

# Fundamentos de Acústica y Electroacústica (Año 2017)

18 de junio de 2017

**Docente:** Ing. Sebastián P. Ferreyra  
**Trabajo Práctico Nro:** 3 (individual)  
**Alumno:** Diego Lorca  
**Legajo:** 63477

## **Tema: Auralización por Convolución**

**Objetivo:** Realizar la auralización mediante la convolución de señales anecoicas con respuestas impulsivas monoaurales y binaurales. Comparar los espectros de la señal anecoica y la señal auralizada mediante PSD (Power Spectral Density) y FFT (Fast Fourier Transform). El alumno aprenderá a aplicar técnicas de procesamiento digital de señales en aplicaciones específicas de audio.

## **Materiales e Instrumental necesarios.**

- Señales anecoicas (registradas en campo libre, con instrumentación de medición)
- Respuestas impulsivas monoaurales y binaurales (medidas ó simuladas)
- Software de cálculo numérico matricial (MATLab, Scilab, Octave)
- Computador personal (PC)



## Marco Teórico

### Auralización

Con el término “auralización” se ha definido el proceso a través del cual es posible realizar una audición ó escucha, en cualquier punto de un recinto, de un mensaje oral o un pasaje musical, con la particularidad de que ello se lleva a cabo de forma virtual (antes de que dicho recinto se haya construido o remodelado). La mencionada escucha se puede efectuar mediante altavoces o, preferentemente, por medio de auriculares. Mendel Kleiner (1993), profesor e investigador de la Universidad Tecnológica de Chalmers (Göteborg, Suecia), introduce por primera vez el concepto de auralización: “la vivencia auditiva que un oyente experimentaría en un espacio dado –real o imaginario- podrá ser evocada si mediante modelos físico-matemáticos, se sintetizan y reproducen en los tímpanos del oyente las ondas sonoras que se originarían en el espacio modelado”.

### Aplicaciones de la auralización

La auralización ha sido aplicada a diversas situaciones, algunas de ellas son: sistemas electroacústicos, diseño acústico de recintos, entrenamiento de pilotos de aeronaves, entrenamiento de personas no videntes, juegos de realidad virtual, entre otras. Con respecto a su utilización en sistemas electroacústicos, está permite modificar la función de transferencia del mismo con el fin de crear un campo sonoro particular. De esta forma es posible controlar el campo sonoro por medios electroacústicos (fuentes secundarias), en un recinto donde originalmente el campo sonoro producido por la fuente primaria resulta desfavorable en múltiples posiciones. En este caso, el procesamiento de señal debe realizarse en tiempo real, ejecutándose por lo general en un procesador digital de señal (DSP: Digital Signal Processor) Con respecto a su utilización como herramienta para el diseño acústico de recintos, está permite comprobar auditivamente (juicio subjetivo) la calidad acústica fruto del diseño llevado a cabo, constituyendo un complemento al estudio teórico realizado mediante diferentes programas de simulación. La auralización es útil tanto en el análisis de recintos en fase de proyecto, como en el de recintos ya existentes. En este último caso, constituye un medio de demostración del efecto auditivo que tendrían diferentes correcciones acústicas, ahorrando consideraciones técnicas a las personas no habituadas al lenguaje propio de la disciplina acústica. En este caso, generalmente el procesamiento de señal se realiza en tiempo diferido (postprocesamiento).

### Sistemas de auralización

Carrión Isbert (2001), describe de forma resumida dos posibles sistemas de auralización: la auralización por convolución y la auralización mediante una unidad de reverberación digital. Ambos sistemas están basados en el conocimiento previo de la denominada respuesta impulsiva (Impulse Response; IR ó  $h(t)$ ) del sistema estudiado, comentada a continuación. La  $h(t)$  en un punto cualquiera de un recinto contiene toda la información sobre el campo sonoro en dicho punto, por ser un sistema lineal invariante en el tiempo (SLIT). La  $h(t)$



depende tanto de la forma y de los materiales utilizados como acabados del recinto como de la posición y características de la fuente sonora y del receptor. Por lo cual, un sistema de auralización modelará tres subsistemas básicos:

- La fuente sonora (voz hablada ó cantada, instrumentos musicales, otras)
- El medio de transmisión (el recinto)
- El receptor (el oyente)

El conocimiento de  $h(t)$  utilizando un receptor monoaural (un micrófono de medición) permite la obtención de la denominada auralización monoaural. Ahora bien, con objeto de que la auralización sea lo más real posible es preciso conocer las respuestas impulsivas relativas a ambos oídos, conocidas como HRIR (respuestas impulsivas relativas a la cabeza) definidas en el dominio del tiempo siendo particulares para cada ángulo entorno a la cabeza (azimut y elevación). Como contra parte, aplicando la transformada de Fourier a cada una de las HRIR se obtienen las denominas función de transferencia relativa a la cabeza (HRTF: Head Related Transfer Function), en el dominio de la frecuencia. Por lo tanto, en el sistema de auralización se definirá como:

$h_R(t)$  : respuesta impulsiva en el oído derecho del receptor

$h_L(t)$  : respuesta impulsiva en el oído izquierdo del receptor.

El conocimiento de ambas respuestas posibilita la obtención de la auralización binaural. Por otra parte, podrán obtenerse dos tipos de auralizaciones: a) las obtenidas utilizando respuestas impulsivas “medias” y b) las obtenidas utilizando respuestas impulsivas “simuladas”. Siendo esta última, la base de los sistemas de realidad acústica virtual (AVRS: acoustic virtual reality system)

### Sistemas de realidad acústica virtual

Actualmente, existen diferentes programas de simulación acústica que permiten lograr la auralización monoaural y binaural. Ejemplos de estos sistemas son: EARS (Ahnert y Feistel, 1992), ODEON (Naylor, 1993), RAMSETE (Farina, 1995) y CATT-Acoustic (Dalenback, 1996).

