trabajo de sonidistas y músicos. Para desenvolverse en este medio, dichos profesionales requieren desarrollar la capacidad de producir música y sonido de manera adaptativa y generativa, marcando una fundamental diferencia con los medios audiovisuales lineales. La industria está en constante búsqueda de nuevos caminos tanto en el aspecto discursivo como técnico y hoy son múltiples las herramientas y recursos tecnológicos que permiten abordar de manera eficiente y creativa este universo en permanente evolución. En este contexto, el jugador es quien da forma a la historia y es el responsable de construir el universo sonoro del juego. El sonido entonces debe tomar un enfoque adaptativo, contemplar las múltiples posibilidades interactivas que el escenario presenta y proveer los elementos, lógicas de comportamiento y atributos concernientes al desarrollo de los mismos. La propuesta de nuestra investigación consiste abordar estos temas presentando las últimas herramientas técnicas y teóricas que permiten definir la física y otros atributos de un ecosistema virtual mediante el procesamiento de datos y señales para generar un efecto inmersivo a partir de la estimulación psicoacústica del jugador.

## Abstract

After 40 years of evolution, the Videogame industry is a consolidated area of economic production that in recent times has included in its infrastructure the work of sound artists and musicians. To work in this medium, these professionals need to develop the ability to produce music and sound in an adaptive and generative way. A fundamentally different approach with regard to linear audiovisual media production. The industry is constantly searching for new ways both in its narrative and technical aspects. Today there are multiple tools and technological resources that allow us to efficiently and creatively approach this universe in permanent evolution. In the context of a Video Game, it is the player who unfolds the story and builds the soundscape that makes the game come to life. The Audio development must thus take an adaptive approach, contemplate the multiple interactive possibilities that the scenario presents and provide the elements, logic of behavior and attributes for the Project. Our research proposal is to work out these issues by presenting the latest technical and theoretical

tools which enable the professionals to create the physics and other attributes of a virtual ecosystem by means of data and signal processing to generate an immersive effect through the psychoacoustic stimulation of the player.

## 1. INTRODUCCIÓN

Convencionalmente el trabajo de diseño y edición por parte de Sonidistas y Músicos se desarrolla utilizando DAWs (Digital Audio Workstations) para producir y manipular los materiales que componen la obra o proyecto que estén produciendo. Las DAW son herramientas complejas y poderosas pero sólo útiles para manipular bandas sonoras cuyos eventos se producirán en un orden estático y predefinido (lineal). En el caso de un videojuego la obra o proyecto está regida por su carácter no lineal. Es preciso entonces que la herramienta permita generar un programa interactivo, que se adapte a las acciones del jugador. Tanto en la producción musical como en la audiovisual el material sonoro se organiza en canales de información sincrónicos que interactúan sumando y restando energía (presión sonora distribuida en el espectro de frecuencias). El resultado de esta interacción se denomina normalmente banda sonora o programa. En el caso de la música, interactúan los distintos instrumentos y timbres que componen la obra; en un programa audiovisual, además de la música existen otros tipos de información, los cuales se organizan en lo que se denomina “cadenas de lenguaje” o “elementos sonoros”, estos son : Voces, Ambientes, Efectos Sonoros y Música (Chion, 1993). En los medios interactivos la convivencia de estos elementos es mucho más compleja ya que no hay una secuencia lineal sobre la cual los elementos se relacionen de forma inamovible. En la interactividad es necesario pensar la reproducción e interacción sonora desde un lugar muy diferente,

un lugar en el que todas las variantes deben estar calculadas previamente para que estos elementos puedan concatenarse y mezclarse en cada sesión de juego y a veces en varias sesiones en simultáneo (multiplayer)

El objetivo de este trabajo de investigación es exponer las dificultades particulares que presenta el medio, presentar las herramientas específicas que permiten llevar adelante este proceso de elaboración e integración de “eventos” en una Banda Sonora que contempla las posibilidades interactivas del videojuego para comprender la lógica que se requiere al realizar un tratamiento sonoro-musical que permita inducir en el jugador una mejor experiencia inmersiva.

A continuación en el desarrollo de la investigación se expondrán: Particularidades del trabajo Sonoro/Musical en los videojuegos – Software estándares utilizados en la industria de Videojuegos – Métodos de trabajo y soluciones interactivas/no-lineales – Herramientas para generar un mundo sonoro virtual inmersivo – Conclusiones – Referencias.

*El desarrollo de un videojuego encuentra al programador como figura central del proyecto. Es él quien recibe los materiales de trabajo (guión, gráfica, animación, elementos sonoros, etc). En lo referente al sonido surgen las siguientes inquietudes: ¿Con qué herramientas y qué conocimiento de las particularidades de la emisión y propagación del sonido cuenta el programador? ¿Cuán interiorizado está el programador sobre las posibilidades narrativas del diseño sonoro y*

lenguaje audiovisual? ¿Su herramienta de trabajo está preparada para atender todas las variantes de manipulación de la banda sonoro-musical?

¿Cuáles son los posibles formatos finales de un proyecto de videojuegos? ¿cómo afecta esto al flujo de trabajo del mismo y qué resguardos técnicos son necesarios para lograr un producto estable?

*Un videojuego no consiste de un render final. Es interactivo.* ¿Cómo automatizar entonces los valores que definirán la sonoridad del programa en tiempo real? ¿Existe la posibilidad de utilizar plug-ins? ¿Cuáles son los métodos para hacerlo?

¿Cuál es el flujo de trabajo entre sonidistas/ músicos y programadores? ¿Qué métodos y estándares tecnológicos se deben tener en cuenta a la hora de proyectar el diseño sonoro de un videojuego? Si el número de archivos es una limitación ¿Cómo se evita que la banda sonora se torne monótona y cómo se generan matices sonoros partiendo de un número limitado de materiales? ¿Cuán relevante es la duración de los segmentos de ambientes y música? ¿Cómo se pueden trascionar estas atmósferas y elementos musicales de manera interactiva?

## 2. SOBRE PARTICULARIDADES DEL TRABAJO SONORO/MUSICAL EN LOS VIDEOJUEGOS

Como fue presentado en la introducción, los VideoJuegos se diferencian del resto de los medios audiovisuales lineales entre otras cosas por su cualidad interactiva. La cual demanda una banda sonora no-lineal. Esto a su vez implica que las herramientas del medio Audiovisual son insuficientes para producir un programa de audio

no-lineal cuyo desarrollo depende de una dinámica de juego inherente a cada sesión de juego.

En los medios audiovisuales lineales, el encargado de mezclar la banda sonora manipula dinámicamente y espectralmente las diferentes cadenas de lenguaje (óp. cit) Ambientes, Voces, Ambientes, Efectos Sonoros y Música para producir una Mezcla final que puede variar en formato (Mono/ Stereo/ 5.1/ 7.1/ Atmos) y que contempla la sincronía de los elementos sonoros que la componen con los cortes o eventos visuales que se representan en imagen. A esta relación entre imagen y sonido se la denomina efecto de síncresis (óp. cit) por el cual un espectador asocia los eventos visuales y sonoros que percibe, incluso cuando la correspondencia entre los mismos desafie su información cognitiva.

**Interacción entre Audio e Imagen - Implementación de Audio en Videojuegos.** El proceso de inserción de la banda de Audio en el material audiovisual está a cargo de un montajista, quien recibe la mezcla con dos eventos sincrónicos o beeps, tonos de 1 cuadro de duración (generalmente 1/24 segundo) a 1000 Hz. Estos eventos se ubican 2 segundos antes del primer cuadro de imagen (F.F.O.A.) y 2 segundos después del último cuadro de imagen (L.F.O.A.) En el pasado el soporte analógico limitaba la duración de los programas de Audio e Imagen al metraje de los rollos de material filmico (en general 1000 pies) y a la velocidad de reproducción del mismo medida en cuadros por segundo (fps) generalmente entre 11 y 27 minutos. En otros medios como la TV los soportes y valores de tiempo cambian pero la metodología es la misma. Si ambos beeps coinciden con sus marcas de imagen el sincronismo es un hecho. En la era digital se siguen usando beeps a 2 segundos pero el metraje no es

hoy en día un problema. El formato más usual en cine hoy en día es DCP (Digital Cinema Package) El cual contiene el material íntegro en un gran archivo de imagen que contiene su correspondiente Banda Sonora.

La integración de la banda sonora en los videojuegos tiene algunos puntos en común con el universo audiovisual. Hay un valor de cuadros por segundo y es necesario producir sincronismo entre eventos y entre cortes. Sin embargo en los Videojuegos no existe la posibilidad de sincronizar la banda y la imagen en un solo proceso ya que los eventos de imagen y sonido son invocados por el jugador cuándo y cómo él así lo decida. Pero las acciones del jugador responden a un programa. Su accionar está limitado a la física y al espacio que el programador haya desarrollado. Son los programadores quienes escriben el código del juego quienes finalmente integrarán el sonido y la imagen (la animación en este caso). Entonces el Diseñador del Sonido del Juego debe pensar desde un principio en el programador como destinatario de todo el material que ha generado para sonorizar el juego. Tal y como pasa en el medio audiovisual, los videojuegos son un producto colectivo que involucra diversos roles. Además de Músicos y Game Audio Designers hay Guionistas que piensan el juego en función de la narración (cuando el juego tiene una historia, algunos juegos solo son una serie progresiva de ejercicios de reflejo o de técnica). Hay multiplicidad de roles en la cadena de trabajo que gesta un videojuego. Productores que se encargan de evaluar el potencial comercial de los proyectos, Artistas Visuales que diseñan la imagen y los personajes, Los Programadores y Game Designers que se encargan de diseñar niveles y curvas de dificultad para asegurarse que el juego no sea ni muy

fácil ni muy difícil. Los programadores también definen la evolución del personaje, enseñando al jugador las técnicas de juego y las características del mundo en el cual este se desarrolla, programan la inteligencia artificial de otros personajes que no maneja el jugador. En algunos casos usan motores como Unity o Unreal y en otros se encargan de desarrollar ellos mismos el motor sobre el cual corren todos los elementos que componen el juego.

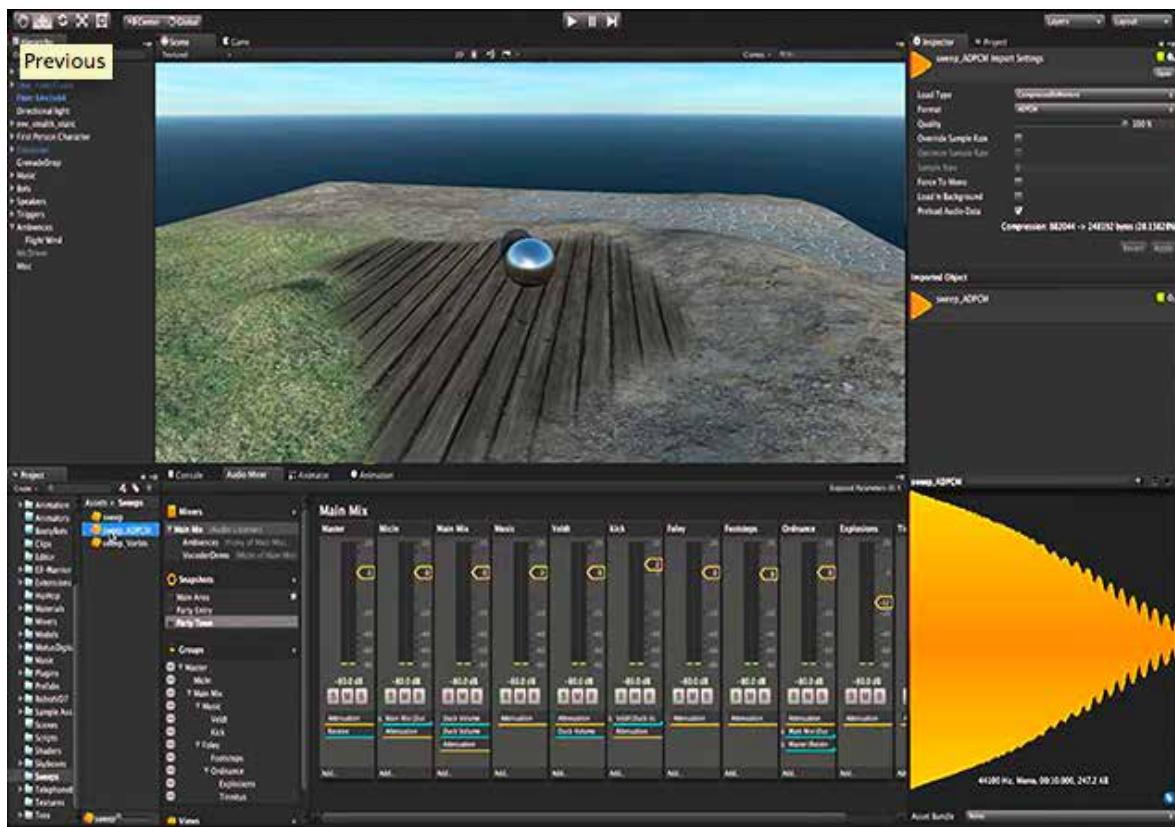
### **3. SOFTWARE ESTÁNDARES EN LA INDUSTRIA DE LOS VIDEOJUEGOS**

Un programador desarrolla el juego en un software al cual se denomina “motor”, es el software encargado de integrar y articular todos los componentes del proyecto. Existen muchos tipos de motores, algunos de ellos propietarios de los estudios. Todos los motores tienen, distintos modos de uso y entregan diferentes posibilidades, para este trabajo se tomaran como referencia los estándares más utilizados que son Unity y Unreal, aunque en la Argentina hasta el momento de este escrito Unity es el más utilizado. Dentro de Unity las posibilidades de trabajar con Audio son escasas, permite integrar sonido y música pero para un desarrollo de banda sonora con intenciones narrativas surgen limitaciones importantes desde la interfaz gráfica del programa (GUI) La mayoría de los programadores recurren a scripts. Escriben líneas de código en lenguaje C# para editar por ejemplo una transición entre 2 músicas o incluso algo más simple como una randomización (generación de una secuencia aleatoria) de pitch o volumen también debe hacerse por código, esto limitación de acceso desalienta a un sonidista sin conocimientos de programación a utilizar Unity

como plataforma de trabajo. Además de la falta de controles específicos para el audio, Unity utiliza valores relativos que nada tienen que ver con la balística utilizada para medir energía sonora, como pueden ser dB para medir nivel o centésimas de tono para valores de cambio de altura. Hasta la versión 5 la interfaz era completamente inapropiada para trabajar con audio, a partir de esta versión, se incluye un mezclador o mixer similar al que podemos encontrar en cualquier DAW donde se pueden monitorear niveles de señal gracias a un vumetro e incluso guardar diferentes tipos de mezclas (snapshots) para ser

llamadas por código en el momento o escena requerido por el juego. (Figura 1)

También incluye Unity cierto nivel de procesamiento y ruteo de señal (sidechaining o ducking) para comprimir la dinámica de un sonido o música en relación a la amplitud de una segunda señal (Key). Muy utilizado por ejemplo secuencias de acción o tensión para que la música sea comprimida en relación al nivel de los efectos sonoros. Esta ausencia de herramientas específicas de diseño y manipulación de Sonido hacen que Unity sea poco viable para desarrollar un tratamiento sonoro sutil y elaborado.



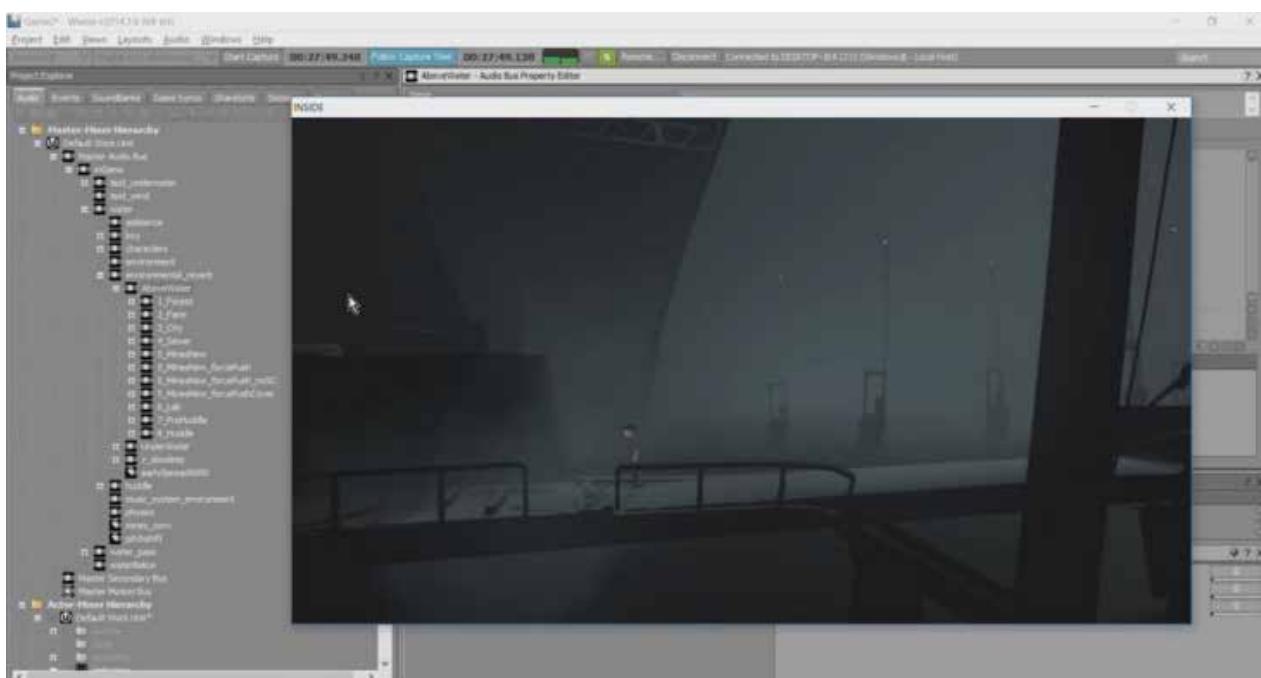
**Figura 1**  
*Mixer del motor de desarrollo Unity*

A partir del año 2006 surge para explotar este área y hacia el 2011 se establecen Wwise y Fmod; los Middlewares son módulos externos a los motores que trabajan como extensiones de

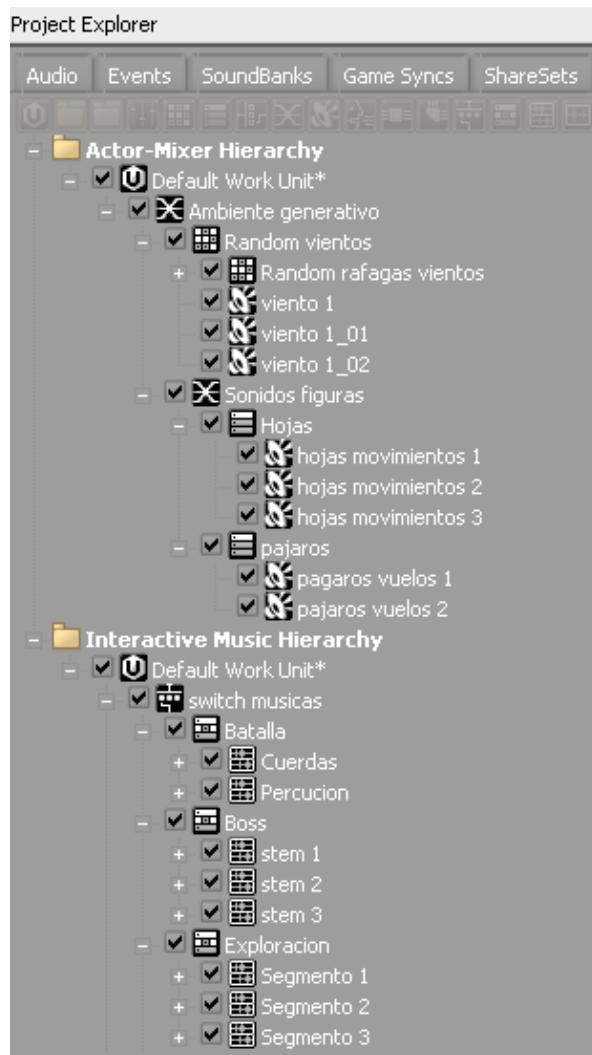
los mismos para desarrollar un área específica. En este estudio nos enfocaremos en Wwise que es el más completo de los Middlewares que han surgido hasta el momento. Wwise (Figuras 2a

y 2b) es un programa que fue pensado íntegramente para ser usado por sonidistas y músicos en Videojuegos a diferencia de la sección de audio de Unity que fue pensada inicialmente para programadores y de a poco empieza a integrar más elementos propios del mundo del audio. Wwise permite resolver todas las necesidades del audio en un juego liberando al programador de las tareas de diseño sonoro para que estas sean producidas por un profesional mientras los desarrolladores pueden concentrar su trabajo en la mecánica y funcionamiento integral del juego. Wwise permite generar y testear eficientemente todos los eventos que requiera el juego trabajando con Unity en paralelo, conectados por un mínimo software de integración. El mecanismo de trabajo cuando se decide usar un middleware de Audio consiste en reunirse inicialmente con el equipo de trabajo para definir qué, cómo y cuándo sonarán los elementos sonoros de la banda , luego se detallan una serie de eventos que des-

encadenarán una o varias acciones; reproducción de un archivo , generación de un sonido sintético, modificación del sonido de acuerdo a parámetros preestablecidos o establecidos en el gameplay. Todo esto puede ser incorporado en el juego por el sonidista sin mayor intervención del programador que enviar los correspondientes eventos que disparen la acción. Los eventos generados en Unity y procesados en Wwise son capaces de generar una enorme variedad de gestos y estímulos sonoros tan variados como posicionar un sonido en el espacio o cuantizar una música para transicionar con otra en diferentes escenas del juego. Son también capaces de definir zonas y estados. Modificar las características acústicas de un sonido, transicionar ambientes y hasta generar los parámetros para que el conjunto de sonidos que componen el juego convivan en una mezcla interactiva que genere inmersión en el jugador, e imprima ritmo a la secuencia de eventos que compondrán el universo narrativo del juego.



**Figura 2a:**  
*Middleware Wwise de Audiokinetic*



**Figura 2**  
*Contenedores de Audio del Middleware Wwise de Audiokinetic*

#### 4. UN MUNDO SONORO VIRTUAL INMERSIVO, HERRAMIENTAS Y NOCIONES

Para generar una experiencia inmersiva es necesario poder recrear un ecosistema sonoro verosímil para el jugador. Dependiendo del tipo de juego, la estética visual, la historia, etc; el efecto buscado puede llegar a ser el de imitar la realidad. Especialmente en juegos con una puesta de cámara del tipo subjetiva 3d y en realidad virtual donde la interacción es además percibida a través de dispositivos estereoscópicos, cuyo obje-

tivo es inducir en el usuario un máximo nivel de abstracción de la realidad y materialización del mundo virtual. En estos casos la espacialización del sonido es clave para completar el verosímil de física en la del espacio virtual.

En juegos 2d mayoritariamente se presenta la escena en un plano general, no suele utilizarse un punto de escucha en la cámara o en el personaje. En este caso el punto de escucha suele ser omnipresente. Los sonidos pueden asociarse a fuentes sonoras, al personaje o al espacio, pero la relación entre sí no necesariamente responde a

un verosímil de transmisión física del sonido en el espacio de juego o la perspectiva del avatar.

La utilización del sonido como herramienta 2d y 3d no necesariamente es excluyente al tipo de juegos. Juegos 2d pueden utilizar creativamente el espacio 3d y en los juegos 3d es muy común que parte de la banda sonora funcione en 2d. Como un narrador omnisciente , o como el componente emocional a través de la música incidental o como indicador del entorno inmediato del jugador, por ejemplo el vehículo en que se traslada el personaje o el equipamiento que porta y la indumentaria que viste. Creando una especialización cercana en 2d, cuyo posicionamiento puede ser automatizado para acompañar la animación de una acción recurrente. En general todos los sonidos que componen la sonoridad del personaje , el habla, los gestos y sonidos corporales varios mantendrán su posición relativa al centro de la banda. Herencia lingüística de una puesta audiovisual equivalente. Otro sonido indispensable en este tipo de juego es el de los pasos del personaje. Este sonido demanda un tratamiento particular ya que está sujeto al tipo de superficie sobre la cual circule el jugador, para lograr adaptar el sonido a la superficie es necesario que el motor comunique eventos de switch cuando el personaje entra o sale de zonas predefinidas, los switches permiten controlar qué ar-

chivo será reproducido en correspondencia con la superficie correcta.

El sonido 3d representa la tridimensionalidad del mundo en que se desarrolla la acción. Al crear un universo en el cual existen fuentes sonoras, será necesario asociar estas fuentes a objetos sonoros. A través de ellos será posible conocer y manipular la ubicación relativa de los mismos en el espacio y la distancia hasta el punto de escucha a través del procesamiento de señales y automatización de valores. El punto de escucha es a su vez inconstante y dependerá de la rutina que desarrolle el jugador en la sesión del juego. Será preciso conocer la posición relativa del jugador en el espacio para generar el flujo de información que definirá la verosimilitud del entorno.

En este entorno se puede personalizar el modo en que los sonidos 3d se desplazan por el espacio aun cuando estos no se correspondan con fuentes sonoras visibles en el espacio de juego. Como pueden ser insectos, chirridos, estímulos provenientes del ambiente pero que escapan nuestro campo visual, a estos sonidos se los denomina extra-diegéticos (Chion, 1993). Generalmente producidos a partir de un archivo mono y reproducidas en variantes de recorridos por el espacio automatizadas previamente y randomizados para no repetir ni el timbre del sonido, ni el recorrido, ni el orden de la secuencia de los mismos. (Figura 5)

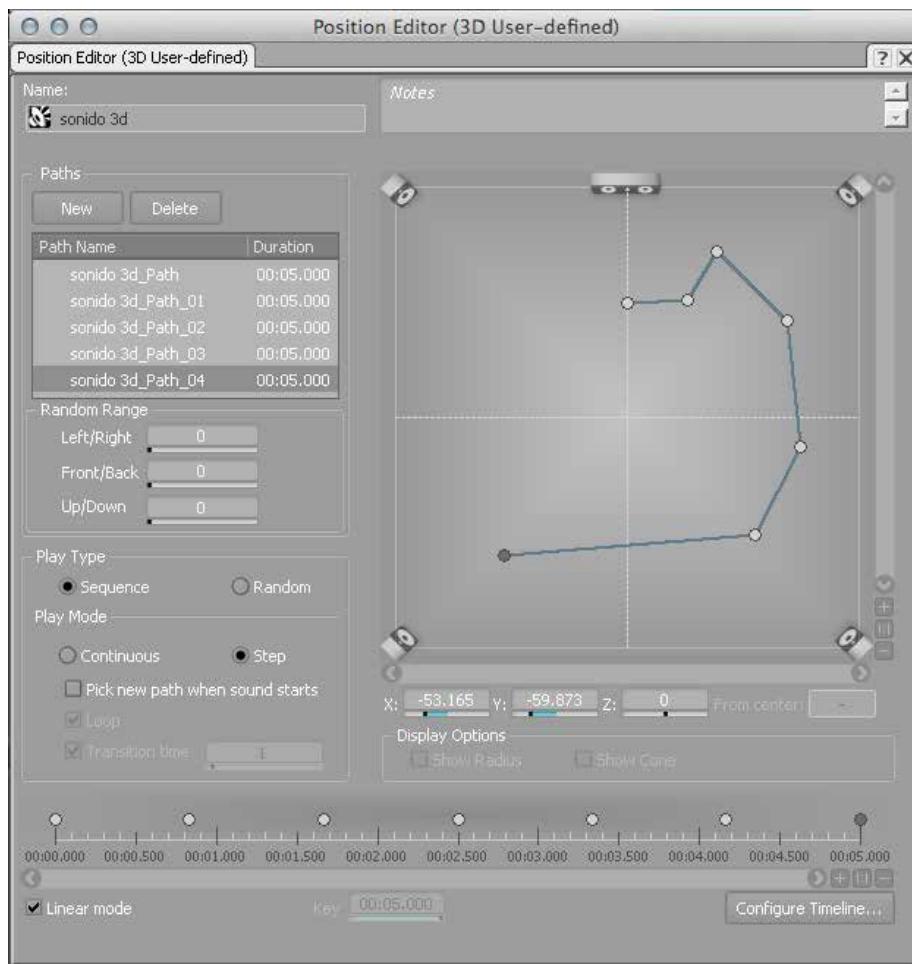


Figura 5

### Recorridos tridimensionales personalizados

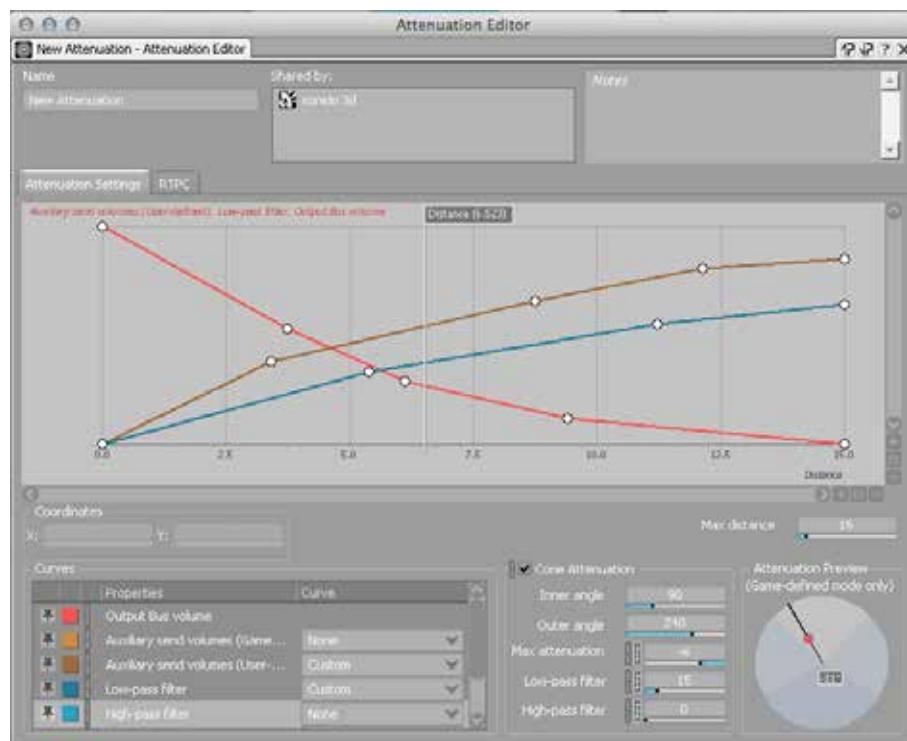
En el caso de objetos emisores diegéticos o extradiegéticos que interactúen con la posición relativa del jugador estarán fuera de las posibilidades de previsión del programador o diseñador de sonido, en este caso el motor debe calcular las posiciones relativas que permiten modificar las propiedades acústicas del objeto emisor en relación a la distancia con el punto de escucha del jugador, sea este o el objeto quien se encuentre en movimiento. Esta modificación de las propiedades acústicas consiste en emular el comportamiento de un sonido en su dispersión por el espacio. Es decir, que al aumentar la distancia el sonido emitido perderá presión, esto no solo se refleja en la disminución del volumen o nivel de

la señal propagada por el emisor sino también en un cambio en la composición armónica del sonido. La distancia se mide en Unidades de juego (Game Units) que serán equivalentes a la unidad mínima de desplazamiento que se aplique al juego, este valor será definido por el programador de acuerdo a la naturaleza del juego y las conveniencias mecánicas y performáticas del mismo.

Una vez establecido el sistema de unidades de medida estos valores pueden ser ruteados entre el motor y el middleware de audio para ajustar los valores de nivel y frecuencia de los filtros pasa-bajo y pasa-alto (LPF y HPF) que reducirán la energía de las frecuencias superiores de la

señal, emulando el mayor desgaste que sufren estas en la transmisión de energía a consecuencia de su corta longitud de onda y a las frecuencias más bajas permitiendo emular el efecto de proximidad que se manifiesta al acercar la fuente al punto de escucha. Estos valores máximos y mínimos permitirán con simples variantes generar complejas curvas de decaimiento de la señal. El mismo proceso es aplicable a ámbitos reverberantes. Es posible manipular la señal a través de un bus para que el nivel de reverberación de la señal guarde relación con la posición relativa del jugador en la habitación. Los ámbitos reverberantes pueden manifestar diferentes características y la posición del jugador dentro o fuera de las mismas pueden ser transmitidas desde el motor

mediante la diagramación de zonas; la incursión en estas zonas se transmite en forma de eventos. Teniendo estos datos es posible adecuar las transiciones de entrada y salida de dichas zonas así como entre diferentes ámbitos reverberantes. Además de la proximidad a un objeto emisor a un ámbito reverberante se pueden automatizar parámetros de oclusión para modificar las características del sonido por la sombra acústica que ejercen sobre su propagación sonora otros objetos gráficos del juego, otras fuentes emisoras o la misma posición del jugador al ubicarse de frente o de espaldas al objeto emisor. Emulando el cambio de composición espectral de la señal en su relación con la dirección del panel auditivo humano. (Figura 3)



**Figura 3**  
*Espacialización de un objeto emisor  
en Wwise*

Algunos middlewares como Wwise incluyen un plugin de audio binaural, es decir capaz de imitar respuestas en 360 grados que incluyen el eje vertical “Z” a diferencia de los sistemas surround o estereo, el plugin “Auro Headphones” (Figura 4) implementa la especialización utilizando un filtro HRTF (Head-Related Transfer Function o función de transferencia relativa a la cabeza), su respuesta de frecuencia dependerá de la posición de la fuente en relación con el oyente emulando los efectos producidos por hombros, orejas y cabeza. Es necesario para su utilización crear un audio bus como hijo del master final y asignarle como efecto el Auro-Headphones; no se recomienda más de uno por sesión, de todas maneras este bus puede recibir varios sfx en simultáneo, se recomienda no enviarle sonidos desde un bus que agrupa varias señales ya que romperá el

efecto al igual que agregar luego del plugin binaural un compresor u otros filtros que modifican la dinámica o el espectro de la señal. Se debe seleccionar una configuración de canal Auro o Ambisonic con los cuales Wwise es compatible desde las versiones 2016. Las diferentes configuraciones ofrecen niveles variados de movimiento detallado en el campo 360 y también exigen una cantidad diferente de CPU a medida que aumenta el números de los altavoces virtuales o el orden en ambisonic (1, 2 o 3). En cada objeto que se desea procesar por el Auro Headphone, debe asociarse su salida al audio bus binaural. Dentro del plugin se puede encontrar en la sección ROOM las dimensiones de la sala, la distancia a las paredes respectivas se establece en metros que influyen en los tiempos de retardo para las reflexiones tempranas.



**Figura 4**  
*Plugin de Audio Binaural de Auro-Headphone*

Una vez definidos los métodos para la reproducción y la manipulación de emisores es posible programar la interacción entre sonidos automatizando parámetros y condiciones de reproducción que permitan generar una mezcla no-lineal que no solo de al juego un verosímil con la acción sino también inteligibilidad entre efectos sonoros, música, ambientes y diálogos.

Para esto además de las curvas de oclusión existen objetos llamados estados. Los estados permiten modificar parámetros de reproducción o aplicar filtros, variar el pitch, el nivel del sonido, alterar su sonoridad utilizando envíos a auxiliares o plugins para el procesamiento de señal y

varios filtros incluidos ecualizadores. Los estados permiten también disparar reproducciones de archivos y manejar los tiempos y formas en que las transiciones entre estados tienen lugar. Los estados se pueden utilizar para modificar sonoridades en diferentes espacios, en diferentes estadios de evolución del jugador (como puede ser el porcentaje de vida del mismo) o para acompañar la acción del juego, por ejemplo en una batalla que demanda reflejos y velocidad habrá una relación diferente entre música y efectos sonoros que en un momento contemplativo o que demande concentración lógica como puede ser resolver acertijos o incorporar información útil para avanzar la narración del juego. (Figura 6)

The screenshot shows a software interface for managing audio states. At the top, there is a navigation bar with tabs: General Settings, Source Settings, Effects, Positioning, RTPC, States, HDR, Mixer Plug-in, Motion, and MIDI. Below the navigation bar, there are two buttons: 'Add >>' and 'Remove'. The main area is titled 'State' and contains a list of states under a section labeled 'estados'. To the right of the state list is a table with four columns: Voice Volume, Voice Pitch, Voice Low-p..., and Voice High-p... . The table rows correspond to the states listed on the left. The data is as follows:

State	Voice Volume	Voice Pitch	Voice Low-p...	Voice High-p...
bajo_el_agua	4	0	9	0
batalla	-7	-330	0	0
bonus	2	0	0	0
bosque	-2	630	5	4
boss	0	-300	0	-42
cueva	-3	250	0	0
exploracion	0	-100	16	0

**Figura 6**  
*Estados y sus valores en los objetos asignados*

No solo son niveles y componentes armónicos que se deben tener en cuenta a la hora de abordar la mezcla no-lineal. Debido a la escasez de recursos que siempre es un factor a tener en cuenta en el diseños de juegos es fundamental además de silenciar los sonidos que escapen al campo audible del jugador evitar que estos se reproduz-

can, ya que al hacerlo consumen recursos vitales para el resto de la banda, la animación y el enorme flujo de datos necesarios para reproducir la acción en tiempo real. Cada plataforma, desde celulares hasta consolas dedicadas tiene un número limitado de canales o voces que es capaz de reproducir; por lo tanto, de no contemplarlo,

se podría sobrecargar la performance del dispositivo y afectar la estabilidad del programa. En el caso de Wwise existe la posibilidad de configurar un máximo de archivos para la reproducción simultánea. Para definir qué sonido se reproduce existe la posibilidad de configurar un umbral en dB por debajo del cual el archivo no será reproducido. Se debe tener en cuenta que los sonidos 3d y aquellos sonidos silenciados por una automatización de parámetros en tiempo real (Real Time Parameter Control) consumen voces ya que están reproduciéndose a pesar de no ser audibles, es decir están emitiendo una señal a pesar de que su automatización de volumen no permita oírlos.

