



## **Fundamentos de Acústica y Electroacústica (Año 2017)**

*Trabajo Práctico Nro: 3*

*Alumno: Juan Martín Lozada*

*Legajo N°: 62748*

*Docente: Ing. Sebastián P. Ferreyra*

### **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.

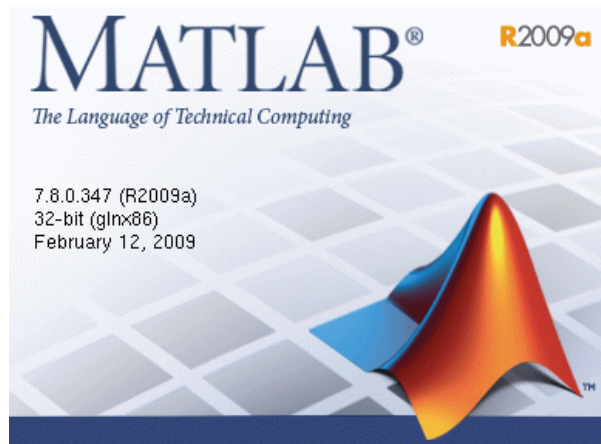
### **Materiales e Instrumental utilizado:**

- Señales anecoicas (registradas en campo libre, con instrumentación de medición).
- Respuestas impulsivas monoaurales y binaurales (medidas).
- Software de cálculo numérico matricial MATLAB versión R2009a.
- Computador personal Notebook Lenovo Modelo 80EW.

### **Desarrollo:**

Para realizar las auralizaciones a través del método de convolución entre la respuesta impulsiva de recintos y una señal anecoica se utilizó el software MATLAB versión R2009a (Figura N°1). Para correr el software se utilizó una notebook Lenovo modelo 80EW (Figura N°2).

Las respuestas impulsivas de recintos utilizadas (3 monoaurales “MRIR” y 3 binaurales “BRIR”) registradas en formato .WAV han sido medidas para diferentes posiciones de la fuente y el receptor, en recintos con diferentes condiciones acústicas, siguiendo las directrices que plantea la norma IRAM 4109-2 (compatible con ISO 3382-2). Las mediciones de MRIR fueron registradas utilizando un micrófono de medición tipo electrostático de ½ pulgada (Brüel & Kjaer, 4134); mientras que para el caso de las BRIR se utilizó un simulador de cabeza y torzo (Brüel & Kjaer, 4128). En ambos casos, se utilizó una fuente sonora omnidireccional tipo dodecaedro.



**Figura N°1.** MATLAB versión R2009a.



**Figura N°2.** Notebook Lenovo 80EW.

### ***Auralizaciones Monoaurales:***

La señal anecoica utilizada fue “Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav”. Se convolucionó con las respuestas impulsivas monoaurales de recintos “MRIR-A608-FSO1M2-esw.wav”, “MRIR-A608-FSO3M7-esw.wav” y “MRIR-CU-F1M2-esw.wav”.

El script de MATLAB utilizado es el siguiente:

```
clc;
clear;
%%
%Inicialización y convolución
[y1 fs1] = wavread('Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav'); % Señal anecoica

y1=y1(1:48000).*0.05;
[y2 fs] = wavread('MRIR-A608-FSO1M2-esw.wav'); % Respuesta impulsiva medida

y3=conv(y1,y2);
wavwrite(y3, fs, 'señal de auralizacion Mono1.wav');
```



```
%%
% PSD de la señal CONVOLUCIONADA
figure(1)
nfft3 = 2^nextpow2(length(y3));
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([-130 0]);
xlim([0.02 1]);
grid on

%%
% PSD de la señal ORIGINAL
figure(2)
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([-130 0]);
xlim([0.02 1]);
grid on

%%
% FFT de ambas señales ORIGINAL Y CONVOLUCIONADA
figure(4)
L1=length(y1);
NFFT1 = 2^nextpow2(L1); % fft señal original
Y1 = fft(2*y1,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(1*y3,NFFT3)/L3; % (auralizada)
LIN3=linspace(0,1,NFFT3/2+1);
f3 = fs/2*LIN3;

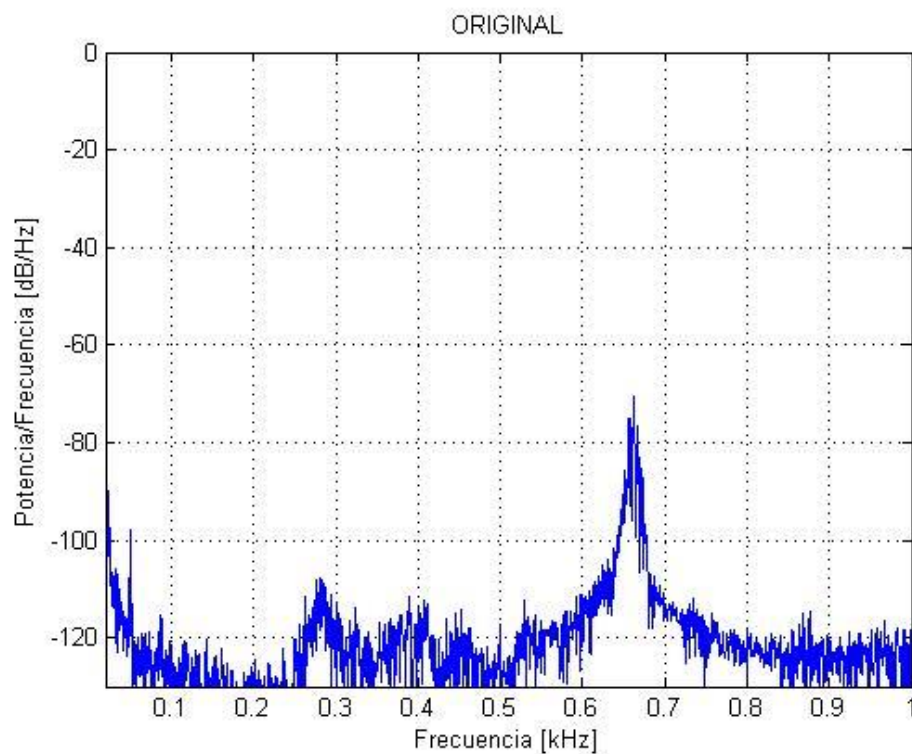
plot(f1,2*abs(Y1(1:NFFT1/2+1)),'b');
hold on
plot(f3,2*abs(Y3(1:NFFT3/2+1)),'r'); % gráficos
hold off
```



```
axis([0 800 0 1.6E-3])  
legend('Original','Convolucionada')  
title('Espectro de ORIGINAL vs CONVOLUCIONADA ')  
xlabel('Frecuencia (Hz)')  
ylabel('|Y(f)|')  
grid on
```

