

Conjunto de datos primarios de investigación

Funciones de transferencia de un arreglo circular de micrófonos en baffle con forma humana

Autores:

- **Alfredo Gonzalez**
Alumno de Carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
- **Ernesto Accolti**
Investigador del CONICET en Instituto de Automática, UNSJ-CONICET

Año de recolección de los datos: 2022

INDICE

1- OBJETIVOS.....	3
2- ESPACIO.....	4
3- ESQUEMA DE PUNTOS.....	4
4- HARDWARE.....	6
5- PROCEDIMIENTO.....	8
6- SOFTWARE. PROCESAMIENTO DE SEÑAL.....	11
7- SEÑALES OBTENIDAS.....	14
8- CONCLUSIONES.....	18
9- REFERENCIAS.....	18

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivos Generales

El presente trabajo tiene como objetivo inferir respuestas al impulso de una sala usando un parlante y 10 (diez) micrófonos distribuidos en el contorno de la cabeza de un maniquí con separación constante entre ellos. Con las respuestas en cuestión se busca conformar una base de datos que permita su posterior estudio.

El prototipo empleado en las mediciones tiene como función conformar un arreglo de micrófonos montado en un cuerpo esférico que simule ser la cabeza del usuario y permita captar los sonidos desde distintos ángulos.

La principal aplicación de los datos obtenidos es el desarrollo de un micrófono 360 destinado a aplicaciones de realidad virtual y a partir de este darle una direccionalidad más realista a cada uno de los audios, renderizandolos biauralmente, de manera de conformar un espacio sonoro envolvente que sumerja al usuario en una experiencia más atrapante y compleja.

1.2 Objetivos Específicos

a) Realizar un esquema de puntos de medición con el receptor ubicado en el centro de la habitación a 7 ángulos distintos Azimut (salvo en los extremos de elevación) y 6 posiciones de fuente, ubicada siempre a 70 cm del maniquí pero a 6 alturas diferentes que formen 6 ángulos distintos de elevación dando un total de 32 combinaciones de posiciones fuente-receptor según lo indica la tabla 1.

Tabla 1. Ángulos de Medición

Angulo de Elevación (Theta)	Angulo Azimut (phi)
0°	0°
30°	0°, 45°, 90°, 135°, 180°
60°	0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°
90°	0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°
120°	0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°
150°	0°, 45°, 90°, 135°, 180°

b) Registrar individualmente y en simultáneo para los 10 (diez) micrófonos las señales de excitación enviadas al parlante para cada combinación fuente-receptor.

c) Inferir las 320 respuestas al impulso correspondientes a 10 micrófonos y 32 combinaciones fuente-receptor.

d) Informar el procedimiento completo incluyendo equipamiento, conexiones, software utilizado, configuración experimental con las dimensiones y distancias relevadas, graficar algunos ejemplos de respuestas al impulso y anexar un archivo con todo el material de audio.

2 ESPACIO

Para la toma de sonido del presente proyecto se hizo uso de la Sala de Conferencias ubicada en la Nueva Construcción del Sector Sur de la Facultad de Ingeniería. Las dimensiones de la misma se observan en las figuras 1 y 2.

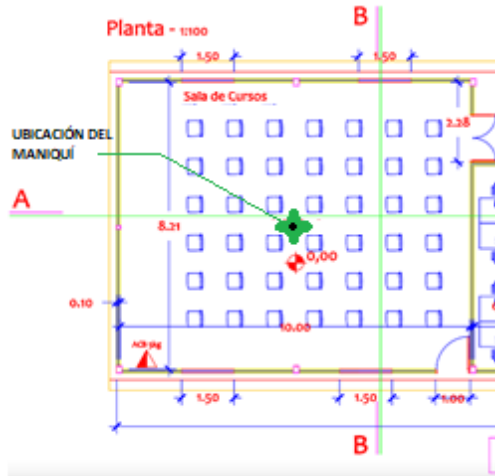


Figura 1. Vista Superior Plano Sala de Conferencias

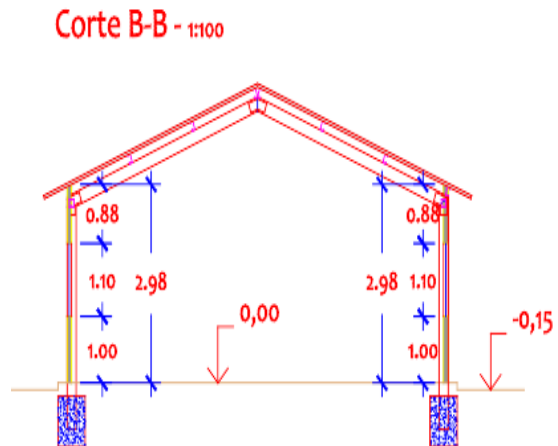


Figura 2. Corte lateral Plano Sala de Conferencias

Durante la práctica, se tomó como eje de ubicación del maniquí al centro de la sala, tal y como se señala en la figura 1.