Además de la dinámica y la composición espectral otro factor a tener cuenta en el mezcla es la densidad cronométrica de eventos. Por ejemplo si en el entorno del juego aparece un enemigo es normal que se escuchen sus pasos, pero ¿qué sucede si aparecen 40 personajes enemigos?, no se-

ría lo mejor que se reproduzcan cacofónicamente los pasos de todos ellos; por este motivo es posible limitar la cantidad de sonidos a través de grupos, para que al superar un determinado valor se anulen los siguientes sonidos que superen este umbral, lo mismo podría pensarse con un grupo de los disparos. Para definir qué sonidos continúan sonando y que sonidos deben callar existe la posibilidad de priorizar ciertos efectos sonoros , en el caso de Wwise el rango de valores es entre 0 y 100, donde 100 es el máximo y 0 es el mínimo. De esta manera , los sonidos inmediatos al campo cercano del jugador, sus propios gestos y todos aquellos sonidos vitales para la narración deberán recibir valores de prioridad altos y aquellos que representen acciones pero son prescindibles, deben recibir valores bajos para que puedan sean eliminados ante una multiplicidad de eventos sonoros que hagan peligrar la inteligibilidad de la acción o la comprensión de la narración. (Figuras 7<sup>a</sup> y 7b)



Figura 7a

*Mixer y Soundcaster de Wwise para el proceso de Mezcla*

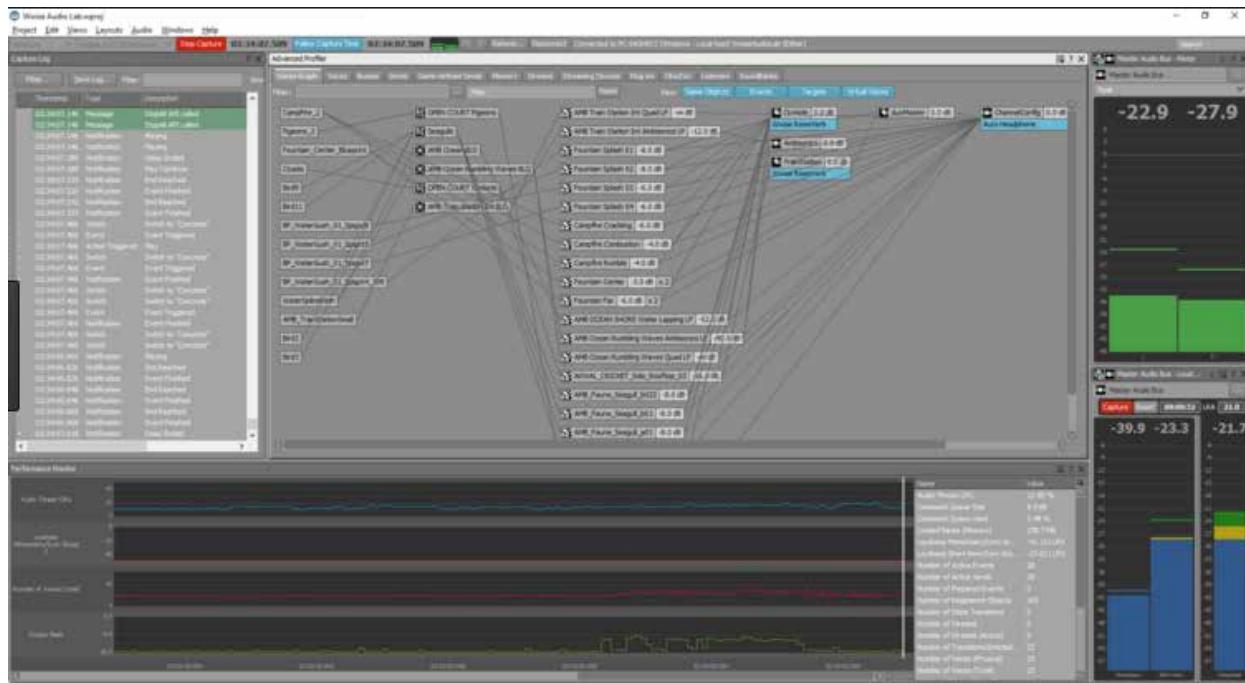


Figura 7b

*Gestión de recursos de una sesión de Wwise*

## 5. CONCLUSIONES:

Los middlewares de Audio ocupen un lugar clave en la cadena de producción de un videojuego. Expanden las posibilidades de manipulación del sonido y sobre todo liberan al programador de la tarea de proyectar, diseñar e implementar el sonido y la música del juego. Son además un nexo vital para la expansión del mundo sensorial del jugador, la generación de inmersión en el mismo.

Tal como sucedió en otros medios tecnológicos,

el sentido de la audición ha sido relegado en la búsqueda de mayores standards de imagen y movimiento. Pero la evolución de la industria es constante y el salto protagónico del sonido ya es un hecho. La integración de audio en Videojuegos es una pieza clave ya incorporada en proyectos de juego del tipo AAA. Es solo cuestión de tiempo para que esta tecnología se extienda a otras versiones de productos, con menores presupuestos y mayores requerimientos de optimización de recursos.

## 6. REFERENCIAS

MURCH, Walter: "Claridad Densa-Densidad Clara". En Artigo apresentado em conferênci na Escuela Internacional de Cine y TV de San Antonio de los Baños, Cuba, 1989.

<http://filmsound.org/murch/claridad.htm>

CHION, Michel: "La Audiovisión". Ed Paidós Barcelona, 1993.

<https://lenguajecinematografico.files.wordpress.com/2013/10/la-audiovisic3b3n-michel-chion.pdf>

RODRÍGUEZ BRAVO, Ángel: La dimensión sonora del lenguaje audiovisual. Ed Paidós Barcelona (1998)

<https://es.scribd.com/doc/67151294/LA-DIMENSION-SONORA-DEL-LENGUAJE-AUDIOVISUAL>

ROMERO COSTAS, Matías: "Entornos interactivos e Interactividad"

[http://www.biopus.com.ar/matias/materias/apuntes/\\_entornos\\_interactivos\\_e\\_interactividad.pdf](http://www.biopus.com.ar/matias/materias/apuntes/_entornos_interactivos_e_interactividad.pdf)  
(Revisado en 2014)

SAITTA, Carmelo: "La construcción de la banda sonora en las artes polisémicas". Revista Cibertronic Número 5, Nota 12, Universidad Nacional de Tres de Febrero

[http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen\\_sonido/nota12/carmelo-saitta-1.html](http://www.untref.edu.ar/cibertronic/imagen_sonido/nota12/carmelo-saitta-1.html)

SAITTA, Carmelo: "La banda sonora, su unidad de sentido: Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos. no.41 Ciudad Autónoma de Buenos Aires set. 2012

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-35232012000300011](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232012000300011)

SONNENSCHEIN, David. Sound Design. The Expressive Power of Music, Voice, and Sound Effects in Cinema. Seattle: Michael Wiese Productions. (2001)

Traducción: Leandro de Loredo

<http://rocio-enerc.blogspot.com.ar/2007/03/lenguaje-alejandro-seba.html>

KASTBAUER, Damian. The Wwise Project Adventure. (2014)

[https://wwwaudiokinetic.com/download/documents/WwiseProjectAdventure\\_en.pdf](https://wwwaudiokinetic.com/download/documents/WwiseProjectAdventure_en.pdf)

C.R.A.S. & Audiokinetic. Wwise Certification Course. Revision 289 (2017)

[https://wwwaudiokinetic.com/download/lessons/wwise101\\_en.pdf](https://wwwaudiokinetic.com/download/lessons/wwise101_en.pdf)

# ¿CÓMO CONCEBIR EN LA ACTUALIDAD UN ESPACIO PARA LA PRODUCCIÓN MUSICAL?

*Mariano A. Ferreira*

## Dos espacios: la sala de producción musical y la sala de control de un estudio de grabación (o mezcla, o masterización incluido)

Las categorías no deben suponerse previas, estas replican una representación, codifican y proponen una estratificación. Pero la dinámica del trabajo las rompe, o entrevé constantemente la reflexión de los límites. Su finalidad, en una cantidad apreciable de casos, es la misma, o su uso resulta indistinto.

### Diferencias a grandes rasgos en los orígenes

Mientras la sala de control está vinculada a un espacio comercial privado, el lugar donde se hacen los discos de la industria discográfica (en contraposición a esto está el primer protocolo de diseño surgido de la BBC), el espacio de producción musical se podría situar en la universidades y en las radios estatales, y es un espacio de investigación e innovación. También los estudios privados grandes pueden contar con una sala de producción musical, para el trabajo del productor fuera de la circunstancia de grabación.



**Figura 1**  
*Pierre Schaeffer.*

### Tiempos de descentralización

Aunque un gran porcentaje de la música, en lo que concierne al *mainstream* o estilo más tradicionales (hay versiones nuevas todos los años de alguna ópera de Verdi o Wagner), sigue con la misma cadena de producción de hace más de 50 años y necesita de los espacios con un protocolo y estándar de diseño, el número de música que se produce, y se escucha, que no sigue esta línea aumenta año tras año. Es música que no se hace en los estudios grandes, para los principales sellos discográficos. La crisis que se ve en los grandes estudios de grabación no es un fenómeno local.



Figuras 2 y 3



Figura 4

Un músico grabando en el living de su casa.

## ¿Dónde y cómo se hace esta música?

Hoy en día una plataforma para el registro y edición es de fácil acceso, tanto en medios digitales como en hardware. Hay una gran cantidad de equipamiento, en respuesta al surgimiento de vsts y plug-ins, en reediciones y réplicas como diseños innovadores, de diferentes costes. En países periféricos la mayoría de estas cosas simbolizan una inversión, pero en mercados grandes como los EE.UU. o Europa resultan de fácil adquisición.

Ableton Live es un programa que se incorporó al quehacer del músico y productor, que planteó una nueva forma de llevar adelante su trabajo y se alejó de la arquitectura y el método de otros DAW (*digital audio workstation*). Marcó una gran diferencia con las plataformas anteriores destinadas al músico, que eran tan solo versiones simplificadas de las usadas en estudios. No solo hay un interés enorme y creciente en su manejo por profesionales y diletantes, sino que su impronta, su sonoridad propia, se hace notar en la música actual. No es lo mismo hacer música con computadoras hoy que 10 años atrás, por la calidad sonora –especialmente la direccionada al gran público–, la versatilidad y el carácter. No es la misma música.



Figura 5



**Figura 6**

#### *Muestra de pantalla del Ableton Live.*

La diferencia entre la producción y disponibilidad masiva de un instrumento musical –que lleva la mayor parte de su historia ya concebido, codificado y resuelto en su forma– y cuando este desarrollo se da en paralelo, es la influencia de la masa en su técnica. La producción de violines chinos de bajo costo y alto rendimiento impacta más en países de la periferia, que tienen una historia reciente con la alta complejidad técnica de la música europea. En cambio, en los nuevos instrumentos, las influencias vienen de cualquier parte y los diseñadores tienen en cuenta a los grupos de grandes compradores y a los artistas reconocidos sin importar su origen.

### **La unión de la música al recinto**

Música como manifestación acústica. Occidente y la preferencia por una textura específica. Hubo un tiempo de voces, tiempo del laúd, tiempo de la cuerda frotada y tiempo de la gran orquesta sinfónica. Este gusto requiere que la música se desarrolle en un espacio específico; esta dependencia es tanto histórica como una necesidad amparada en las ventajas del espacio cerrado y en cierto comportamiento del aparato auditivo. En algún sentido hay un espacio más acorde para

cada tipo de música, aunque en la mayoría de los casos el espacio acústico es preexistente y la música que se generó allí toma su carácter. En el siglo XX la acústica arquitectónica no solo se preocupó por la sala de concierto, si no por la sala de grabación. El surgimiento de la industria discográfica (y lo que se refiere al *broadcasting*) coincide con el tiempo de las grandes orquestas. Mucha música popular se desarrolla en las salas pequeñas de los estudios, o en estudios más pequeños. Pero aun así, son salas grandes y vivas, de mucha personalidad. Con el tiempo –especialmente con la aparición de sellos más pequeños y el advenimiento del pop– fueron surgiendo las salas de comportamiento neutral, de menor energía. Y con esto la aparición de los primeros efectos: *plate* y *spring reverbs*, etcétera. Hoy, con los métodos convolutivos, se simulan espacios como equipos. La actualidad no pide, salvo para ciertas cosas puntuales, utilizar grandes recintos; estos son costosos y conllevan dificultades a la hora de la versatilidad o de la búsqueda sonora, pero más allá de esto es la música, el gusto actual y su modo de producción la que los rechaza. El músico puede llegar a sentirse cautivado ante el impacto que produce su tamaño y el contraste de las circunstancias habituales, pero para el productor no será una buena opción. Cuando cambian los modos de producción cambian los gustos sobre el material artístico.

Espacio de control: vieja premisa de un lugar que permita escuchar la primera reflexión de la sala. Repaso de los estándares de diseño: LEDE, RFZ, N-E, CID.



Figura 7

*Los Rolling Stones en Chess Studio, 1964*

### **El *home studio*, o estudio hogareño**

Un camino que comienza con las primeras grabadoras de cinta portátiles, hasta las instancias típicas de la actualidad, que lo sitúan como agente dominante de la escena: la producción de discos con menor presupuesto –democratización de los modos de producción–; la búsqueda de un espacio más íntimo y personal para la creación, y el espacio laboral donde todo vínculo con el cliente es virtual.



Figura 8

*Espacio personal de trabajo de un productor musical.*

La necesidad de mejorar las condiciones de trabajo termina generando un mercado de productos estandarizados para el acondicionamiento

acústico –así también para *el home theater*, gran motor económico para su aparición–. Pero no hay forma de tratar un espacio de forma estandarizada, ni tampoco realizarlo, sin saber cuál es el fin buscado.

Otra cuestión delicada es la de los nombres que se les dan a estos productos: algunos refieren a su funcionalidad y no concuerdan con su real desempeño, y otros arman categorías cuyos elementos no tienen nada que ver unos con otros. El trabajador acústico se encuentra con solicitudes de los clientes que no tienen justificación ni sentido. Pero su demanda no viene desde el desconocimiento solamente, sino del consejo o la información que recibió de fuentes sin autorización en la materia, o que fue mal interpretada.

Copiar métodos de trabajo en Internet puede no ser lo indicado para cada caso puntual. El que haya variedad y no concordancia sobre qué es preciso llevar adelante se debe a que las circunstancias y el camino a tomar varían enormemente. Y en este terreno dos aspectos motivan esta crisis: la desaparición del técnico (no hay un especialista detrás de la decisión o brindando la asesoría) y la sobreinformación de Internet.

### **Qué se hace con el sonido en un espacio cerrado**

Las opciones son: reducir la energía acústica presente en el recinto a lo largo del tiempo o modificar la energía incidente en un punto específico. ¿Qué elementos tenemos para hacerlo?

**Absorbentes:** se necesitan grandes volúmenes para una absorción resistiva o sintonización en la absorción reactiva. La densidad, la porosidad, el grosor y la resonancia no pueden pasar inadvertidos.



**Figura 9**

**Paneles tapizados fonoabsorbentes reactivos y resistivos.**

**Difusores:** hay que entenderlos como superficies reflejantes, cuya densidad juega un rol fundamental. Luego, su forma se vincula con cierto funcionamiento. Según la meta buscada, las posibilidades, la disponibilidad y el presupuesto, se optará por algún diseño específico y se determinarán sus dimensiones.



**Figura 10**

**Difusor PRD construido en listón de pino.**

También se puede generar variaciones en la forma interna del espacio, donde la superficie permanece siendo generadora de reflexiones especulares.

Sin adentrarnos en conceptos más técnicos como compliancia, impedancia, masa acústica, etcéte-

ra, al menos entender la existencia del espectro –y que el sonido dentro de un recinto no se comporta de la misma manera a lo largo de este–, que el sonido es un fenómeno que se desarrolla en el tiempo y que el aparato auditivo integra información en una ventana temporal, deben ser prioridad.

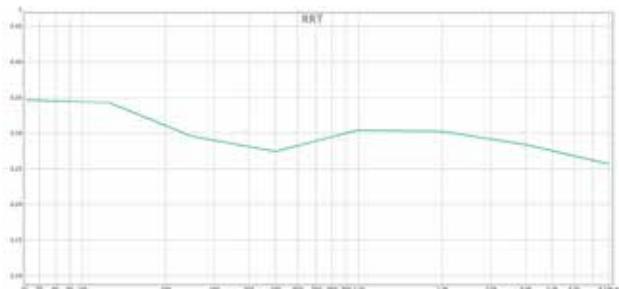
Construir estos elementos no es una tarea complicada, y menos con las herramientas de fácil adquisición; abunda información para acceder a modos de construcción de muchos tipos de paneles, o mandando a hacer ciertas partes de la cadena a un taller, así como también hay carpinterías que brindan productos de excelente terminación. Tampoco en una primera instancia supondría un gran costo. Pero el asunto a resolver es qué se necesita, o mejor dicho tener en claro cuál es la finalidad, qué es lo buscado. Luego, los medios para conseguirlo y, por último, los elementos que suministran esta condición.

Es posible encarar diseños económicos en espacios preexistentes –con posibilidad de modificación o no– que desempeñen, en el espectro parcial o completo, una buena performance. A continuación mostramos dos ejemplos en los que el acondicionamiento se planteó en 2 o 3 etapas y solo se llevó adelante la primera. Se proyectó en ambos casos la suma de absorción y difusión.

*Ejemplo 1:* El espacio estaba delimitado pero hubo libertad en la ubicación y forma de una pared y, parcialmente, del techo. Sobre pared de ladrillo hueco se armó un tabique de doble placa de yeso.

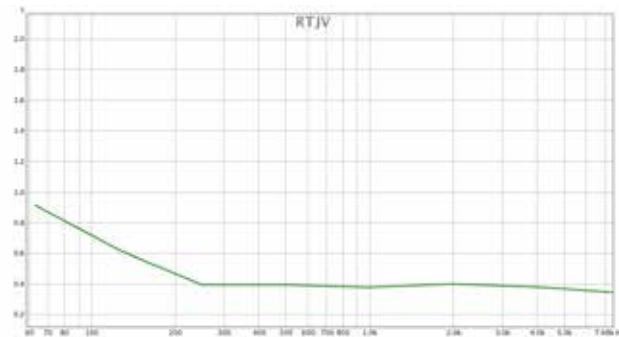
*Ejemplo 2:* Era un espacio preexistente sin posibilidades de modificación. Dos paredes eran de

ladrillo hueco y dos de ladrillo común estructurales de 30 cm mínimo.



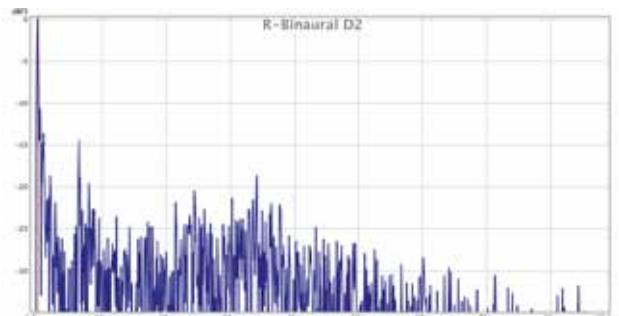
**Figura 11**

*Bajo Rt en todo el espectro, pero suficiente como para generar una sensación reconfortante.*

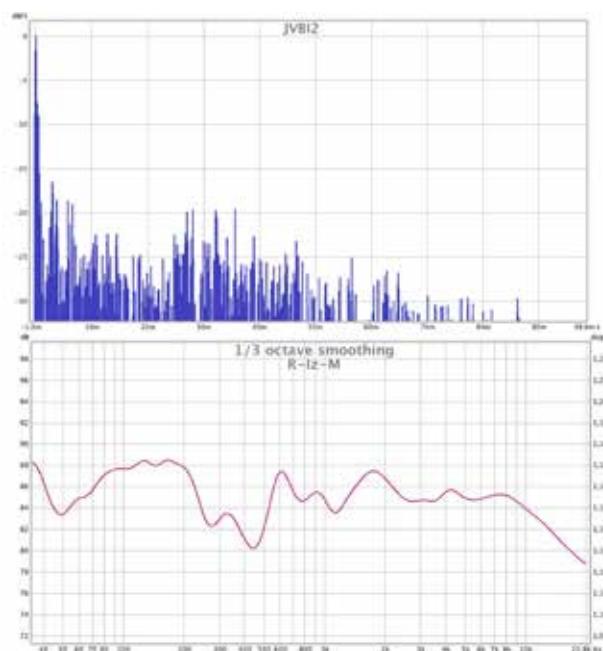


**Figura 12**

*Debido a las paredes pesadas el contenido en baja frecuencia es exagerado.*

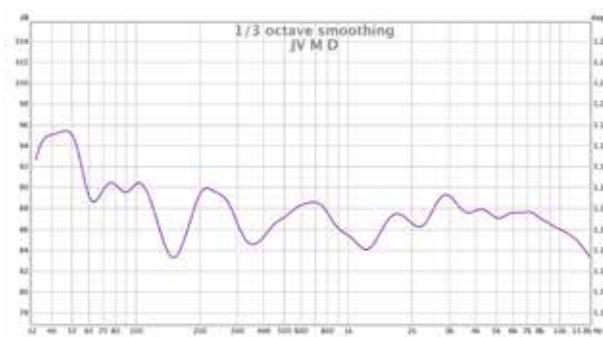


**Figura 13**



**Figura 14**

*La respuesta a lo largo del espectro sufre pocas variaciones.*



**Figura 15**

*Debe ser corregida la alinealidad en la parte más baja del espectro.*

Es entendible que el usuario o dueño de una sala de producción musical, o aquel que se embarca en su construcción por sus propios medios usando aquello que está en el mercado(y especialmente cuando la consulta y adquisición es vía internet, donde no sabe ni quién lo está asesorando) no tenga mucha idea de la física del sonido y del comportamiento del aparato auditivo. Generalmente el músico tiene un vínculo que mezcla

lo intuitivo, la experiencia, las suposiciones, la superstición y las influencias del conjunto de comentarios que le llegan, sean fundados o no. La sugestión logra generar un convencimiento.

Es llamativo que precisamente este sujeto, que se vincula con el recinto de una manera personal e inmediata, es uno de los que más a menudo toma el concepto de buena o mala acústica. Es extraño que al menos no se pregunte para qué. Cada lugar es una experiencia particular, donde ciertos casos pueden lograr resultados mayormente satisfactorios para una mayor cantidad de individuos. Toda la data estadística que tenemos tiene el condicionamiento social e histórico. La polifonía bachiana nos pide espacios que nos permitan escucharla con claridad, pero también está la decisión del intérprete –más allá de sus aptitudes– de qué permitir escuchar del entramado, dándole el sentido al conjunto. Y acá también hay un juicio del público.

Como creencia popular, el músico, compositor o productor en gran medida lleva adelante un proceso artístico que recorre su camino separado de las cuestiones técnicas, que puede desarrollarse independientemente de estas. Pero esto no termina de ser enteramente cierto. El arte y la técnica se vuelven indistinguibles en la mayoría de los casos; entonces, plantear un entendimiento y una comprensión sobre el material sonoro parece ser lo más lógico. Y el material sonoro es inseparable del medio en el que se propaga y del recinto en el que se desarrolla su acción.

Todo elemento de conocimiento es triunfo, ayuda a proyectarse más allá de la percepción que podría ser demasiado parcial o incompleta. El artista-productor siempre deberá lidiar con la circunstancia de su visión sobre el material y cómo puede llegar a ser recibido por el público-oyente-otro. Este

juego lo sitúa como buen o mal lector, consciente o inconsciente, de su época y lugar. Y además, en el ejercicio de la forma, del debate con su fuerza interna, su convencimiento, su seguridad en la decisión, su único aliado es la creencia sobre el material objetivo: la instancia de realidad. Aunque esto no suceda en el momento del trabajo, podría aparecer a la apertura de la obra.

Tradición, ruptura y transgresión entablan una conversación histórica: es estética y también es estética sonora. Y también, sin siquiera preocuparnos por definir una estética musical, solamente describiendo el hecho del entretenimiento (que tampoco se podría plantear como algo ajeno al hecho artístico, aún menos en la sociedad moderna occidental, que desvanece o traslada lo místico y la religiosidad intrínseca, por necesidades autonómicas o sociales), su función es social, aunque la dirección del producto sea muy sectaria o local; la meta es cubrir lo más posible del grupo en cuestión.

Entonces las preguntas del productor son: ¿cuál es nuestro público? ¿Y dónde escuchará nuestra música? La respuesta, que señala cubrir la mayor cantidad de casos, será negada hasta por el departamento de mercadotecnia. Un espacio que resulte familiar, en el que se confie y del que se conozcan sus deficiencias o particularidades, sumado a las referencias externas, es un camino conveniente para no verse frustrado constantemente con el resultado del trabajo.

Claro que no toda la producción musical vive inmersa en una sociedad tecnócrata: hubo, hay y habrá aquello que refiera a formas más simples, directas e íntimamente ligadas a la poesía. Manifestaciones hijas y hermanas del momento, donde el registro sonoro funciona como registro generador de archivo, para que no se esfume algo que no para de perderse.

## REFERENCIAS

Architectural Acoustics, Marshall Long.

Acoustical Measurements, Leo Beranek.

A study of Critical Audio Control Rooms, Bruno Fazenda.

Evaluation of Studio Control Room Acoustics with Spatial Impulse Response and Auralization, Perttu Laukkanen.

Acoustics of small Rooms, Mendel Kleiner, Jiri Tichy.

Acoustic Absorbers and Diffusers, Trevor Cox, Peter D'antonio.

El Sentido Social del Gusto, Pierre Bourdieu.

<https://musicbrainz.org/statistics>

wikipedia.org

## **Electroacústica**

---

# MEDICION DE DIRECTIVIDAD TRIDIMENSIONAL

FACUNDO RAMÓN<sup>1</sup>, BERNARDO NÓBREGA<sup>2</sup>, EDUARDO SACERDOTI<sup>3</sup>  
Y NICOLÁS RIZZO<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Departamento de Investigación y Desarrollo, Equaphon Sistemas de Sonido  
framont@equaphon.net

**Resumen –** Se midió la directividad tridimensional compleja de una fuente lineal (STS mikra4) a través de mediciones en campo lejano con el método de ventaneo temporal para lograr independencia del recinto. Se obtuvo el globo de atenuación y fase para un rango de frecuencias de 250 Hz a 18 kHz y se comprobó que la fuente es omnidiireccional hasta 400 Hz y, a partir de allí, se observa un gradual aumento del control directivo vertical debido a la interacción del arreglo lineal de transductores. Además, se resumen cronológicamente los avances en el campo de mediciones acústicas junto con los formatos digitales más utilizados en la industria del refuerzo sonoro para caracterizar fuentes y predecir su comportamiento acústico.

**Abstract –** The tridimensional directivity of a linear source (STS mikra4) was measured under far-field conditions using time windowed IR technique to avoid room reflections. The complex attenuation balloon was obtained for a frequency range that goes from 250 Hz up to 18 kHz. The source was found omnidirectional for frequencies below 400 Hz, after which its vertical directivity control increases progressively due to the linear arrangement of the transducers. Furthermore, a chronological brief about electro-acoustical measurements techniques is presented along with a description of the most-used digital formats for electro-acoustic source characterization.

## 1. INTRODUCCIÓN

La directividad de una fuente indica la forma cómo distribuye su energía en el espacio. Esta información es útil para estudiar su comportamiento y predecir su interacción con otros elementos. Además, es la piedra angular para la simulación acústica de sistemas de refuerzo sonoro.

Por otro lado, los avances tecnológicos han permitido al público especializado utilizar programas complejos de simulación acústica que, a su vez, facilitan e incentivan el uso de fuentes sonoras con gran control directivo (sistemas de arreglos lineales, fuentes lineales, columnas con *beam-steering*, etc.). Es responsabilidad de los fabricantes caracterizar sus productos en un formato digital simple y compatible con programas de simulación.

En este trabajo se exponen antecedentes y el estado del arte en cuanto a técnicas de medición de directividad y formatos digitales para compartir y visualizar los resultados. Luego, se expone, como caso de estudio, la medición de directividad tridimensional de una fuente lineal.

## 2. MARCO TEÓRICO

Las mediciones acústicas de altavoces han evolucionado a lo largo del tiempo. En el año 1946, Beranek y Sleeper [1] establecieron la cámara

anecoica como ambiente óptimo para medir. Dentro de una cámara se obtienen los beneficios de medir en campo libre sin perder control sobre el ruido de fondo y las condiciones climáticas. Sin embargo, las cámaras anecoicas, además de ser costosas, poseen una frecuencia límite inferior de medición definida por sus dimensiones. Esto genera dificultades para caracterizar fuentes de baja frecuencia.

En 1973, Keele [2], propuso un método de medición en campo cercano que buscaba independizarse de la influencia del recinto. En este método, las características del altavoz en bajas y medianas frecuencias en campo lejano son calculadas a partir de mediciones en campo cercano sin la necesidad de recintos especiales.

Por otro lado, en 1967, Heyser [3] desarrolló el método de *Time-Delay-Spectrometry* que permite caracterizar una fuente (midiendo en campo lejano) en ambientes no ideales mediante la sincronización de filtros selectivos en frecuencia y un barrido senoidal como señal de prueba. Posteriormente, en 1973 Berman y Flinchman [4] introdujeron el uso de FFT y técnicas digitales en mediciones de altavoces. En la actualidad, el método desarrollado por Farina [5], basado en los dos anteriores, es ampliamente utilizado en sistemas de medición comerciales. Sin embargo, requiere contar con un espacio físico amplio puesto que la independización del recinto se logra

diferenciando temporalmente el sonido directo de las primeras reflexiones.

En cuanto a la directividad, en 1986 Toole [6] propuso formalmente la necesidad de caracterizar los altavoces fuera de su eje de radiación para evaluar su interacción con el ambiente en donde estén funcionando y, así, mejorar la relación entre apreciación subjetiva y mediciones de respuesta en frecuencia. En ese entonces, se proponían mediciones en dos ejes: vertical y horizontal. Esto llevó al grupo Harman a diseñar un sistema de medición llamado *Spinorama* [7] que obtiene un diagrama directivo en dos ejes tomando 72 puntos de medición, es decir, una resolución angular de 10° para cada eje. Este tipo de mediciones se convirtieron en un estándar para la caracterización de altavoces.

En 1984, Meyer [8] desarrolló un modelo matemático para simular la directividad de arreglos con múltiples fuentes en tres dimensiones basado en la teoría de Wolff y Malter [9] posteriormente ampliada por Beranek y Olson [10, 11]. Este modelo contempla la posición espacial de cada fuente, su directividad horizontal y vertical; y su respuesta en frecuencia compleja en el eje axial. Sin embargo, recurre a métodos de interpolación para obtener resultados fuera de los planos horizontal y vertical e ignora las diferencias de fase por fuera del eje principal. A pesar de esto, fue el punto de partida para los softwares de predicción utilizados en la industria del refuerzo sonoro [12-18].

Los principales avances en el campo de modelado de los últimos años fueron recopilados y publicados por Feistel en 2014 [19].

Los sistemas de simulación actuales son capaces de predecir campos acústicos complejos, pero, para esto, requieren una precisa caracterización de las fuentes involucradas. La respuesta en frecuencia compleja (amplitud y fase) debe ser medida con alta resolución en todos los puntos que conforman una esfera cuyo centro es la fuente acústica. De esta forma, la directividad medida sólo en dos ejes (horizontal y vertical) ya no es suficiente y resulta necesario el desarrollo de un nuevo estándar para definir un diagrama de directividad en tres dimensiones. En 2008, AES publicó un estándar especificando lineamientos generales para realizar y almacenar este tipo de mediciones [20].

Las técnicas de medición hasta ahora desarrolladas se pueden separar en dos grupos: de campo cercano, basadas en la teoría de Keele [2] y desarrollada por Bellmann, Klippel y Knobloch [21]; y de campo lejano basada en los avances conjuntos mencionados anteriormente [20, 22, 23].

En ambos métodos se genera un gran volumen de información (son necesarias 2592 mediciones de respuesta al impulso para cubrir una esfera con precisión angular de 5°). Esto hace necesaria la existencia de un formato digital que permita almacenar

y compartir de forma segura las características directivas de un altavoz.

## 2.1. Formatos Digitales

No existe hasta la fecha un formato único estandarizado para compartir esta información. Empresas particulares como AFMG [24] e IFBsoft [25] desarrollaron su propio formato: \*.gll y \*.unf respectivamente. Mientras que, en un intento por estandarizar un único formato, un grupo de empresas decidió crear el formato \*.clf2 (siglas de *Common Loudspeaker Format Version 2*) y ofrecerlo como un formato abierto y gratuito para quien decida utilizarlo [26].

A continuación, se detallan brevemente las características de dos de estos formatos: \*.clf2 y \*.gll. No se profundiza en el formato \*.unf debido a su similitud con \*.clf. De todas formas, puede ser consultado en [25].

### 2.1.1 CLF2

Se trata de un archivo de texto que permite almacenar múltiples resultados de mediciones así también como información sobre el fabricante y producto en cuestión. Esto incluye: dimensiones y geometría externa, peso, nombre de modelo, nombre del fabricante, descripción, etc.

En cuanto a la información electro-acústica, permite asentar lo siguiente: nivel eléctrico de entrada, máximo nivel de entrada, distancia de medición, comentarios sobre la medición, curva de sensibilidad, curva de impedancia, respuesta en frecuencia normalizada y los valores numéricos necesarios para construir el globo de directividad complejo (amplitud y fase). La resolución máxima en frecuencia es de 1/3 de octava, mientras que la resolución espacial máxima para el globo es de 5° en cada eje.

Se recomienda la distribución de los archivos en su versión encriptada para que los resultados no puedan ser alterados. Este servicio también se ofrece gratuitamente.

El usuario puede visualizar de forma interactiva todas las mediciones con el programa *CLF Viewer*, también de distribución gratuita, o utilizar los archivos para alimentar los softwares de simulación que soportan tal formato.

Las principales desventajas de este formato se encuentran en su baja resolución espectral y limitada resolución espacial. Esto puede generar errores en la predicción de fuentes con elevado índice de directividad porque reduce la profundidad y extremos de los lóbulos en altas frecuencias [27]. A su vez, los altavoces son siempre reducidos al concepto de fuente puntual y el formato sólo acepta una fuente por modelo, es decir, no es posible caracterizar individualmente los componentes de un sistema sonoro. Para gabinetes de dimensiones grandes esto es causante de errores en la simulación debido a que el

centro acústico del mismo cambia con la frecuencia [19].

Sus principales ventajas se encuentran en su filosofía de código abierto y distribución gratuita.

### 2.1.2 GLL

Este formato es un lenguaje basado en programación por objetos. La información está dispuesta de forma jerárquica y brinda la posibilidad de caracterizar un sistema de sonido con alto grado de libertad. Un solo sistema puede contener múltiples fuentes (cada una caracterizada con su propio diagrama polar en su posición real), múltiples entradas (con diferentes filtros) y múltiples opciones de unión con otros gabinetes del mismo tipo. Una descripción más detallada se puede leer en [28].

La posibilidad de caracterizar componentes individualmente también lo ha convertido en una herramienta de diseño para los fabricantes de sistemas; es posible optimizar filtros de cruce entre vías o la distribución de transductores dentro de un gabinete.

El usuario cuenta con un visualizador de distribución gratuita, *GLL Viewer*, con el cual también es posible simular las características acústicas de arreglos con múltiples gabinetes. Además, puede incorporarlos como fuentes sonoras en los softwares de simulación compatibles.

Sus principales desventajas se encuentran en su filosofía de código cerrado y alto costo de implementación.

Por otro lado, su principal ventaja está en el elevado nivel de detalle que permite una rigurosa caracterización de las fuentes acústicas y, en consecuencia, una acertada simulación del campo sonoro resultante.

## 3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

Se detalla la metodología utilizada para caracterizar una fuente lineal de 4 transductores (*STS mikra4*) en un recinto no tratado acústicamente.

Los elementos utilizados son los siguientes:

- Sistema de medición CLIO Win 7
- Mesa giratoria Outline ET con resolución de 5° para rotación sobre el eje vertical
- Estructura de hierro y aluminio específicamente diseñada para rotación sobre el eje longitudinal
- Recinto amplio

A continuación, se exponen detalles sobre cada elemento.