A continuación, se presentan las gráficas de densidad espectral de potencia (PSD) y transformada rápida de Fourier (FFT) para la señal anecoica y para cada una de las respuestas impulsivas convolucionadas con la misma:

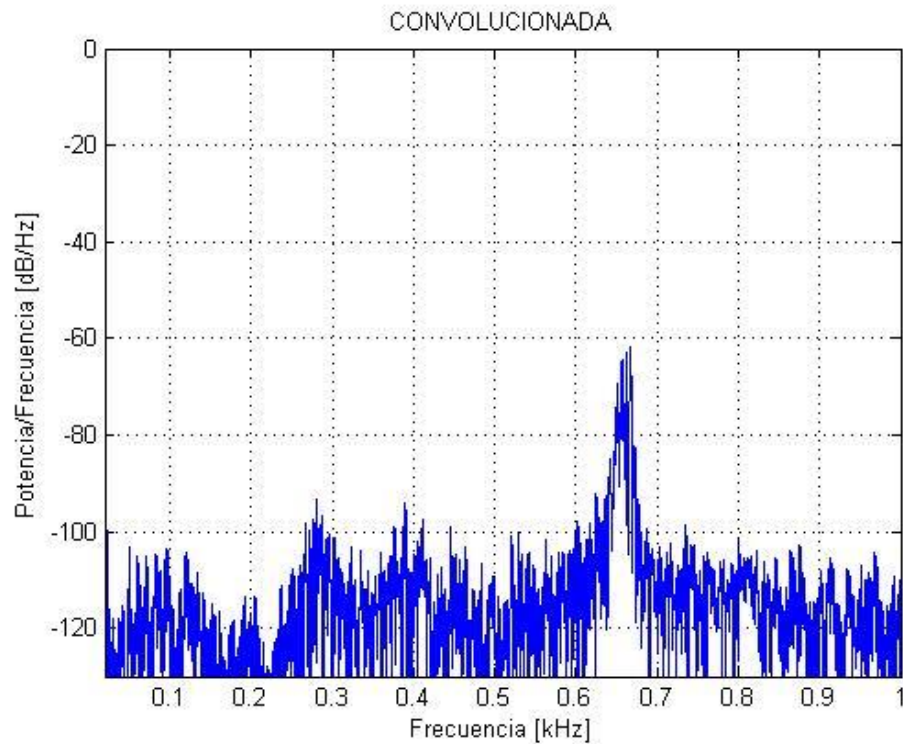
*Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav:*



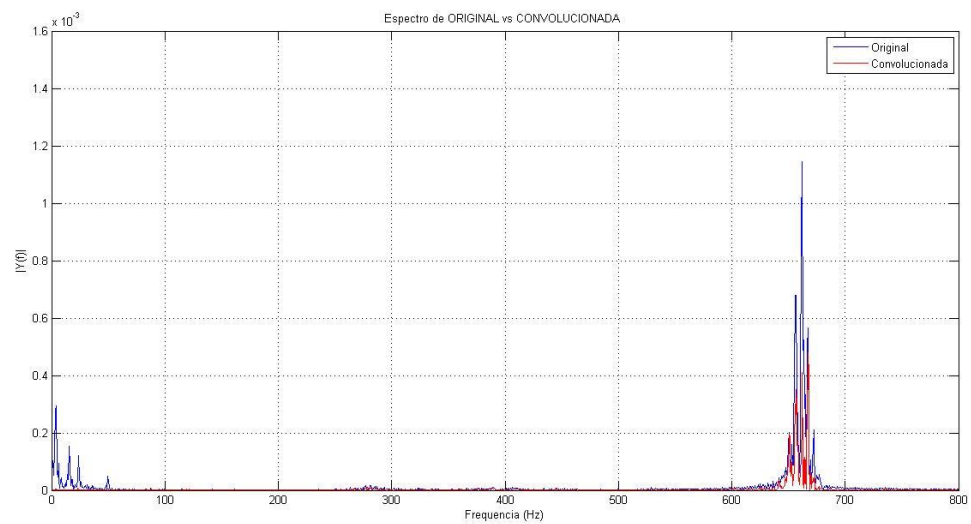
**Figura N°3.** PSD muestra Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.



MRIR-A608-FSO1M2-esw.wav:



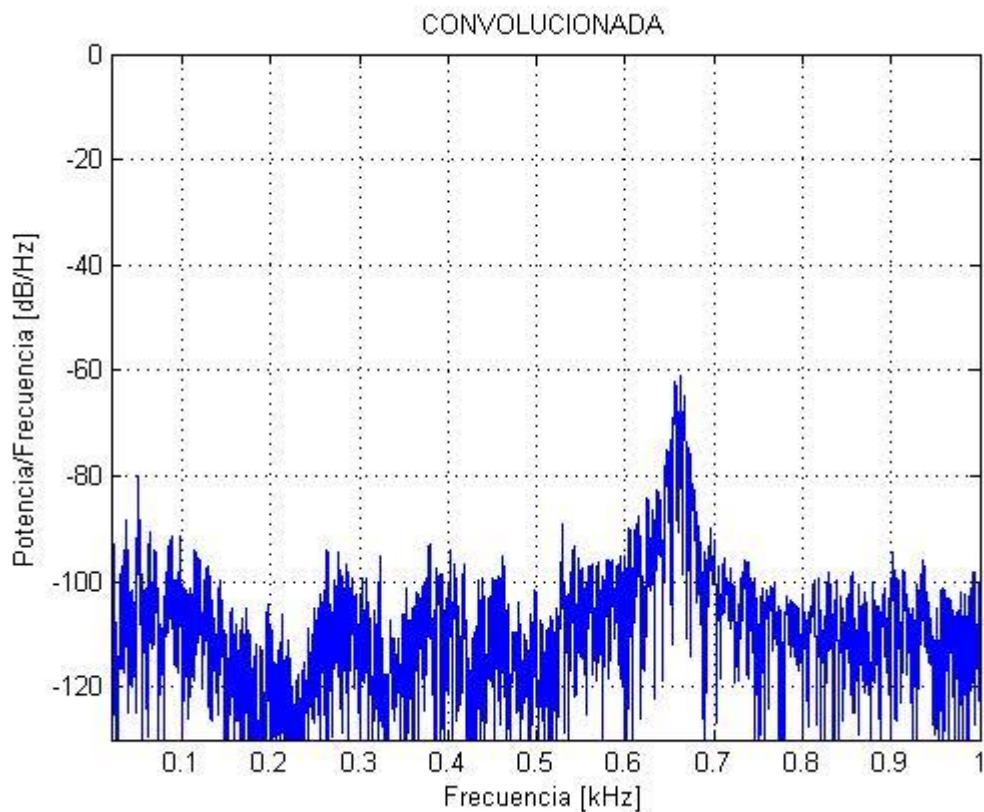
**Figura N°4.** PSD convolución muestra MRIR-A608-FSO1M2-esw.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.