También se encuentran softwares académicos no comerciales: el proyecto DIVA (Savioja et al. 1999) de TKK, Finlandia, que fue diseñado como un sistema de realidad acústica virtual (AVR), y luego fue unificado con el proyecto EVE de realidad virtual de la misma universidad; IKA-SIM (Silzle, Strauss, y Novo, 2004) de la Universidad Ruhr de Bochum es utilizado en investigaciones psicoacústicas, con el objetivo de convertirse en un sistema de base (backend) para diferentes aplicaciones Web; VirKopf/RAVEN (Lentz et al. 2007) de la Universidad RTWH de Aachen, combina la simulación de recintos con la simulación gráfica; REVES (Moeck et al. 2007) desarrollado en el INRIA, tiene la meta de calcular eficientemente la difusión y sintetizar una gran cantidad de fuentes sonoras y reflexiones simultáneamente (incluyendo gráficos); y el reciente proyecto AURALIAS (Bos y Embrechts, 2009) de la Universidad de Liege de simulación acústica. Todos estos sistemas son de código cerrado, lo que imposibilita profundizar en su funcionamiento y utilizarlos como base para nuevos estudios. Uno de ellos es slab3d (conocido anteriormente como SLAB) desarrollado inicialmente en la NASA (Wenzel, Miller, y Abel, 2000). Brinda una espacialización 3D pero el modelado acústico de recintos está limitado solamente a recintos cúbicos. RTVAS



(Scarpaci, 2006) de la Universidad de Boston es el único de los proyectos open-source diseñado para tener en cuenta explícitamente las restricciones de tiempo impuestas por este tipo de sistemas. Se ejecuta sobre un kernel de tiempo real y su objetivo es estudiar la localización de sonidos, pero no cuenta con un módulo para modelado de recintos. Otro proyecto es Uni-Verse (Kajastila et al. 2007), que fue desarrollado por un consorcio de siete miembros europeos con el objetivo de crear una plataforma para Internet de gráficos y audio tridimensional. EVERTims (Noisternig et al. 2008) también de TKK, utiliza algunos algoritmos más avanzados que Uni-Verse. Por último, el software The SoundScape Renderer (SSR) (Ahrens, Geier, y Spors 2008) de la Universidad Técnica de Berlín es un framework para síntesis de audio espacial. Su arquitectura modular permite el uso de diferentes métodos de síntesis del sonido auralizado. Como se puede apreciar, estos sistemas tienen objetivos disímiles, que van desde el diseño de salas de concierto hasta la aplicación de pruebas específicas de localización. No es posible utilizarlos como base para propósitos diferentes para los cuales fueron diseñados, ni tampoco adaptarlos a necesidades específicas. Además, muchos de los proyectos de código cerrado no están disponibles libremente para su uso. Son pocos los proyectos de código abierto (open-source) que tienen como objetivo la auralización dinámica e interactiva. El único que incluye el modelado acústico de recintos es EVERTims. En general, trabajan sobre plataformas no específicas para la ejecución en tiempo real, por lo que es imposible controlar con precisión los tiempos de cálculo y las latencias. Solamente RTVAS es un proyecto de código abierto que trabaja sobre un sistema en tiempo real. Actualmente, los proyectos que se encuentran activos han comenzado su fase de desarrollo hace unos cinco ó seis años aproximadamente, en paralelo con el sistema de simulación acústica virtual en tiempo real desarrollado en el CINTRA, Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional denominado como AVRS (Acoustic Virtual Reality System) (Tommasini, 2011).

## **Auralización por convolución de señales**

### **Auralización monoaural**

La señal auralizada  $y(t)$  es calculada por convolución de la respuesta impulsiva  $h(t)$  (medida ó simulada) con cualquier señal de voz o de música  $x(t)$  previamente grabada en ambiente anecóico (denominada señal de excitación). En los sistemas de auralización, dicha convolución es efectuada por un procesador digital de señal (DSP: Digital Signal Processor). En la Figura 1 se presenta el diagrama en bloques de un sistema de auralización que calcula la  $h(t)$  mediante diferentes parámetros de entrada y posteriormente calcula la señal de salida (auralización) convolucionando la señal de excitación con la respuesta impulsiva simulada.

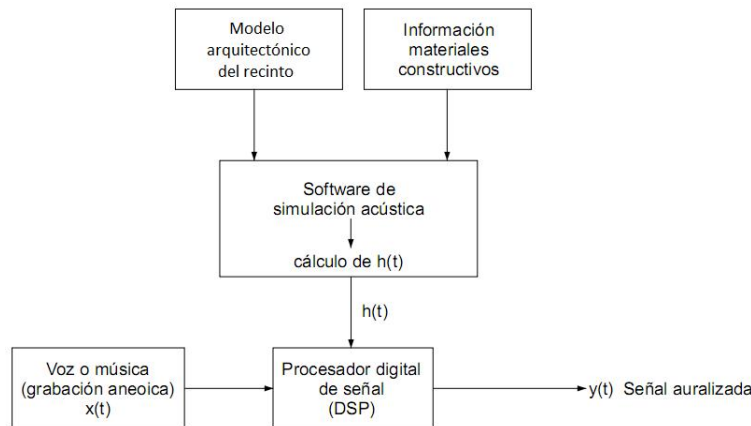


Figura 1: Diagrama en bloques de un sistema de auralización monoaural por convolución.