### 3.1. Sistema de Medición

El sistema se conforma de un micrófono *MIC-02* de la marca Audiomática. Se especifica con una sensibilidad de 35.2 mV/Pa y respuesta en frecuencia de ±2dB de 20 Hz a 20 kHz. Es del tipo *electret* de cápsula pequeña (8mm de diámetro) para no interferir

con el campo acústico a medir. El pre-amplificador es el *PRE-01* de la misma marca.

En cuanto a la interfaz de audio, se utiliza una placa de sonido interna específica del sistema CLIO (*PB-4821*) junto con un hardware externo (*SC-01*). La frecuencia de muestreo es de 48 kHz con 18bits de resolución. Este sistema permite tener un control preciso sobre el nivel de tensión de salida.

Por último, como amplificador de potencia se utiliza el sistema *QCBOX MODEL 4* con 20 dB de ganancia y una potencia máxima de salida de 50 W en 8 Ω.

### 3.2. Mesa Giratoria

Se dispone de una mesa giratoria *Outline ET1* con una unidad de control electrónico compatible con el sistema CLIO. Esto permite la automatización de mediciones polares en un eje con una resolución máxima de 5°.

### 3.3. Estructura de Rotación

Se recurrió al uso de perfiles de aluminio del tipo *Bosch-Rexroth* y herrería liviana para construir una estructura capaz de posicionar y rotar diversos tipos de gabinetes acústicos. La estructura se adapta a la mesa giratoria y, de esta manera, se logra rotar cualquier gabinete en dos ejes y direccionarlo hacia todos los puntos que conforman una esfera (ver fig. 1).

El dispositivo también ofrece la posibilidad de definir el punto de rotación (PR) manteniendo constante la altura del centro de rotación. Esto permite independizar la posición del micrófono del tipo de gabinete a medir.

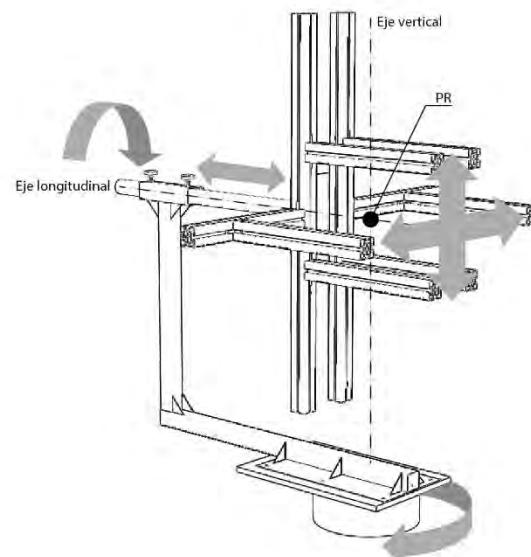


Figura 1: Sistema de rotación

La rotación sobre el eje vertical tiene una resolución de 5° y es controlada digitalmente mientras que la rotación en el eje longitudinal es manual y es

necesario el uso de un inclinómetro para fijar el ángulo de giro.

### 3.4. Recinto y Posiciones

El recinto posee dimensiones de  $10.4 \text{ m} \times 8.3 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$  (largo  $\times$  ancho  $\times$  alto). Es un lugar cerrado con pisos y paredes de cemento y techo de chapa a dos aguas.

La posición de la fuente acústica y del micrófono en relación con el recinto definen la diferencia temporal entre el sonido directo y la primera reflexión. Es necesario maximizar esta diferencia para maximizar la duración de la ventana temporal durante la cual la medición puede ser considerada anechoica. Al mismo tiempo, la fuente debe estar suficientemente lejos del micrófono para que la medición sea en campo lejano.

Las posiciones del micrófono y del dispositivo de rotación se muestran en la figura 2. La reflexión más cercana se encuentra con el piso y permite un tamaño de ventana de 7.5 ms a  $20^\circ\text{C}$  ( $c = 343 \text{ m/s}$ ). A 48 kHz de frecuencia de muestreo, la máxima resolución en frecuencia posible es de 133 Hz. Se recurre a las técnicas de *zero-padding* planteadas en [29] para aumentar la resolución espectral. Este tema es ampliado en la sección 3.5.

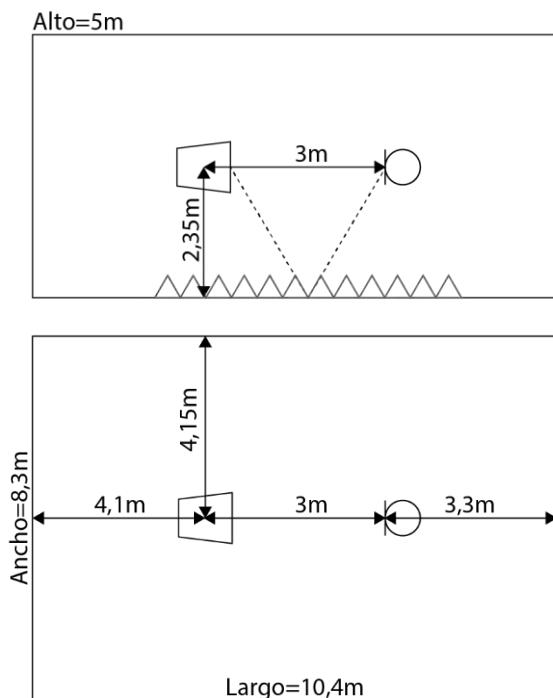


Figura 2: Posición de fuente y micrófono en el recinto

La distancia de medición se escogió en base al tamaño de la fuente acústica a medir y la mínima frecuencia de interés según las recomendaciones en [29]. Esto es:

- Distancia de medición mayor a 4 veces la máxima dimensión de la fuente (ver sección 3.6).

- Proporción entre distancia de medición y máxima dimensión de la fuente mayor a la proporción entre máxima dimensión de la fuente y longitud de onda de la frecuencia mínima de interés.

### 3.5. Obtención de respuesta al impulso

Para cada posición de la fuente se realiza una medición de respuesta al impulso ventaneada temporalmente con el objetivo de eliminar las reflexiones. La señal de estímulo es un barrido senoidal de 20 Hz a 20 kHz con un tamaño de  $2^{15}$  muestras (32768 muestras) generado por el sistema CLIO. Su duración es de 680 ms aproximadamente.

La ventana temporal utilizada es de tipo rectangular y el tamaño de la FFT es de  $2^{14}$  muestras, lo que otorga una resolución espectral de 2.92 Hz para frecuencia de muestreo de 48 kHz. Inicia a los 8.75 ms para contemplar el tiempo de vuelo y termina a los 16.33 ms, antes de la primera reflexión. Esto facilita la obtención del diagrama polar de fase. Para más detalles consultar [30].

La ventana temporal de medición (7.5 ms) se corresponde con 360 muestras en el dominio digital (siendo  $f_s = 48 \text{ kHz}$ ). Esto es insuficiente para el tamaño de FFT propuesto ( $2^{14}$  muestras), por lo tanto, es necesario completar con ceros la respuesta al impulso. Este proceso, conocido como *zero-padding*, agrega incertidumbre en los resultados de bajas frecuencia ya que fuerza una interpolación en el dominio espectral, sin embargo, es útil para mejorar la resolución en alta frecuencia y permitir un análisis en alta definición.

### 3.6. Fuente acústica

El gabinete medido es el sistema *STS mikra4* de la marca *STS Touring Series*. Sus especificaciones técnicas pueden consultarse en [31].



Figura 3: STS mikra4

Se trata de una fuente lineal con 4 altoparlantes de 3.5 pulgadas de radiación directa. El tipo de gabinete es sellado y relativamente pequeño (385 mm de alto por 105 mm de ancho). Es un radiador pasivo de rango completo y de una única vía.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de la medición son de visualización interactiva, por lo tanto, no es posible plasmarlos en este documento. Se decidió mostrar los diagramas polares extraídos del visualizador de CLF para 6 bandas de octava desde 500 Hz hasta 16 KHz desde una perspectiva isométrica (fig. 4). Y, mostrar los diagramas de fase para 6 bandas de tercio de octava desde 400 Hz hasta 1.25 kHz (fig. 5).

En la figura 5 se puede observar que a 500 Hz el gabinete es prácticamente omnidireccional, es decir, no hay diferencia de niveles entre el eje principal y cualquier otro punto de la esfera.

A medida que aumenta la frecuencia comienza a incrementar la directividad. Lo primero que se observa es el control directivo vertical (la esfera se achata en sus polos a 1 kHz). Esto se debe a que el gabinete es un arreglo lineal vertical, por lo tanto, la interacción entre sus componentes genera interferencias destructivas en los polos e interferencias constructivas en el frente del gabinete.

En las bandas de octava centradas en 2 kHz y 4 kHz se observan dos fenómenos: un estrechamiento sobre la directividad horizontal, dado por el comportamiento propio del parlante; y la aparición de pequeños lóbulos verticales debido al incremento de la distancia entre fuentes respecto a la longitud de onda.

Por último, en los gráficos centrados en 8 kHz y 16 kHz, estos dos fenómenos se incrementan y el gabinete concentra su energía en el frente de la esfera.

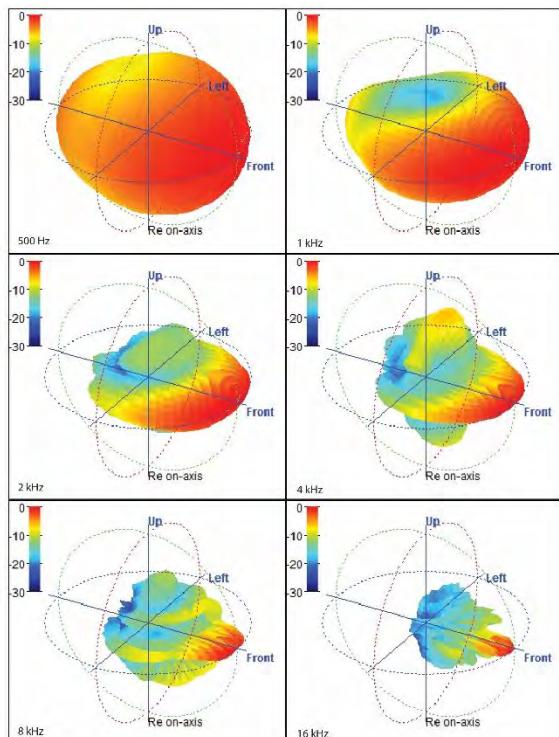


Figura 4: Globo de atenuación en vista isométrica para bandas de octava centradas en 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz y 16 kHz.

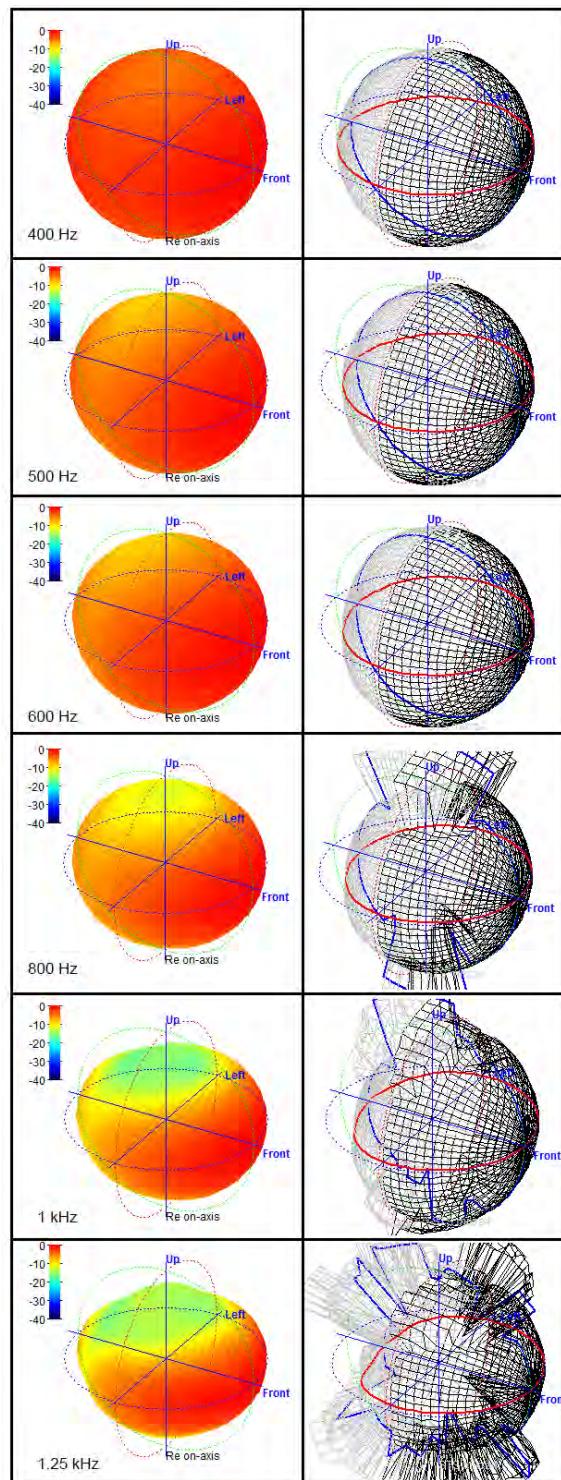


Figura 5: Globo de atenuación (izquierda) y de fase (derecha) en vista isométrica para bandas de tercio de octava centradas en 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1 kHz y 1.25 kHz.

En la figura 5 se observan los globos de atenuación junto con los globos de fase para los tercios de octava centrados en 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1 kHz y 1.25 kHz. Cada punto de la esfera alámbrica (columna derecha) define su radio en función de la diferencia de fase respecto al eje principal de radiación. El radio unitario corresponde a 0° (sin diferencia temporal), mientras que radios

menores muestran fase negativa (atraso temporal). El gráfico se torna un poco confuso debido al acotamiento de la fase entre  $\pm 180^\circ$ , esto genera discontinuidades en la superficie de la esfera y vuelve dificultosa la visualización en alta frecuencia.

Se puede observar que mientras la fuente se mantiene omnidireccional no hay diferencias de fase y el radio de la esfera es constante; sin embargo, a 800 Hz comienza el control directivo vertical y la fase en los polos presenta saltos discontinuos. Esto se debe a que la directividad es consecuencia de la interacción de los 4 transductores que componen a la fuente, es decir, hay múltiples fuentes a diferentes distancias radiando en simultáneo, y eso causa diferencias de fase.

El gráfico a partir de 1.25 kHz se torna ilegible debido a que la diferencia espacial entre los componentes es comparable con la longitud de onda y, al haber más de un transductor, se generan cancelaciones propias del arreglo y empeora la relación señal ruido, perjudicando la obtención de fase. Por otro lado, para frecuencias mayores a 5 kHz, cualquier variación instantánea en la temperatura del aire genera diferencias de fase que distorsionan el gráfico.

## 5. CONCLUSIONES

La caracterización directiva tridimensional de altavoces se ha vuelto una necesidad en la industria del refuerzo sonoro debido a su implementación en la simulación acústica. Además, ofrece una alternativa completa e interactiva para la distribución de especificaciones.

Gracias a los avances en técnicas de medición es posible caracterizar fuentes en recintos no ideales. Sin embargo, la medición es sensible a errores de tipo mecánicos. Es necesario contar con un dispositivo preciso que permita definir un punto de rotación espacial y cubrir todos los ángulos que componen la superficie de una esfera.

Es posible medir con precisión la respuesta en frecuencia compleja para bajas y medianas frecuencias en condiciones de campo lejano y en un ambiente no ideal. Sin embargo, no es así para altas frecuencias donde las variaciones de temperatura propias del aire generan giros de fase. Para mejorar la precisión compleja en alta frecuencia es necesario medir de a un transductor por vez y a una distancia reducida que minimice el tiempo de vuelo de la señal acústica (condición de campo cercano).

Por otro lado, los programas de simulación suelen utilizar sólo la información de fase de frecuencias bajas (inferiores a 200 Hz). Se utiliza en la solución de suma compleja para arreglos de subwoofers o la alineación entre los componentes destinados a frecuencias bajas y medianas. La información de fase de frecuencias superiores es utilizada en optimización de filtros de cruce entre las vías de media y alta frecuencia. Es decir, la caracterización compleja en

alta frecuencia es una herramienta de diseño para el fabricante mientras que no resulta de utilidad para el usuario final del software de predicción.

Por último, la medición tridimensional brinda información útil para decidir sobre la geometría de un gabinete y la distribución de transductores dentro del mismo. Su uso junto con software de simulación se considera una herramienta poderosa para optimización y diseño.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Beranek y Sleeper, "The Design and Construction of Anechoic Sound Chambers," JASA, #18 (1946): 140-150.
- [2] D. B. Keele, JR., "Low-Frequency Loudspeaker Assessment by Nearfield", JAES, vol 22, #3 (1973): 154-162.
- [3] Heyser, "Acoustical Measurements by Time Delay Spectrometry" JAES, vol. 15, #4, (1967): 370-382.
- [4] Berman y Finchman, "The application of digital techniques to the measurement of loudspeakers", JAES, vol. 25, #6 (1977).
- [5] Farina, "Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-sine technique", JAES, vol. 48 (2000): p350.
- [6] Toole, "Loudspeaker Measurements and Their Relationship to Listener Preferences", JAES, vol. 34 (1986).
- [7] Toole, "Sound Reproduction: The Acoustics and Psychoacoustics of Loudspeakers and Rooms" Focal Press, (2008).
- [8] Meyer, "Computer Simulation of Loudspeakers Directivity" JAES, vol. 32, #5 (1984): 294-315
- [9] Wolff y Malter, "Directional Radiation of Sound", JASA, vol. 2 (1930): 201-241.
- [10] Beranek, "Acoustics", McGraw Hill, New York (1954).
- [11] Olson, "Acoustical Engineering", Van Nostrand, Princeton (1967).
- [12] MAPP-XT:  
<https://meyersound.com/product/mapp-xt/>
- [13] EaseFocus: <http://focus.afmg.eu>
- [14] Ulysses: [www.ifbsoft.de/software/ulysses/e.php](http://ifbsoft.de/software/ulysses/e.php)
- [15] ArrayCalc:  
[www.dbaudio.com/en/systems/details/arraycalc.html](http://www.dbaudio.com/en/systems/details/arraycalc.html)
- [16] ShapeDesigner:  
[www.rcf.it/products/touring-and-theatre/rcf-shape-designer](http://www.rcf.it/products/touring-and-theatre/rcf-shape-designer)
- [17] AlCons Ribbon Calculator:  
[www.alconsaudio.com/simulation/](http://www.alconsaudio.com/simulation/)

- [18] JBL Vertec Line Array Calculator:  
[www.jblpro.com/catalog/general/softwareregistration](http://www.jblpro.com/catalog/general/softwareregistration)
- [19] Feistel, “*Modeling the Radiation of Modern Sound Reinforcement Systems in High Resolution*”, RWTH Aachen University, Berlin, (2014).
- [20] AES56-2008 (r2014) – “*Sound source modeling - Loudspeaker polar radiation measurements*”.
- [21] Bellmann, Klippel y Knobloch: “*Holographic loudspeaker measurement based on near field scanning*”, DAGA 2015 - 41th Convention.
- [22] Audiomática SRL, “*Clio 11 - Directivity and 3D Balloons: News and Updates*”, 135th AES Convention (2013)
- [23] Excelsior Audio, “*Measuring Loudspeaker Systems*”, 137th AES Convention (2014).
- [24] <http://ease.afmg.eu/index.php/gll-loudspeaker-format.html>
- [25] [http://www.ifbcon.de/software/ulysses/downloads/documents/e\\_ulysses-speaker-data\\_unf.pdf](http://www.ifbcon.de/software/ulysses/downloads/documents/e_ulysses-speaker-data_unf.pdf)
- [26] <http://www.clfgroup.org/>
- [27] Seidel y Staffeldt, “*Frequency and Angular Resolution for Measuring, Presenting, and Predicting Loudspeaker Polar Data*”, JAES, vol. 44, #7/8, (1996): 555-568.
- [28] Feistel, Anhert y Bock, “*New Data Format to Describe Complex Sound Sources*”, 119th AES Convention (2005).
- [29] AES-5id-1997 (r2014), “*Loudspeaker modeling and measurement - Frequency and angular resolution for measuring, presenting, and predicting loudspeaker polar data*”.
- [30] Audiomática, “*CLIO Win7 – Electrical and Acoustical Measurement System – User's Manual*”, Florencia, Italia (2006).
- [31] <http://stsproaudio.com/index.php?p=mikra4>

## Astrofísica

---

## SONDEOS ESTELARES

NESTOR VINET<sup>1</sup>, RAFAEL GIROLA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Enseñanza y Divulgación de la Astronomía (ENDIAS), Buenos Aires, Argentina.*

*nestorvinet@yahoo.com.ar*

<sup>2</sup>*Universidad Nacional de Tres de Febrero, Artes Electrónicas, Buenos Aires, Argentina.*

*rafaelgirola@yahoo.com.ar*

*El objetivo de este trabajo es difundir y comunicar en el ámbito de la Acústica, temas relacionados con el estudio de las ondas que se producen en las estrellas permitiendo sondear su interior como por ejemplo explicar la naturaleza del campo magnético estelar. En particular se describe las características internas del Sol mediante el estudio de la helio sismología explicando dos modos de oscilaciones solares. Uno de ellos es el modo p que son ondas infrasonoras de frecuencia de 0,003 Hz penetrando la parte interna del Sol y las ondas g de gravedad, ondas confinadas en la parte radiactiva interna del Sol. La observación de las vibraciones solares es la base de la heliosismología. Se describe las medidas correctas de un conjunto de frecuencias a partir de observaciones continuas del proyecto GONG (Global Oscillations Network Group), IRIS, BISON y otros. También se describe los “telescopios espaciales” CoRoT y KEPLER que debido a su alto grado de precisión de las observaciones continuas, permiten comprender los modelos del interior estelar a través de las oscilaciones estelares. Como resultado final se muestra trabajos actuales sobre sismología estelar.*

### 1. INTRODUCCION:

El Sol vibra en forma permanente. Es en particular el asiento de una oscilación descubierta en 1960 de una secuencia de 5 minutos en la capa externa (algunos miles de kilómetros de espesor), cubriendo la capa convectiva de agitación rítmica de amplitud débil, que convierte al Sol en una estrella “ruidosa”, pero no la convierte en una estrella variable. Las oscilaciones solares son detectadas en la fotosfera por el efecto Doppler Fizeau, haciendo variar la longitud de ondas de las líneas. La helio sismología permite sondear el interior del Sol y ajustar las propiedades del campo magnético solar

### 2. TRABAJOS RELACIONADOS

Leibacher, John W Heliosismología. Investigación y ciencia.

Un viaje del interior del Sol a otras estrellas. Instituto de Astrofísica Canarias.

### 3. CONCEPTOS BÁSICOS, CONCEPTOS Y TÉRMINOS: ONDAS P Y G

Las oscilaciones son ejercidas por la convección turbulenta: perturbaciones locales de presión generando ondas sonoras análogas a la vibración de un instrumento musical, las que se propagan en el interior del Sol, de hecho la prolongada

perturbación de 5 minutos observadas es la resultante de mas de un millón de pulsaciones individuales, teniendo periodos de 2,5 a 11 minutos; generando ondas infrasonoras del orden de 0,003 Hz, donde la fuerza de recuperación mecánica para la oscilación, esta proporcionada por la presión del gas solar. En las oscilaciones de tipo “p” se curvan y penetran en el interior a causa de la velocidad del sonido. La diferencia entre las velocidades del sonido observado y aquellas del modelo, permiten testear y refinar la tasa de reacciones nucleares del núcleo solar, y las propiedades de la zona convectiva. El análisis fino de estos resultados, permite proponer para el Sol una edad de  $4,57 +0,12 \times 10^9$  años

#### **4. ONDAS EMITIDAS EN EL INTERIOR SOLAR “g”**

La observación de las vibraciones solares es la base de la helio sismología. Otra familia de ondas corresponden a las de modo “g”, de gravedad, donde la fuerza recuperadora es generada por la gravedad (materia y fuerza de Arquímedes) ondas confinadas en la zona radiactiva interna donde ellas no pueden escapar, estos modos son muy difíciles de observar. Para medir correctamente las miles de frecuencias se necesitan realizar observaciones continuas ininterrumpidas.

#### **5.TACOCLINA Y CAMPO MAGNETICO ESTELAR SOLAR**

Estos estudios han permitido en particular evaluar 0,287 veces el radio solar la profundidad de la zona convectiva. Se ha mostrado que la rotación diferencial de la fotosfera, se encuentra en la zona convectiva, pero en la zona radiactiva rota a semejanza de un sólido, tarda 27 días en

dar una vuelta. En la fina Tacocina que separa la zona convectiva de la radiactiva en los 0,713 radios solares, donde la velocidad de los fluidos cambia drásticamente, y es en esta región donde el campo magnético inicial del Sol comienza a incrementar por el efecto Dinamo, transformando la energía mecánica en magnética; los gases conductores de la electricidad son excitados por corrientes inducidas siguiendo circuitos complejos que llegan a la corona, y la disipación de la energía es responsable del calentamiento coronal llegando en el orden de 1,5 millones de grados kelvin en la capa interna K 4 millones de grados Kelvin en la capa externa F.

#### **6.SONDEOS ESTELARES**

En septiembre del 2013 el profesor Gurnett, de Física en la universidad de Iowa e investigador del instrumento ciencia de ondas de plasmas (Plasma wave science), instalado en la sonda Voyager 1 reprodujo los datos sobre las ondas de plasma; los sonidos demuestran una concreta evidencia de que la nave Voyager 1 abandonó la heliosfera, burbuja de magnetismo que rodea al Sol y los planetas; es el campo magnético que se extiende a grandes distancias por el viento solar, fuera de el se encuentra se encuentra el espacio interestelar. Los datos recopilados por el instrumento de ondas de plasma, no detectan sonido, en cambio detecta las ondas de los electrones del gas ionizado o plasma. Estas frecuencias de audio se producen entre unos cientos y miles de hertz.

El tono de frecuencia proporciona información acerca de la densidad del gas que hay alrededor de la nave espacial. Cuando la voyager 1 se encontraba en el interior de la heliosfera, los tonos eran graves del orden de 300 hz, típico de las

ondas de plasma que se encuentran viajando en el enrarecido viento solar; en cambio afuera salta a un tono más agudo entre 2 y 3 KHz, que corresponde a un gas de mayor densidad en el medio interestelar. En el espacio se esperan ondas que no sean provocadas por las tormentas solares.

## **7. CONFRONTACION DE LOS MODELOS DE LA ASTRO SISMOLOGIA.**

Los modelos del interior estelar, están basados por la masa, la edad, la composición química inicial, utilizan la dinámica de los fluidos, los procesos de transporte: convección , circulación meridional inducida por la rotación, transporte por ondas, y el desarrollo de inestabilidades produciendo regímenes turbulentos; estos procesos transportan los elementos químicos y el momento angular, influenciando sobre la masa del combustible nuclear; por lo tanto sobre la vida de las estrellas y de la ecología del medio interestelar.

Dos observables de “superficie” son disponibles. Solo la temperatura efectiva y la luminosidad son conocidos para todas las estrellas a una distancia conocida y solo las estrellas brillantes tienen un espectro electromagnético que da acceso a la abundancia y la gravedad de superficie. La masa está dada por medio de los sistemas dobles estelares, pero hoy en día estos observables no son lo suficiente para sondar el interior de una estrella. También los nuevos observables de la Astro sismología permitirán comprender mejor la modelización de interiores estelares. Gracias a los datos de las misiones CoRoT y KEPLER realizado en miles de estrellas. La sismología estelar permite sondar el interior de las estrellas, lo mismo que los sismólogos estudian la propagación de las ondas acústicas engendradas por los

sismos en la Tierra. La estructura de cada modo se puede representar como el producto de una función puramente radial, y de un armónico esférico, teniendo en cuenta la estructura horizontal. La fortaleza de este diagnóstico de oscilaciones estelares está ligado al hecho, que en diferentes regiones del interior estelar contribuyen en forma diferente a las frecuencias propias al modo de oscilación. La estructura de las diferentes regiones, varía con el orden radial  $n$  y el grado  $l$ . Con el conjunto de frecuencias precisamente medidas para toda una variedad de modos, un proceder de inversión permite enseguida remontar la estructura detallada del interior estelar.

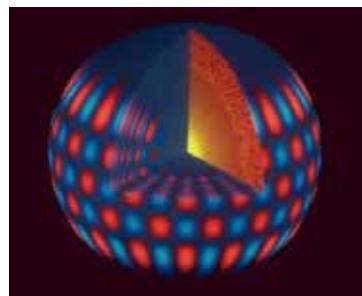
Para confrontar esta teoría se necesita una observación de las líneas de fuerza del campo magnético, en particular en los polos solares: Misión Ulises lanzada en 1990 y la sonda Soho instalada en 1995 situada a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra en dirección hacia el Sol, parte exterior parte exterior de la magnetopausa terrestre (Punto L1 Lagrange).

## **8. REFERENCIAS**

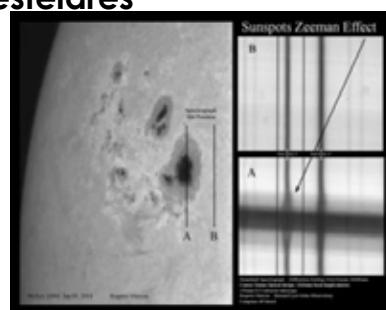
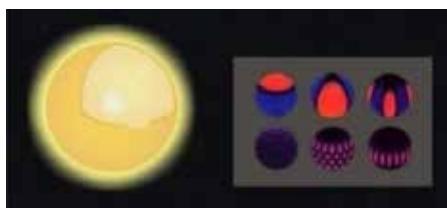
- [1] NASA, Gornett Fisica de la NASA
- [2] Agnes Acker Astronomie Astrophysique
- [3] El Sol algo más que una estrella Manuel Vazquez Abeledo.

**Resumen:**

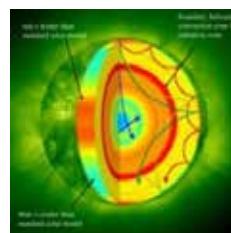
El objetivo de este trabajo es difundir y comunicar en el ámbito de la Acústica, temas relacionados con el estudio de las ondas que se producen en las estrellas permitiendo sondear su interior como por ejemplo explicar la naturaleza del campo magnético estelar. En particular se describe las características internas del Sol mediante el estudio de la helio sismología explicando dos modos de oscilaciones solares. Uno de ellos es el modo p que son ondas infrasonoras de frecuencia de 0,003 Hz penetrando la parte interna del Sol y las ondas g de gravedad, ondas confinadas en la parte radiactiva interna del Sol. La observación de las vibraciones solares es la base de la heliosismología. Se describe las medidas correctas de un conjunto de frecuencias a partir de observaciones continuas del proyecto GONG (Global Oscillations Network Group), IRIS, BISON y otros. También se describe los "telescopios espaciales" CoRoT y KEPLER que debido a su alto grado de precisión de las observaciones continuas, permiten comprender los modelos del interior estelar a través de las oscilaciones estelares. Como resultado final se muestra trabajos actuales sobre sismología estelar.

**Efecto Zeeman/Campos magnéticos estelares**

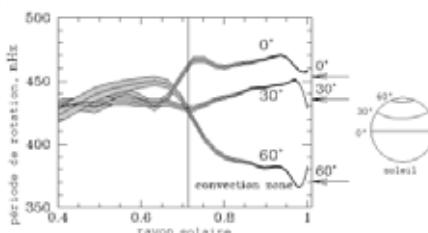
La medición del campo magnético que originan las manchas solares se realizan con espectro polarímetros conocido como efecto Zeeman. Consiste en el desdoblamiento de las líneas espectrales, las que indican su polaridad e intensidad del campo magnético entre 1800 y 3000 Gauss

**Oscilaciones p y g para sondear el interior solar**

El Sol vibra en forma permanente. Es, en particular el asiento de oscilaciones descubiertas en 1960 con una Secuencia de 5 minutos en la capa externa del Sol (algunos miles de Km. de espesor) cubriendo la parte convectiva. Estas ondas son detectadas en la fotosfera por el efecto Doppler Fizeau



. Las pulsaciones individuales generan ondas infrasonoras de 0,003 Hz donde la fuerza de recuperación mecánica está proporcionada por la presión del gas solar. Estas oscilaciones "oscilaciones de modo p".



La observación de las vibraciones solares es la base de la helio sismología. Otra familia de ondas corresponden al de modo g(gravedad), donde la fuerza recuperadora es generada por la gravedad (Materia y Arquímedes). Son ondas confinadas en la zona radiactiva interna donde ellas no pueden escapar. Estos modos son muy difíciles de observar

**Tacocлина y campo magnético.** Es fina capa que separa la zona radiactiva de la zona convectiva

del Sol. Los separa a 0,713 radios solares. Allí se produce un cambio drástico en la velocidad de los fluidos, y en esta región comienza a crecer por el efecto Dinamo convirtiendo la energía mecánica en energía magnética. Los gases conductores de la electricidad son excitados por corrientes inducidas siguiendo circuitos complejos que llegan a la corona solar. La confrontación entre la teoría y la observación de las líneas de campo magnético, en especial en los polos solares: misión Ulises lanzado en 1990 y la sonda Soho lanzado en 1995. Situado a 1,5 millones de km. de la Tierra en el punto de Lagrange L1.

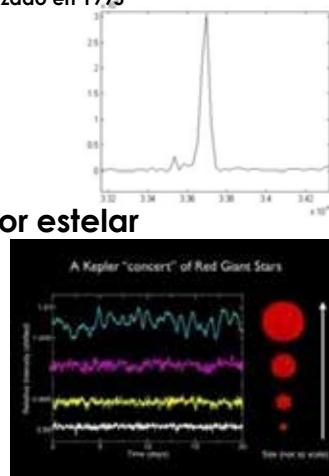
**Espectros de Oscilaciones acústicas del Sol**

"Ventana temporal" Comp periódicos : Oscilación solar. Objeto matemático:  
Transformadas de Fourier de una señal temporal

**Confrontación con los modelos del interior estelar**

Observables desde la superficie,  
sismología estelar,  
Mecanismos de excitación,  
Resultados remarcables: CoRoT  
Y Kepler,  
modos de oscilación.

**Referencias:** Astronomie Astrophysique  
Agnes Acker  
El Sol, algo más que una estrella, Manuel Vazquez Abeledo



# ASTRO ACÚSTICA

*Joaquín Retondo*

*Gabriel Londonio*

*Lucas Medina*

*Rafael Girola*

## Resumen

Este proyecto nace con la idea de ofrecer a personas no videntes la oportunidad de experimentar el cielo nocturno a través de una instalación sonora inmersiva de diferentes cuerpos celestes. Los datos astronómicos de las veinticinco estrellas más brillantes percibidas desde la Tierra fueron interpretados con parámetros propios del sonido. La información resultante fue utilizada para la síntesis y el procesamiento de sonidos.

## Abstract

This project was conceived with the idea of offering to visually impaired people the opportunity to experiment the night sky by the use of the sonorization of different celestial bodies. The astronomic data of the twenty-five brightest stars perceived from Earth were interpreted with sound-related parameters. The resulting information was later used for the synthesizing and processing of sounds and the resulting material was presented in an immersive sound installation.

## Introducción

El objetivo de este trabajo de investigación es utilizar datos estelares reales de las veinticinco estrellas más brillantes percibidas desde la Tierra, con el fin de generar sonidos. Interpretando los valores de Magnitud Aparente (como una frecuencia fundamental del sonido), la Distancia en Años Luz (como un porcentaje de efecto de reverb para generar una sensación de distancia) y las posiciones en X Y Z de cada estrella con respecto al sol, se generaría una instalación inmersiva donde los sonidos provendrían de puntos específicos iguales a la posición de cada estrella. La instalación contaría con un controla-

dor de botones, donde cada botón accionaría el sonido de una estrella, permitiendo escucharlas por separado o generando una composición sonora estelar de múltiples sonidos simultáneos. Las tecnologías utilizadas fueron Ableton Live 9, Star API DataBase Json, The 26 Brightest Stars DataBase y un controlador Launchpad.

## Trabajos relacionados

Sebastián Musso, “A Right To The Sky”

Planetario de Buenos Aires, “El Cielo al alcance de la mano”

## Conceptos básicos, conceptos y términos

La **magnitud aparente** de un objeto celeste es un número que indica la medida de su brillo tal y como es visto por un observador desde la Tierra y la cantidad de luz (energía) que se recibe del objeto. Mientras que la cantidad de luz recibida depende realmente del ancho de la atmósfera, las magnitudes aparentes se normalizan a un valor que tendrían fuera de la atmósfera. Cuanto menor sea el número, más brillante aparece una estrella. El Sol, con magnitud aparente de  $-26,72$ , es el objeto más brillante en el cielo. Se ajusta al valor que tendría en ausencia de la atmósfera. Cuanto más brillante aparece un objeto, menor es su valor de magnitud (es decir, la relación inversa). Además, la escala de magnitudes es logarítmica: una diferencia de una magnitud corresponde a un cambio en el brillo de un factor alrededor de  $2,512$ .

Un **año luz** es una unidad de distancia. Equivale aproximadamente a  $9,46 \times 10^{12}$  km ( $9.460.730.472.580,8$  km). Se calcula como la longitud que recorre la luz en un año. Más formalmente, un año luz es la distancia que recorrería un fotón en el vacío durante un año juliano (365,25 días de 86.400 s) a la velocidad de la luz (299.792.458 m/s) a una distancia infinita de cualquier campo gravitacional o campo magnético.