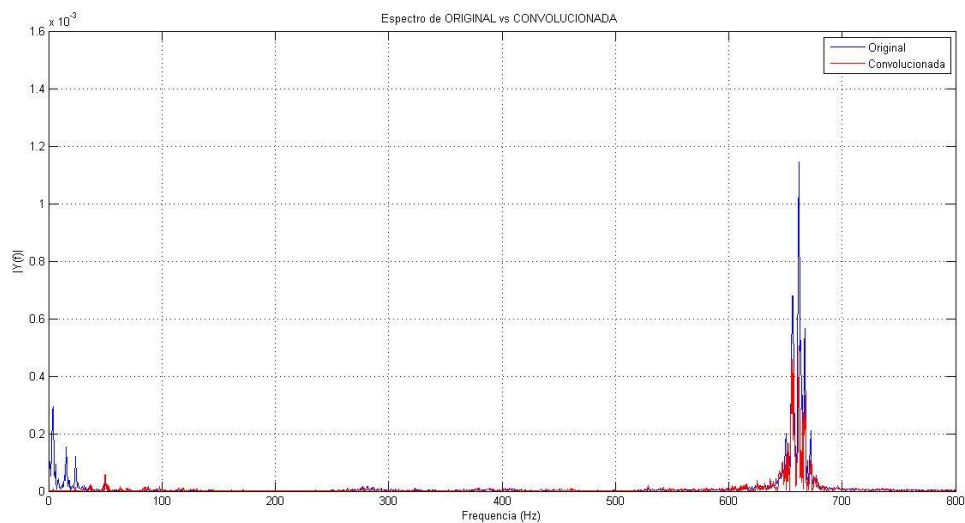
**Figura N°5.** FFT convolución muestra MRIR-A608-FSO1M2-esw.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.



MRIR-A608-FSO3M7-esw.wav:



**Figura N°6.** PSD convolución muestra MRIR-A608-FSO3M7-esw.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.

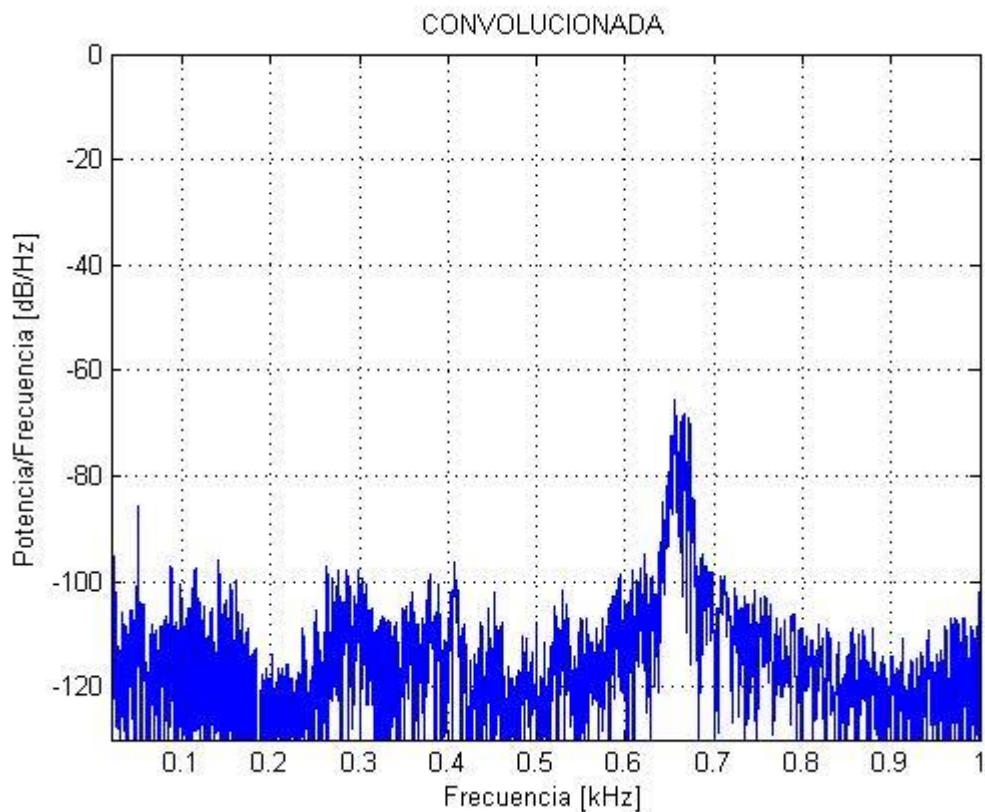


**Figura N°7.** FFT convolución muestra MRIR-A608-FSO3M7-esw.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.

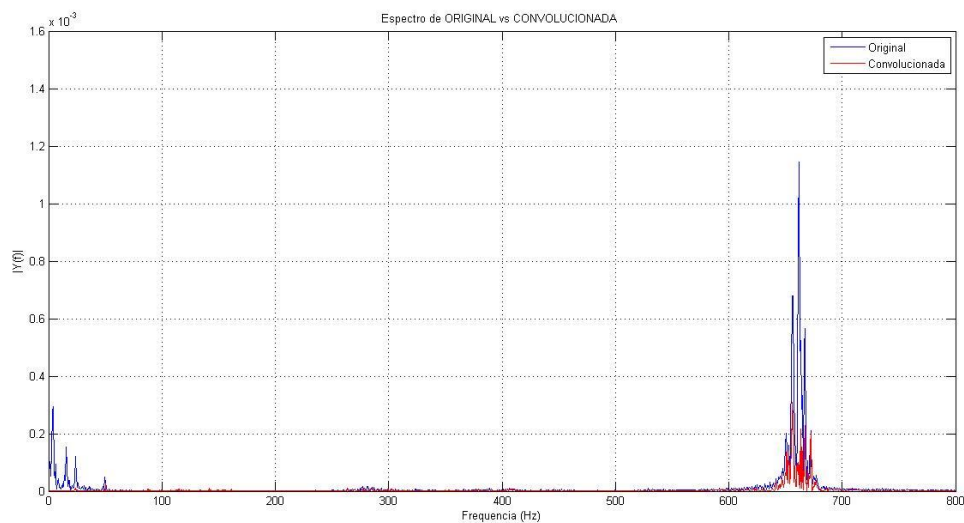




MRIR-CU-F1M2-esw.wav:



**Figura N°8.** PSD convolución muestra MRIR-CU-F1M2-esw.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.



**Figura N°9.** FFT convolución muestra MRIR-CU-F1M2-esw.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav.

### **Auralizaciones Binaurales:**

La señal anecoica utilizada fue “Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav”. Se convolucionó con las respuestas impulsivas binaurales de recintos “BRIR-SUM NORES-



esw-p5.wav”, “BRIR-SUM NORES-esw-p6.wav” y “BRIR-SUM NORES-esw-p7-gradas.wav”.

El script de MATLAB utilizado es el siguiente:

```
clc;
clear;
%%
% Inicialización y convolución
[y1 fs1] = wavread('Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav'); % Señal anecoica

y1=y1(1:48000).*0.05;
[y2 fs] = wavread('BRIR-SUM NORES-esw-p5.wav'); % Respuesta impulsiva medida

y2D = y2(1:220500 , 1);
y2I = y2(1:220500 , 2);

y3D=conv(y1,y2D);
y3I=conv(y1,y2I);