## Auralización binaural

En este caso, la señal auralizada tiene dos componentes:

y  $R(t)$  : componente correspondiente al canal derecho

y  $L(t)$  : componente correspondiente al canal izquierdo Cada una de ellas se obtiene por convolución de las respuestas impulsivas  $h_R(t)$  y  $h_L(t)$  , respectivamente, con la señal de excitación  $x(t)$ . El esquema representativo de un sistema de auralización binaural que calcula las  $h_R(t)$  y  $h_L(t)$  mediante diferentes parámetros de entrada y posteriormente calcula la señal de salida (auralización) convolucionando la señal de excitación con las respuestas impulsivas simuladas se presenta en la Figura 2

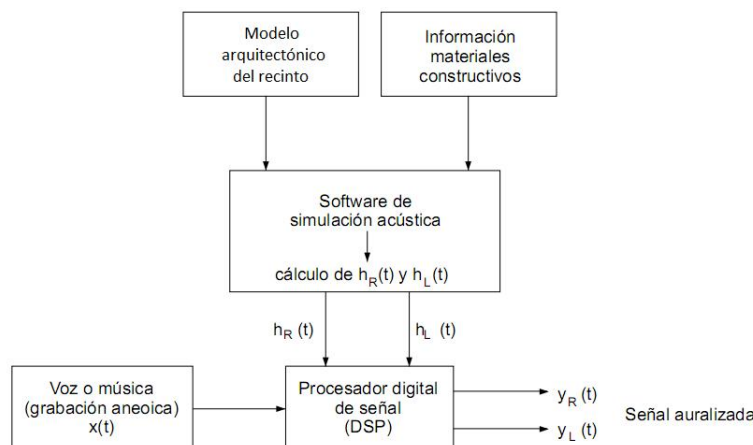


Figura 2: Diagrama en bloques de un sistema de auralización binaural por convolución.

En la Figura 3 se presenta el diagrama en bloques utilizado para la síntesis de la respuesta impulsiva del recinto (RIR: Room Impulse Response) únicamente, en el sistema de realidad acústica virtual en tiempo real desarrollado en el CINTRA.

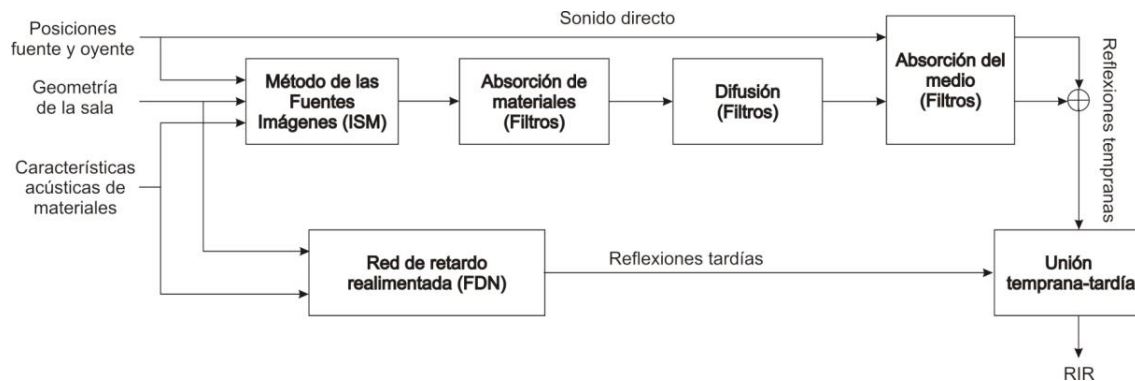


Figura 3: Diagrama en bloques de la síntesis de la RIR para un sistema de auralización en tiempo real (Tommasini et al,2012)

### Auralización por redes digitales de reverberación

Al igual que en los sistemas de auralización por convolución, este sistema utiliza como punto de partida la respuesta o respuestas impulsivas calculadas por el correspondiente programa de simulación acústica. A partir de dichas respuestas, el programa calcula un conjunto de parámetros acústicos representativos del campo sonoro existente en el punto (auralización monoaural) o puntos (auralización binaural) objeto de estudio. Los valores numéricos de dichos parámetros son utilizados para programar los parámetros internos de una unidad de reverberación digital la cual es implementada mediante redes de retardo realimentadas (FDN: Feedback Delay Networks). Una vez programada, se aplica a su entrada la misma señal de excitación  $x(t)$  comentada anteriormente, obteniendo a su salida la señal auralizada  $y(t)$  en versión monoaural o binaural. En la figura 4 se observa el diagram de boques correspondiente a un sistema de auralización binaural basado en una unidad de reverberación digital.

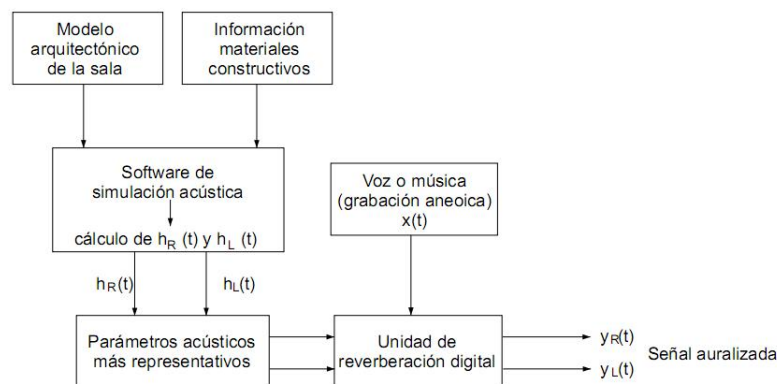


Figura 4: Diagrama en bloques correspondiente a un sistema de auralización binaural basado en una unidad de reverberación digital (Carrión, 2001)



### 3 DESARROLLO PRÁCTICO

Para realizar la auralización mediante convolución como se describió en el objetivo del informe se utilizaron las respuestas impulsivas monoaural y binaural obtenidas de la página de la cátedra y la señal de excitación o señal anecoica denominada como "Palabra hablada 2 (ingles).wav". Éstas fueron leídas en el programa matlab y pueden verse en el tiempo en las figuras 5 y 6.