En campos especializados y científicos, se prefiere el **pársec** (unos 3,26 años luz) y sus múltiplos para las distancias astronómicas, mientras que el año luz sigue siendo habitual en ciencia popular y divulgación.

La **reverberación** es un fenómeno sonoro producido por la reflexión, que consiste en una ligera permanencia del sonido una vez que la fuente original ha dejado de emitirlo.

Cuando recibimos un sonido nos llega desde su emisor a través de dos vías: el sonido directo y el que se ha reflejado en algún obstáculo, como las paredes del recinto. Cuando el sonido reflejado es inteligible por el ser humano como un segundo sonido, se denomina eco, pero cuando debido a la forma de la reflexión o al fenómeno de persistencia acústica es percibido como una adición que modifica el sonido original, se denomina reverberación.

El **sonido** es un disturbio que se propaga por un medio elástico que provoca la vibración de las moléculas del medio. Esto puede ser reconocido por el oído o por instrumentos tales como micrófonos. El medio no se mueve, sino que se agita y vuelve a su posición.

El **timbre** no se puede analizar desde un único plano, no tiene que ver con la fuente sonora necesariamente. El timbre es una propiedad de todos los sonidos. Es resultado de una percepción compleja resultante de la unión de varios planos en espacio y tiempo: la envolvente, la sonoridad, la duración, las formantes del sonido y el comportamiento en el tiempo de estas formantes.

## Arreglo experimental, métodos aplicados

El proceso realizado sobre los datos de las veinticinco estrellas más brillantes fue, en el caso de la distancia en años luz, una normalización de dicho parámetro numérico entre 0 y 100. En el caso de la magnitud aparente, el proceso realizado fue convertir todos los valores en números positivos, para luego establecer una relación directa entre el menor de los valores y la frecuencia audible más baja determinada por los realizadores del proyecto, la cual fue 45Hz, y así sucesivamente con el resto de los datos. Luego, se les aplicaron

procesos individuales a cada sonido con el fin de representar propiedades específicas de cada estrella, como las configuraciones binarias o la

existencia de vientos solares, así como la carga cultural que se les atribuye a ellas, como su papel en algunas religiones o mitologías.

## Resultados

Conversión de datos					
Common Name	Distance (light years)	Dry/Wet Volumen	Apparent Magnitude	Final	
Sirius	8,6	0,57	-1,46	1	13950
Canopus	74	4,93	-0,72	75	186
Rigel Kentaurus	4,3	0,29	-0,27	120	116,25
Arcturus	34	2,27	-0,04	143	97,55245
Vega	25	1,67	0,03	150	93
Capella	41	2,73	0,08	155	90
Rigel	1400	93,33	0,12	159	87,73585
Procyon	11,4	0,76	0,38	185	75,40541
Achernar	69	4,60	0,46	193	72,27979
Betelgeuse	1400	93,33	0,5	197	70,81218
Hadar	320	21,33	0,61	208	67,06731
Acrux	510	34,00	0,76	223	62,55605
Altair	16	1,07	0,77	224	62,27679
Aldebaran	60	4,00	0,85	232	60,12931
Antares	520	34,67	0,96	243	57,40741
Spica	220	14,67	0,98	245	56,93878
Pollux	40	2,67	1,14	261	53,44828
Fomalhaut	22	1,47	1,16	263	53,04183
Bezcru	460	30,67	1,25	272	51,28676
Deneb	1500	100,00	1,25	272	51,28676
Regulus	69	4,60	1,35	282	49,46809
Adhara	570	38,00	1,5	297	46,9697
Castor	49	3,27	1,57	304	45,88816
Gacrux	120	8,00	1,63	310	45
Shaula	330	22,00	1,63	310	45

Tabla 1

*Datos de magnitud aparente y distancia en años luz, y su conversión a parámetros sonoros.*

## Ecuaciones

$$A * 100 + B = C \quad (1)$$

Siendo A el valor de magnitud aparente y B el valor necesario para que A sea positivo resultando en C.

$$(C * 45) / 1 = D \quad (2)$$

Siendo 45 el valor de frecuencia mínimo determinado, C el valor de magnitud aparente positivos y D el valor final de frecuencia a sintetizar.

$$(E * 100) / 1500 = F \quad (3)$$

Siendo E el valor de distancia en años luz y 1500 el valor más elevado de distancia entre las veinticinco estrellas mas brillantes, 100 el valor más elevado en la normalización realizada, F el valor que va a ser implementado en el efecto de reverb.

## Conclusiones

Resulta difícil recrear la experiencia de observar el cielo nocturno literalmente sin el uso de

la imagen, pero al hacerlo de manera interpretativa fue posible sumar información acerca de cada astro, que de otra forma no se encontraría. Este proyecto está planteado con la idea de ser montado en una instalación holofónica, donde los sonidos correspondientes a cada cuerpo celeste provendrían de la ubicación precisa donde se encontraría dicho cuerpo en el firmamento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] University of Wisconsin-Madison-Department of Astronomy, “*The 26 Brightest Stars DataBase*” <http://www.astro.wisc.edu/~dolan/constellations/extrabrightest.html> [Fecha de consulta: julio 2016]
- [2] Hack the Universe - Api to access the Digital Universe Data set, “*Star API APP*” <http://star-api.herokuapp.com> [Fecha de consulta: julio 2016]
- [3] Schaeffer, Pierre (2008), *Tratado de los objetos musicales*, (2<sup>a</sup> ed.), Madrid: Alianza Editorial.
- [4] Miyara, F. (2000), *Acústica Sistemas Sonido*, Rosario, Argentina: UNR Editora, 2000.

# AstroAcústica

# Problemas:

Las estrellas solo pueden ser  
captadas por un solo sentido humano

¿De qué otro modo podemos percibir las estrellas?

¿Podríamos escucharlas?

# REST API for DigitalUniverse

Star-API provides easy and free API access to the American Museum of Natural History's Digital Universe Data. We provide access to positions, luminosity, color, and other data on over 100,000 stars as well as constellations; exo-planets, clusters and others.

[Try it Now!](#)

Made with Love in NYC by Nancy, David, Zak, Waldemar, Nichol & Suren

Developed as part of #HackTheUniverse

# A partir de datos estelares reales, interpretamos como sonaría

## API Examples

```
{  
    "absmag": 1.85,  
    "appmag": 9.1,  
    "colorbv": 0.396,  
    "created_at": "2014-11-08T07:30:49.623Z",  
    "dcalc": 1.0,  
    "distly": 920.9,  
    "hipnum": 1.0,  
    "id": 2,  
    "label": "HIP1 HD224700 Gli",  
    "lum": 14.19036,  
    "plx": 3.54,  
    "plxerr": 39.27,  
    "speed": 0.0,  
    "texnum": 1.0,  
    "updated_at": "2014-11-08T07:30:49.623Z",  
    "vx": 0.0,  
    "vy": 0.0,  
    "vz": 0.0,  
    "x": -18.1007,  
    "y": 143.562,  
    "z": -242.612  
}
```

## Star API documentation

API to access the  
Digital Universe  
Data set

<http://star-api.herokuapp.com/>

# The 26 Brightest Stars DataBase

Common Name	Scientific Name	Distance (light years)	Apparent Magnitude	Absolute Magnitude	Spectral Type
Sun		-	-26.72	4.8	G2V
<u>Sirius</u>	Alpha <u>CMa</u>	8.6	-1.46	1.4	A1Vm
<u>Canopus</u>	Alpha <u>Car</u>	74	-0.72	-2.5	A9II
<u>Rigel Kentaurus</u>	Alpha <u>Cen</u>	4.3	-0.27	4.4	G2V + K1V
<u>Arcturus</u>	Alpha <u>Boo</u>	34	-0.04	0.2	K1.5IIIp
<u>Vega</u>	Alpha <u>Lyr</u>	25	0.03	0.6	A0Va
<u>Capella</u>	Alpha <u>Aur</u>	41	0.08	0.4	G6III + G2III
<u>Rigel</u>	Beta <u>Ori</u>	~1400	0.12	-8.1	B8Iae
<u>Procyon</u>	Alpha <u>CMi</u>	11.4	0.38	2.6	F5IV-V
<u>Achernar</u>	Alpha <u>Eri</u>	69	0.46	-1.3	B3Vnp
<u>Betelgeuse</u>	Alpha <u>Ori</u>	~1400	0.50 (var.)	-7.2	M2Iab
<u>Hadar</u>	Beta <u>Cen</u>	320	0.61 (var.)	-4.4	B1III
<u>Acrux</u>	Alpha <u>Cru</u>	510	0.76	-4.6	B0.5Iv + B1Vn
<u>Altair</u>	Alpha <u>Aql</u>	16	0.77	2.3	A7Vn
<u>Aldebaran</u>	Alpha <u>Tau</u>	60	0.85 (var.)	-0.3	K5III
<u>Antares</u>	Alpha <u>Sco</u>	~520	0.96 (var.)	-5.2	M1.5Iab
<u>Spica</u>	Alpha <u>Vir</u>	220	0.98 (var.)	-3.2	B1V
<u>Pollux</u>	Beta <u>Gem</u>	40	1.14	0.7	K0IIIb
<u>Fomalhaut</u>	Alpha <u>PsA</u>	22	1.16	2.0	A3Va
<u>Beccrux</u>	Beta <u>Cru</u>	460	1.25 (var.)	-4.7	B0.5III
<u>Deneb</u>	Alpha <u>Cyg</u>	1500	1.25	-7.2	A2Ia
<u>Regulus</u>	Alpha <u>Leo</u>	69	1.35	-0.3	B7Vn
<u>Adhara</u>	Epsilon <u>CMa</u>	570	1.50	-4.8	B2II
<u>Castor</u>	Alpha <u>Gem</u>	49	1.57	0.5	A1V + A2V
<u>Gacrux</u>	Gamma <u>Cru</u>	120	1.63 (var.)	-1.2	M3.5III
<u>Shaula</u>	Lambda <u>Sco</u>	330	1.63 (var.)	-3.5	B1.5IV

## Apparent Magnitude

(Magnitud aparente de una estrella)

Es el brillo percibido desde la tierra

Los valores por debajo (-) de 0 son mas brillantes

Los valores por arriba (+) de 0 son menos brillantes

## Distly (Distancia en Años Luz)

X (Posición X con respecto al sol)

Y (Posición Y con respecto al sol)

Z (Posición Z con respecto al sol)

# Conversión de datos

25 Estrellas

Common Name	Distance (light years)	Dry/Wet Volumen	Apparent Magnitude	Final
Sirius	8,6	0,57	-1,46	1 13950
Canopus	74	4,93	-0,72	75 186
Rigel Kentaurus	4,3	0,29	-0,27	120 116,25
Arcturus	34	2,27	-0,04	143 97,55245
Vega	25	1,67	0,03	150 93
Capella	41	2,73	0,08	155 90
Rigel	1400	93,33	0,12	159 87,73585
Procyon	11,4	0,76	0,38	185 75,40541
Achernar	69	4,60	0,46	193 72,27979
Betelgeuse	1400	93,33	0,5	197 70,81218
Hadar	320	21,33	0,61	208 67,06731
Acrux	510	34,00	0,76	223 62,55605
Altair	16	1,07	0,77	224 62,27679
Aldebaran	60	4,00	0,85	232 60,12931
Antares	520	34,67	0,96	243 57,40741
Spica	220	14,67	0,98	245 56,93878
Pollux	40	2,67	1,14	261 53,44828
Fomalhaut	22	1,47	1,16	263 53,04183
Becriux	460	30,67	1,25	272 51,28676
Deneb	1500	100,00	1,25	272 51,28676
Regulus	69	4,60	1,35	282 49,46809
Adhara	570	38,00	1,5	297 46,9697
Castor	49	3,27	1,57	304 45,88816
Gacrux	120	8,00	1,63	310 45
Shaula	330	22,00	1,63	310 45

Apparent Magnitude

$$-1,46 * 100 + 147 = 1$$

$$(310 * 45) / 1 = 13950_{\text{Hz}}$$

Distly

$$(8,6 * 100) / 1500 = 0,57\%$$



Operator Fixed  
Aparent Magnitud  
Como Frecuencia  
Fundamental

Reverb  
Distly  
Para representar  
la distancia

# Investigación de cada estrella para colorear el sonido

**Sirius/Sirio:** Posibilidad de vida alrededor de Sirio, estaría sometido a una incesante lluvia de cometas y asteroides, (**Granulación, Granular delay**) pues en torno a Sirio se ha detectado un disco de polvo similar a aquél que ocupaba el sistema solar en sus primeras fases. Formada por A B y un posible C (**armónicos**) Más brillante desde la tierra, conocida desde hace muchísimo tiempo, importante carga de material metálico (hierro). **Usamos flanger y corpus (Para lo metálico)**

**Capella:** sistema, Capella A y Capella B, son estrellas gigantes amarillas. Mucho más chicas: Capella C y Capella D (**En total fundamental + 3 armónicos**) conformada por 4, digamos que tiene un timbre más

**Rigel:** Rigel es una estrella variable con pequeñas oscilaciones en su brillo (**Lfo en Sample y hold al volumen**)

**Vega:** Vega es inusualmente pobre en elementos con número atómico mayor que el del helio. Vega es un ejemplo de estrella que rota a gran velocidad (**Para esto usamos un LFO con un gran porcentaje de rate & amount**)

**Canopus:** Canopus es una estrella utilizada a menudo por las sondas espaciales para orientar su posición. (**Delay**)

**Alpha centauri:** formado por 3 estrellas (**fundamental y dos armónicos**)

**Archernar:** Es una estrella de muy rápida rotación por lo que presenta una peculiar forma achatada. (**Lfo al con mucho rate y amount forma: sinusoides, ancho de banda discreto**)

# Investigación de cada estrella para colorear el sonido

**Betelgeuse:** cubierta por multitud de gránulos , variaciones de brillo. rodeada por una nebulosa de aspecto complejo formada por silicatos y polvo (**Grain Delay, granulación**)

**Acrux:** estrella doble, separadas 4segundos de arco. (**Fundamental + otra señal 4 parciales arriba**)

**Aldebaran:** catalogada como una variable pulsante irregular (**Lfo sample y hold al volumen**). Está empezando a perder masa por medio de un viento estelar que envuelve la estrella hasta una distancia de 100 ua. (**Filtro**) Aldebarán es un sistema binario: la estrella gigante tiene una compañera lejana y pequeña, Aldebarán B (**armonico**)

**Antares:** forma un sistema binario con una estrella blanco-azulada de clase B2.5, Antares B. en 3 seg de arco (**1 armonico 3 parciales arriba**) no está muy lejos de estallar como una espectacular supernova (**granulación violenta, grain delay**) pudiendo dejar como remanente una estrella de neutrones o un agujero negro. un viento estelar que hace que la estrella se encuentre envuelta en una nube de gas (**Osc de ruido + filtro**)

**Spica (Espiga):** forma un sistema binario, están muy próximas entre sí. (**armonico 1 parcial arriba**) generarse en la colisión de los fuertes vientos estelares emitidos por ambas estrellas, (**ruido + filtro**) metalicidad (**flanger**)

**Shaula:** una estrella múltiple de tres componentes. Azul. Variable pulsante en espectro. Metalicidad. (**fundamental y dos armónicos, espectro variable = lfo volumen tipo oscilacion**)

**Càstor y Pollux:** los gemelos de géminis. (**Paneos opuestos, complementarios**)

# Investigación de cada estrella para colorear el sonido

**Fomalhaut:** Fomalhaut está rodeada por un disco de polvo, descubrimiento de un planeta extrasolar, denominado Dagon, en órbita en el límite interior del anillo circunestelar

**Becrux:** Formación binaria con componentes demasiado cercanos para resolver con telescopio

**Deneb:** binaria, cola, rastro, vado celestial

**Regulus:** Sistema triple, (segundo oscilador con parcial), corazón del león

**Adhara:** binaria, segunda estrella pulsante

**Gacrux:** viento estelar, posible compañera

**Altair:** posee una de las velocidades de rotación más altas que se conocen, está relacionada con la joven edad de la misma y resalta inmediatamente al examinar el espectro, cuyas líneas aparecen considerablemente ensanchadas debido al claro desfase en longitud de onda, de la radiación emitida por las partes de la estrella que se aproximan, con relación a la que proviene de las que se alejan. Debido a las grandes fuerzas centrífugas que se desarrollan en el interior de su propia masa, la estrella ha tomado forma achatada. Se verificó el fenómeno propio de estrellas de alta rotación conocido como «oscurecimiento gravitatorio».

**Hadar:** es una estrella doble (2 osciladores) la separación entre ambas varíe (muy poco lfo al pitch de algún osc) (**frecuencia + armonico**)

**Arcturus:** Emite rayos X débiles, lo que sugiere que posee actividad magnética

# Tecnologías que utilizamos



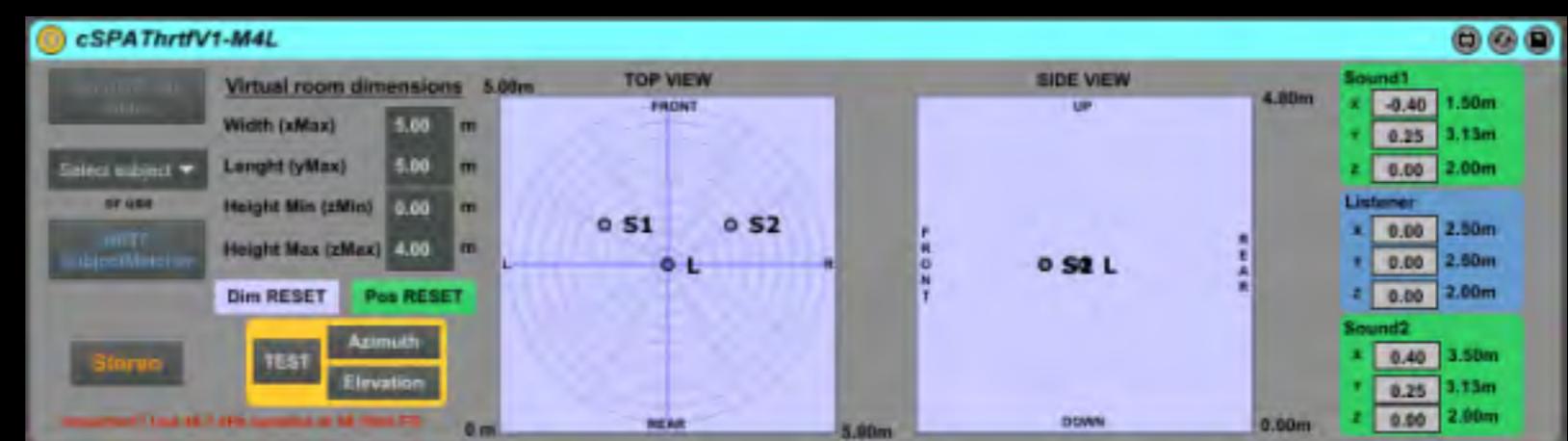
Ableton Live 9  
 Star API DataBase Json  
 The 26 Brightest Stars DataBase

## Plugins que investigamos para la espacialidad

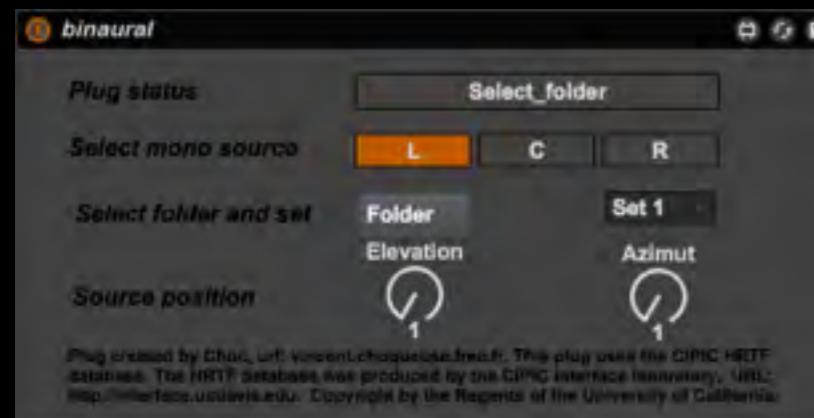
Binauralizer



Binaural Max For Live



Binaural



X Y Send Nodes



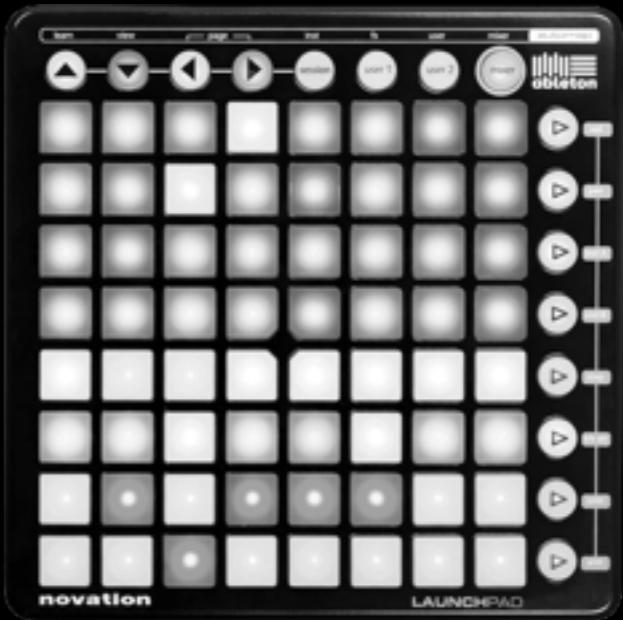
# Montaje de la instalación

Sala Oscura

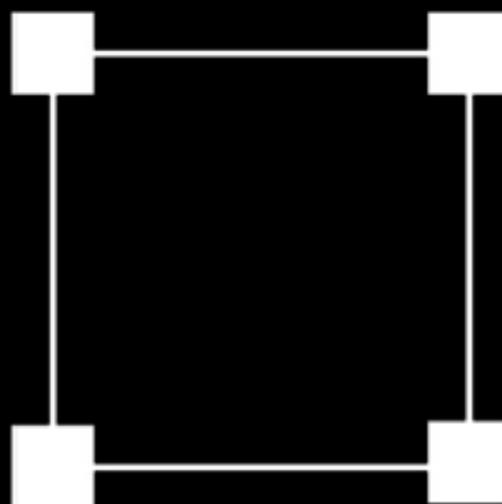
Sillón de una persona

Controlador Launchpad

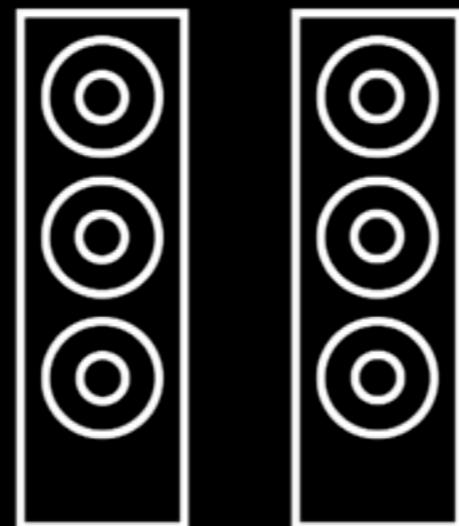
(Para Activar los sonidos de las estrellas)



Cuadrafonía



Holofonía



Auriculares  
(Binauralidad)



demo

## **Instrumentación y mediciones acústicas**

---

# Caracterización acústica de un arma sonora menos letal



Ing. Leandro Rodiño  
División Acústica Forense  
Gendarmería Nacional Argentina

**UNTREF**

III Jornadas de Acústica, Audio y Sonido  
Universidad Nacional de Tres de Febrero, Caseros, 18 y 19 de agosto de 2017

# Armas menos letales (AML)

Son dispositivos diseñados para generar un efecto específico e intermedio que permita neutralizar o incapacitar temporalmente objetivos en situaciones de riesgo medio, reduciendo la probabilidad de una fatalidad.



# Dispositivos bajo prueba

Modelo 100

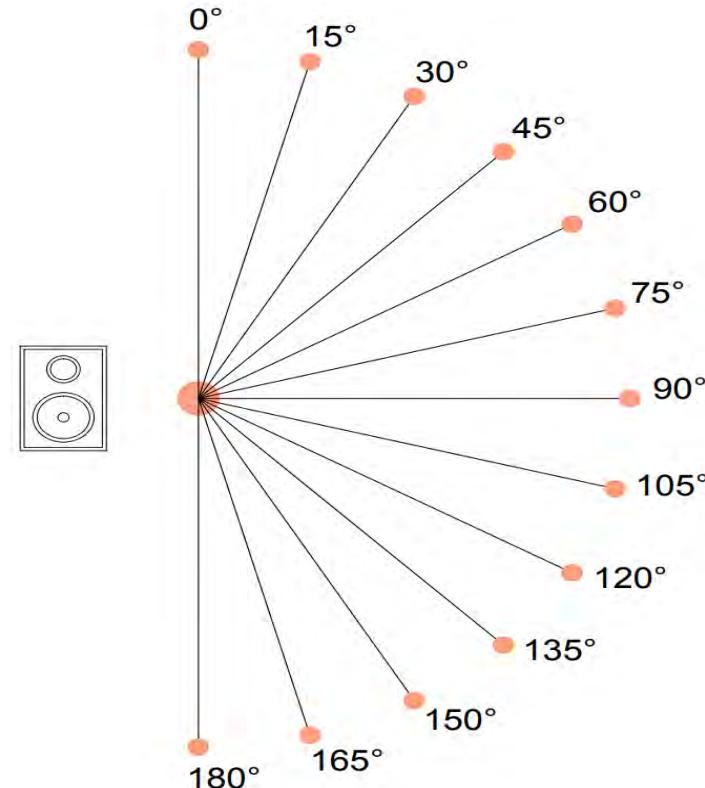


Modelo 500



# Diseño de medición

- Entorno cuasi-anecoico
- Grilla de medición cada 15°
- Se asume simetría acústica frontal
- Sonómetro tipo 1: integración Slow, períodos de 10 segundos, Leq (A, C, Z)
- Fuente y receptor 1,2 metros sobre el suelo
- Filtros de  $\frac{1}{3}$  de octava





Campo de Mayo

- Sin superficies verticales reflejantes en un radio de 200 m<sup>2</sup>
- Suelo poroso G=1
- Alejado de actividades humanas
- Presencia de helicópteros (precaución)

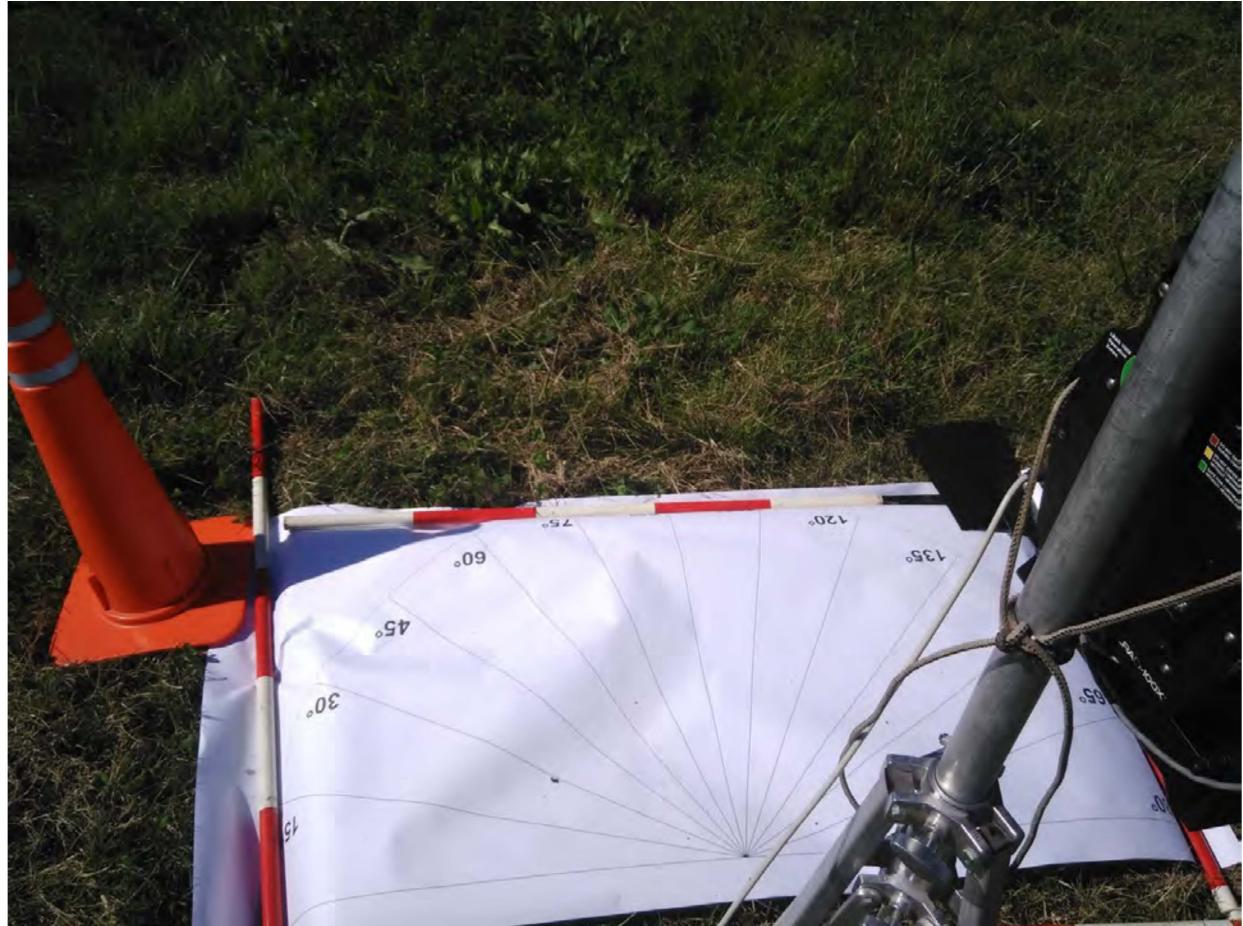


- Modelo 100: grilla a 5, 10 y 20 metros
- Modelo 500: grilla a 20, 40 y 80 metros

## Arma sonora menos letal



**Total: 312 mediciones**





# Excelente relación señal ruido: alrededor de 50 dB

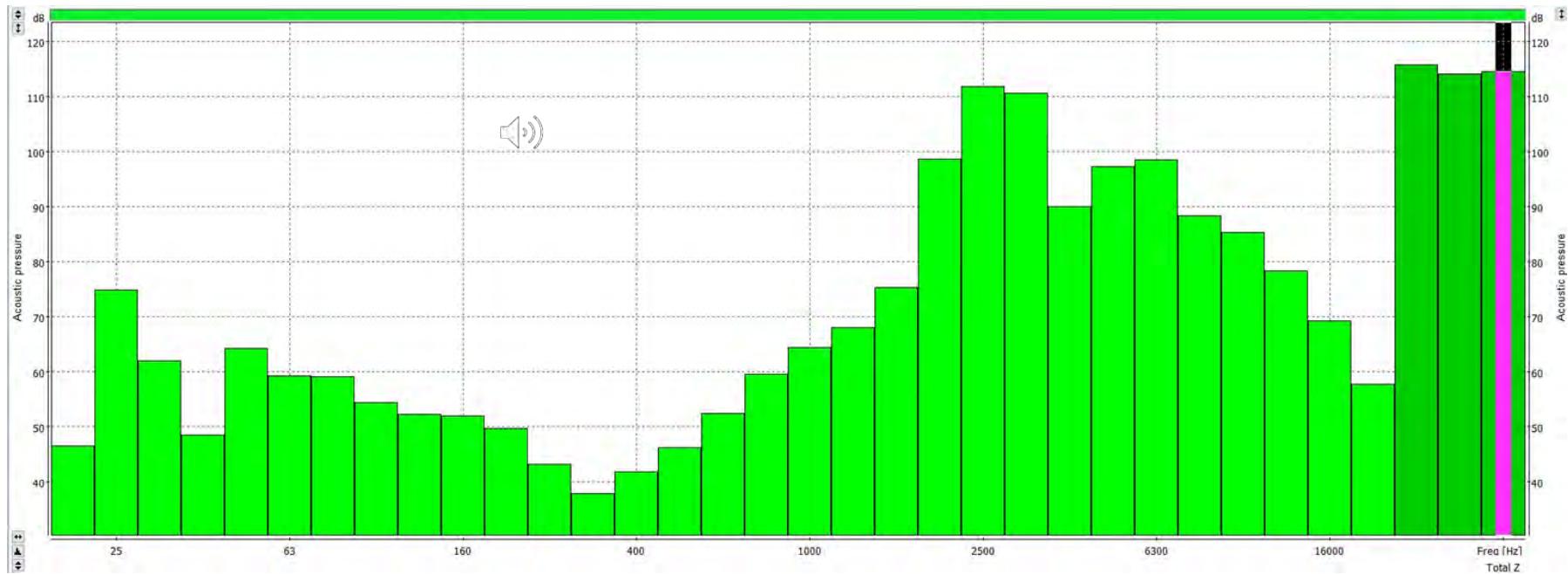
Se define adicionalmente:

- Un punto de operador (50 cm detrás de la fuente)
- Un punto de referencia de potencia (1 metro frente a la fuente)

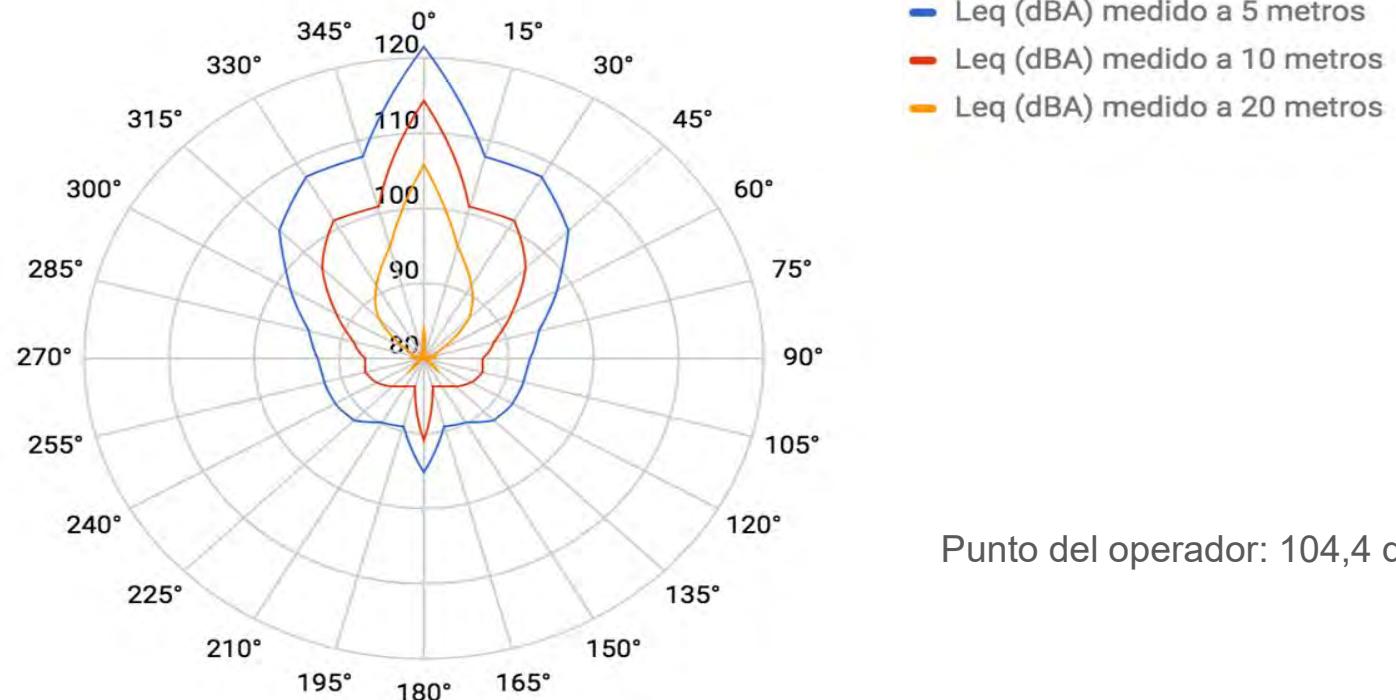


# Resultados

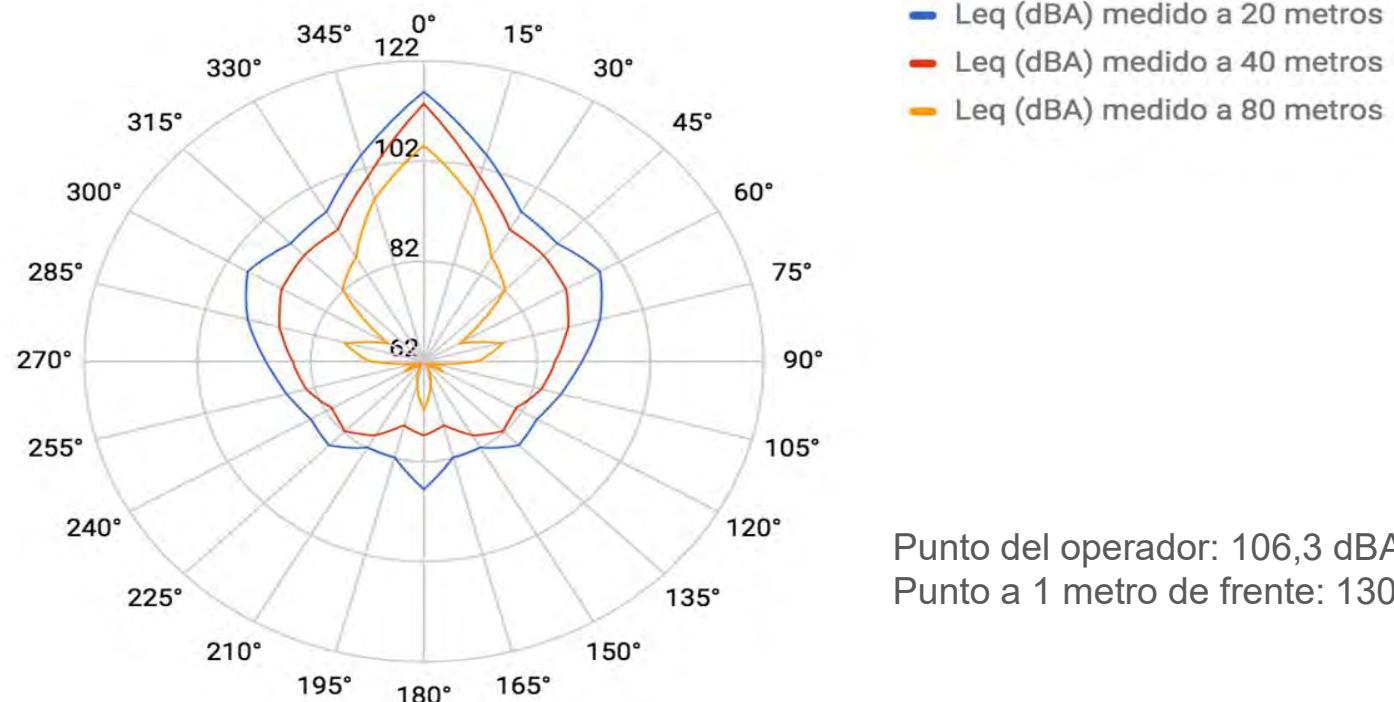
## Distribución energética del sonido disuasivo (tipo sirena)