wavwrite(y3D, fs, 'señal de auralizacion BinD1.wav');
wavwrite(y3I, fs, 'señal de auralizacion BinI1.wav');

%%
% PSD de la señal CONVOLUCIONADA DERECHA
figure(1)
nfft1R = 2^nextpow2(length(y3D));
Pxx1R = abs(fft(y3D,nfft1R)).^2/length(y3D)/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([-130 0]);
xlim([0.02 1]);
grid on
%%
% PSD de la señal CONVOLUCIONADA IZQUIERDA
figure(2)
nfft1L = 2^nextpow2(length(y3I));
Pxx1L = abs(fft(y3I,nfft1L)).^2/length(y3I)/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([-130 0]);
xlim([0.02 1]);
```





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([-130 0]);
xlim([0.02 1]);
grid on
%%
% FFT de ambas señales ORIGINAL y DERECHA
figure(4)
L1=length(y1);
NFFT1 = 2^nextpow2(L1);
Y1 = fft(3*y1,NFFT1)/L1;
LIN1=linspace(0,1,NFFT1/2+1);
f1 = fs/2*LIN1;

L3R=length(y3D);
NFFT3R = 2^nextpow2(L3R);
Y3R = fft(0.2*y3D,NFFT3R)/L3R;
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');
hold off
axis([0 800 0 1.6E-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)

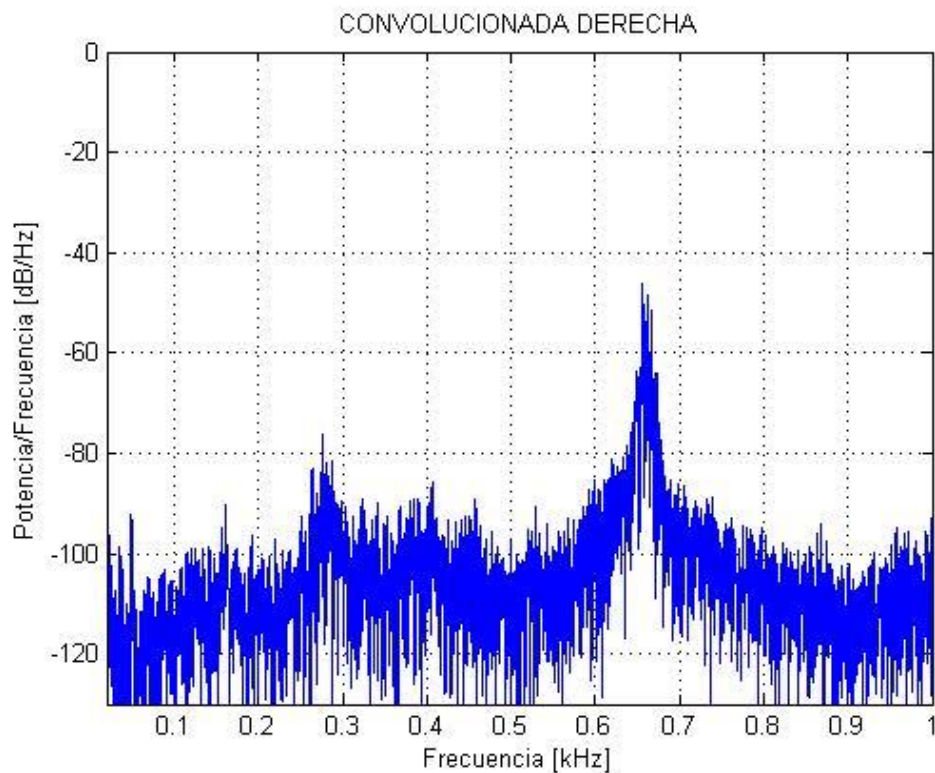
L3L=length(y3I);
NFFT3L = 2^nextpow2(L3L);
```



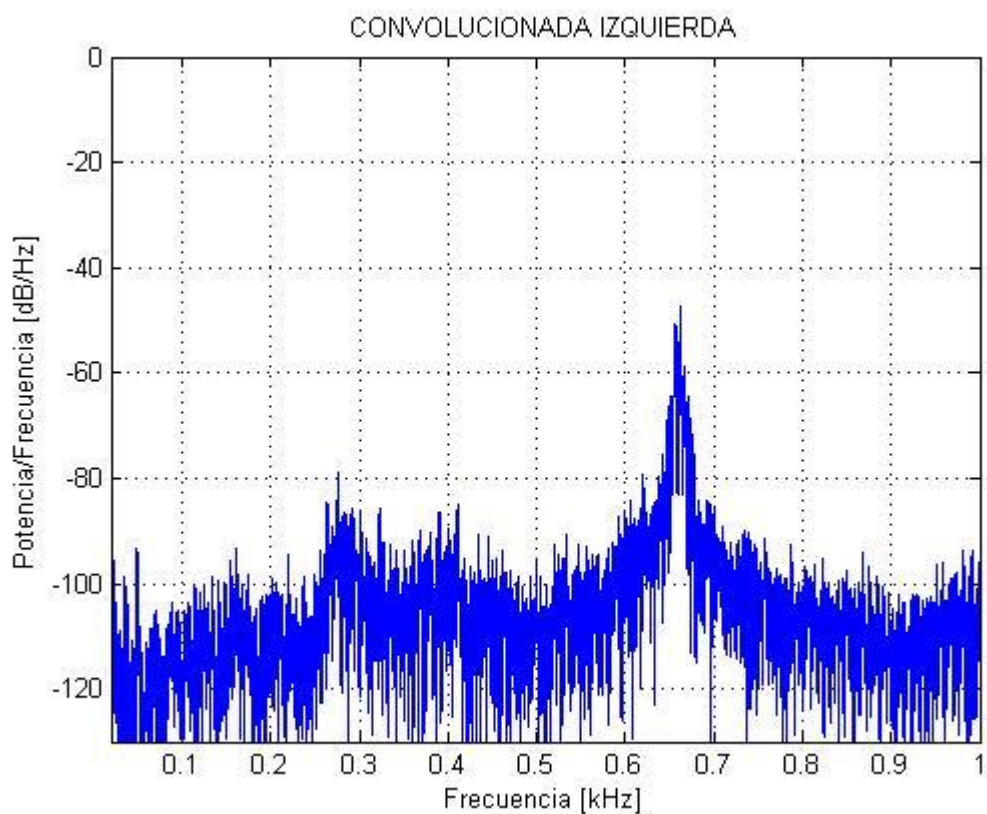
```
Y3L = fft(0.2*y3L,NFFT3L)/L3L;  
LIN3L=linspace(0,1,NFFT3L/2+1);  
f3L = fs/2*LIN3L;  
  