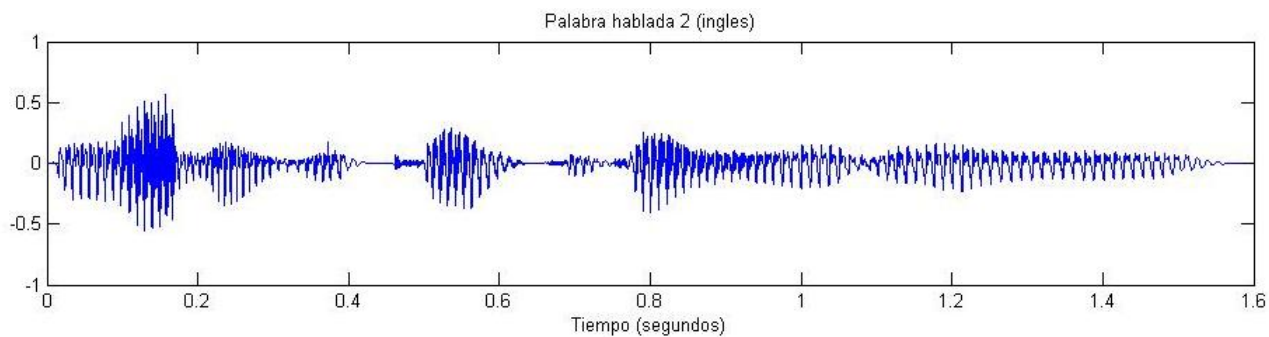


Figura 5: Gráfica en el tiempo de la señal de excitación

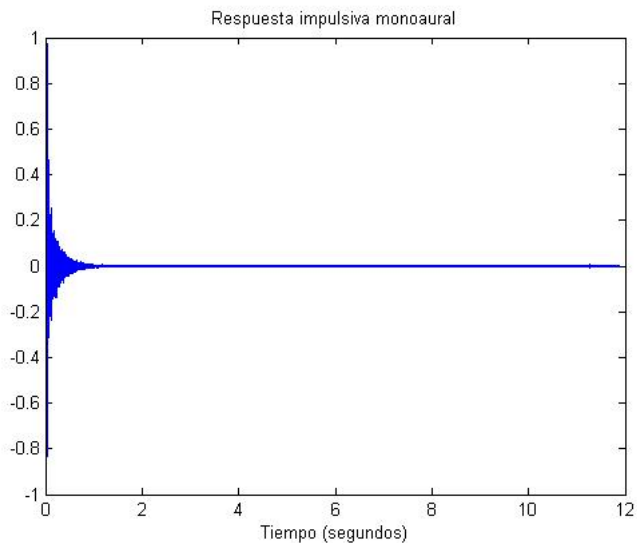


Figura 6: Respuesta impulsiva monoaural

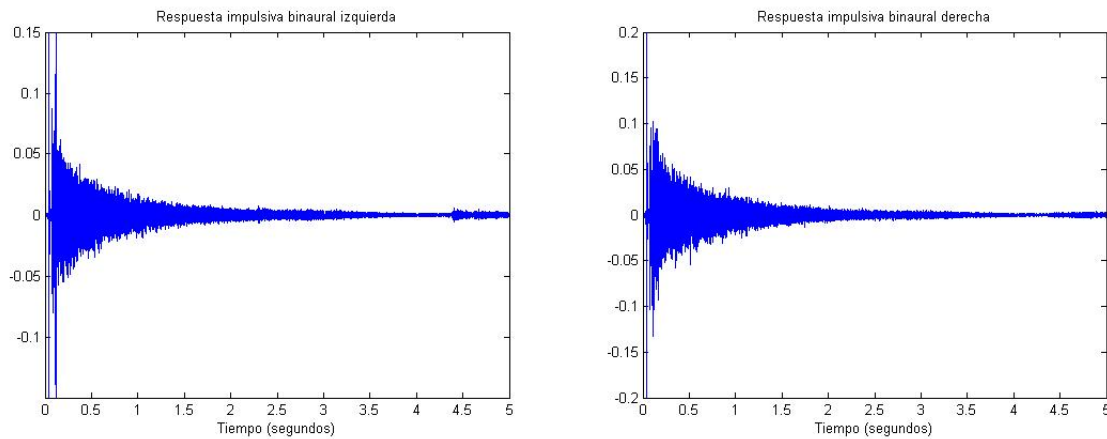


Figura 7: Respuesta impulsiva binaural izquierda y derecha

Con las señales leídas se desarrolló un script el cual se encarga de convolucionar las señales y de mostrar el resultado para comparar los espectros de la señal anecoica y la señal auralizada mediante gráficas de densidad espectral de energía y mediante la transformada rápida de Fourier, por otro lado se crea un audio de formato .wav de la señal convolucionada en el cual se puede percibir el resultado de la auralización.