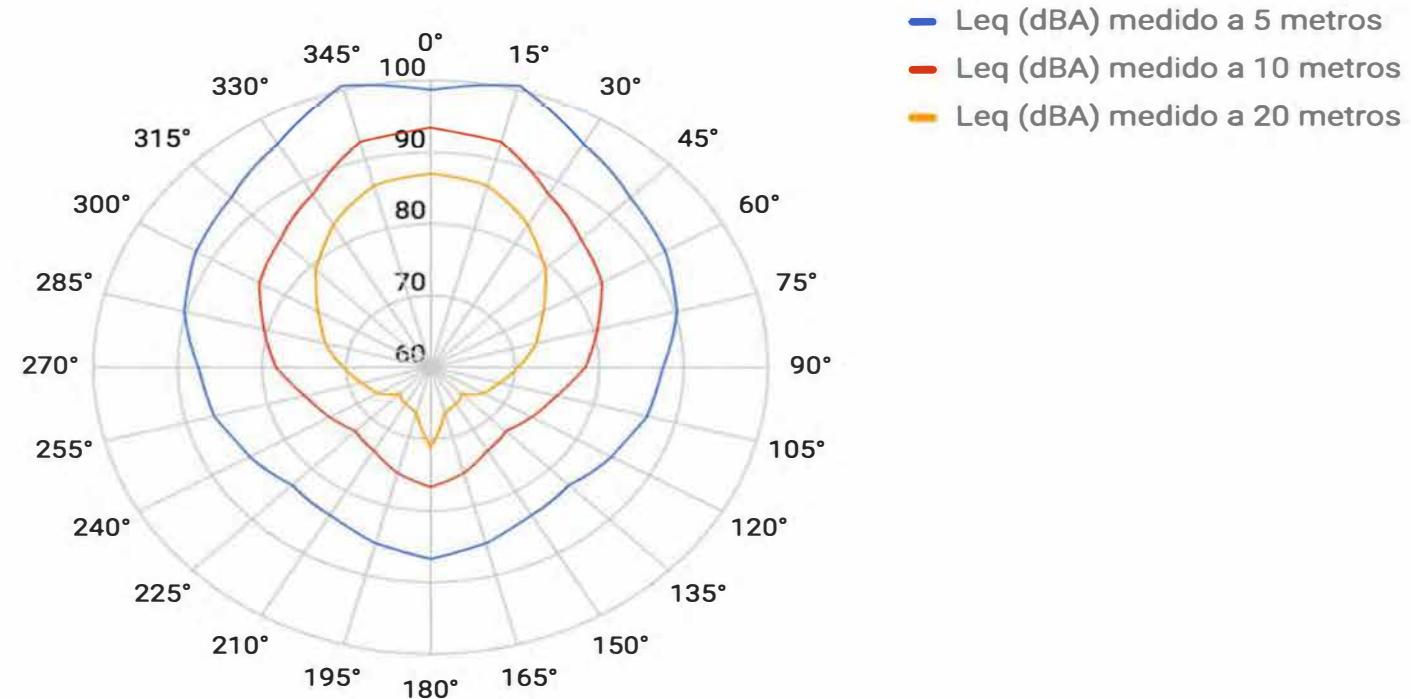
## 100x Función Disuasiva (Potencia máxima)



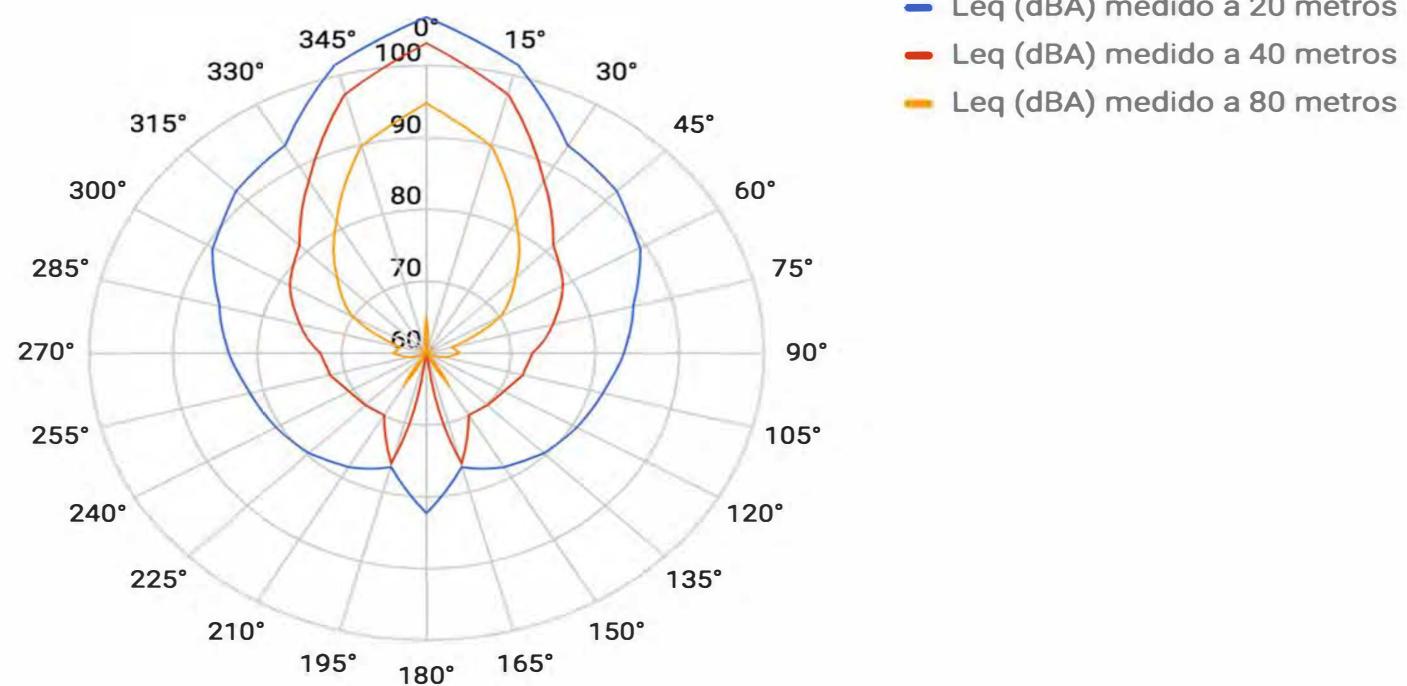
## 500x Función Disuasiva (Potencia máxima)



## 100x Función Voz (Potencia máxima)



## 500x Función Voz (Potencia máxima)



# Resumen de resultados de frente

Punto de medición	100X			
	Sirena		Mensaje de voz	
	A máximo volumen	A volumen medio	A máximo volumen	A volumen medio
Puesto de operador	104,4 dBA	83,9 dBA	99,4 dBA	78,5 dBA
5 metros de frente	121,5 dBA	99,7 dBA	98,8 dBA	78,8 dBA
10 metros de frente	114,3 dBA	91,3 dBA	93,3 dBA	71,5 dBA
20 metros de frente	105,7 dBA	85 dBA	87 dBA	65,8 dBA

# Resumen de resultados de frente

Punto de medición	500X			
	Sirena		Mensaje de voz	
	A máximo volumen	A volumen medio	A máximo volumen	A volumen medio
Puesto de operador	106,3 dBA	98,5 dBA	104 dBA	101,6 dBA
20 metros de frente	115,8 dBA	109,4 dBA	106,8 dBA	104,2 dBA
40 metros de frente	113,3 dBA	102,9 dBA	103,2 dBA	100,9 dBA
80 metros de frente	105,2 dBA	98,4 dBA	94,8 dBA	93,1 dBA

# Conclusiones

- Se propuso un método efectivo para caracterizar fuentes de alta potencia en 360°
- Se verificaron decaimientos energéticos de aproximadamente 6 dB en campo libre relacionados con la duplicación de la distancia
- Se obtuvieron valores de interés para la posterior evaluación médica (especialmente detrás de la fuente y en relación a la directividad)

# ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN PARA DISTINTAS CONFIGURACIONES DE UN ABSORBENTE COMPUUESTO DE RESONADORES DE HELMHOLTZ

MARTINA C. CRIBARI<sup>1</sup> Y PABLO PELAEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
martina.cribari@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Buenos Aires, Argentina.  
pablopelaez5@gmail.com

*Resumen – El siguiente trabajo presenta el diseño y construcción de un absorbente de 6 m<sup>2</sup> compuesto principalmente por resonadores de Helmholtz sintonizados a 850 Hz. El mismo se desglosa en 4 partes iguales permitiendo estudiar y comparar su funcionamiento para distintos tipos de arreglos con diferentes materiales tanto en el interior como en el exterior de su estructura. Los resultados del coeficiente de absorción para cada configuración se obtuvieron según los lineamientos de la normativa ISO 354:2003 realizados en la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Se concluye que la mayor absorción, según en el rango de frecuencias bajo estudio, ocurrió cuando la muestra fue cubierta por una sábana delgada separada 10 cm del piso. También se pudo observar que el efecto de borde no tuvo mucha influencia cuando la muestra se separó en partes de menor superficie.*

*Abstract – This paper presents the measurement of the absorption coefficient of a 6 m<sup>2</sup> selective absorbent using ISO 354:2003 standard. To achieve this, a Helmholtz resonator was created and measured in 7 different arrangements in the reverberation chamber of the National University of Tres de Febrero. The results showed that the highest absorption in the frequency range of studying occurs when the sample is covered by a thin sheet and separated by 10 cm from the chamber floor. Also, the results showed that the edge effect doesn't have much prominence when the sample is separated in rectangular surfaces.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo en el diseño acústico de cualquier recinto es en muchos casos crear un campo sonoro óptimo para la escucha de un oyente. Por eso la propagación del sonido y las reflexiones que se producen dentro de los mismos debe ser cuidadosamente pensada. Una parte de este proceso de optimización utilizar superficies reflectantes, absorbentes y con difusores para controlar la acústica del recinto [1]. Existen diversos elementos absorbentes como el aire, el público en una sala, las butacas y materiales absorbentes en general y son los principales protagonistas en el tratamiento acústico.

Entre los absorbentes antes mencionados se encuentran aquellos de tipo selectivo, ampliamente utilizados en acondicionamiento acústico. El eje de este trabajo se centra en crear un absorbente acústico de tipo resonador utilizando materiales de uso cotidiano para su construcción y además medir el coeficiente de absorción mediante diferentes arreglos propuesto en base a norma ISO 354:2003 [2]. Con este propósito, se ha utilizado un aula de la

Universidad Nacional de Tres de Febrero como sala reverberante.

En primer lugar, se presentan los principios físicos que rigen la acústica en recintos como así también trabajos relacionados con el tema. Luego, se describe la construcción del diseño del absorbente y el procedimiento de medición en la cámara reverberante. Finalmente los resultados obtenidos son presentados y analizados.

## 2. CONCEPTOS Y TÉRMINOS

El fenómeno de la absorción se produce cuando las ondas sonoras provenientes de una fuente inciden sobre una superficie varía según el material y la frecuencia de la onda. De manera que la correcta elección de los materiales va a permitir según cada caso una adecuada absorción para la bandas de frecuencia de interés.

Hay dos tipos genéricos de elementos específicamente diseñados para producir una determinada absorción. Ellos son: absorbentes porosos y absorbentes resonantes.

## 2.1 Absorbentes porosos

Típicos ejemplos de absorbentes porosos son las alfombras, cortinas, espumas de celda abierta, almohadas, algodón y lanas de rocas minerales. En estos casos, la propagación del sonido se produce dentro de una red de poros interconectados que componen al material; la viscosidad del mismo y los efectos térmicos por fricción causan una disipación parcial de la energía acústica. Son ampliamente utilizados para mejorar el aislamiento de una pared doble, reducir el nivel de presión sonora en una sala y disminuir el tiempo de reverberación [3]. Un ejemplo de estos materiales se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Absorbente poroso.

Cuando el sonido se propaga en pequeños espacios como los poros interconectados en un absorbente existe pérdida de energía. Además de disipación por fricción se produce una pérdida por cambios en el flujo de circulación del aire dentro del material. Principalmente en bajas frecuencias se generan pérdidas por la modificación de impedancia acústica del aire al material. Finalmente para que la absorción sea efectiva deben haber caminos que interconecten a los poros y la ubicación del elemento absorbente debe corresponder a una región donde la velocidad de las partículas del aire sea máxima [4]. El proceso de disipación de energía acústica en calor dentro de un material poroso colocado frente a una pared rígida se muestra en la Figura 2.

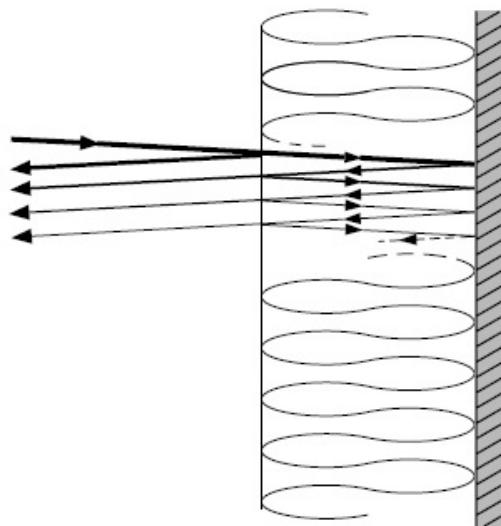


Figura 2. Proceso de disipación de energía dentro de un material poroso.

## 2.2 Absorbentes resonantes

Con este tipo de absorbentes se puede obtener una frecuencia de resonancia en la cual la absorción será mayor especialmente para medias y bajas frecuencias. Es difícil que los absorbentes porosos generen este efecto en dichas bandas dado que su coeficiente de absorción en general tiende a aumentar con la frecuencia y además a nivel práctico se dificulta colocar absorbentes demasiado gruesos. Además normalmente los absorbentes porosos son muy poco eficientes en las regiones de baja velocidad de las partículas de aire. En la Figura 3 se puede ver el pico característico de los absorbentes resonantes en la frecuencia de resonancia.

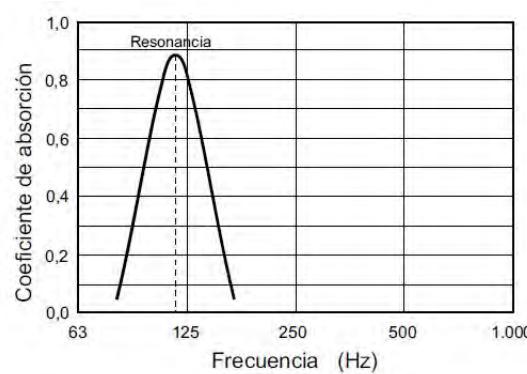


Figura 3. Coeficiente de absorción de un resonador de cavidad simple.

El tipo más común es el absorbente de Helmholtz.

### 2.2.1 Resonador de Helmholtz

Se encuentra formado por una cavidad cerrada de aire conectado a un cuello. La figura 4 muestra un esquema básico de este tipo de resonadores. El volumen de la cavidad se indica con V, mientras que la sección y la longitud del cuello se expresan con S y L respectivamente.

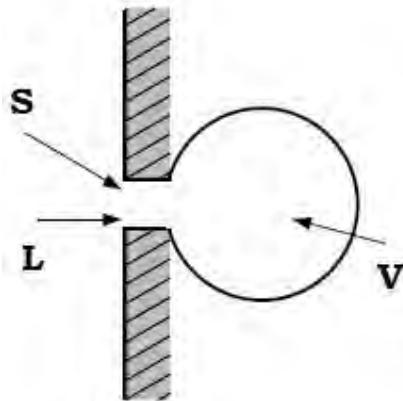


Figura 4. Resonador de cavidad simple montado sobre una pared.

El aire se mueve a través del cuello como una unidad y constituye el elemento de masa, mientras que el aire en la cavidad se comporta como un resorte constituyendo el elemento de rigidez. La masa de aire en el cuello y la rigidez del mismo dan lugar a un sistema resonante con un pico de absorción en la frecuencia de resonancia  $F_0$ . La expresión teórica para el cálculo de la misma es detallada en la ecuación (1).

$$F_0 = 5480 \sqrt{\frac{S}{LV}} \quad (1)$$

Donde:

S = Superficie de la sección del cuello ( $\text{cm}^2$ )

L = Longitud del cuello (cm)

V = Volumen de la cavidad ( $\text{cm}^3$ )

Esta expresión es siempre válida independientemente de la forma del resonador. Esto significa que dos resonadores sumamente diferentes en forma pueden tener la misma frecuencia de resonancia mientras que la relación  $S/LV$  se conserve.

Por otro lado, el largo efectivo de la longitud del cuello es mayor a la longitud L, dado que la masa de aire que se desplaza en el cuello es mayor a aquella que corresponde al volumen que ocupa. El factor de corrección, asumiendo una apertura circular es mostrado en la siguiente ecuación.

$$Lc = 2(0,8a) = 1,6a \quad (2)$$

Donde “a” es el radio del cuello. En consecuencia la expresión del cálculo de  $F_0$  es:

$$F_0 = 5480 \sqrt{\frac{S}{L'V}} \quad (3)$$

Donde,

$$L' = L + Lc = L + 1,6a$$

Aunque la expresión del cálculo de  $F_0$ , incluso con la corrección anterior ofrece resultados aproximados se puede considerar válida para el diseño. El uso de un solo resonador no es usual en la práctica dado que la superficie que representa es muy pequeña respecto a la del recinto. En cambio, un conjunto de resonadores simples se utiliza normalmente como se muestra en la Figura 5.

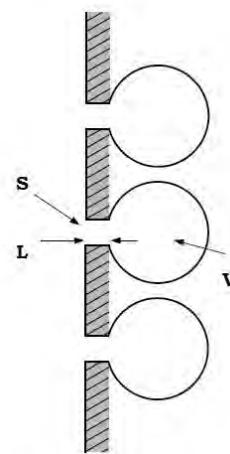


Figura 5. Resonador de cavidad múltiple montado sobre una pared.

A iguales dimensiones y formas, los resonadores presentan la misma frecuencia de resonancia, dado que no hay conexión entre las cavidades. Finalmente una variante de Helmholtz son los resonadores de cavidad múltiple basados en paneles perforados. Dicho tipo se compone de una superficie de un material no poroso, de grosor D, en el que una serie de perforaciones circulares montadas a una distancia “d” de una pared rígida permiten que exista una cavidad cerrada entre ambas superficies como se muestra en la Figura 6.

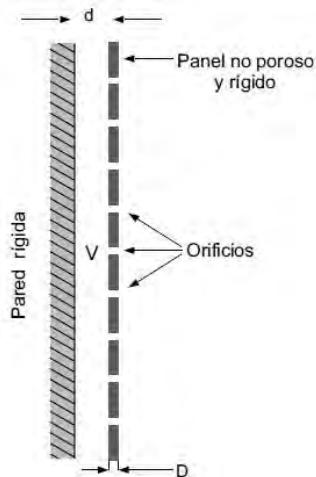


Figura 6. Resonador de cavidad múltiple basado en paneles perforados.

El resonador de cavidad múltiple se puede considerar como un conjunto de resonadores de Helmholtz que comparten la misma cavidad de aire. Estas actúan como elemento de acoplamiento entre las perforaciones. Por otro lado, debido a este efecto estos resonadores son menos selectivos en torno a  $F_0$ . El coeficiente de absorción en función de la frecuencia generalmente aumenta cuando la cavidad es parcial o totalmente llenada de material absorbente poroso como las lanas minerales. Este agregado genera un aumento aparente en el volumen de la cavidad y provoca que disminuya la frecuencia de resonancia [5].

### 2.3 Modelo estadístico de la reverberación

Un recinto puede ser caracterizado por la respuesta al impulso, tal como se puede ver el ejemplo de la Figura 6. Esta respuesta en un punto de recepción del recinto se registra cuando se excita el mismo con un corto impulso. Primero el sonido directo de la fuente arriba al receptor. Seguidamente, una serie de reflexiones llegan al mismo punto con un nivel decreciente a medida que pasa el tiempo debido a la absorción de las superficies. Los efectos de las reflexiones en las paredes suelen controlar el comportamiento del sonido en recintos, que son aquellas superficies donde normalmente existe algún tipo de absorción [6].

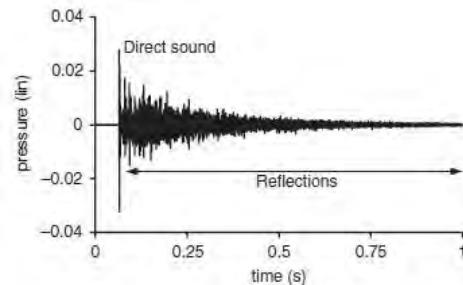


Figura 7. Gráfico de la respuesta al impulso.

#### 2.3.1 Tiempo de Reverberación

El tiempo de reverberación  $T_{60}$  expresa el tiempo que tarda el nivel de presión sonora en disminuir 60 dB cuando un sonido es interrumpido. De la respuesta al impulso, la curva de Schroeder debe ser calculada por retro integración, antes de evaluar el tiempo de reverberación [7].

#### 2.3.2 Ecuación de Sabine.

Sabine mostró que el tiempo de reverberación se puede calcular a partir del volumen del recinto y de la absorción de las superficies que lo integran como indica la ecuación (4).

$$T_{60} = \frac{0,161V}{A} \quad (4)$$

Donde  $V$  es el volumen del recinto y  $A$  la absorción total teniendo en cuenta todas las superficies. “ $A$ ” es la hipotética área de una superficie totalmente absorbente sin efectos de difracción en el caso en el que hubiera un solo material absorbente en la sala esta tendría el mismo tiempo de reverberación [2]. La absorción total del recinto se calcula a partir de los coeficientes de absorción individuales de cada material y obtiene a partir de la ecuación (5).

$$A = \sum_{i=1}^N S_i \alpha_i = S \bar{\alpha} \quad (5)$$

Donde  $S_i$  es el área correspondiente al  $i$ -ésimo elemento de superficie del recinto;  $S$  es el área de la superficie total del recinto;  $\alpha_i$  el coeficiente de absorción del  $i$ -ésimo elemento de superficie, y  $\bar{\alpha}$  el coeficiente de absorción promedio de la sala.

El coeficiente de absorción de una superficie es la relación entre la energía absorbida por la superficie con respecto a la energía incidente. Normalmente adquiere valores de entre 0 y 1, los cuales representan nada absorbente hasta totalmente absorbente respectivamente [8]. Valores superiores a 1 se encuentran usualmente en mediciones de incidencia

aleatoria, aunque sea teóricamente imposible. Esto se explica a partir de efectos de borde.

### 2.3.3 Ecuación de Eyring-Norris

La fórmula de Sabine no predice correctamente el tiempo de reverberación para un recinto significativamente absorbente. Durante años, se han desarrollado nuevas fórmulas, siendo una de ellas la ecuación de Eyring-Norris (6) [8].

$$T_{60} = \frac{55,3V}{-cS \ln(1 - \alpha)} \quad (6)$$

### 2.4 Efecto de borde

Coeficientes de absorción superiores a 1 indicarían, de forma poco intuitiva, que una superficie absorbe más del 100% de la energía que incide sobre ella. Por eso, para interpretar estos resultados es preciso ver la unidad del coeficiente de absorción: Sabines por metro cuadrado. En los casos en los que el área de absorción es mayor a la superficie de una muestra el coeficiente se eleva por sobre 1. Esto se denomina efecto de borde o efecto de difracción. El efecto es más notorio a medida que disminuye la frecuencia y la superficie absorbente [10].

## 3. ESTUDIOS PREVIOS

Hay numerosos estudios sobre mediciones de coeficiente de absorción para diversos materiales. Diego Fernández e Imanol Sánchez [11] estudiaron las principales características acústicas de los resonadores y desarrollaron los cálculos necesarios para realizar su diseño. También estudiaron el complemento de los mismos con otro tipo de materiales y diferentes configuraciones. Bouting y Royer [12] analizaron las características de un material de porosidad media saturado con aire, utilizando una técnica de homogenización. Finalmente, Alster [13] propuso una extensa teoría sobre el cálculo de frecuencias de resonancia para resonadores Helmholtz en la cual incluye los efectos que produce el movimiento de las particulares de aire en el resonador. De esta teoría se extrae que la frecuencia de resonancia depende de la forma del resonador, por lo que desarrolló una fórmula general que incluye este aspecto.

## 4. CONSTRUCCIÓN DEL RESONADOR

Para la construcción y medición de un resonador acústico se utilizaron los siguientes elementos: 9 planchas de cartón prensado de 1.2 mm de espesor y de 1 m x 0.7 m, 81 tubos de cartón de 10 cm de largo y 4.5 cm de diámetro, 2 sábanas delgadas y algodón.

La distribución de las perforaciones en las planchas de cartón se realizó como se muestra en la Figura 8 (medidas en cm).

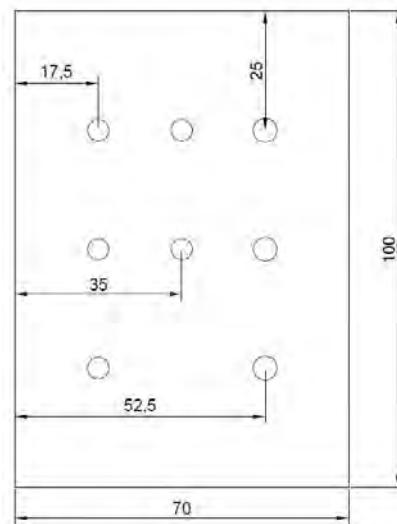


Figura 8: Distribución de agujeros en cada plancha.

La frecuencia de resonancia, en función de las dimensiones del resonador, se calcula a través de la ecuación (7), ya que se supone utilizar el modelo de resonador de cuarto de onda:

$$f_0 = \frac{2n + 1}{4} \frac{c}{L} \quad (7)$$

En consecuencia, la frecuencia obtenida es de 850 Hz. Utilizando 9 planchas de cartón se consigue un área de 6.3 m<sup>2</sup> y según muestra la Figura 9 se puede observar el absorbente terminado dispuesto en la cámara reverberante.



Figura 9: Material terminado.

## 4. NORMATIVA

La normativa utilizada para la medición fue la ISO 354:2003, esta permite el uso de una cámara reverberante para medir el coeficiente de absorción del material bajo ensayo. Es necesario tener ciertas condiciones acústicas óptimas para la

medición, y lo más común es tratar de generar un campo lo suficientemente difuso. Un campo difuso es aquel en el cual la energía del sonido reflejado se distribuye de manera uniforme en todo el recinto con igual probabilidad de propagación en todas las direcciones, esto puede ser logrado, aproximadamente, utilizando difusores dentro de las cámaras reverberantes. Los volúmenes mínimos y máximos de una cámara reverberante según la ISO 354 deben ser de 150 m<sup>3</sup> y 500 m<sup>3</sup> respectivamente. Es importante saber que para volúmenes menores a 150 m<sup>3</sup> puede resultar difícil conseguir resultados precisos en bajas frecuencias debido a la baja densidad modal en el recinto, este efecto crece a medida que el volumen de la cámara de ensayo sea más chico. Por otro lado, cuando el volumen es mayor a 500 m<sup>3</sup>, es posible que no se pueda medir el coeficiente de absorción en altas frecuencias debido a la absorción del aire. Además, la norma requiere que la forma de la cámara reverberante cumpla con lo expresado en la siguiente ecuación:

$$Imax < 1,9 V^{1/3} \quad (8)$$

Donde Imax es la longitud del mayor segmento de recta inscrito en la cámara.

De acuerdo con la norma, para obtener una medición precisa es necesario que la muestra bajo ensayo posea un área entre 10 m<sup>2</sup> y 12 m<sup>2</sup>. El área elegida depende del volumen de la cámara y de la capacidad de absorción de la muestra de ensayo. Cuanto mayor sea la cámara, mayor debe ser la superficie de la muestra. Incluso con tal tamaño, puede que la precisión de la medición se encuentre comprometida debido al efecto de borde.

Con respecto a los micrófonos y posiciones de fuente, la característica directiva de los micrófonos empleados para la medición debe ser omnidireccional. Las mediciones deben realizarse con diferentes posiciones de micrófonos que disten por lo menos 1,5 m entre ellas, 2 m de cualquier fuente sonora y 1 m de cualquier superficie de la cámara y de la muestra de ensayo. El campo sonoro en la cámara reverberante debe generarse con una fuente con una fuente sonora con patrón de radiación omnidireccional. Deben emplearse diferentes posiciones de fuente sonora que disten por lo menos 3 m. El número mínimo de micrófonos utilizados son 6, mientras que el número mínimo de posiciones de fuente son 2.

El tiempo de reverberación en un recinto depende de la absorción total dentro del mismo. En consecuencia, mediante la medición del tiempo de reverberación antes y después de colocar el material es posible calcular el coeficiente de absorción para incidencia aleatoria. Para ello, la norma se basa en la fórmula de

Sabine para calcular el tiempo de reverberación, el cual puede ser medido mediante ruido interrumpido, MLS o bien utilizando un barrido de frecuencias logarítmico. El tiempo de reverberación de la cámara en cada banda de frecuencia se expresa por la media aritmética del total de mediciones de tiempo de reverberación realizadas en cada banda. Con estos resultados, el área de absorción sonora equivalente, A1, de la cámara reverberante vacía debe calcularse utilizando la siguiente fórmula:

$$A_1 = \frac{55,3V}{cT_1} - 4Vm_1 \quad (9)$$

Donde V es el volumen de la cámara; "c" es la velocidad del sonido; T1 es el tiempo de reverberación de la sala vacía y m1 es el coeficiente de atenuación sonora, calculado de acuerdo con la Norma Internacional ISO 9613-1 [14].

De la misma forma, el área de absorción sonora equivalente, A2, de la cámara reverberante conteniendo la muestra debe calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$A_2 = \frac{55,3V}{cT_2} - 4Vm_2 \quad (10)$$

Con los valores anteriores, el área de absorción sonora equivalente AT y el coeficiente de absorción de la muestra bajo ensayo se pueden calcular utilizando las ecuaciones 11 y 12 respectivamente.

$$A_T = A_1 - A_2 \quad (11)$$

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (12)$$

Donde "S" es el área de la muestra de ensayo. Por último, la ISO 354 permite calcular la desviación estándar relativa del tiempo de reverberación T20 mediante la siguiente ecuación.

$$\varepsilon_{20}(T)/T = \sqrt{\frac{2,42 + 3,59/N}{fT}} \quad (13)$$

Donde  $\varepsilon_{20}$  es la desviación estándar del tiempo de reverberación T20; "f" es la frecuencia central de la banda de tercio de octava y N es el número de micrófonos. El rango de frecuencias bajo estudio se encuentra entre 100 Hz y 5 KHz según la norma ISO 354.

## 5. INSTRUMENTAL UTILIZADO

A continuación se detalla el instrumental utilizado para la medición.

- Micrófono de medición Earthworks M50 (Cables XLR y pies KRV incluidos) (12)
- Interfaz de audio RME Fireface UFX+ (1)
- Calibrador Svantek SV-30-A (1)
- Fuente omnidireccional dodecaedro (con subwoofer incluido) (1)

Los micrófonos Earthworks se utilizaron para medir tiempo de reverberación en la cámara y el ruido de fondo en la misma. Cada uno de ellos fue calibrado previamente siguiendo los requerimientos de la norma IEC 60942:2003 [15]. Finalmente, todas las grabaciones se registraron a través del software Ableton Live 9 en una notebook Lenovo G580.

## 6. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Todo el proceso de medición fue realizado el 21 de junio de 2017 en la Universidad Nacional de 3 de Febrero. La cámara reverberante elegida fue el aula número 2 del anexo de la universidad situado en Valentín Gómez 4772. Las dimensiones de la cámara de ensayo se detallan en la siguiente tabla.

*Tabla 1. Dimensiones de la cámara reverberante.*

Largo	Ancho	Alto
6.04 m	5.2 m	3 m

El volumen total de la cámara es de  $95 \text{ m}^3$  aproximadamente y la longitud del segmento mayor del mismo es de 8,56 m el cual cumple con lo estipulado en la ecuación 8. A continuación se colocaron 8 posiciones de micrófonos y 2 de fuente para realizar la medición. En primera medida se procedió a realizar la medición del ruido de fondo existente dentro de la cámara, esto permite saber el nivel de la señal de excitación necesario para estar por encima de dicho ruido.

Para la medición del tiempo de reverberación se utilizó un barrido logarítmico de frecuencias de duración 90 s. La frecuencia inicial y final de esta señal fueron 44 Hz y 11313 Hz respectivamente.

Luego, se realizó la medición del tiempo de reverberación de la cámara vacía utilizando dos posiciones de fuente. A continuación se procedió a colocar la muestra de  $6 \text{ m}^2$  dentro de la cámara reverberante. Para la medición del coeficiente de absorción se utilizaron 7 arreglos y se midió el tiempo de reverberación de la cámara para cada uno de los arreglos. En la figura 10 se muestra el arreglo A que consiste en colocar toda la muestra junta.



*Figura 10: Arreglo A.*

Para el arreglo B se colocó una sábana delgada encima de la muestra como muestra la figura 11.



*Figura 11: Arreglo B.*

Para el arreglo C se colocaron pequeños pedazos de algodón dentro de los agujeros del material, como muestra la figura 12.



*Figura 12: Arreglo C.*

Para el arreglo D se separó la muestra en 9 partes iguales como muestra la figura 13.



*Figura 13: Arreglo D.*

Para el arreglo E se colocaron pequeños pedazos de algodón dentro de los agujeros del material separado como muestra la figura 14.



Figura 14: Arreglo E.

Finalmente, para los dos últimos arreglos, todos los tubos fueron removidos y colocados como soporte del material. Por ello, el material fue separado del suelo unos 10 cm aproximadamente tratando de simular un resonador múltiple de cavidad a base de perforaciones. En la figura 15 se muestra el arreglo F que consiste en colocar el material junto sin los agujeros, mientras que en la figura 16 se muestra el arreglo G en el cual se coloca una sábana delgada encima del material.

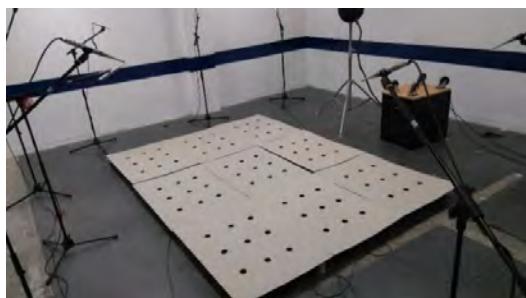


Figura 15: Arreglo F.



Figura 16: Arreglo G.

Por último, todas las mediciones fueron procesadas utilizando el software aurora. Luego, utilizando el Excel se realizaron los cálculos que permitieron obtener los valores del coeficiente de

absorción para cada uno de los arreglos anteriormente mencionados.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 17 se muestra el coeficiente de absorción del arreglo A. En él se puede observar que la resonancia se encuentra ubicada en 1 kHz y su valor es pequeño, llegando a 0.2. También se observa que el coeficiente de absorción decae para frecuencias bajas y se eleva para frecuencias medias y altas.