plot(f1,2*abs(Y1(1:NFFT1/2+1)), 'b');  
hold on  
plot(f3L,2*abs(Y3L(1:NFFT3L/2+1)), 'r');  
hold off  
axis([0 800 0 1.6E-3])  
legend('Original','Convolucionada')  
title('Espectro de ORIGINAL vs CONVOLUCIONADA IZQUIERDA')  
xlabel('Frecuencia (Hz)')  
ylabel('|Y(f)|')  
grid on
```

A continuación, se presentan las gráficas de densidad espectral de potencia (PSD) y transformada rápida de Fourier (FFT) para cada una de las respuestas impulsivas convolucionadas con la misma señal anecoica tanto para oído derecho como izquierdo:

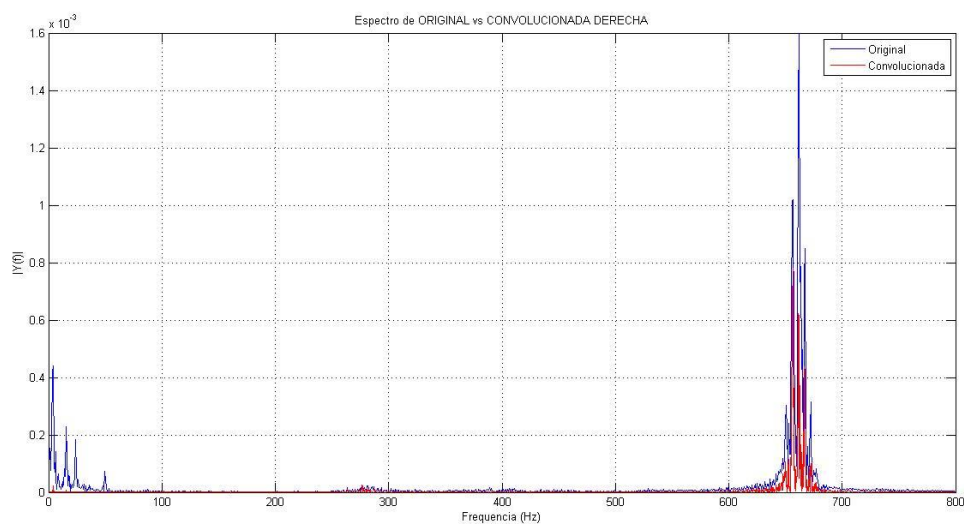
*BRIR-SUM NORES-esw-p5.wav:*



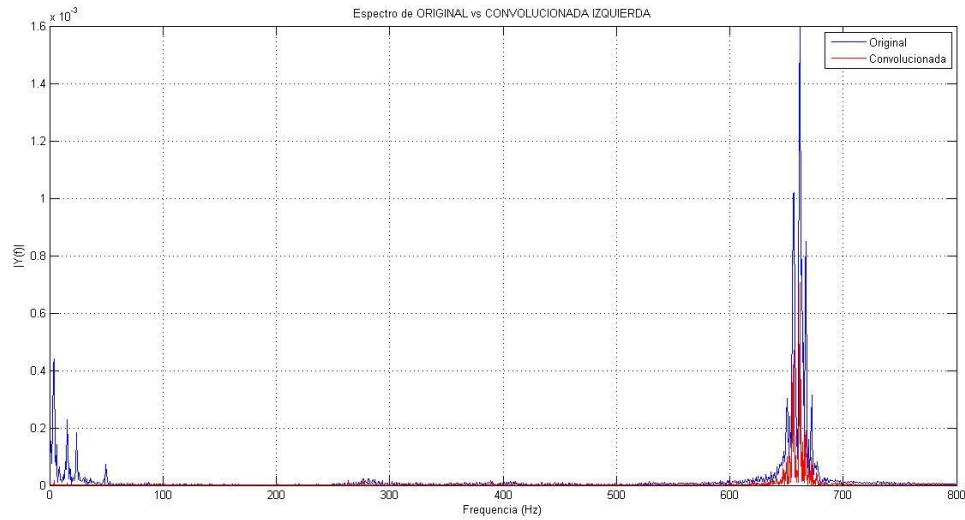
**Figura N°10.** PSD convolución muestra *BRIR-SUM NORES-esw-p5.wav* con *Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav* oído derecho.



**Figura N°10.** PSD convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p5.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído izquierdo.

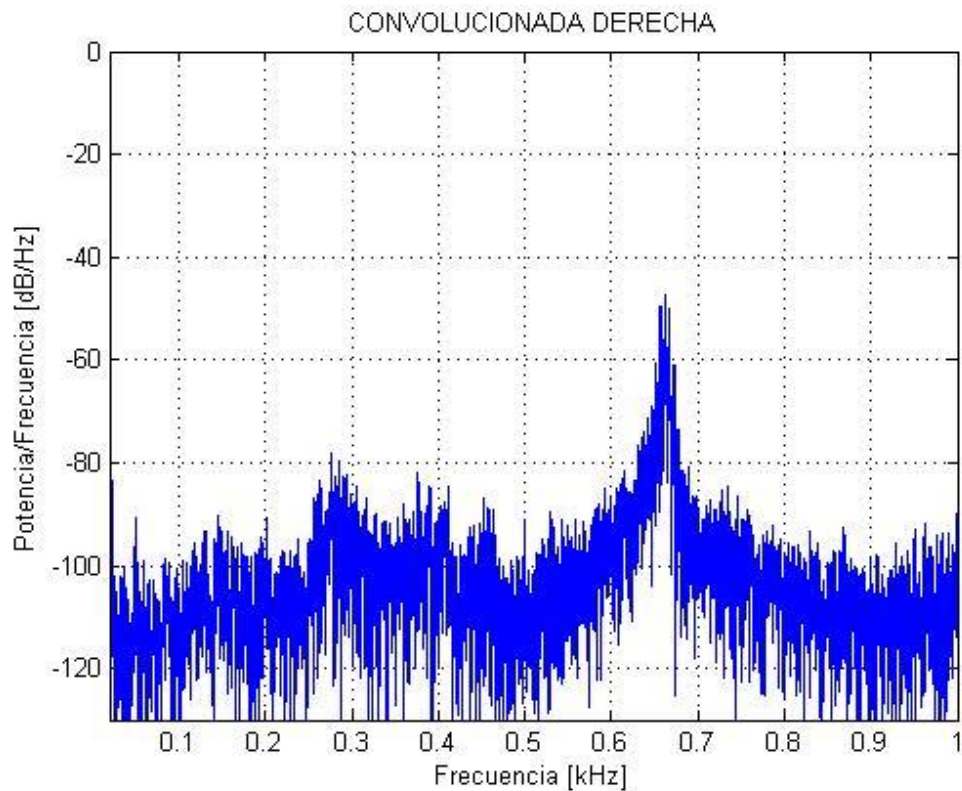


**Figura N°12.** FFT convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p5.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído derecho.

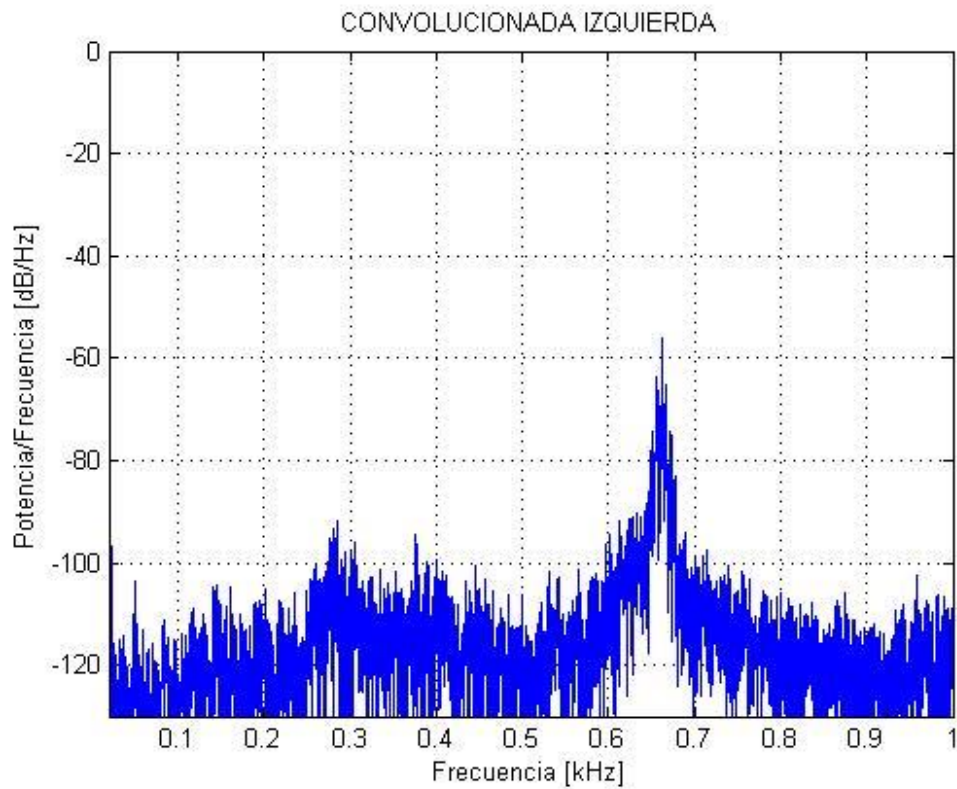