3 ESQUEMA DE PUNTOS

A partir de la Tabla 1 se elabora el esquema de puntos de medición para las distintas combinaciones fuente-receptor. En primer lugar se toma como punto de origen el centro de la sala, donde se coloca el maniquí, y la altura de la vincha que funciona como soporte para los micrófonos, la cual se encuentra a una altura de 1,74 m.

A partir de este, se coloca el parlante en la posición de 90° (theta) y a la misma altura que el maniquí, dando una elevación de 1,67 m desde la base hasta el centro del cono. Tomando en consideración que la distancia del centro de la cabeza hasta el parlante debe ser siempre de 70 cm, se emplea Pitágoras para calcular las distintas posiciones del parlante para cada uno de los ángulos de elevación Theta. Lo mencionado se observa en la figura 3.

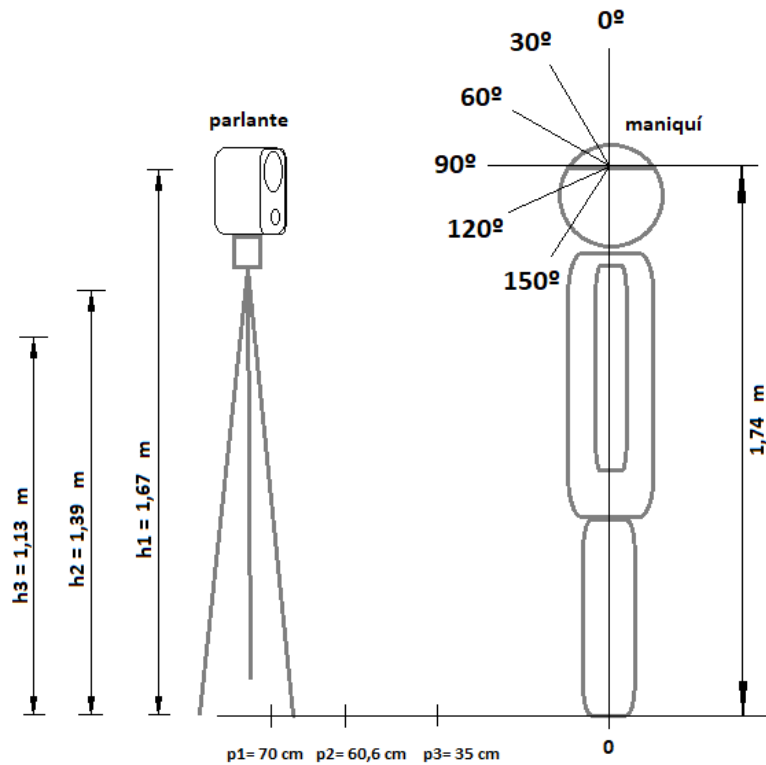


Figura 3. Diagramas de posiciones para los distintos ángulos Theta

De esta, se puede concluir que para un ángulo Theta de 120° , se debe colocar el parlante en el punto p_2 , a $60,6$ cm del origen y a una altura h_2 de $1,39$ m. Para los demás ángulos se opera de la misma forma.