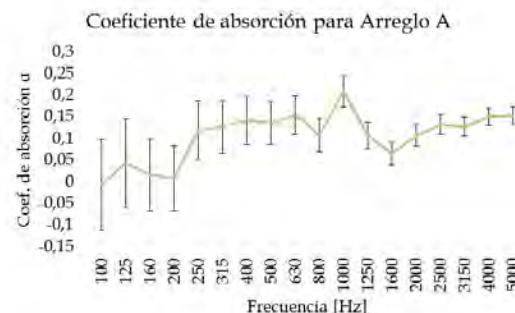


Figura 17. Coeficiente de absorción para el arreglo A.

Cuando el arreglo se cubre con una sábana delgada, el coeficiente de absorción  $\alpha$  se eleva hasta un valor de 0.35 en la frecuencia de resonancia (1 kHz). Este aumento en el coeficiente también afecta al resto de las frecuencias. La selectividad del resonador también cambia de un arreglo con el otro, para el arreglo B la selectividad es menor, es decir que el ancho de banda aumenta.

Debido a que los tubos son de un cuarto de longitud de onda, en el límite superior del mismo existe una máxima velocidad de partículas. Cuando la sabana cubre estos tubos, esta velocidad se reduce. Esto quiere decir que la energía cinética se transforma en calor; por lo que aumenta el coeficiente de absorción en este arreglo.

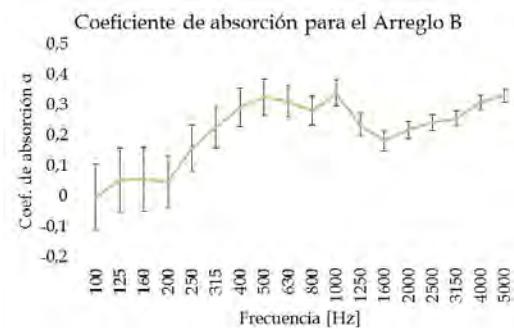


Figura 18. Coeficiente de absorción para el arreglo B

En el arreglo C los tubos fueron rellenos con algodón y se puede observar, en la figura 19, que la

resonancia permanece en 1 kHz. Para bajas frecuencias, el coeficiente de absorción decrece mientras que para frecuencias medias y altas el cambio apenas es visible. En el Anexo A1 se observa que el arreglo B es más absorbente que el C.



Figura 19. Coeficiente de absorción para el arreglo C.

En el arreglo D, el material fue separado en 9 muestras de igual tamaño. La resonancia sigue encontrándose en 1 kHz. Sin embargo, se puede observar que los valores del coeficiente de absorción en la resonancia y para las demás bandas de frecuencia no difieren mucho. Esto se debe a la presencia de un material poroso como el algodón que provoca disipación de energía y en algunas frecuencias.

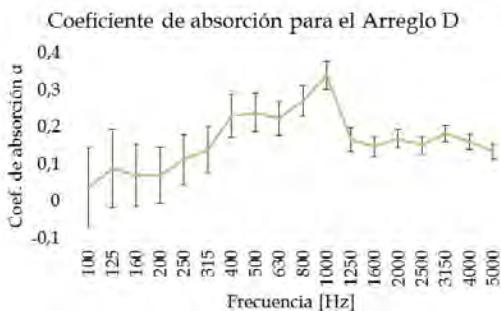


Figura 20. Coeficiente de absorción para arreglo D.

En el arreglo E, al eliminar el algodón dentro de los tubos y separar las muestras se ve que la resonancia se presenta en la banda de 1 kHz y que los coeficientes de absorción para frecuencias cercanas a la misma son relativamente cercanos (ver Figura 21).

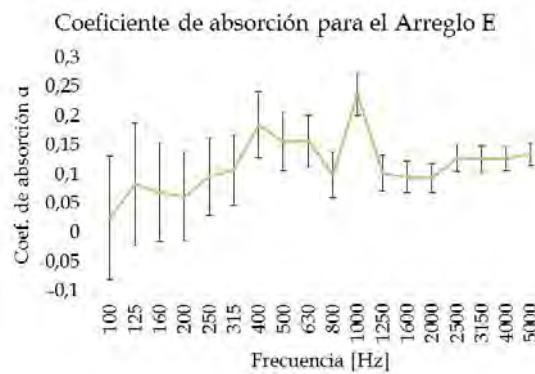


Figura 21. Coeficiente de absorción para arreglo E.

Para el arreglo F y G que se muestran en las figuras 22 y 23 respectivamente, se puede observar que en ambos arreglos, al sacar los tubos, produce que todos los agujeros ahora comparten una misma cavidad, la cual actúa a modo de elemento acoplador entre los diferentes orificios practicados. Por lo tanto, al aumentar el volumen la frecuencia de resonancia disminuye. Para el caso del arreglo F, la frecuencia de resonancia obtenida mediante la medición se sitúa en 800 Hz. Mientras que para el arreglo G se sitúa en 500 Hz.

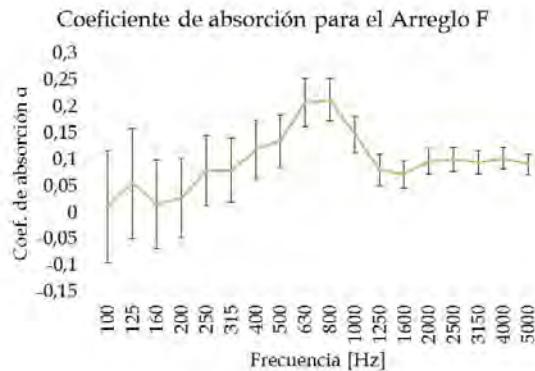


Figura 22. Coeficiente de absorción para el arreglo F.

La gran diferencia entre el arreglo F y el G, además de la frecuencia de resonancia, es la utilización de una sábana delgada que aumenta la absorción del material en todas las frecuencias.



Figura 23. Coeficiente de absorción para el arreglo G.

Debido a que el volumen del recinto es menor al estipulado por la norma, los valores del tiempo de reverberación para frecuencias bajas pueden no ser del todo precisos. Esto ocurre por la baja densidad modal en el recinto por debajo de la frecuencia de Schroeder ( $f_s$ ). Por lo tanto, conocer el valor de  $f_s$  es muy importante para determinar el rango de frecuencias en el cual los resultados serán coherentes.

Para salas de gran volumen la mayor dificultad es la absorción del aire, por lo que es necesario realizar unas correcciones para calcular el valor de  $\alpha$ . Debido a que la cámara reverberante utilizada para este ensayo es de 95 m<sup>3</sup> este efecto no fue tenido en cuenta.

De acuerdo a la norma ISO 354 la superficie de la muestra de ensayo debía estar entre 10 m<sup>2</sup> y 12 m<sup>2</sup>, sin embargo la muestra utilizada en este trabajo fue de 6.3 m<sup>2</sup> de superficie debido a las limitaciones del espacio en la cámara reverberante.

La reproducibilidad se encuentra relacionada con la difusión de la sala de ensayo. Debido a que la difusión es totalmente distinta entre diferentes recintos, es prácticamente imposible obtener los mismos resultados del tiempo de reverberación entre una sala de ensayo y otra.

En algunos gráficos el valor del coeficiente de absorción para 100 Hz es negativo. Esto se debe a la presencia de modos de resonancia. Tener esto presente es importante a la hora de colocar los micrófonos de medición para el ensayo, debido a que si algún micrófono se coloca en un punto de máxima presión, la medición en dicho punto presentara valores incoherentes. Por lo tanto, para futuros trabajos, es importante conocer la distribución modal del recinto a fin de evitar la mala colocación de los micrófonos en la medición.

## 8. CONCLUSIONES

En este trabajo, la frecuencia de resonancia obtenida al realizar mediciones en todos los arreglos

de resonadores de Helmholtz A a E (1 kHz) es aproximadamente la frecuencia calculada de 850 Hz. Para este tipo de absorbentes la resonancia en la banda de 1 kHz no varía de un arreglo al otro. Además por más que el diseño indicara que el absorbente funciona en la resonancia, se concluye que también existe absorción en bandas cercanas a la misma.

Habiendo comparado cada arreglo, se puede observar que el resonador de cavidad múltiple con una sábana delgada cubriendo los agujeros (arreglo G) es el arreglo que permite obtener los mayores valores de coeficientes de absorción. Además para resonadores de cavidad simple (arreglos A a E) la sábana refuerza el efecto de absorción. El algodón mejora la absorción, pero no es tan efectivo como la sábana. Existen pequeñas diferencias cuando los paneles del arreglo son separados y se compara con el arreglo original A, es decir que el efecto de borde influye escasamente en la absorción de la superficie.

Este paper resulta ser interesante desde el punto de vista de la creatividad puesta al servicio del diseño de un absorbente selectivo y las variantes de arreglos a la hora de pensar una medición de este tipo.

## 9. REFERENCIAS

- [1] M. Kleiner and J. Tichy, "Acoustic of small rooms", London, England. 2014.
- [2] UNE-EN ISO 354:2003 – Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. Febrero 2004.
- [3] T. J. Cox and P. D'Antonio, "Acoustic absorbers and diffusers", Second edition. Auckland, New Zealand. 2009.
- [4] L. Cremer and H. A. Müller, "Principles and Applications of Room Acoustic", Applied Science Publishers (translated by T. J. Schultz), 1978.
- [5] A. C. Isbert, "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos". Barcelona, España. Julio de 1998.
- [6] M. Barron and L. J. Lee, "Energy relations in concert auditoriums", J. Acoust. Soc. Am., 84 (2), 618-28 (1998).
- [7] M. R. Schroeder, "New Method of Measuring Reverberation Time", J. Acoust. Soc. Am., 37, 409-12 (1965).
- [8] W. C. Sabine, Collected Papers on Acoustics, Harvard University Press (1922); republished, Acoustical Society of America (1993).
- [9] M. Möser and J. L. Barrios, "Ingeniería Acústica", 2da edición. Springer, 2009.
- [10] "Absorptionsgrad größer 1- Blatt 1, "Sound absorption coefficient greater than 1", UdK Berlin, Sengpiel. October 2015.
- [11] D. Fernandez, I. F. Sanchez and L.G. Gilberto, "Análisis, Diseño y Aplicación de Resonadores Acústicos", Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Córdoba. Mayo 2011, Argentina.

[12] C. Boutin, P. Royer and J. L. Auriault, “Acoustic absorption of porous surfacing with dual porosity”, International Journal of Solids and Structures. Pages 4709-4737. December 1998.

[13] M. Alster, “Improved calculation of resonant frequencies of Helmholtz resonators”, Journal of Sound and Vibration. Pages 63-85. September 1972.

## Anexo A1

Los siguientes gráficos muestran la comparación entre los distintos arreglos utilizados en la medición:

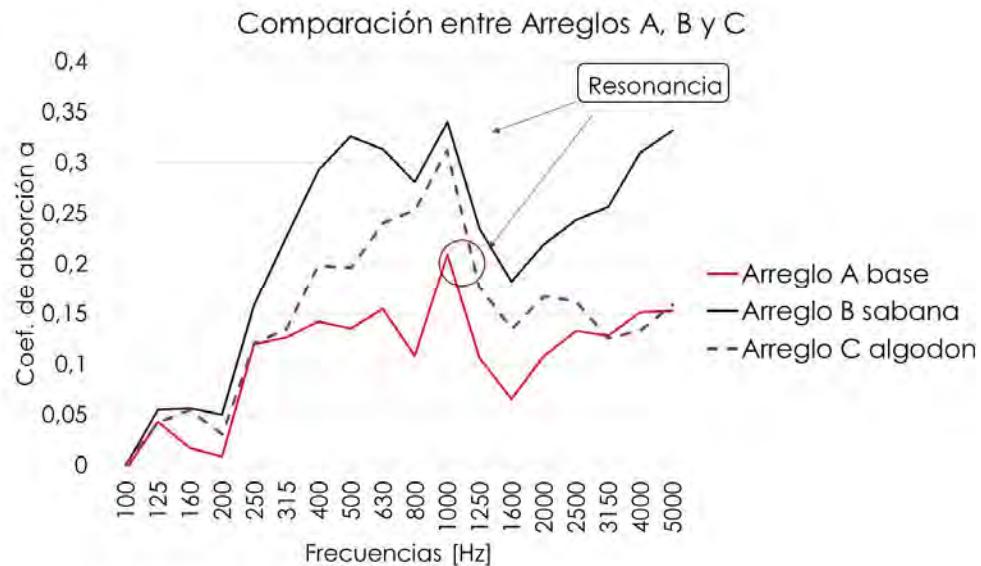


Figura A. Comparación entre arreglo A, arreglo B y arreglo C.



Figura B. Comparación entre arreglo D y arreglo E.



Figura C. Comparación entre arreglos F y G.

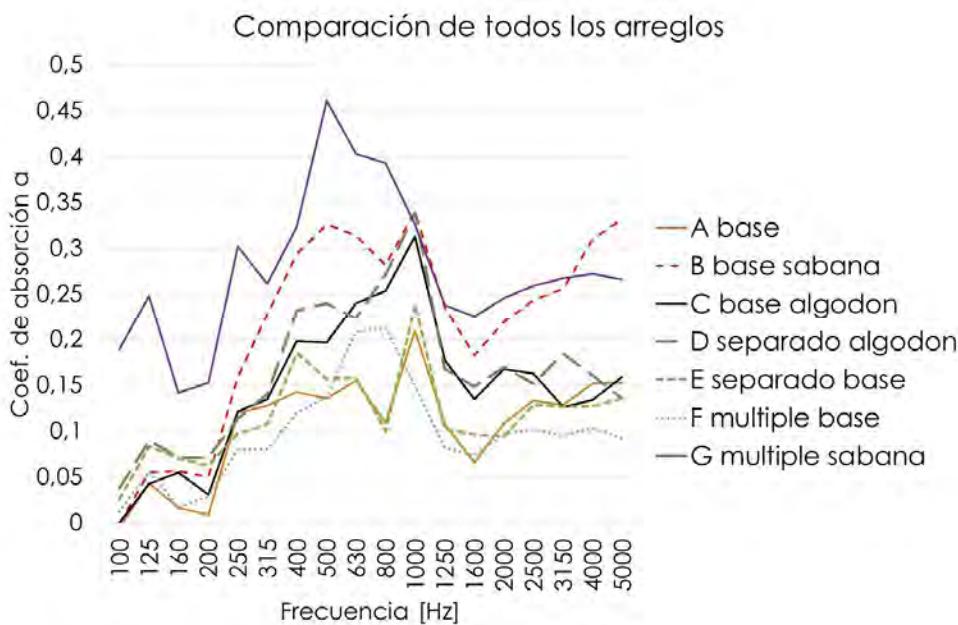


Figura D. Comparación de todos los arreglos.

## Psicoacústica

---

# RESPUESTA EMOCIONAL A LA MUSICA Y SU RELACION CON PARAMETROS DE LA FUNCION DE AUTOCORRELACION

FABRICIO D. CHUNGO<sup>1</sup>, SHIN-ICHI SATO<sup>2</sup>, FLORENT MASSON<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero  
fabricio.chungo@gmail.com

<sup>2</sup>Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero  
ssato@untref.edu.ar

<sup>3</sup>Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero  
fmasson@untref.edu.ar

**Resumen –** *El reconocimiento de la respuesta emocional a la música es útil para la musicoterapia como para la organización de librerías musicales digitales. Para predecir la respuesta emocional, es necesario caracterizar las señales musicales con parámetros acústicos. En este trabajo fue utilizada la Función de Autocorrelación (ACF) para obtener parámetros de las señales. Éstos luego fueron correlacionados con distintas respuestas emocionales (felicidad, tristeza, calma y tensión). Se utilizaron cinco muestras musicales instrumentales y, por medio de un test de comparación AB, se evaluó la respuesta emocional de distintas personas. La media de  $W_{\phi(0)}$  mostró correlación significativa con las emociones de felicidad y tristeza, la media de  $\tau_1$  mostró correlación significativa con calma, y el sesgo de  $\tau_1$  mostró correlación significativa con felicidad y calma.*

**Abstract –** *Recognition of emotional response to music is useful in music therapy and organization of digital libraries of music. To predict the emotional response, it's necessary to characterize the musical signals with acoustical parameters. In this work, it was used the Autocorrelation Function (ACF) to extract parameters from music and correlate them with subjective responses (happiness, calmness, sadness and tension). Five instrumental music samples were used and, through a pair comparison test, the emotional response of subjects was evaluated. Mean value of  $W_{\phi(0)}$  showed significant correlation with happiness and sadness emotions, mean of  $\tau_1$  showed significant correlation with calmness and skewness of  $\tau_1$  showed significant correlation with happiness and calmness.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el análisis de la relación entre la música y las emociones ha crecido como un área de interés para desarrollar modelos computacionales que automatizan sistemas de organización de música. Esto es útil para ordenar librerías musicales digitales basadas en parámetros acústicos extraídos del audio [1]. También, la respuesta emocional a la música se relaciona con mecanismos neuroafectivos, así que el reconocimiento de emociones es útil en musicoterapia para detectar trastornos emocionales [2, 3].

Existen modelos psicológicos que proponen separar todas las emociones posibles en categorías basándose en un enfoque dimensional. Thayer definió las emociones en términos de niveles de excitación y valencia. La primera refiere a la cantidad de respuesta fisiológica a un evento o estímulo, y la segunda indica el atractivo (valencia positiva) o aversión-rechazo (valencia negativa) [4].

En el marco de la teoría de Ando sobre el modelo del sistema auditivo, se propone la función de autocorrelación (ACF) para analizar señales sonoras

[5]. Ésta expresa básicamente la similitud entre una señal y su copia retrasada en tiempo. Los parámetros derivados de esta función han sido útiles para describir fuentes sonoras y señales en investigaciones previas. Trabajos de Ando relativos a la ACF mostraron relación entre éstos parámetros y aspectos de la percepción, como el timbre, tonalidad y sonoridad [6-9].

Otros investigadores utilizaron el análisis mediante la ACF en acústica de salas y caracterización de ruido y altoparlantes. La acústica de salas de ópera, las características del canto y la respuesta de diferentes parlantes fueron investigadas con este enfoque [10,11]. La ACF mostró ser un acercamiento útil en diferentes áreas y posee la particularidad de basarse en la respuesta neurofisiológica a los estímulos sonoros.

Existen muchos estudios acerca la percepción de la música y las emociones, con diferentes enfoques y conclusiones. Bigand et al. propusieron un análisis de emociones basado en tres dimensiones: las ya mencionadas excitación y valencia, y la dimensión denominada dominio. Esta última no pudo ser

correlacionada con las emociones evocadas por la música, pero las otras dos mostraron una alta correlación con la respuesta emocional de los oyentes [12]. No fueron obtenidos parámetros objetivos de las muestras musicales, por lo que el estudio no analizó la relación entre parámetros acústicos y las emociones.

Flores y Díaz distinguieron cuatro grupos de emociones basados en un enfoque bidimensional. Ellos concluyeron que había emociones similares relacionadas a fragmentos musicales muy distintos entre sí. En este caso tampoco se realizó un análisis de parámetros acústicos de la música utilizada [13].

Pocos estudios sobre emociones en la música basados en el análisis mediante ACF fueron publicados. Sabater utilizó cuatro categorías de emociones para correlacionar con parámetros extraídos de muestras de piano. Los resultados mostraron evidencia de relación entre ambos [14]. Zanardi et al., analizaron fragmentos de distintos géneros musicales para respuestas de excitación y valencia. Encontraron correlaciones significativas entre parámetros acústicos y la respuesta de los oyentes [15]. Ambos estudios concluyeron que los parámetros derivados de la ACF pueden ser asociados con emociones pero no pudieron establecer una relación certera entre un grupo de parámetros y una emoción específica.

En general, los estudios previos estuvieron más enfocados en aspectos psicológicos [3,12-13] o establecieron un acercamiento general que mostró evidencia de una relación entre las emociones percibidas y parámetros derivados de la ACF [14,15]. La relación entre parámetros acústicos y emociones está todavía en desarrollo y el análisis basado en la ACF necesita más avances para determinar una relación entre características de la música y la respuesta emocional a la misma.

El objetivo de este trabajo es encontrar un criterio para caracterizar la música de acuerdo a la respuesta emocional que genera, a partir de parámetros derivados de la ACF. Cinco fragmentos musicales fueron elegidos y evaluados subjetivamente mediante tests con este propósito.

## 2. PROCEDIMIENTO

### 2.1. Selección de muestras musicales

Las muestras musicales fueron seleccionadas considerando dos aspectos: diferencias en parámetros de la ACF y disimilitud en la ejecución. Este criterio redujo un primer grupo de 20 fragmentos musicales a 5.

La duración de las muestras fue establecida entre 6 s y 7 s. Además, se consideraron piezas instrumentales que sean, a priori, desconocidas para los sujetos. El formato de audio fue WAV con 16 bit de resolución. Se aplicó normalización de sonoridad a las muestras.

En la Tabla 1 se expone una descripción de las muestras de audio.

Tabla 1: Género, tempo y centroide espectral de las muestras de audio.

Muestra de audio	1	2	3	4	5
Género	Rock	Jazz/Progresivo	Metal	Ambiental	Celta
Tempo (b.p.m)	129	113	168	169	55
Centroide Espectral (Hz)	2465	4275	4183	4597	1739

Las piezas abarcaron diferentes géneros musicales y fueron todas instrumentales. Durante los tests, se pidió a los sujetos indicar si alguna muestra les sonaba familiar, esperando que ninguno de ellos haya escuchado los fragmentos antes.

### 2.2. Análisis objetivo de las muestras

El cálculo de los parámetros de las muestras fue llevado a cabo a través de la *running-ACF* (r-ACF). Ésta consiste en analizar el audio por intervalos sobre los cuales se aplica la ACF para obtener los parámetros. Como resultado se obtiene un valor de cada parámetro acústico para cada intervalo de tiempo.

Se utilizó un software desarrollado por Sato para aplicar la r-ACF sobre las muestras [16]. Se definió un intervalo de integración de 0,2 s y un *running step* (separación de tiempo entre integraciones subsecuentes) de 0,1 s. Se debe considerar que cambiar estos valores implica cambios en los valores de los parámetros a obtener.

Los siguientes parámetros pueden ser extraídos a partir de la ACF:

- $\Phi_{p(0)}$  [17] es la amplitud de la señal en el origen del delay.
- $W_{\Phi(0)}$  [17] es el ancho definido entre el origen y el punto de valor igual a 0.5 de la amplitud inicial.
- $\tau_1$  [17] es el tiempo de retardo del primer pico de la ACF.
- $\phi_1$  [17] es la amplitud del primer pico de la ACF.
- $\tau_c$  [17] es el retardo de tiempo en el cual la envolvente de la ACF normalizada cae -10 dB.

Las Figuras 1 y 2 representan una descripción gráfica de los parámetros mencionados.

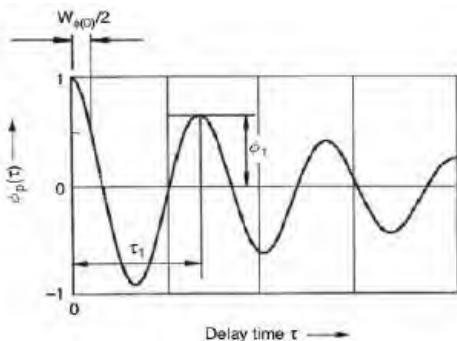


Figura 1: Descripción  $\Phi_{p(0)}$ ,  $\varphi_1$ ,  $\tau_1$  y  $W_{\varphi(0)}$  [17].  $\varphi_{p(\tau)}$  es la ACF en función de  $\tau$  (retardo o delay).

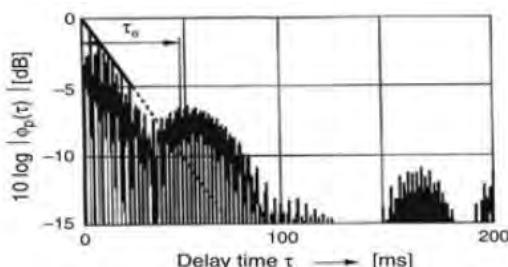


Figura 2: Descripción del  $\tau_e$  extraído de la envolvente de la ACF normalizada [17].

Para obtener un único valor representando a cada parámetro, se realizó un análisis estadístico. Los siguientes valores fueron obtenidos: desvío estándar de  $\Phi_{p(0)}$  (DesvEst  $\Phi_{p(0)}$ ), media y kurtosis de  $W_{\varphi(0)}$  (Media  $W_{\varphi(0)}$  and Kurt.  $W_{\varphi(0)}$ ), media y moda de  $\varphi_1$  (Media  $\varphi_1$  y Moda  $\varphi_1$ ), media y sesgo de  $\tau_1$  (Media  $\tau_1$  y Sesgo  $\tau_1$ ), y media y percentil 10% de  $\tau_e$  (Media  $\tau_e$  y Perc10  $\tau_e$ ). Los valores se expresan en la Tabla 2.

Tabla 2: Parámetros estadísticos obtenidos para cada muestra de música.

	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4	Audio 5
DesvEst $\Phi_{p(0)}$	1,77	6,86	2,04	1,85	2,74
Media $\varphi_1$	0,46	0,50	0,52	0,64	0,69
Moda $\varphi_1$	0,44	0,39	0,38	0,95	0,73
Media $\tau_1$	18,49	5,84	9,25	7,19	15,66
Sesgo $\tau_1$	-1,23	1,29	0,04	0,33	0,17
Media $\tau_e$	144,08	105,56	121,03	235,60	306,97
Perc10 $\tau_e$	294,70	166,80	279,80	499,60	637,00
Media $W_{\varphi(0)}$	2,02	0,46	1,91	1,15	0,99
Kurt. $W_{\varphi(0)}$	-0,42	3,60	-0,49	0,20	7,75

Diferentes análisis estadísticos se aplican a cada parámetro, tratando de encontrar un descriptor preciso para cada caso.

### 2.3. Definición de emociones

Se considera un enfoque dimensional de las emociones en términos de niveles de excitación y valencia en la respuesta. La Figura 3 muestra un plano representativo en el cual cuatro tipos de emociones pueden ser distinguidos de acuerdo al nivel de cada una de las dimensiones mencionadas.

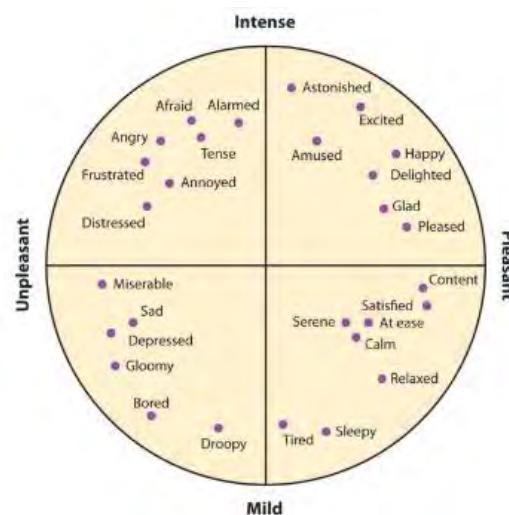


Figura 3: Plano de Excitación/Valencia con cuatro categorías de emociones [18].

Cuatro emociones fueron seleccionadas, representando los cuatro tipos de reacción de un sujeto frente al estímulo. De acuerdo a la clasificación de Flores y Díaz, las categorías de energía y cansancio pueden ser consideradas como equivalentes a felicidad y tristeza respectivamente. De esta forma, la definición de las emociones es más representativa en términos de respuesta a la música. Finalmente, las categorías de emociones quedan definidas como:

- Felicidad: Alta excitación y valencia positiva.
- Tristeza: Baja excitación y valencia negativa.
- Calma: Baja excitación y valencia positiva.
- Tensión: Alta excitación y Valencia negativa.

Debe observarse que felicidad y tristeza son emociones opuestas de acuerdo al tipo de respuesta al que se asocian. Lo mismo ocurre para tensión y calma.

### 2.4. Entorno del test

El test fue realizado en distintas aulas vacías en la Universidad Nacional de Tres de Febrero. El ruido de

fondo fue monitoreado y controlado para que no supere los 56 dBA.

Se utilizó una notebook con auriculares para reproducir las muestras y registrar las respuestas de los sujetos. El nivel de escucha fue ajustado para obtener un nivel aproximado de 76 dBA (nivel sonoro continuo equivalente).

## 2.5. Diseño del test

Se realizó un test de comparación de a pares con elección forzosa para cada una de las cuatro emociones definidas. La duración total del test estuvo por debajo de los 10 minutos.

Un programa de software fue desarrollado para reproducir las muestras en forma aleatoria, de a pares, y guardar las respuestas. Al comienzo del test, una breve explicación de la metodología fue presentada, acompañada por la definición de las emociones. Éstas fueron definidas de la siguiente manera:

- Calma: Sensación de tranquilidad ó paz.
- Felicidad: Sentimiento de satisfacción o encanto. Relativo al placer y alegría.
- Tristeza: Opuesto a felicidad, expresión de pena.
- Tensión: Estresamiento, nerviosismo, suspense.

## 3. RESULTADOS

El test fue realizado por 33 sujetos. Las respuestas con baja consistencia [19] fueron descartadas y se obtuvieron 27 respuestas para felicidad, 26 para tristeza y 23 para calma y tensión. El acuerdo fue significativo [19] por lo que los sujetos no respondieron aleatoriamente. Todos los oyentes reportaron que las muestras no les resultaron familiares. De esta forma, se descartó la familiaridad con la música como un factor que influya en las respuestas.

### 3.1. Valores de Escala

Se obtuvieron Valores de Escala (VE) para cada una de las cuatro emociones (Figura 4) y se los confirmó mediante un análisis de bondad de ajuste.

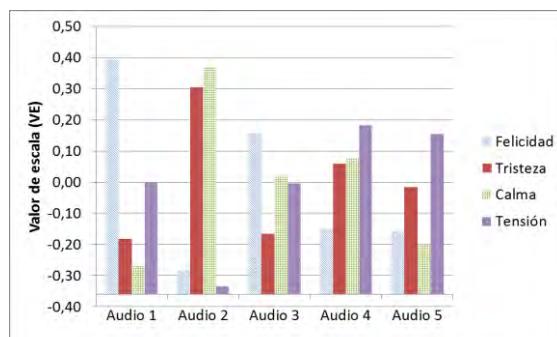


Figura 4: VE para las muestras de audio organizados por emoción.

Las muestras 1 y 2 mostraron una relación más clara con emociones específicas. La muestra 1 fue asociada con felicidad y la muestra 2 fue asociada con calma y tristeza. La muestra 5 fue asociada con tensión. Hubo mayor dificultad para relacionar las muestras 3 y 4 con una emoción.

### 3.2. Análisis de la correlación

Luego de obtener los VE, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre cada parámetro acústico y el VE obtenido para cada emoción. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Correlación entre parámetros y emociones. \*: p <0,05

	Felicidad	Tristeza	Calma	Tensión
DesvEst	-0,628	0,868	0,776	-0,868
$\Phi_{p(0)}$	-0,567	0,117	-0,157	0,676
Media $\varphi_1$	-0,406	0,107	-0,144	0,743
Moda $\varphi_1$	0,645	-0,671	<b>-0,931*</b>	0,384
Media $\tau_1$	-0,329	-0,074	-0,46	0,772
Sesgo $\tau_1$	<b>-0,913*</b>	0,872	<b>0,88*</b>	-0,467
Perc10 $\tau_e$	-0,234	-0,198	-0,52	0,852
Media $W_{\Phi(0)}$	<b>0,95*</b>	<b>-0,946*</b>	-0,668	0,384
Kurt, $W_{\varphi(0)}$	-0,62	0,398	-0,027	0,004

Todos los parámetros pudieron ser correlacionados con al menos una emoción. El DesvEst  $\Phi_{p(0)}$  se correlacionó positivamente con tristeza ( $r = 0,868$ ) y negativamente con tensión ( $r = -0,868$ ). El valor de Moda  $\varphi_1$  se correlacionó positivamente con tensión ( $r = 0,743$ ). El valor de Media  $\tau_1$  se correlacionó negativamente con calma ( $r = -0,931$ ). El sesgo de  $\tau_1$  se correlacionó negativamente con felicidad ( $r = -0,913$ ) y positivamente con tristeza ( $r = 0,872$ ) y calma ( $r = 0,88$ ). El percentil 10% de  $\tau_e$  se correlacionó positivamente con tensión ( $r = 0,852$ ). La media de  $W_{\Phi(0)}$  se correlacionó positivamente con felicidad ( $r = 0,95$ ) y negativamente con tristeza ( $r = -0,946$ ).

### 3.3. Correlación con diferentes ajustes de r-ACF

Tal como fue explicado en el procedimiento, el intervalo de integración y el *running step* de la ACF pueden afectar el valor de los parámetros acústicos y, por lo tanto, los resultados. Con el fin de observar los efectos de estos cambios en los resultados, se obtuvieron los parámetros para diferentes ajustes de

la r-ACF. Se obtuvieron los parámetros acústicos para los siguientes ajustes de la r-ACF:

- Corto: Intervalo de integración de 100 ms y *running step* de 50 ms.
- Medio: Intervalo de integración de 200 ms y *running step* de 100 ms.
- Medio-largo: Intervalo de integración de 500 ms y *running step* de 250 ms.
- Largo: Intervalo de integración de 1000 ms y *running step* de 500 ms.

Los ajustes ‘medios’ fueron los utilizados en el procedimiento para obtener los parámetros acústicos. Los ajustes ‘corto’, ‘medio-largo’ y ‘largo’ fueron añadidos para comparar con los resultados del caso previo. Para los cuatro ajustes, se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson para parámetros que mostraron correlaciones significativas en los resultados. Éstos fueron Media  $\tau_1$ , Sesgo  $\tau_1$  y Media  $W_{\phi(0)}$ . Las Tablas 4 (a, b, c, d) muestran los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos para felicidad, tristeza, calma y tensión respectivamente.

Tabla 4 (a): Coeficientes de correlación de Pearson entre VE de felicidad y Media  $\tau_1$ , Sesgo  $\tau_1$ , y Media  $W_{\phi(0)}$  para diferentes ajustes de r-ACF.

\*: p <0.05

Ajustes r-ACF	Media $\tau_1$	Sesgo $\tau_1$	Media $W_{\phi(0)}$
Corto	0,817	<b>-0,978*</b>	<b>0,963*</b>
Medio	0,645	<b>-0,913*</b>	<b>0,95*</b>
Medio-largo	<b>0,922*</b>	-0,733	<b>0,906*</b>
Largo	<b>0,892*</b>	-0,795	<b>0,921*</b>
DesvEst	0,124	0,111	0,026

Tabla 4 (b): Coeficientes de correlación de Pearson entre VE de tristeza y Media  $\tau_1$ , Sesgo  $\tau_1$ , y Media  $W_{\phi(0)}$  para diferentes ajustes de r-ACF.

\*: p <0.05

Ajustes r-ACF	Media $\tau_1$	Sesgo $\tau_1$	Media $W_{\phi(0)}$
Corto	-0,788	<b>0,906*</b>	<b>-0,959*</b>
Medio	-0,671	0,872	<b>-0,946*</b>
Medio-largo	-0,816	<b>0,884*</b>	<b>-0,979*</b>
Largo	-0,867	0,61	<b>-0,981*</b>
DesvEst	0,083	0,139	0,017

Tabla 4 (c): Coeficientes de correlación de Pearson entre VE de calma y Media  $\tau_1$ , Sesgo  $\tau_1$ , y Media  $W_{\phi(0)}$  para diferentes ajustes de r-ACF.

\*: p <0.05

Ajustes r-ACF	Media $\tau_1$	Sesgo $\tau_1$	Media $W_{\phi(0)}$
Corto	<b>-0,902*</b>	0,633	-0,8
Medio	<b>-0,931*</b>	<b>0,88*</b>	-0,668
Medio-largo	-0,775	<b>0,993*</b>	-0,708
Largo	-0,8	0,365	-0,726
DesvEst	0,076	0,279	0,055

Tabla 4 (d): Coeficientes de correlación de Pearson entre VE de tensión y Media  $\tau_1$ , Sesgo  $\tau_1$ , y Media  $W_{\phi(0)}$  para diferentes ajustes de r-ACF.

Ajustes r-ACF	Media $\tau_1$	Sesgo $\tau_1$	Media $W_{\phi(0)}$
Corto	0,296	-0,29	0,433
Medio	0,384	-0,467	0,384
Medio-largo	0,413	-0,675	0,45
Largo	0,547	-0,263	0,431
DesvEst	0,104	0,19	0,028

Las tendencias se mantienen para los diferentes ajustes de r-ACF. Los valores de Media  $\tau_1$  mostraron una correlación positiva con felicidad para los ajustes ‘medio-largo’ y ‘largo’ y con calma para los ajustes ‘corto’ y ‘medio’. Los valores de Media  $W_{\phi(0)}$  tuvieron correlaciones significativas con felicidad y tristeza para todos los ajustes de r-ACF. Los valores de Sesgo  $\tau_1$  mostraron correlaciones significativas con felicidad para los ajustes ‘corto’ y ‘medio’, con tristeza en los casos ‘corto’ y ‘medio-largo’ y con calma para ‘medio’ y ‘medio-largo’.

El desvío estándar de los coeficientes de correlación estuvo debajo de 0.14 para todos los casos, excepto para Sesgo  $\tau_1$  con calma (DesvEst = 0,279) y Sesgo  $\tau_1$  con tensión (DesvEst = 0,19).

#### 4. DISCUSIÓN

Las correlaciones más significativas ( $p < 0.05$ ) fueron obtenidas para los casos de Media  $\tau_1$  con calma, Sesgo  $\tau_1$  con felicidad y calma y Media  $W_{\phi(0)}$  con felicidad y tristeza.