**Figura N°13.** FFT convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p5.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído izquierdo.

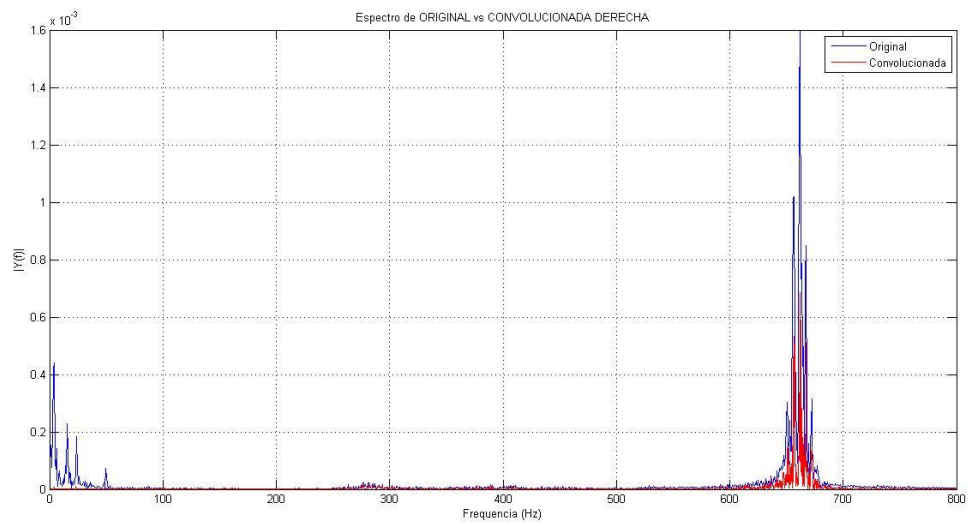
BRIR-SUM NORES-esw-p6.wav:



**Figura N°14.** PSD convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p6.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído derecho.

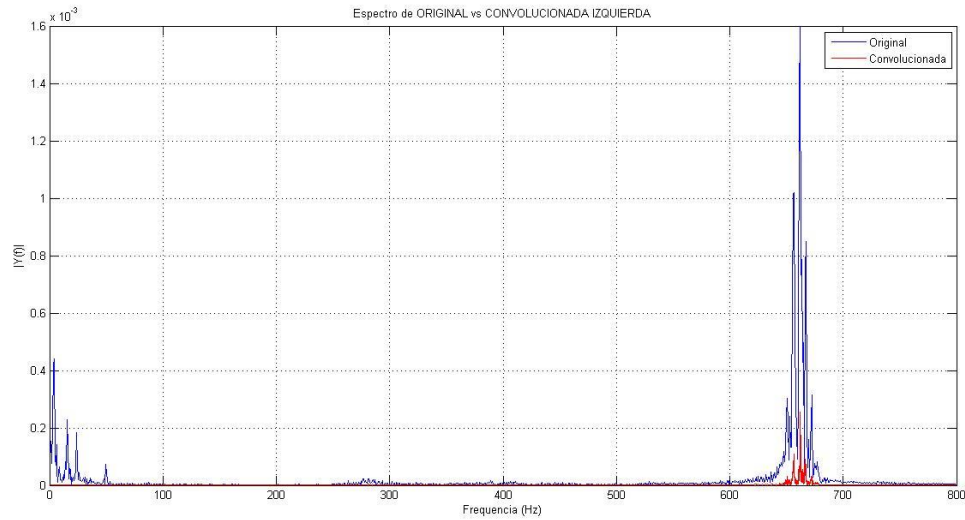


**Figura N°15.** PSD convolución muestra *BRIR-SUM NORES-esw-p6.wav* con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído izquierdo.



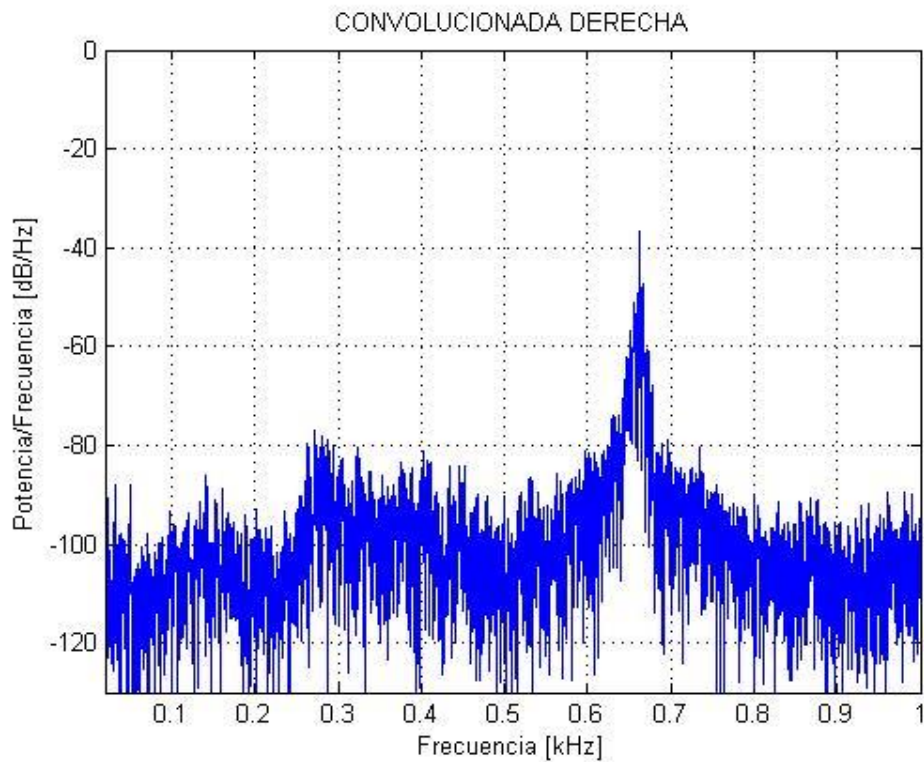
**Figura N°16.** FFT convolución muestra *BRIR-SUM NORES-esw-p6.wav* con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído derecho.





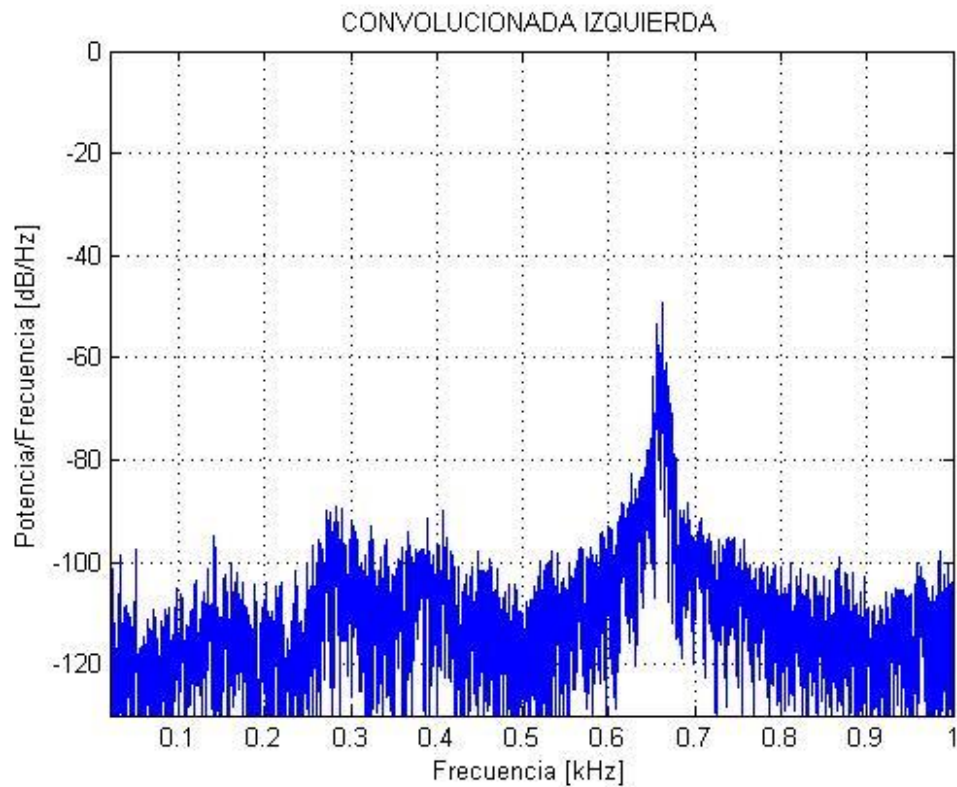
**Figura N°17.** FFT convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p6.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído izquierdo.

BRIR-SUM NORES-esw-p7-gradas.wav:

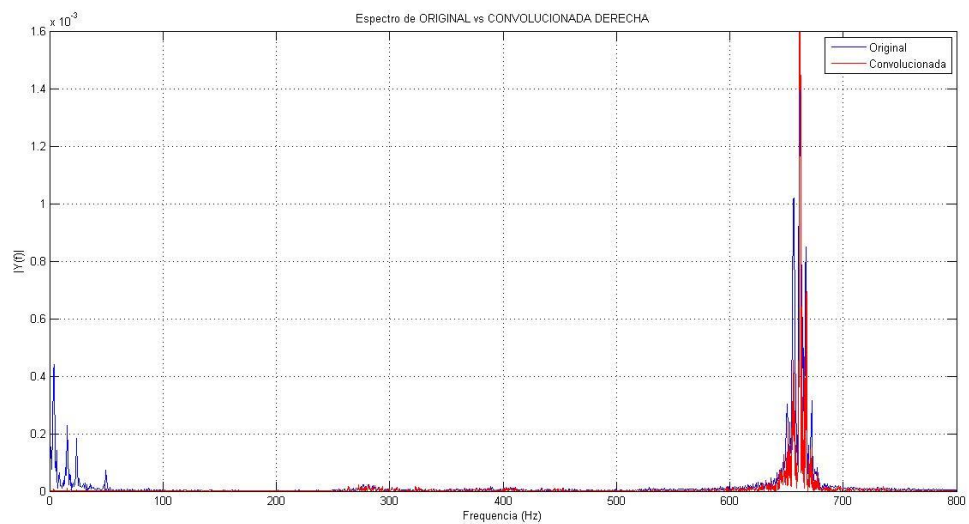


**Figura N°18.** PSD convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p7-gradas.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído derecho.

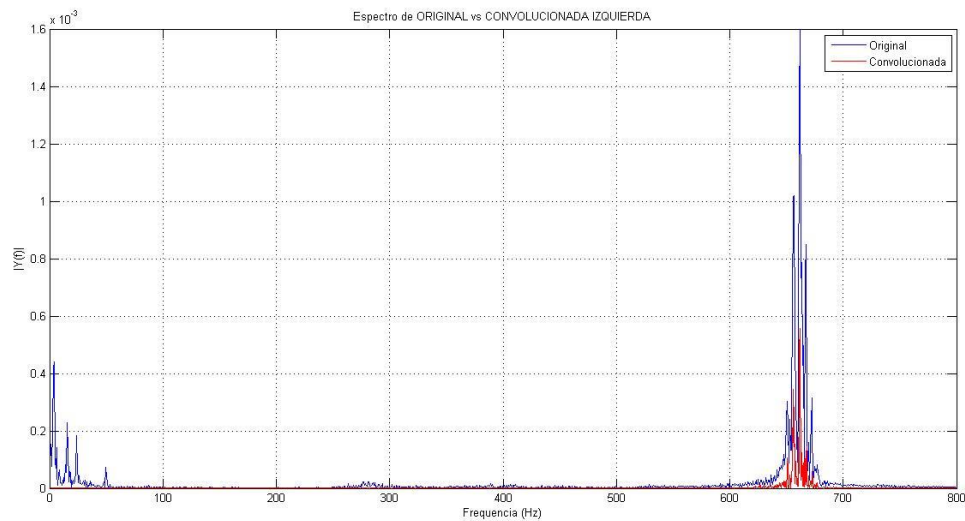




**Figura N°19.** PSD convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p7-gradas.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído izquierdo.



**Figura N°20.** FFT convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p7-gradas.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído derecho.



**Figura N°21.** FFT convolución muestra BRIR-SUM NORES-esw-p7-gradas.wav con Violin, Mendelssohn Violin Concert.wav oído izquierdo.

### Conclusiones:

A partir del trabajo realizado se puede concluir que el método de auralización por convolución de una señal anecoica con una respuesta impulsiva de un recinto sirve como aproximación para simular la sensación auditiva en un recinto generada por la fuente emisora. Sin embargo, una persona cualquiera no se siente inmersa en la auralización ya que ésta no contempla la función de transferencia de su sistema auditivo.

Por medio de la FFT se puede observar que la composición en frecuencia de la señal convolucionada se ve mínimamente modificada con respecto a la señal original. Las características del recinto le dan otros parámetros como tiempo de reverberación, brillo, sonoridad, etc.

### Referencias:

- [1] Ferreyra Sebastián, “Guía de la Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica”. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.
- [2] MATLAB versión R2009a Help, The Language of Technical Computing, The MathWorks.