A continuación se puede apreciar el script para la auralización monoaural:

```
%clc;
%clear;
% %
%Inicialización y convolución
[y1 fs1] = wavread('Palabra hablada 2 (ingles).wav'); % Señal anecoica
y1p=y1(1:48000);
[y2 fs] = wavread('1m2.wav'); % Respuesta impulsiva medida
y3=conv(y1,y2);
wavwrite(y3, fs, 'señaldeexcitacion-mono-1m2.wav');
% %
% Señal de excitacion en el tiempo
L1=length(y1);
figure(7);
T = 1/fs1;
t = (0:L1-1)*T; %Vector de tiempo
plot(t,y1);
title('Palabra hablada 2 (ingles)')
xlabel('Tiempo (segundos)')
% %
% Señal respuesta impulsiva monoaural en el tiempo
L2=length(y2);
figure(2);
T2 = 1/fs;
t1 = (0:L2-1)*T2; %Vector de tiempo L1
plot(t1,y2);
title('Respuesta impulsiva monoaural')
xlabel('Tiempo (segundos)')
% %
```





```
% PSD de la señal CONVOLUCIONADA
figure(3)
nfft3 = 2^nextpow2(length(y3)); %Devuelve la menor potencia de dos que sea mayor o igual a length(y3r)
Pxx3 = abs(fft(y3,nfft3)).^2/length(y3)/fs;
Hpsd3=dspdata.psd(Pxx3(1:length(Pxx3)/2),'fs',fs);
plot(Hpsd3)
xlabel('Frecuencia [kHz]');
ylabel('Potencia/Frecuencia [dB/Hz]');
title('CONVOLUCIONADA')
ylim([-160 -20]);
xlim([0.02 10]);
grid on
%%
% PSD de la señal ORIGINAL
figure(4)
nfft1=2^nextpow2(length(y1));
Pxx1=abs(fft(y1p,nfft1)).^2/length(y1p)/fs;
Hpsd1=dspdata.psd(Pxx1(1:length(Pxx1)/2),'fs',fs);
plot(Hpsd1)
xlabel('Frecuencia [kHz]');
ylabel('Potencia/Frecuencia [dB/Hz]');
title('ORIGINAL')
ylim([-130 0]);
xlim([0.02 10]);
grid on
%%
% FFT de ambas señales ORIGINAL Y CONVOLUCIONADA
figure(5)
NFFT1=2^nextpow2(L1);
% fft señal original
Y1 = fft(y1p,NFFT1)/L1; % (anecoica)
LIN1=linspace(0,1,NFFT1/2+1);
f1 = fs/2*LIN1;
L3=length(y3);
NFFT3=2^nextpow2(L3); %fft señal convolucionada
Y3 = fft(y3,NFFT3)/L3; % (auralizada)
LIN3=linspace(0,1,NFFT3/2+1);
f3 = fs/2*LIN3;
plot(f1,2*abs(Y1(1:NFFT1/2+1)),'b');
hold on
plot(f3,2*abs(Y3(1:NFFT3/2+1)),'r'); % gráficos
hold off
axis([0 1000 0 3E-3])
legend('Original','Convencionada')
title('Espectro de ORIGINAL vs CONVOLUCIONADA ')
xlabel('Frecuencia (Hz)') ylabel('|Y(f)|')
grid on
```



El resultado del script produce las correspondientes gráficas de PSD Y FFT para la convolución monoaural.

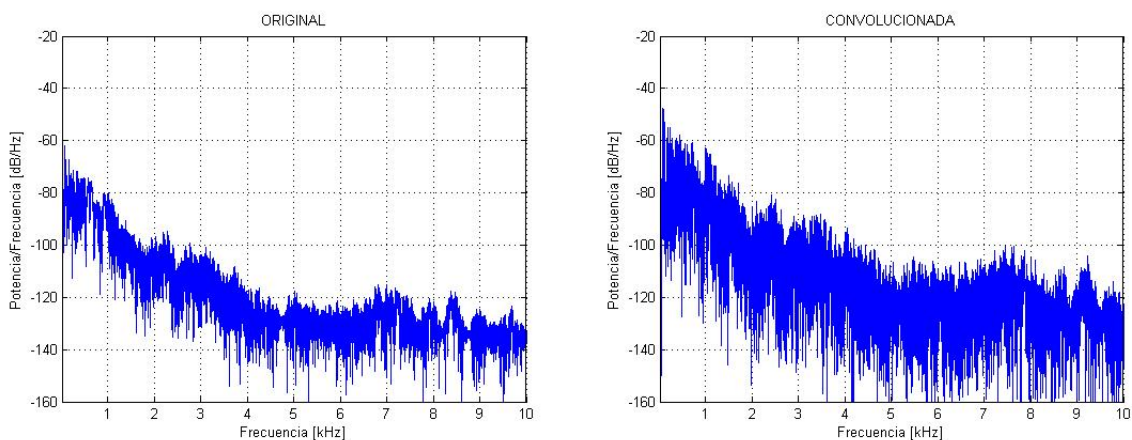


Figura 8: Curva DSP de señal original (grabación anecoica) y la señal convolucionada

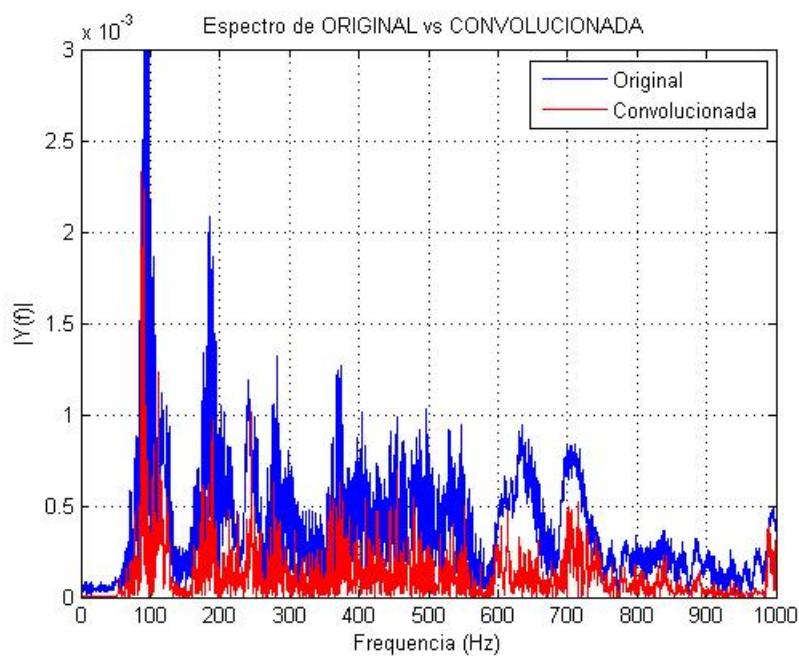


Figura 9: Espectro de la señal original (señal de excitación) y la señal convolucionada