A partir de esto, se puede observar que valores bajos de media de  $\tau_1$  fueron asociados con calma. Valores altos de la media de  $W_{\phi(0)}$  fueron asociados con felicidad, y los valores más bajos fueron asociados con tristeza.

Se obtuvo un nivel de significancia menor para el resto de combinaciones de emociones con parámetros. Sin embargo, hubo cierto nivel de correlación en algunos casos. Esto se puede asociar al número de sujetos, tal vez insuficiente para obtener tendencias claras y diferencias en los VE. Además, debe ser considerada la preferencia musical de los oyentes como un posible factor de influencia en las

diferencias entre sujetos. Realizar un test sobre una población mayor puede ser una solución.

El resultado de esta investigación se compara con el trabajo previo de Sabater, el cual usó la misma definición de emociones (excepto por tensión, se usó miedo para expresar la misma categoría). La Tabla 5 muestra la cantidad de correlación de ambas investigaciones para los parámetros en común, los cuales fueron: DesvEst  $\Phi_{p(0)}$  y Media  $\tau_1$ .

Tabla 5: Correlaciones para Sabater [14] y el trabajo presente.

		Felicidad	Tristeza	Calma	Tensión
DesvE st	Sabater [14]	0,77	0,28	0,97	0,85
$\Phi_{p(0)}$ [dB]	Presente	-0,628	0,868	0,776	-0,868
Media $\tau_1$ [ms]	Sabater [14]	-0,95	-0,22	-0,88	-0,97
	Presente	0,645	-0,671	-0,931	0,384

La comparación con el trabajo previo mostró similitudes solo para calma con DesvEst  $\Phi_{p(0)}$ , y con Media  $\tau_1$ . En el caso de felicidad y tensión los resultados tienen tendencias opuestas. Si recordamos que felicidad-tristeza y calma-tensión son pares opuestos de emociones, se esperaría que estos pares tengan correlaciones opuestas. Esta tendencia es la que se puede verificar en el presente trabajo.

La media de  $\tau_1$  es el valor medio del primer pico de la ACF, asociado con la percepción de la tonalidad. Teniendo en cuenta que un incremento de  $\tau_1$  (dominio temporal) es un decremento en la tonalidad (dominio frecuencial), tonalidades más altas son asociadas con la emoción de calma.

El sesgo de  $\tau_1$  da información acerca de la densidad probabilística de una distribución. Un sesgo positivo tiene mayor densidad debajo del valor de la media, y uno negativo tiene mayor densidad por encima de la media. La calma fue asociada positivamente con el sesgo de  $\tau_1$ , lo que implica que una mayor distribución de valores debajo de la media se relacionan con esta emoción. En términos de tonalidad percibida, la relación se invierte así que una distribución de tonalidades por encima del valor medio se asocia con calma.

Además, el sesgo de  $\tau_1$  se correlacionó negativamente con felicidad. Esto implica que la distribución de tonalidades debajo de la media fue asociada con felicidad.

Se puede obtener más información acerca del sesgo analizando la correlación con tristeza, positiva como en el caso de calma. Esto indica que bajos niveles de excitación (asociados a calma y tristeza) tienen relación con la distribución de  $\tau_1$ . Entonces, bajos niveles de respuesta fisiológica corresponden a una distribución de tonalidad por encima del valor medio.

El valor de la media de  $W_{\phi(0)}$  se correlacionó positivamente con felicidad y negativamente con tristeza.  $W_{\phi(0)}$  se asocia con el timbre, por lo que mayor presencia de frecuencias altas puede ser asociada con bajos valores de  $W_{\phi(0)}$  y viceversa. Por lo tanto, se puede asociar la emoción de felicidad con el timbre de menor contenido de alta frecuencia. En el caso de tristeza, ésta está asociada a timbres de mayor contenido de alta frecuencia.

Los resultados para diferentes ajustes de r-ACF mostraron que las correlaciones se mantienen para diferentes intervalos de integración y *running steps*.

## 5. CONCLUSIONES

A pesar de que hay parámetros que necesitan una mayor investigación, la información obtenida a partir de la ACF fue útil para encontrar variables envueltas en la respuesta emocional a la música.

En el caso de  $W_{\phi(0)}$ , se encontró una evidencia sobre la influencia del timbre sobre las emociones de felicidad y tristeza. Esta influencia fue observable para los distintos ajustes aplicados a la r-ACF.

La media y el sesgo de  $\tau_1$  mostraron influencia de la tonalidad de la música en la respuesta emocional de felicidad, tristeza y calma. En estos casos, los resultados no fueron suficientemente significativos para algunos ajustes de la r-ACF.

## 6. TRABAJOS FUTUROS

Para mostrar una mayor diferencia en los VE y las correlaciones se puede realizar un test con muestras que presenten mayores diferencias en sus parámetros acústicos.

Algunos parámetros propuestos en este trabajo no obtuvieron una correlación significativa con alguna emoción. Éstos todavía pueden brindar información acerca de la relación entre las emociones y la música. Además, otros parámetros pueden obtenerse a partir del análisis estadístico. La correlación entre los parámetros derivados de la ACF y características de la música, como el tempo, pueden ser usadas para caracterizar la influencia de éstos parámetros en la respuesta emocional.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Yang,Y., Chen H.,Machine Recognition of Music Emotion: A Review,ACM Trans. Intell.Syst. Technol., 3 (2012).
- [2] Peretz, I., Coltheart, M.,Modularity of music processing,Nature Neuroscience 6, 688 - 691 (2003).
- [3] Koelsch, S., Towards a neural basis of music-evoked emotions,Trends in Cognitive Sciences, 14, 131-137 (2010).
- [4] Thayer R. E., The Biopsychology of Mood and Arousal, Oxford University Press, New York (1989).
- [5] Ando, Y., A theory of primary sensations and spatial sensations measuring environmental noise, Journal of Sound and Vibration, 241, 19-27 (2001).

- [6] Ando, Y., Hanada, K., Kawai, K., A study on the Timbre of an Electric Guitar Sound with Distortion, *Journal of South China University of Technology*, 1, 96-99 (2007).
- [7] Ando, Y., Kaieda, S., Yano, T., Kawai, K., A study on measures of timbre of electric guitar sounds in terms of power spectrum and auto correlation function, *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*, 9, 43-46 (2009).
- [8] Ando Y., Sumioka T., On the pitch identification of complex tones by the autocorrelation function (ACF) model, *J. Acoust. Soc. Am.*, 100, 2720 (2016).
- [9] Ando Y. et al., On loudness and pitch of “complex noise” in relation to the factors extracted from the autocorrelation function, *J. Acoust. Soc. Am.*, 106, 2266 (1999).
- [10] Bidondo, A., Sato, S., Kinigsberg, E., Arouxet, M., Sabater, A., Arias, A., Saavedra, A., Groisman, A., Speaker recognition analysis using running autocorrelation function parameters. *J. Acoust. Soc. Am.*, 133, 3293 (2013).
- [11] Kato, K., Fujii, K., Kawai, K., Yano, T., Blending vocal music with a given sound field due to the characteristics of the running autocorrelation function of singing voices, *J. Acoust. Soc. Am.*, 115, 2437-2437 (2001).
- [12] Bigand E., Vieillard, S., Madurell, F., Marozeau, J., Dacquet, A., Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effect of musical expertise and of the duration of the excerpts, *Cognition and Emotion*, 19, 1113-1139 (2005).
- [13] Flores-Gutiérrez, E., Díaz, J. L, La respuesta emocional a la música: atribución de términos de la emoción a segmentos musicales, *Salud Mental*, 31, 21-34 (2009).
- [14] Sabater, A., Estudio de la relación entre las emociones generadas por la música y parámetros de la función de autocorrelación continua, XIII Congreso Argentino de Acústica (2015).
- [15] Zanardi, E., Dimensional approach of musical emotion recognition in relation to the running autocorrelation parameters, 22nd International Congress on Acoustics (2016).
- [16] Sato S., MATLAB Program for Calculating the Parameters of the Autocorrelation and Interaural Cross-Correlation Functions Based on Ando's Auditory-Brain Model, *Audio Engineering Society 137th Convention*, October (2014).
- [17] Y. Ando, Auditory and Visual Sensations, Ed. P. Cariani, Springer, New York (2009).
- [18] Russell, J. A., A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 1161–1178 (1980).
- [19] Kendall, M. G., Smith, B. B., On the method of paired comparisons, *Biometrika* 31, 324–345 (1940).

## Ruido acústico y acústica ambiental

---

# **Diseño de una metodología para medir y caracterizar un vehículo de transporte urbano perteneciente a la Región Metropolitana de Buenos Aires dentro de un mapa de ruido**

Esteban Lombera – Ing. Nicolás Urquiza – Dr. Cesar Asensio – Leonardo Funes – German García – Agustín Espindola – Manuel Guevara - AMERICA S.A.C.I.

[estebanlomberasonido@gmail.com](mailto:estebanlomberasonido@gmail.com)

[nurquiza@untref.edu.ar](mailto:nurquiza@untref.edu.ar)

[casensio@i2a2.upm.es](mailto:casensio@i2a2.upm.es)

---

# Introducción

- Problemáticas generadas en la vida humana respecto a los niveles sonoros (*W. Passchier 2000*)
- En términos de ruido ambiental, el ruido por tráfico rodado predomina en gran parte dentro todas las grandes ciudades (*Agency European Environment, Transport and public health* )
- Entes reguladores comienzan a controlar y prevenir todo tipo de contaminación acústica que puedan tener efectos nocivos en la salud humana. (*Dir.2002/49/EC*)



# Estado del arte

Mapas de ruido: son representaciones cartográficas en un tiempo determinado, de una zona concreta, según sus niveles de presión sonora existentes.



Para diseñar modelos predictivos en base al aporte del tránsito rodado se debe tener en cuenta al menos dos métodos de cálculo semiempíricos: el modelo de fuente y el de propagación

$$L_p = L_w + D_c - A$$

Modelo de propagación:

- Presión atmosférica
- Humedad
- Temperatura
- Distancia
- Velocidad del aire

# Objetivo general

Presentar el diseño de un método de medición capaz de obtener la **potencia acústica y la directividad** de un colectivo urbano con el fin de insertar al mismo dentro de un **modelo de predicción** para tránsito rodado a modo de interpretar mediante un mapa de ruido la emisión de los niveles de presión sonora en todo su recorrido

# Estudios previos

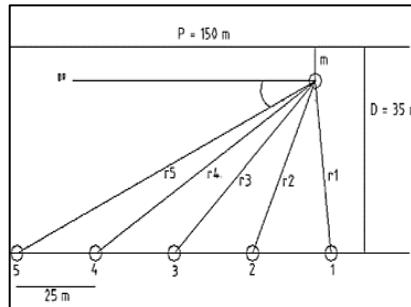
Los avances tecnológicos en la industria automotriz y la renovación del parque automotor conllevan a que se deba llevar a cabo una revisión frecuente de los modelos de simulación acústica

El aumento en las exigencias ante la prevención de contaminación acústica ha generado diversos trabajos de investigación que dejan en evidencia el retraso respecto a los modelos predictivos para tránsito rodado.

M. W. Frost 2007



C. Asensio 2007



J. Hammer 2014



H. Campello 2014



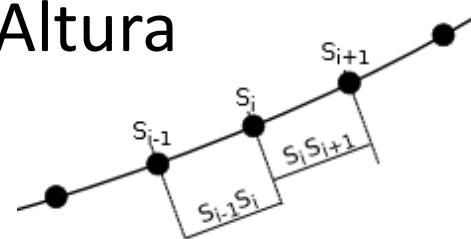
# Procedimiento

## NMPB-Routes-96

El Modelo Francés de predicción de ruido de tránsito rodado, (ROUTES – NMPB) ha sido desarrollado por diferentes institutos franceses en base a la “Guide du Bruit” de 1980

$$L_p = L_w + D_c - A$$

0,5 m de Altura



$$L_{Aw/i} = L_{Aw/m} + 10 \log_{10} l_i$$

$$L_{Aw/m} = 10 \log_{10} [(E_{vl} + 10 \log_{10} Q_{vl}) \oplus (E_{vp} + 10 \log_{10} Q_{vp})]$$

Evl : Es el nivel de emisión de ruido por hora para vehículos ligeros a una velocidad v.

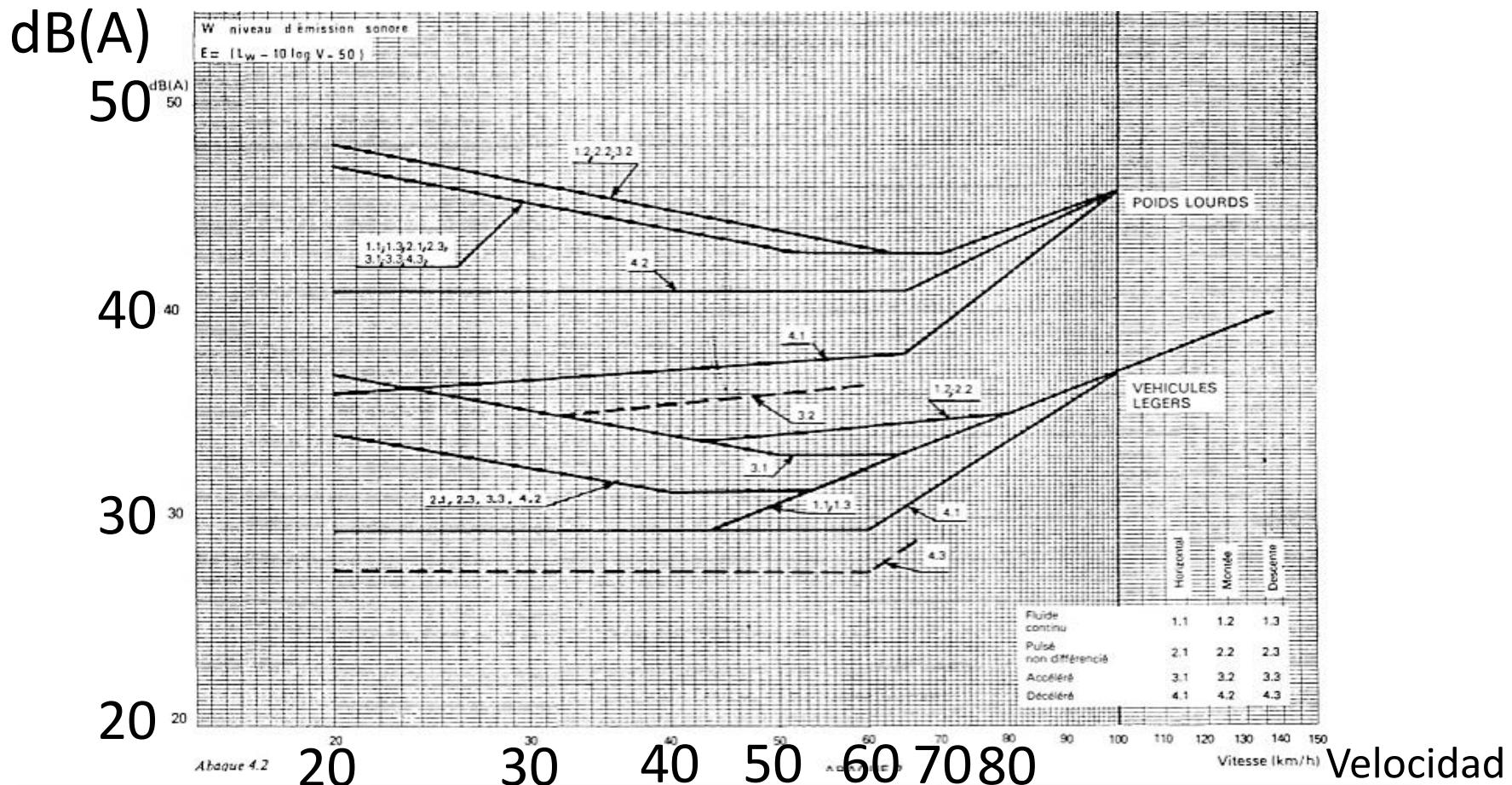
Evp : Es el nivel de emisión de ruido por hora para vehículos pesados a una velocidad v.

Qvl : Es el flujo de vehículos ligeros por hora a una velocidad v.

Qvp : Es el flujo de vehículos pesados por hora a una velocidad v.

# Procedimiento

- Nivel de emisión sonora:  $E_v = L_{eq(1\text{hora})} = L_w - 10 \log_{10} V - 50$



## APLICAR INGENIERIA INVERSA



# Método de medición

## Medición del nivel de presión sonora

- Conociendo los datos atmosféricos
  - Distancias
  - En un entorno controlado
- } ISO 9613  
Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors

Obtengo la Potencia Acústica

¿Como obtener la directividad?

# Método de medición

Directividad.

Empresa de Transporte América S.A.C.I dueña de la línea 105

Modelo	Servicio	Nº de asientos	Modelo	Cantidad
PUMA T.A.T.	Común	35	2008	9
PUMA T.A.T.	Común	35	2009	1
PUMA T.A.T.	Común	32	2009	1
PUMA T.A.T.	Común	32	2010	16
PUMA T.A.T.	Común	35	2012	7
Mercedes Benz ITALBUS	Común	25	2013	2
Mercedes Benz UGARTE	Común	23	2014	5
Mercedes Benz UGARTE	Común	23	2015	9
Mercedes Benz UGARTE	Común	23	2016	3
Mercedes Benz UGARTE 1621	Común	23	2016	2

# Método de medición

Directividad.



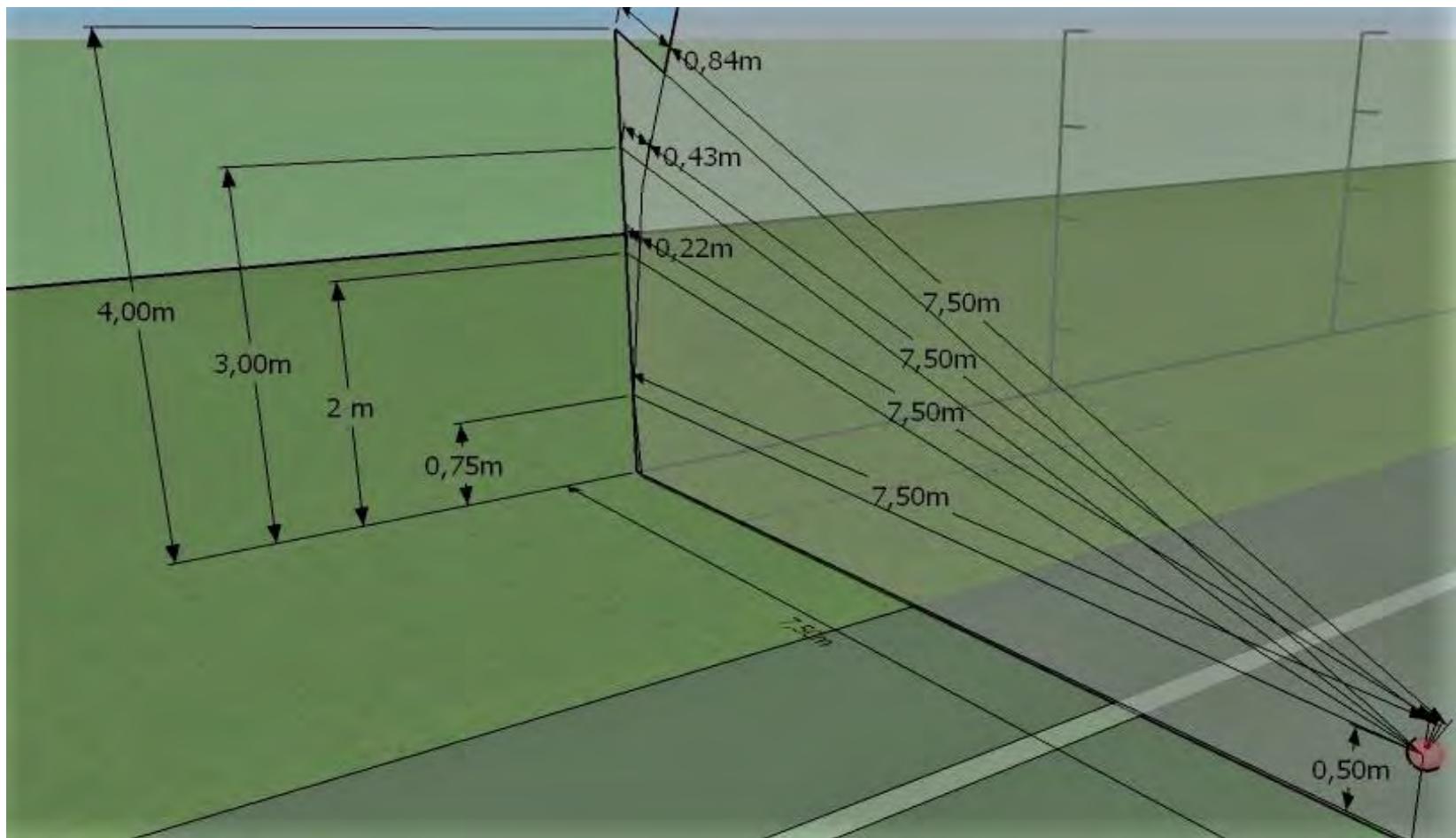
Fuentes de ruido:

- Toma de aire del motor
- Ruido generado por el aire acondicionado
- La salida del caño de escape
- Ruido de rodadura
- Ruido aerodinámico

# Método de medición

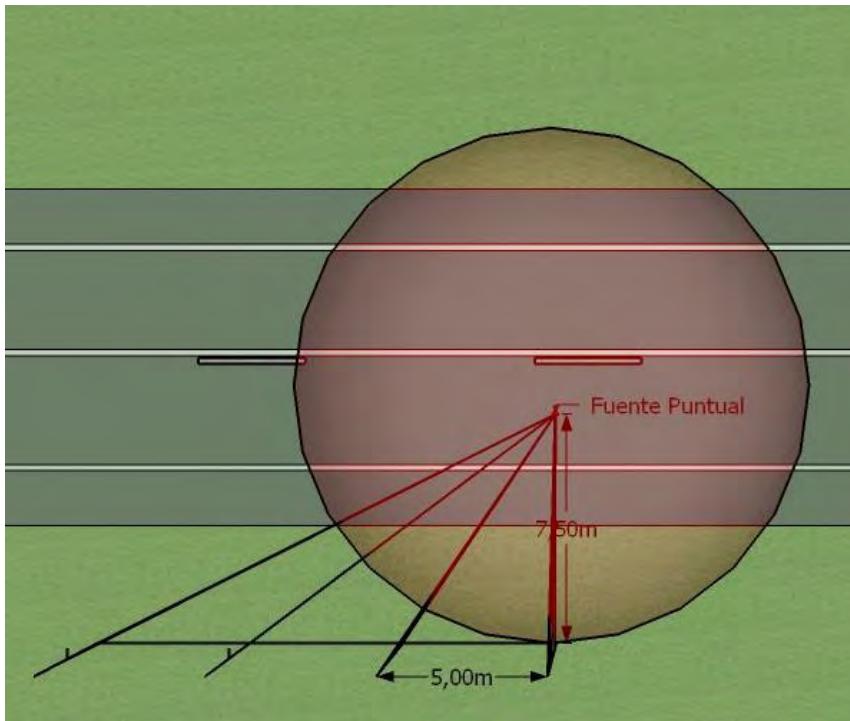
Directividad

Ángulos:  $0^\circ$ ,  $14^\circ$ ,  $20^\circ$  y  $50^\circ$



# Método de medición

## Directividad

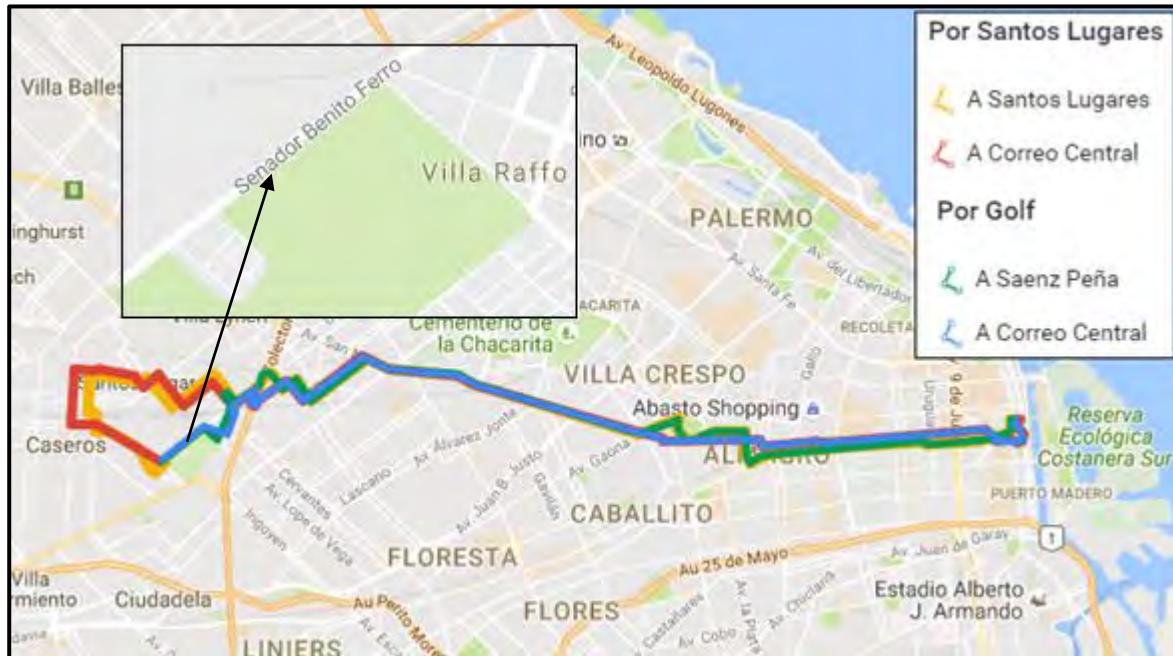


Ángulos: Rango de  $120^\circ$  por lado

Las velocidades de cada vehículo se obtuvieron dividiendo la distancia entre las dos torres más alejadas (15 m) y el tiempo entre el pico máximo del pasaje del colectivo en la torre inicial con el pico máximo de la torre final

## Equipo y entorno de medición

- Se utilizaron 16 micrófonos apareados Earthworks
- Interfaz de Audio digital RME Fireface UFX



Calle Senador Benito, Buenos Aires

# Método de medición



# Método de medición

$$E_{v105} + 10 \log_{10} Q_{v105}$$

$$L_{Aw/m} = 10 \log_{10} \left[ 10^{(E_{vl} + 10 \log_{10} Q_{vl})} + 10^{(E_{vp} + 10 \log_{10} Q_{vp})} - 10^{(E_{v105} + 10 \log_{10} Q_{v105})} \right]$$

$$L_{awi} = L_{Aw/m} + 10 \log_{10} l_i$$

$$L_p = L_w + D_c - A$$

**Vibraciones, ultrasonido, emisiones acústicas  
y ensayos no destructivos**

---

# TÉCNICAS DE ULTRASONIDO APLICADAS A LA DETERMINACIÓN DE HIDRUROS EN ALEACIONES BASE CIRCONIO

DIEGO COWES<sup>1</sup>, IGNACIO MIEZA<sup>1,2,3</sup> y MARTÍN PEDRO GÓMEZ<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Sábato, CNEA, Universidad Nacional de San Martín, Argentina.

<sup>2</sup> División Hidrógeno en Materiales, CNEA, Argentina.

<sup>3</sup> Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero.

<sup>4</sup> Proyecto ICES, GDTyPE, CNEA, Argentina.

diegocowes@cnea.gov.ar

*Resumen – Las aleaciones base Zr son ampliamente utilizadas en la industria nuclear gracias a su baja sección de captura neutrónica, sus buenas propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión. Sin embargo, durante el servicio de los reactores se incorpora hidrógeno (deuterio), parte del cual puede formar hidruros de Zr, una fase frágil, que puede comprometer la integridad física o las propiedades mecánicas de los componentes. Por tal motivo, la necesidad de conocer o estimar la cantidad de hidrógeno dentro de los materiales a lo largo de su vida en servicio es de suma importancia. Las técnicas no destructivas como el ultrasonido o la emisión acústica han demostrado ser útiles para la detección temprana de hidruros en aleaciones de Zr en laboratorio pero no han sido exploradas tan profundamente. En este trabajo se implementa el método pulso-eco ultrasónico para determinar la correlación entre la concentración de hidruros y la velocidad de fase y la atenuación de ondas longitudinales a partir de la medición de tiempo de vuelo en piezas de Zircaloy 4. Se presentan los resultados obtenidos de las mediciones.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos no destructivos (END) son utilizados para determinar el estado y la aptitud de un componente tanto durante su fabricación como en servicio. Entre las técnicas de END están el ultrasonido, corrientes inducidas, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, radiografía industrial, inspección visual, entre otras. Las técnicas de ultrasonido son utilizadas cuando se desea conocer defectos internos ya que tienen buena penetración y permiten hacer estudios en volumen. Usualmente se busca detectar defectos que presenten discontinuidades en el material como pueden ser fisuras, poros, o defectos en general. El cambio de impedancia que estos producen causa la reflexión de la onda ultrasónica que luego es recuperada para estimar la forma, el tamaño y ubicación del mismo. Otra forma de evaluar la aptitud de un componente puede ser a través de la medición de alguna de las propiedades intrínsecas del material cuyo cambio puede ser indicador de daño. Algunas de las propiedades que se han podido correlacionar con parámetros de ultrasonido, en particular en metales,

son tamaño de grano, cantidad de inclusiones, módulo elástico, tensión de fluencia, resistencia máxima, textura, etc. Estos permiten relevar el daño producido por los distintos mecanismos de degradación como puede ser fatiga, termofluencia, corrosión, daño por hidrógeno, etc.

Las aleaciones base Zr son ampliamente utilizadas en la industria nuclear gracias a su baja sección de captura neutrónica, sus buenas propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión. Sin embargo, durante el servicio de los reactores se incorpora hidrógeno (deuterio), parte del cual puede formar hidruros de Zr, una fase frágil, que puede comprometer la integridad física o las propiedades mecánicas de los componentes [1]. Por tal motivo, la necesidad de conocer o estimar la cantidad de hidrógeno dentro de los materiales a lo largo de su vida en servicio es de suma importancia. Las técnicas no destructivas como el ultrasonido o la emisión acústica han demostrado ser útiles para la detección temprana de hidruros en aleaciones de Zr en laboratorio [2], pero no han sido exploradas tan profundamente. En este trabajo se implementó el

método pulso-eco ultrasónico para determinar la correlación de la concentración de hidruros con la velocidad de fase y la atenuación de ondas longitudinales a partir de la medición de tiempo de vuelo en piezas de Zircaloy 4 (Zry 4).

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS

Los parámetros ultrasónicos utilizados en el presente trabajo son velocidad de fase y atenuación.

### 2.1 Velocidad de fase

Siguiendo la formulación más sencilla de la teoría de ondas elásticas [3] en un medio sólido, isótropo e infinito se considera la propagación de una onda plana monocromática en la dirección  $z$ , de acuerdo a la ecuación 1.

$$A(z, t) = A_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - kz)} \quad (1)$$

en donde:

$A_0$ : amplitud inicial

$\omega$ : frecuencia angular [rad/seg]

$\alpha$ : coeficiente de atenuación [dB/m]

$t$ : tiempo [s]

$k$ : número de onda [rad/m]

$z$ : posición [m]

La velocidad de fase  $c$  se define como el cociente entre la longitud de onda  $\lambda$  y el periodo de la onda  $T$ , o como el cociente  $\omega/k$ . Dicha velocidad será constante para cualquier frecuencia  $\omega$ , siempre y cuando  $k$  sea independiente de la frecuencia. De otra forma el material se lo denomina dispersivo y  $c$  dependerá de la frecuencia. En ese caso se define a la velocidad de grupo  $\partial\omega/\partial k$ , siendo aquella que representa la velocidad a la que se desplaza el paquete de ondas sin tener en cuenta la fase.

La velocidad del sonido para ondas longitudinales en sólidos isotrópicos e infinitos se puede aproximar por la ecuación 2.

$$c_l \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

en donde:

$E$ : módulo de Young [N/m<sup>2</sup>]

$c_l$ =velocidad de fase de ondas longitudinales [m/s]

$\rho$ =densidad [kg/m<sup>3</sup>]

La medición experimental de velocidad del sonido se obtiene a partir del cociente entre la distancia recorrida y el tiempo de vuelo de la onda emitida en el material.

En el caso bajo estudio, la velocidad de fase debería verse modificada ante la presencia de hidruros en el material. Cuando el hidrógeno precipita en forma de hidruro de Zr, las estructuras cristalográficas más probables son las de tipo  $\delta$  y  $\gamma$ , que presentan una menor densidad que la matriz de Zry y un mayor módulo de Young. Por esta razón se espera que en la medida en que crezca la cantidad de hidruros en el material, aumente a su vez la velocidad de fase de ondas longitudinales.

### 2.2 Atenuación

La atenuación se refiere a la pérdida de energía en la medida en que la onda recorre el material y se debe a dos fenómenos diferentes, absorción y dispersión (*scattering*). La primera es resultado de mecanismos como amortiguamiento por dislocaciones, pérdidas por histéresis, efectos termo-elásticos, entre otros [4], y presenta un crecimiento lineal con la frecuencia. La segunda se debe a la interacción de la onda con centros dispersores como pueden ser inclusiones, segundas fases, bordes de grano, etc. De acuerdo a la relación entre la longitud de onda y el tamaño del dispersor existen tres rangos distintos de atenuación descritos por las ecuaciones 3 a 5.

$$\text{Dispersión de Rayleigh } \lambda \gg \bar{D} \quad \alpha_r = Vf^4S \quad (3)$$

$$\text{Dispersión Estocástica } \lambda \approx \bar{D} \quad \alpha_s = \bar{D}f^2\Sigma \quad (4)$$

$$\text{Dispersión Difusiva } \lambda < \bar{D} \quad \alpha_d \propto \frac{1}{\bar{D}} \quad (5)$$

en donde:

$\lambda$ =longitud de onda [m]

$\alpha_r$ =coeficiente de atenuación de Rayleigh [dB/cm]

$\alpha_s$ =coeficiente de atenuación Estocástica [dB/cm]

$\alpha_d$ =coeficiente de atenuación Difusiva [dB/cm]

$\bar{D}$ =tamaño de grano medio [cm]

$V$ =volumen de grano medio [cm<sup>3</sup>]

$\Sigma$ =constante del material

Dado que los hidruros presentan cambios de impedancia y poseen formas irregulares, pueden ser considerados como dispersores. Es así que se espera en la medida en que crezca la cantidad de hidruros en el material, aumente a su vez la atenuación de ondas longitudinales.

### 3. MÉTODOLOGÍA

#### 3.1. Pulso eco

Para medir la velocidad y la atenuación del material se implementó la técnica de pulso-eco que consiste en colocar un transductor piezoelectrónico sobre el material que introduce una perturbación la cual se propaga en forma de onda. Esta onda viaja hasta la cara opuesta de la pieza (caras planas) donde se refleja y vuelve hacia el transductor que lo transforma en señal eléctrica. A partir de la diferencia de tiempo que hay entre dos ecos sucesivos (tiempo de vuelo o ToF) y a partir del espesor de la muestra estudiada se determina la velocidad en el medio de acuerdo a la ecuación 6. En la Figura 1 se muestra la disposición del transductor y la probeta a medir.

$$c = \frac{2d}{ToF} \quad (6)$$

c: velocidad de fase [m/s]

d: espesor [m]

ToF: tiempo de vuelo [s]



Figura 1: Disposición de elementos en la medición por pulso-eco.

Antiguamente, el tiempo exacto entre dos ecos sucesivos se determinaba modificando el tiempo de disparo de un osciloscopio hasta encontrar la superposición exacta de los sucesivos ecos en la pantalla del osciloscopio (Pulse Echo Overlap Method) [5]. Sin embargo, la forma de onda de cada eco se distorsiona por distintos fenómenos en su recorrido por lo que no resulta sencillo determinar visualmente cuál es el ciclo correcto de solapamiento. Actualmente, se puede digitalizar la señal para poder procesarla con herramientas más robustas. Una de ellas es la correlación cruzada discreta, descrita en la ecuación 7. Siempre que los sucesivos ecos no tengan formas muy diferentes, el máximo de dicho operador permite determinar el ToF de la señal en el material.

$$c_{12}[n] = \sum_{k=0}^{N-1} x_1[k]x_2[k-n] \quad (7)$$

en donde,

$c_{12}[n]$ : correlación cruzada entre  $x_1$  y  $x_2$

N: número de muestras

Por otro lado, el coeficiente de atenuación se puede encontrar a través del ajuste de una función de tipo exponencial a la envolvente (señal de video) de los sucesivos ecos como se muestra en la figura 2. La señal de video se obtiene a partir del rectificado y filtrado de la señal completa o RF.

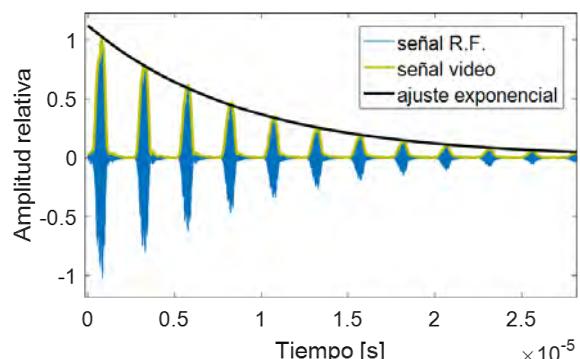


Figura 2: Ajuste exponencial para la determinación del coeficiente de atenuación.