Para el caso de la auralización binaural se implementó el siguiente scrip:

```
clc;
clear;
% %
%Inicialización y convolución
[y1 fs1] = wavread('Palabra hablada 2 (ingles).wav'); % Señal anecoica
y1=y1(1:48000).*0.05;
[y2 fs] = wavread('BRIR-SUM NORES-esw-p1.wav'); % Respuesta impulsiva medida
y2R = y2(1:220500 , 1);
y2L = y2(1:220500 , 2);
y3R=conv(y1,y2R);
y3L=conv(y1,y2L);
wavwrite(y3R, fs, 'señaldeexcitacion-R-esw-p1.wav');
wavwrite(y3L, fs, 'señaldeexcitacion-L-esw-p1.wav');
% %
% PSD de la señal CONVOLUCIONADA DERECHA
figure(1)
nfft1R = 2^nextpow2(length(y3R)); %Devuelve la menor potencia de dos que sea mayor o igual a length(y3r)
Pxx1R=abs(fft(y3R,nfft1R)).^2/length(y3R)/fs;
Hpsd1R=dspdata.psd(Pxx1R(1:length(Pxx1R)/2),'fs',fs);
plot(Hpsd1R)
xlabel('Frecuencia [kHz]');
ylabel('Potencia/Frecuencia [dB/Hz]');
title('CONVOLUCIONADA DERECHA')
ylim([-160 -20]);
xlim([0.02 10]);
grid on
% %
% PSD de la señal CONVOLUCIONADA IZQUIERDA
figure(2)
nfft1L = 2^nextpow2(length(y3L));
Pxx1L = abs(fft(y3L,nfft1L)).^2/length(y3L)/fs;
Hpsd1L=dspdata.psd(Pxx1L(1:length(Pxx1L)/2),'fs',fs);
plot(Hpsd1L)
xlabel('Frecuencia [kHz]');
ylabel('Potencia/Frecuencia [dB/Hz]');
title('CONVOLUCIONADA IZQUIERDA')
ylim([-160 -20]);
xlim([0.02 10]);
grid on
% %
% PSD de la señal ORIGINAL
figure(3)
nfft1=2^nextpow2(length(y1));
Pxx1=abs(fft(y1,nfft1)).^2/length(y1)/fs;
Hpsd1=dspdata.psd(Pxx1(1:length(Pxx1)/2),'fs',fs);
plot(Hpsd1)
xlabel('Frecuencia [kHz]');
ylabel('Potencia/Frecuencia [dB/Hz]');
title('ORIGINAL')
ylim([-160 -20]);
xlim([0.02 10]);
```



```
grid on
% %
% FFT de ambas señales ORIGINAL Y DERECHA
figure(4)
L1=length(y1);
NFFT1 = 2^nextpow2(L1); % fft señal original 65536 = 2^16 Y1 = fft(y1,NFFT1)/L1;
% (anecoica) 65536
LIN1=linspace(0,1,NFFT1/2+1); % 1 a 32769 = [0,3E-5,6E-5,...
f1 = fs/2*LIN1; % 1 A 32769 = [0,0.67,1.34,...
L3R=length(y3R); % 268499
NFFT3R = 2^nextpow2(L3R); % fft señal convolucionada 524288 = 2^19 Y3R = fft(0.2*y3R,NFFT3R)/L3R;
% (auralizada)
LIN3R=linspace(0,1,NFFT3R/2+1);
f3R = fs/2*LIN3R;
plot(f1,2*abs(Y1(1:NFFT1/2+1)),'b');
hold on
plot(f3R,2*abs(Y3R(1:NFFT3R/2+1)),'r'); %gráficos
hold off
axis([0 1000 0 1.8E-3])
legend('Original','Convolucionada')
title('Espectro de ORIGINAL vs CONVOLUCIONADA DERECHA')
xlabel('Frecuencia (Hz)') ylabel('|Y(f)|') grid on
% %
% FFT de ambas señales ORIGINAL e IZQUIERDA
figure(5)
L3L=length(y3L); % 268499
NFFT3L = 2^nextpow2(L3L); % fft señal convolucionada 524288 = 2^19
Y3L = fft(0.2*y3L,NFFT3L)/L3L; % (auralizada)
LIN3L=linspace(0,1,NFFT3L/2+1);
f3L = fs/2*LIN3L;
plot(f1,2*abs(Y1(1:NFFT1/2+1)),'b');
hold on
plot(f3L,2*abs(Y3L(1:NFFT3L/2+1)),'r'); %gráficos
hold off
axis([0 1000 0 1.8E-3])
legend('Original','Convolucionada')
title('Espectro de ORIGINAL vs CONVOLUCIONADA IZQUIERDA')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('|Y(f)|')
grid on
```



La auralización binaural se produce usando la respuesta impulsiva derecha y la izquierda, por lo tanto se obtienen dos señales convolucionadas, las correspondientes salidas se muestran en las siguientes gráficas:

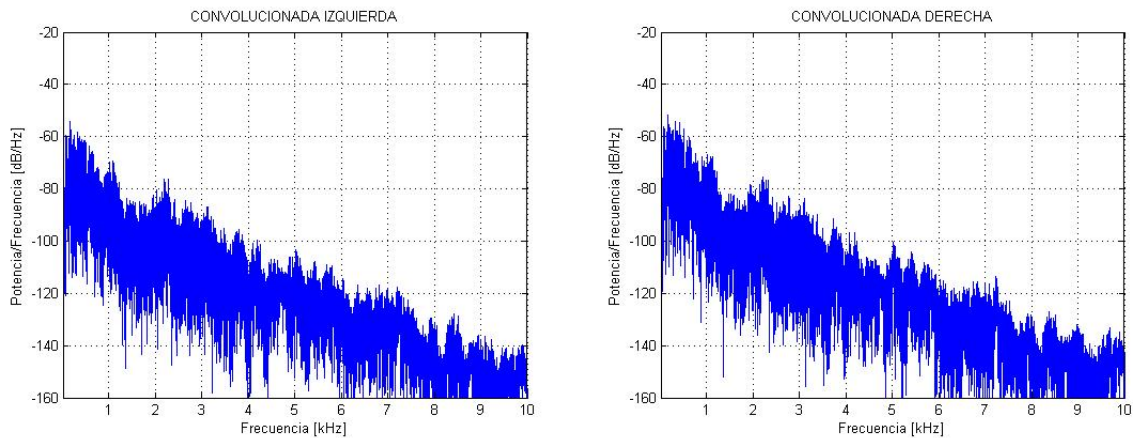


Figura 10: Curva DSP de la BRIR izquierda y derecha

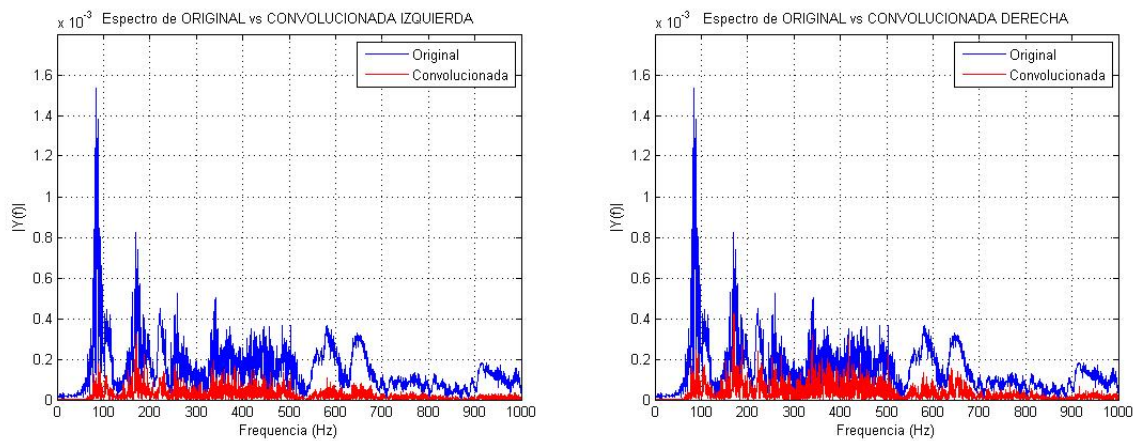


Figura 11: FFT de la señal original con la convolucionada derecha y de la original con la convolucionada izquierda



## Conclusión

Se puede observar en la figura 8, cuando se produce la auralización monoaural, la primera comparación entre la señal anecoica o de excitación con la señal convolucionada, es decir, la señal auralizada, mostradas como densidad espectral de potencia, la señal convolucionada tiene una densidad mayor que la señal anecoica y ambas pierden su energía por encima de los 10KHz. En la figura 9 se puede comparar los espectros de frecuencias de ambas señales donde se observa que la señal convolucionada es menor en amplitud que la señal original, esto es por que se encuentra atenuada para que pueda verse claramente, mientras que la señal original se atenuó desde el comienzo para que su espectro en frecuencia no esté saturado, la forma espectral de cada señal es similar hasta los 500Hz luego de los 1000Hz las señales prácticamente son nulas.

En la auralización binaural se puede observar las convoluciones derecha e izquierda con poca diferencia en su densidad de potencia, pero en su respuesta espectral mediante la FFT la señal convolucionada derecha es mayor en amplitud a la señal convolucionada izquierda y similar a la señal original con menor contenido armónico.

Mediante la función `wavwrite()` de matlab se creó los correspondientes audios de auralización monoaural y binaural, donde al escucharlos se percibía una pequeña diferencia, daba la sensación que el recinto de la auralización binaural era más grande en dimensiones que el monoaural, mientras que al escuchar entre la auralización binaural derecha y la izquierda, la sensación era la misma no se notaban diferencias.



## Referencias

Ahnert, W., y Feistel, R. 1992. EARS Auralization Software. Preprints of the Audio Engineering Society 93th Convention, 3388.

Ahrens, J., Geier, M., y Spors, S. 2008. The SoundScape Renderer: A Unified Spatial Audio Reproduction Framework for Arbitrary Rendering Methods. Preprints of the Audio Engineering Society 124th Convention, 7330.

Algazi, V. R., Duda, R. O, Duraiswami, R., Gumerov, N. A., y Tang, Z. 2002. Approximating the head-related transfer function using simple geometric models of the head and torso. The Journal of the Acoustical Society of America, 112 (5): 2053-2064.

Algazi, V. R., Duda, R. O, Morrison, R. P., y Thompson, D. M. 2001. Structural composition and decomposition of HRTFs. Proceedings of 2001 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics: 103–106, New Paltz, NY.

Algazi, V. R., Duda, R. O, Thompson, D. M., y Avendano, C. 2001. The CIPIC 213 Referencias HRTF database. Proceedings of 2001 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Electroacoustics: 99–102. New Paltz, NY.

Begault, D. R. 1994. 3-D sound for virtual reality and multimedia. AP Professional, NY. Blauert, J., Lehnert, H., Sahrhage, J., y Strauss, H. 2000. An Interactive Virtual-Environment Generator for Psychoacoustic Research. I: Architecture and Implementation. Acta Acustica united with Acustica, 86(1): 94-102.

Carrion Isbert, A. 2001. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Alfaomega, Barcelona. al n c , B.-I. 1996. Room acoustic prediction based on a unified treatment of diffuse and specular reflection. The Journal of the Acoustical Society of America, 100(2): 899-909.

Djelani, T., Porschmann, C., Sahrhage, J., y Blauert, J. 2000. An Interactive Virtual Environment Generator for Psychoacoustic Research II: Collection of Head-Related Impulse Responses and Evaluation of Auditory Localization. Acta Acustica united with Acustica, 86(6): 1046-1053.

Farina, A. 1995. RAMSETE - a new Pyramid Tracer for medium and large scale acoustic problems. Proceedings of Euro-Noise 95. Lyon, France.

Scarpaci, J. W., y Colburn, H. S. 2005. Principal components analysis interpolation of head related transfer functions using locally-chosen basis functions. Proceedings of 11 Meeting of the International Conference on Auditory Display. Limerick, Ireland.

Scavone, G. P., y Cook, P. R. 2005. RtMidi, RtAudio, and a Synthesis Toolkit (STK) update. Proceedings of the 2005 International Computer Music Conference: 1-4. Barcelona, Espana.

Schroeder, M. R. 1961. Novel Uses of Digital Computers in Room Acoustics. The Journal of the Acoustical Society of America, 33(11): 1669.

Schroeder, M. R. 1962a. Natural sounding artificial reverberation. Journal of the Audio Engineering Society, 10(3): 219–223. Gilkey y T. R. Anderson (Eds.), Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ. Silzle, A., Strauss, H., y Novo, P. 2004. IKA-SIM: A System to Generate Auditory Virtual Environments. Preprints of the Audio Engineering Society 116 th Convention: 6016.

Simpson, W. E., y Stanton, L. D. 1973. Head Movement Does Not Facilitate Perception of the Distance of a Source of Sound. The American Journal of Psychology, 86(1): 151-159.

Smith, J. O. 2010. Physical Audio Signal Processing: for Virtual Musical Instruments and Digital Audio Effects. W3K Publishing, Stanford. Soulodre, G. A., y Bradley, J. S. 1995.



Subjective evaluation of new room acoustic measures. The Journal of the Acoustical Society of America, 98(1): 294-301.

Stautner, J., y Puckette, M. 1982. Designing Multi-Channel Reverberators. Computer Music Journal, 6(1): 52- 65.

Steiglitz, K., y McBride, L. 1965. A technique for the identification of linear systems. IEEE Transactions on Automatic Control, 10(4): 461-464.

Tommasini, F. C., Ramos, O. A., y Ferreyra, S. 2008a. Modelado eficiente y validacion objetiva de la respuesta impulsiva de un recinto. Mecanica Computacional, XXVII: 443-455.

Tommasini, F. C., Ramos, O. A., y Ferreyra, S. 2008b. Comparacion objetiva de respuestas impulsivas de recintos medidas y simuladas. VI Congreso Iberoamericano de Acustica (FIA 2008), Buenos Aires, Argentina.

Tommasini, F. C., y Ramos, O. A. 2008. Modelo basado en evidencias perceptuales para simular respuestas impulsivas de recintos. Actas de la XXXIV Conferencia Latinoamericana de Informatica (CLEI 2008): 1100-1109. Santa Fe, Argentina.

Tommasini, F. C., y Ramos, O. A. 2010. Auralizacion en tiempo real: implementacion del modelo del oyente. Actas del 2o Congreso Internacional de Acustica UNTREF. Buenos Aires, Argentina.

Torger, A., y Farina, A. 2001. Real-time partitioned convolution for Ambiphonics surround sound. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics: 195-198, New Paltz, NY.

Torres, R. R., Svensson, U. P., y Kleiner, M. 2001. Computation of edge diffraction for more accurate room acoustics auralization. The Journal of the Acoustical Society of America, 109(2): 600-610.

Tsingos, N., Jiang, W., y Williams, I. 2011. Using Programmable Graphics Hardware for Acoustics and Audio Rendering. Journal of the Audio Engineering Society, 59(9): 628-646.

Tsingos, N., y Gascuel, J. D. 1997. Acoustic simulation using hierarchical timevarying radiant exchanges. Unpublished technical Report. iMAGISGRAVIR/IMAG.

Van Maercke, D. 1986. Simulation of sound fields in time and frequency domain using a geometrical model. Proceedings of the 12th International Congress of Acoustics (ICA'86). Toronto, Canada.

Vanderkooy, J. 1994. Aspects of MLS measuring systems. Journal of the Audio Engineering Society, 42(4): 219-231.

Vorlander, M. 2007. Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality (1st ed.). Springer, Berlin.

Vorlander, M., y Bietz, H. 1994. Comparison of methods for measuring reverberation time. Acustica, 80(3): 205-215.

Wefers, F., y Schroder, D. 2009. Real-time auralization of coupled rooms. Proceedings of the EAA Symposium on Auralization. Espoo, Finland.

Wenzel, E. M. 1998. The impact of system latency on dynamic performance in virtual acoustic environments. Proceedings of the 16th International Congress of Acoustics and 135th Meeting of the Acoustical Society of America: 180. Seattle, WA.

Wenzel, E. M., Miller, J. D., y Abel, J. S. 2000. Sound Lab: A Real-Time, Software-Based System for the Study of Spatial Hearing. Preprints of the Audio Engineering Society 108th Convention. Paris, France.