#### 3.2 Fuentes de Error

Como en toda medición experimental existen fuentes de error que deben considerarse para poder informar la precisión del método y eventualmente minimizar el efecto. Las principales fuentes que afectan las mediciones en la técnica de pulso-eco [4] son el paralelismo de las superficies de las muestras, el acabado superficial de las muestras, la difracción producida en el campo ultrasónico por generar los pulsos desde una superficie finita (disco piezoelectrónico), ancho del pulso emitido, la anisotropía propia de las muestras bajo estudio y los errores instrumentales en este caso un micrómetro para medir espesores de muestras y el osciloscopio que digitaliza los pulsos.

Cada uno de estos errores tiene un peso relativo distinto en los valores informados de velocidad y atenuación. Todos estos factores fueron considerados a la hora de las mediciones aunque no se detallan aquí por cuestiones de espacio.

#### 3.3 Mediciones

Se utilizaron 10 probetas de Zry4 de 5,7 mm de espesor preparadas en [1], con 10 diferentes contenidos de hidrógeno agregado desde 0 hasta 516.7 p.p.m. en peso. Mediciones de difracción de rayos X

indicaron que la morfología de los hidruros presentes sólo es de tipo  $\delta$ . Se realizaron mediciones de ultrasonido para las frecuencias de 10 y 30 MHz con un cristal de cuarzo de 12,7 mm de diámetro, un generador y amplificador de pulsos MATEK 7700 y un osciloscopio PICOSCOPE 4227. El procesamiento de las señales se realizó en MATLAB.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados de la medición de velocidad se presentan en la tabla 1 y la figura 3. Los resultados de atenuación se muestran en la tabla 2 y las figuras 4 y 5.

Tabla 1: Velocidad de fase en función del H agregado

H agregado (p.p.m.)	Velocidad de fase (m/s)
0,0	4817,6
13,6	4819,3
31,5	4823,3
60,5	4823,5
88,9	4821,5
107,0	4825,6
140,4	4827,2
170,6	4825,8
199,7	4826,4
304,5	4833,4
516,7	4837,7

Tabla 2: Atenuación en función del H agregado para 10 y 30 MHz.

H agregado (p.p.m.)	Atenuación (dB/cm)	
	10 MHz	30 MHz
0	0,18	1,58
13,6	0,19	1,61
31,5	0,19	1,68
60,5	0,20	1,71
88,9	0,14	1,24
107	0,27	2,36
140,4	0,20	1,72
170,6	0,22	1,90
199,7	0,17	1,50
304,5	0,22	1,92
516,7	0,29	2,54

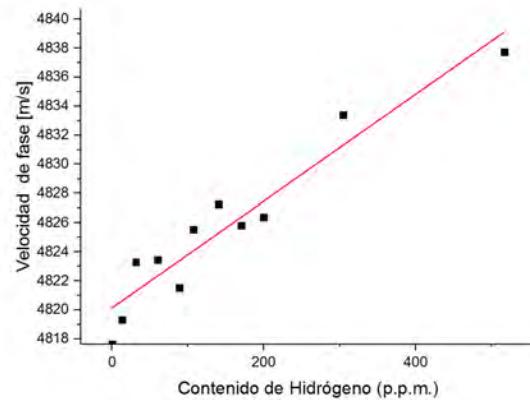


Figura 3: Velocidad de fase en función del H agregado.

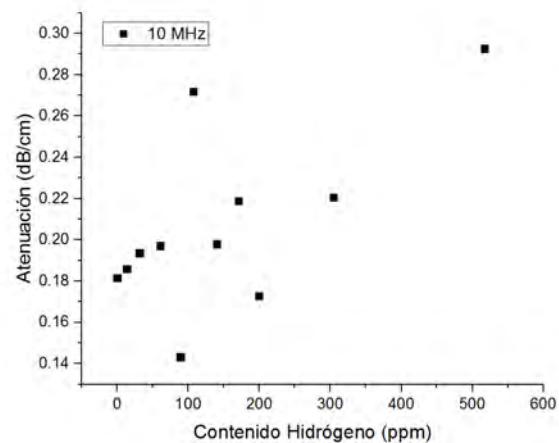


Figura 4: Atenuación en función del H agregado a 10 MHz.

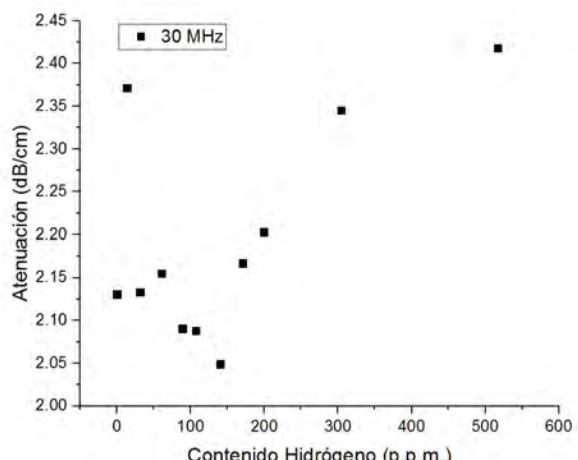


Figura 5: Atenuación en función del H agregado a 30 MHz.

#### 5. DISCUSIÓN

En la figura 3 se observa que la velocidad de fase de ondas longitudinales para piezas de Zry4 tiende a aumentar en función del contenido de hidrógeno de manera lineal siendo consistente descripto anteriormente del efecto de la densidad y el módulo de Young de los hidruros. La atenuación también tiende a aumentar en función del contenido de H agregado

pero presenta mayor dispersión de resultados tanto a 10 como a 30 MHz. Además se observa que la absorción a 30 MHz es aproximadamente 10 veces mayor que a 10 MHz.

Los resultados de atenuación indican que se requiere más estudio y mediciones sobre los mecanismos que están operando en este sistema. Algunas hipótesis sobre las que se está investigando son los efectos de la anisotropía de la matriz de Zr, la orientación preferencial de hidruros según direcciones particulares y la escala de interacción de la onda con los hidruros, ya que los hidruros macroscópicos observados presentan en realidad una estructura más fina que podría afectar el mecanismo de atenuación.

## 6. CONCLUSIONES

Mediante la técnica de pulso-eco ultrasónica se midió en una aleación de Zr (Zircaloy 4) el efecto de la concentración de hidruros sobre la velocidad de fase y atenuación de ondas longitudinales. Se encontró que la velocidad de fase aumenta con el contenido de hidrógeno de las muestras, en total acuerdo con la dependencia del módulo de Young y la densidad del medio en la velocidad teórica en un medio sólido elástico. En la atenuación se observó una disminución con el contenido de hidrógeno, indicando la presencia de más centros dispersores de la energía acústica, pero con mayor dispersión que los resultados de velocidad y que se está estudiando actualmente.

## 7. REFERENCIAS

- [1] IAEA-TECDOC-1410. Delayed Hydride Cracking Testing – State of Art. Delayed hydride cracking in zirconium alloys in pressure tube nuclear reactors. October 2004.
- [2] Gómez M. P., Domizzi G., López Pumarega M. I., Ruzzante J. E. “*Characterization of hydrogen concentration in Zircaloy-4 using ultrasonic techniques*” J. Nucl. Mater. Volumen 353, pp. 167-176. 2006.
- [3] Daniel Royer, Eugène Dieulesaint “*Elastic Waves in Solids I*” - Springer - 2000.
- [4] Rohn Truell, Charles Elbaum, Bruce Chick “*Ultrasonic Methods in Solid State Physics*” Academic Press, 1969.
- [5] Papadakis E. P. “*Ultrasonic Attenuation and Velocity in three Transformation Products in Steel*” J. Appl. Phys. Volumen 35, pp. 1474-1482, 1964.

# CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS PZT DE GEOMETRÍA CUADRADA

MAXIMILIANO M. YOMMI<sup>1</sup>, FABIAN ACQUATICCI<sup>2</sup>, SERGIO N. GWIRC<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Electrónica e Informática, ARGENTINA

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería Biomédica – UBA, ARGENTINA

<sup>3</sup> Universidad Nacional de La Matanza, Laboratorio de Imágenes Ultrasónicas, ARGENTINA

e-mail: [myommi@inti.gob.ar](mailto:myommi@inti.gob.ar)

**Resumēn** – En este trabajo se caracteriza un transductor de titanato zirconato de plomo o PZT ( $Pb(ZrTi)O_3$ ) de película gruesa y geometría cuadrada, con el objetivo de estudiar su viabilidad en sistemas de medición complejo, como los de visualización de estructuras internas. Se relevan los resultados de polarización de la película, junto a la evaluación de las características de emisión. Una primera etapa consistió en estudiar la estructura de la muestra, la polarización de la misma y la medición de la curva de impedancia eléctrica resultante. La segunda consiste en determinar las características de radiación del transductor por medio de la medición de la respuesta acustoelectrónica y la determinación del campo acústico, estudiando la zona central de emisión. Dicho procedimiento se realizó en un banco de prueba acondicionada con absorbentes de geometría piramidal, junto a un sistema automatizado de escaneo. Los pulsos emitidos por el transductor fueron captados con un hidrófono y post-procesados para obtener la respuesta temporal y espectral. El resultado de la medición del campo acústico fue comparado con simulaciones de transductores de varias geometrías (disco y cuadrado). Los transductores estudiados, de película gruesa con substrato cerámico sin backing, poseen un mayor ancho de banda que los tradicionales, siendo viable su aplicación en ensayos no destructivos.

**Abstract** – Abstract – In this work, a square lead zirconate titanate ZT ( $Pb (ZrTi) O_3$ ) thick film transducer is characterized. The aim of this work is to assess the feasibility of use this kind of transducer in complex measurement systems such as visualization of internal structures. The results of polarization and the emission characteristics are presented. Firstly, the structure of the sample, the polarization and the electrical impedance curve were measured. Secondly, the radiation characteristics of the transducer were obtained by measuring the acoustic-electric response and the acoustic field in the central emission zone. Measurements were made in a water tank lined with pyramid-shaped acoustic absorbent material and using an automated scanning system. The pulses emitted by the transducer were captured with a hydrophone and post-processed to obtain the temporal and spectral response. The results of the acoustic field measurement were compared with simulations of transducers of various geometries (disk and square). The transducers studied, of thick film with ceramic substrate without backing, have a greater bandwidth than the traditional ones. This feature makes them suitable for applications in nondestructive testing.

## 1. INTRODUCCIÓN

La utilización del ultrasonido como herramienta para el diagnóstico en especialidades médicas y en aplicaciones industriales requiere de transductores diseñados para cubrir el rango de frecuencias comprendidas entre 20 kHz y 20 Mhz. La tecnología de película gruesa (TPG) hace referencia a la secuencia de métodos a través de la cual se deposita una pasta muy particular (PZT, en el caso de este trabajo) sobre un sustrato en un patrón definido por una malla, que luego es tratada térmicamente para producir componentes pasivos (Prudenziati M., 1990).

En esencia esta tecnología es aplicada de igual manera que hace 50 años, pero la composición moderna de las pastas permite expandir el campo de aplicación, en el desarrollo y fabricación de transductores (White N.M., et al., 2004). En forma contraria al sentido común, las características principales de la TPG no están relacionadas con el espesor de la capa, sino con el método de aplicación. Este trabajo estudia transductores fabricados con tecnología TPG en cerámicas PZT con el objetivo de estudiar las características del campo acústico de radiación en geometrías cuadra y de esta manera evaluar su aplicación en ensayos no destructivos de materiales.

## 2. MATERIALES

### 2.1. Estructura de la muestra

El transductor fue fabricado con tecnología TPG con una pintura basada principalmente con polvo de PZT y el agregado de otros aditivos sólidos y líquidos para formar una pasta. Utilizando una malla de finos hilos de acero inoxidable con el patrón deseado y recubierta de una emulsión sensible al UV, se realiza la transferencia del patrón de interés a la malla mediante un proceso fotolifográfico. El proceso de impresión de la muestra se realiza mediante serigrafía, la cual transfiere la pasta al sustrato mediante la acción de una espátula que fuerza el paso de la misma a través de las áreas abiertas de la malla. Se utilizó una pequeña cantidad de vidrio para unir las partículas de PZT y fijarlas al sustrato de alúmina. La pasta de PZT se imprime entre dos electrodos de oro, cada uno de ellos primeramente secada y sinterizada por separado (Gwirc SN., et al., 2000).

El transductor fabricado posee geometría cuadrada de 6 mm de lado y con un espesor cercano a los 160  $\mu\text{m}$  para la capa piezoelectrica y 735  $\mu\text{m}$  para el sustrato. El PZT utilizado tiene un grado de porosidad de aproximadamente 20%, lo cual permite disminuir la densidad y la velocidad de propagación de ondas longitudinales en el material. En consecuencia, la impedancia acústica de la película es la mitad que en la cerámica sólida equivalente. Esto permite que la transferencia de energía del transductor a medios de baja impedancia sea más eficiente. Tal es el caso de algunos tejidos biológicos, por ejemplo el riñón posee una impedancia de  $\sim 1,62$  Mrayl (Veca A. C, et al., 2016). Por otra parte, el sustrato de alúmina redirige la emisión hacia delante, convirtiendo al transductor en un elemento muy eficaz cuando es usado en arreglos bidimensionales de muchos elementos para la obtención de imágenes de ultrasonido. Al mismo tiempo, el menor espesor utilizado para una dada frecuencia de resonancia, debido a la doble capa, justifica que la impedancia eléctrica sea más baja, lo que facilita su adaptación al generador eléctrico cuando se lo utiliza en pequeñas áreas individuales como en los arreglos mencionados. En este trabajo se utilizaron transductores de geometría cuadrada, algunas de las características más importantes se describen en la tabla I.

### 2.2. Polarización

Con el objetivo de establecer el campo eléctrico en el transductor se procedió a polarizar con un electrómetro marca Keithley modelo 6517 A.

**Tabla I:** características principales del material cerámico PZT, utilizado en la muestra (Gwirc SN., 2009)

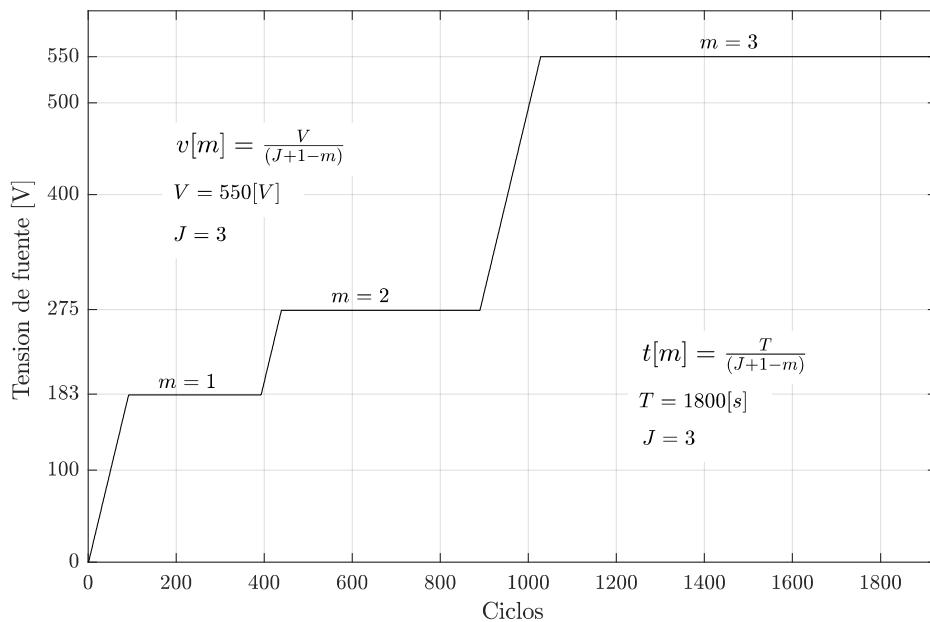
Propiedades	Valor
Densidad [ $10^3 \text{ kg/m}^3$ ]	6,2
Velocidad de propagación del sonido [m/s]	2600
Impedancia acústica [Mrayl]	$\sim 16$

El mismo cuenta con una fuente de tensión variable de amplitud máxima 1000 V, y además permite medir corrientes de amplitudes menores a 1 nA en el mismo instrumento. La diferencia de potencial al que se debe exponer al transductor para garantizar que la película llegue a la saturación está determinada por el ciclo de histéresis del material. En el caso de la pintura utilizada para este trabajo, la misma está en el orden de los 3500 V/mm (Gwirc SN., 2009). Por lo tanto, se sometió a la muestra a una tensión de 550 V, para garantizar que la mayor parte de los dominios ferroeléctricos se reorienten, y así se logra los máximos valores posibles en las constantes piezoelectrías (Dargie P. G, et al., 1997). Este procedimiento se realiza a una temperatura controlada de 120° C en un horno debidamente acondicionado, lo que mejora enormemente la estabilidad durante el proceso y minimiza los cortocircuitos manteniendo la muestra libre de humedad. El electrómetro permite alimentar la muestra con incrementos lineales de tensión (2 V por ciclo), efectuando períodos de mantenimiento para minimizar los cortocircuitos. Por último, se mantiene por un lapso de 1800 s en la tensión máxima. Pasado este lapso se apaga el horno y se espera hasta que la temperatura descienda por debajo del 50%, luego se disminuye la tensión lentamente hasta llegar a 0 V. Los valores de tensión de la fuente y los tiempos de mantenimiento se expresan en la Figura 1.

## 3. RESULTADOS

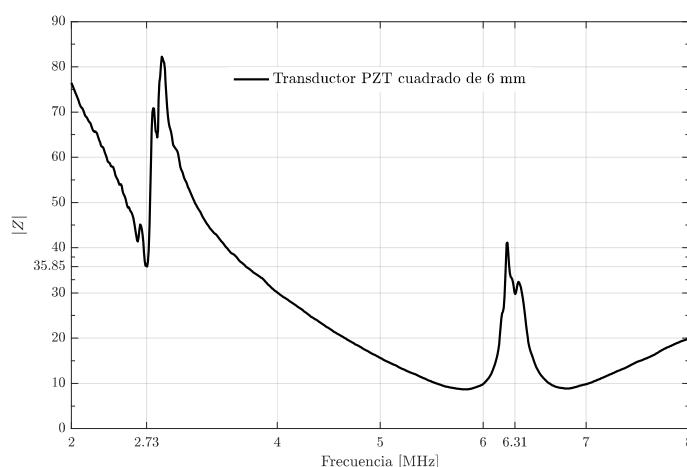
### 3.1. Caracterización eléctrica

La medición de impedancia eléctrica del transductor ya polarizado permite encontrar los valores de frecuencia de la resonancia y antiresonancia eléctricas. En el relevamiento de la curva de impedancia se utilizó un analizador de impedancia Agilent 4395A y la curva se muestra en la Figura 2. El comportamiento es en esencia capacitivo, presenta una resonancia cercana a 2,73 MHz, en primer lugar y otra a 6,31 MHz.

**Figura 1:** ciclos de polarización de la muestra.

El efecto de la estructura de doble capa, que forma el conjunto del transductor, permite obtener la resonancia principal con un espesor de PZT mucho menor que para una cerámica sólida de similares características (Gwirc SN., 2009). La segunda resonancia no es un armónico impar de la anterior como ocurre en las cerámicas piezoelectrivas tradicionales sino que está relacionada con el espesor y velocidad de propagación en la película de PZT principalmente, pero también en la alúmina. Por otra parte, las pendientes no aparecen de manera suavizada, sino con irregularidades cercanas a los picos de resonancia y antiresonancia, esto puede

atribuírselo a los pequeños modos generados en el transductor debido a la geometría. Dicho fenómeno también se observa en la zona de los 2 MHz hasta la frecuencia de resonancia principal. Es interesante resaltar, en este primer resultado, el valor de impedancia en resonancia de  $35,85 \Omega$ , valor que facilita la adaptación eléctrica a través de una red pasiva, para lograr mayor transferencia de potencia desde el generador de pulsos de excitación. El aumento de impedancia para frecuencias mayores a 7 MHz representa un comportamiento inductivo que tiene relación con los cables de medición y sus soldaduras.

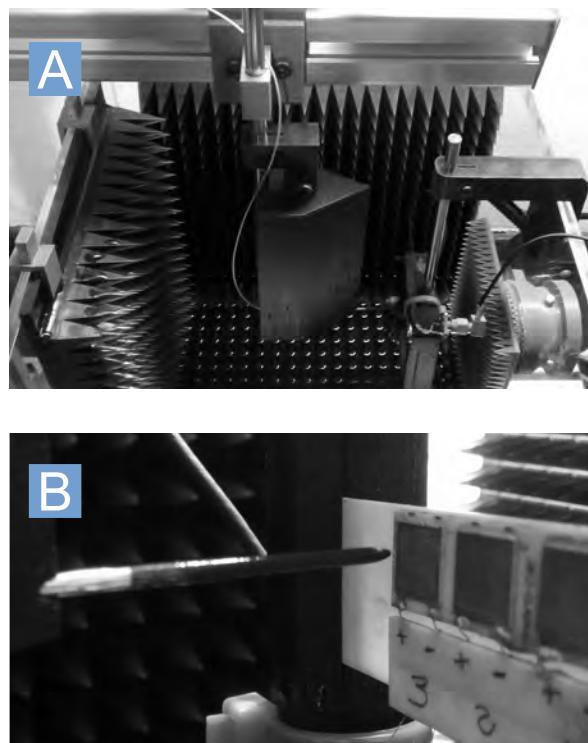
**Figura 2:** curva de impedancia eléctrica del transductor.

### 3.2. Respuesta acustoeléctrica (RAE)

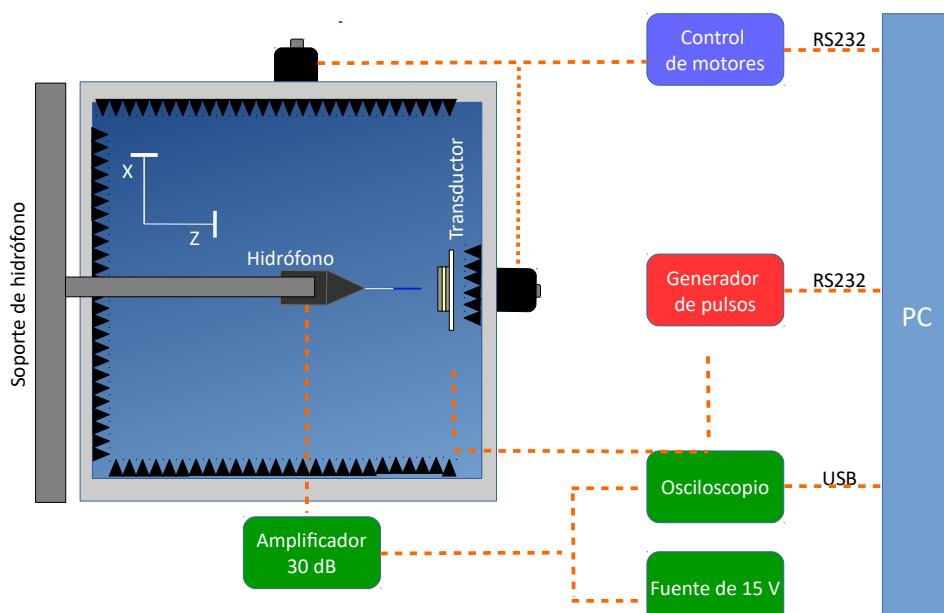
Se llama respuesta acustoeléctrica a la función que representa la conversión de energía eléctrica en acústica, o viceversa, en el transductor. Es decir, la función de transferencia del elemento transductor teniendo en cuenta sus cargas eléctricas y acústicas. La determinación de dicha respuesta se realizó montando un banco de mediciones acústicas como se observa en el set-up de la Figura 3. Se estudia el transductor en régimen pulsado. Las mediciones de la señal se realizan con un hidrófono Force Technology tipo aguja de 500  $\mu\text{m}$  de radio y ancho de banda de 1-20 MHz ubicado en la zona focal, punto del eje principal donde se obtiene un máximo de presión acústica. El plano perpendicular al eje que pasa por ese punto se lo define como plano focal.

El sistema consta de una cuba acondicionada con absorbentes de ondas de ultrasonido para mejorar la relación señal ruido en la medición. La cuba puede moverse sobre dos ejes lineales, a través de dos motores paso a paso controlados por PC. El generador de pulsos que excita a la muestra bajo ensayo es un sistema pulso-eco mono canal. La señal amplificada captada por el hidrófono es almacenada en un osciloscopio Rigol DS1000. Todo el sistema es controlado con un script desde una PC.

El transductor es alineado con el hidrófono logrando obtener un máximo de la señal al coincidir ambos en el mismo eje en posición y orientación. En la Figura 4 se muestran 2 imágenes del sistema utilizado para caracterizar la emisión del transductor.



**Figura 4:** (A) vista frontal del banco de mediciones acústicas. (B) vista ampliada del hidrófono en las cercanías del transductor.



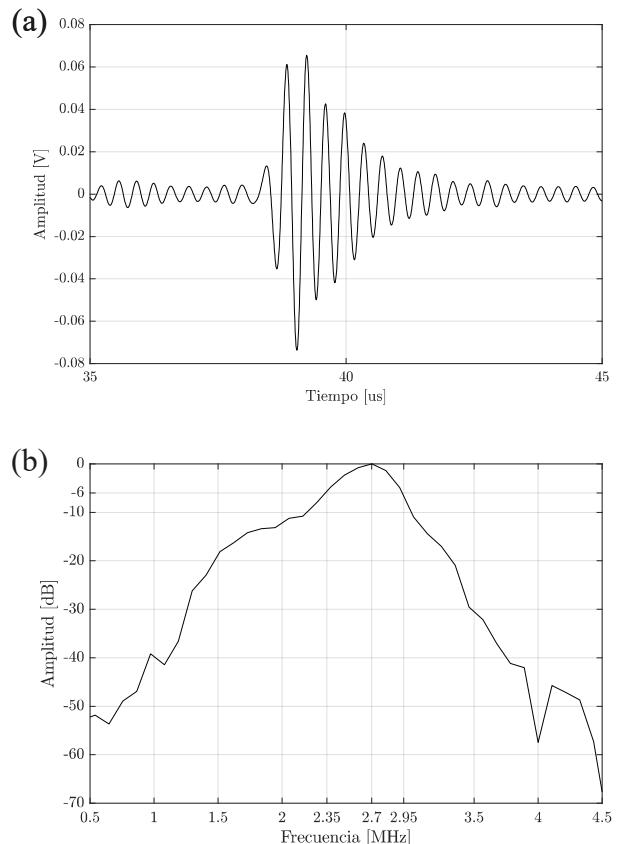
**Figura 3:** set-up del banco de medición acústica.

Con el transductor alineado se realiza un barrido en eje z con pasos de 0,5 mm, desde 3 mm hasta 20,5 mm desde el frente de la muestra. Los valores máximos de cada medición son comparados con la simulación de un transductor circular y cuadrado.

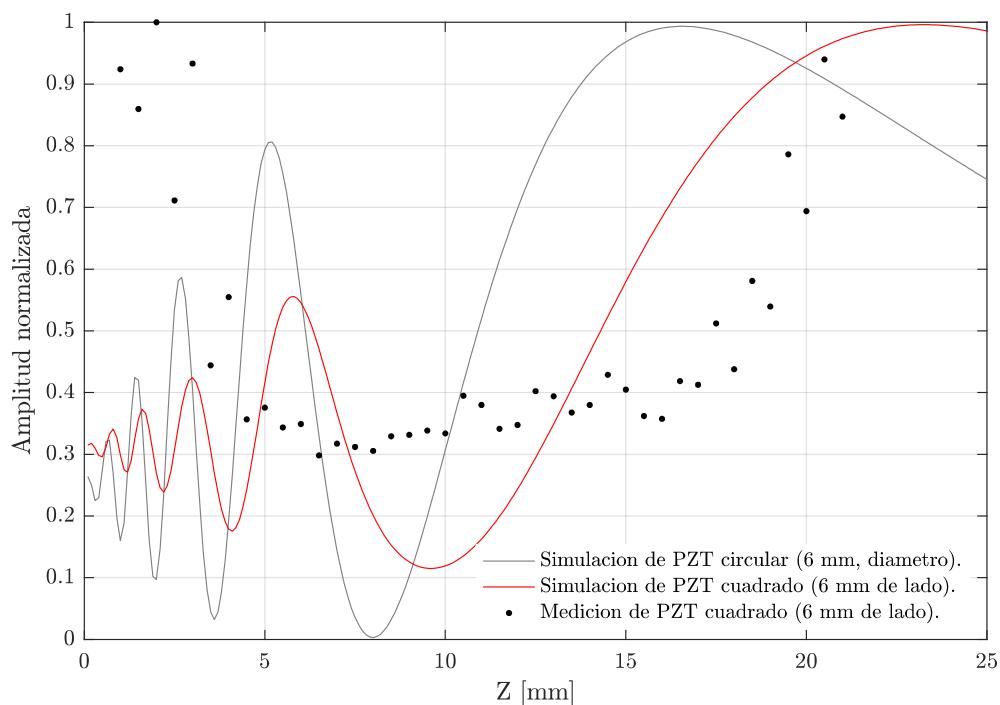
De la Figura 5 se aprecia que el foco se ubica aproximadamente a 23 mm, si consideramos los 3 mm apartados de la cara del transductor, donde se inicio la medición. La simulación indica que la zona focal de un PZT cuadrado se ubica más alejada del transductor, que en el caso de un PZT tradicional. Por otra parte, las mediciones no acompañan las curvas de la simulación, lo que permite establecer de antemano el funcionamiento del sistema en campo cercano.

La Figura 6(a) muestra el pulso emitido por el transductor en la zona focal. El pulso de la Figura 6(a) presenta un amortiguamiento mayor a la de una cerámica sólida sin backing. La respuesta espectral de la Figura 6(b), muestra una frecuencia de resonancia en 2,7 MHz (Ancho de Banda a 6 dB de 0,6 MHz), dicha frecuencia

coincide con la película resonando en media longitud de onda en su modo fundamental.



**Figura 6:** (a) pulso del transductor. (b) espectro de Fourier.



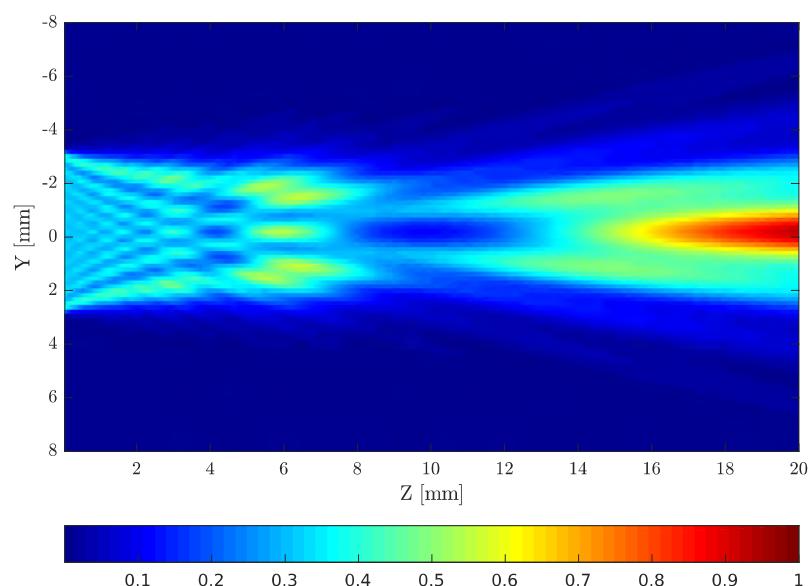
**Figura 5:** presión máxima sobre el eje del transductor.

### 3.3. Campo acústico

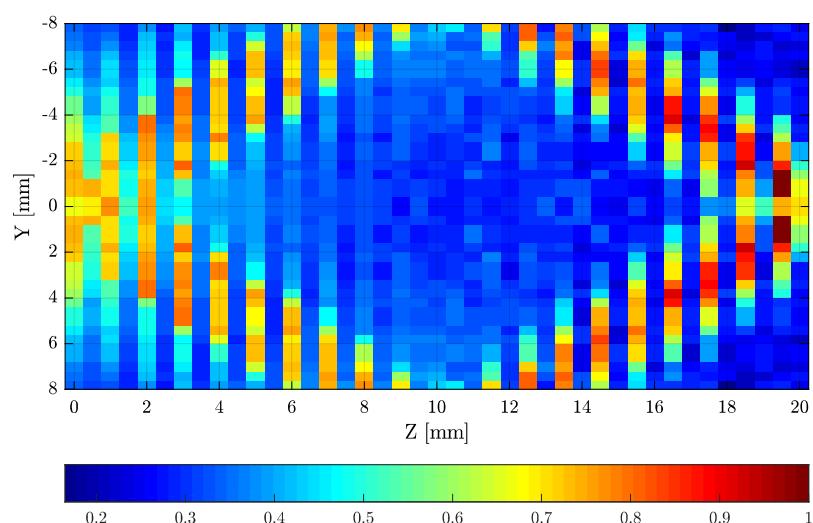
Las mediciones relacionadas al comportamiento del campo acústico del transductor, fueron divididas en dos instancias. En primer lugar se realizaron simulaciones del campo acústico basadas en la propagación por difracción utilizando la Transformada de Fourier. En transductores en forma de disco se utiliza la simetría axial del mismo para realizar una simulación en dos dimensiones, ya que una rotación alrededor del eje de simetría producirá idénticos resultados. En nuestro caso, dado que la geometría que pretendemos utilizar carece de esa simetría debemos hacer la simulación completa en tres dimensiones y

después analizar el campo en diferentes planos. La simulación presentada en la Figura 7 tiene una resolución de 7 mediciones por milímetro.

Con el set-up de la figura 3 se procedió a relevar los valores máximos de cada medición recolectada por el hidrófono. En la figura 8, se presentan los resultados de medir a  $\pm 10$  mm del centro del transductor y 20 mm sobre el eje del mismo, contemplando una distancia inicial de 3 mm (el recuadro blanco de la figura 7 representa aproximadamente la zona de medición). Se realizaron 2 mediciones por milímetro, dando un total de 820 mediciones



**Figura 7:** simulación del campo acústico de un PZT cuadrado de 6 mm.



**Figura 8:** relevamiento del campo acústico de PZT cuadrado de 6 mm.

#### 4. DISCUSIONES

Las mediciones del campo acústico realizadas con el banco de medición propuesto, carecen de resolución necesaria para representar el campo cercano con mayor detalle, dado que requiere de una mayor cantidad mediciones por milímetro. Por lo tanto es necesario disminuir los pasos de traslación y el tamaño del hidrófono, para validar los resultados de las simulaciones en esta zona. El relevamiento del campo acústico no permite estudiar los lóbulos generados por el transductor, impidiendo estudiar la viabilidad del mismo en arreglos de transductores de geometría cuadrada.

#### 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe la fabricación de transductores PZT cuadrados, se muestra que el proceso de polarización utilizado, con crecimientos graduales de la tensión y a temperatura controlada, garantiza la alineación de la mayoría de los dominio ferroeléctricos, disminuyendo considerablemente la posibilidad de cortocircuitos durante el proceso. Desde el punto de vista del transductor como emisor-receptor, la instrumentación necesaria para la excitación y amplificación de la recepción, se adapta perfectamente a la impedancia del transductor, permitiendo de esta manera una máxima transferencia de potencia. Por otra parte, el transductor trabaja en modos de resonancia más allá del espesor, como la que se observa en la curva de impedancia, es preciso estudiar los modos de vibración espacial en la superficie del transductor para determinar la incidencia de los mismo en el foco del transductor. Ademas, el amplio ancho de banda del transductor sin la utilización de backing, proporciona una característica ideal para la aplicación en ensayos no destructivos. Característica que carece los transductor con geometría de disco. En trabajos futuros se analizará el comportamiento del transductor en campo lejano, a distancia mayor a 20 mm del eje de la muestra, aumentando la cantidad de mediciones por milímetro.

#### 6. REFERENCIAS

Gwirc S. N. “*Películas gruesas de PZT como transductores de ultrasonido para imágenes*”. Universidad de Buenos Aires. 2009.

Gwirc S. N., Tropea S., Negreira C., Montero F. “*Fabricación y caracterización de elementos*

*piezoeléctricos de película gruesa*”. Jornadas de Desarrollo e Innovación. 2000.

Prudenzati M. “*Thick-film technology. Sensors and Actuators A: Physical*”. 1990. 25(1-3):227-34.

Dargie P. G., Sion J. K., Atkinson, White N. M. “*An investigation of the effect of blinder type, concentration and poling conditions upon the characteristics of screen printed piezoelectric materials*”. Proceedings of Eurosens XI, The 11th European Conference on Solid State Transducers. Warsaw, 1997. 1287-1289.

Veca A. C, Accolti E. “*Ultrasonido para ingenieros y estudiantes de ingeniería*”. Universidad Nacional de San Juan. 2016.

White N. M., Torah R. N., Harris N. R., Beeby S. P. “*Piezoelectric Thick-Films: Devices and Applications. Material Technology and Design of Integrated Piezoelectric Devices*”. Courmayer, 2004. 115-124.