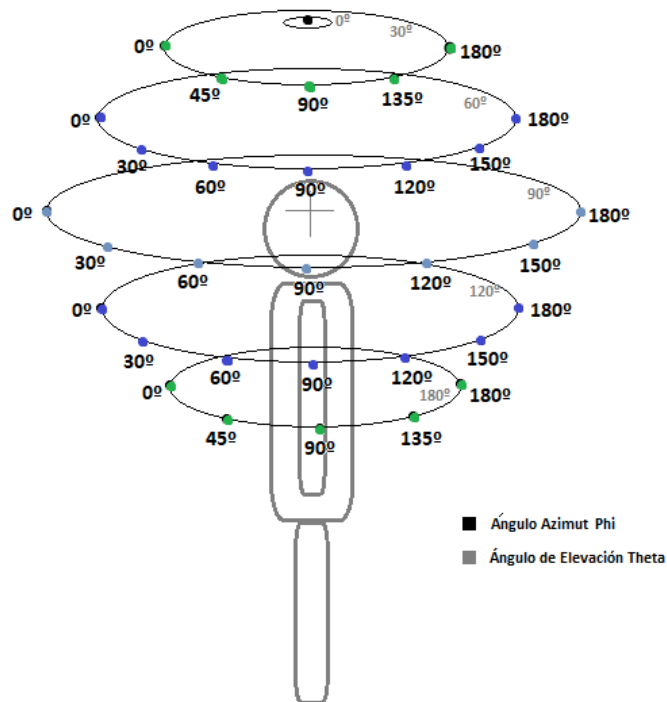


Figura 4. Diagrama de puntos de medición respecto a Phi

Por otro lado tenemos a los puntos de medición respecto del ángulo Azimut. Para el mismo, se considera como origen a la posición del maniquí enfrentado al parlante. A partir de este, para lograr la posición correspondiente a cada uno de los ángulos, se hace uso de un transportador 360 tomando como referencia al esquema de mediciones de la figura 4.

4 HARDWARE

Una vez realizado el diagrama de mediciones se procede a realizar el armado de conexiones de los equipos a emplear. Los mismos se listan a continuación.

a) 10 (diez) micrófonos omnidireccionales con ficha Canon macho de tres terminales. En este punto es necesario resaltar que se intentó usar en cada toma el mismo grupo de micrófonos ubicados en la misma posición.



Figura 5. Micrófono omnidireccional

b) Placa RME Fireface UC. Se trata de una interfaz de audio USB 2.0 de 36 canales y alta velocidad. Posee ocho E/S analógicas y una E/S digital ADAT que proporciona 16 entradas analógicas adicionales.



Figura 6. Placa Fireface UC

c) Placa Behringer ADA8200 Ultragain ADAT. Es un módulo de rack 8 canales con preamplificadores Midas y conectividad Word Clock / ADAT.



Figura 7. Placa Behringer

d) Parlante Audioengine 2+. Altavoz con amplificador de potencia analógico incorporado, entrada de audio analógica doble, entrada de audio USB.



Figura 8. Parlante Audioengine

e) Cable óptico para comunicación ADAT.



Figura 9. Cable Óptico

f) Transportador 360 y trípode.



Figura 10. Transportador 360 y Trípode

A estos elementos se deben agregar todos los materiales necesarios para la alimentación de los mismos, como alargues, además de la PC necesaria para procesar los datos. Un elemento adicional es la vincha que soporta los micrófonos. La misma fue realizada con polietileno expandido a modo de prueba.

5 PROCEDIMIENTO

Una vez dispuestos todos los elementos necesarios, se procede a la interconexión de los equipos.

a) Se posiciona el maniquí y se ubican los diez micrófonos en el soporte a una distancia fija. Como se mencionó anteriormente, se emplea en cada prueba los mismos mics colocados en la misma ubicación. La configuración seguida se observa en la figura 11 y 12.

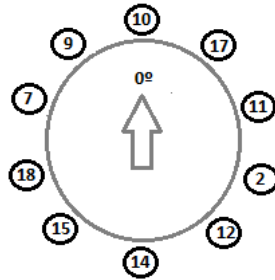


Figura 11. Distribución de Micrófonos



Figura 12. Micrófonos distribuidos en el soporte

b) A la placa Behringer se colocan los mics del 10 al 2 en los canales del 1 al 8 respectivamente. Se colocan todas las ganancias en mínimo y se activa el phantom, como se muestra en la figura 13.



Figura 13. Conexión placa Behringer

c) Los 2 mics restantes, 11 y 17, ingresan a la placa RME. A esta también llegan los 8 mics de la placa anterior mediante comunicación óptica. Las figuras 14 y 15 muestran lo mencionado.



Figura 14. Mics 11 y 17 en la placa RME



Figura 15. Salida de audio y entrada USB y Óptico.

d) Se ubica el parlante a la distancia y altura calculada y se lo conecta a la salida de la placa RME. La figura 16 muestra la conexión.

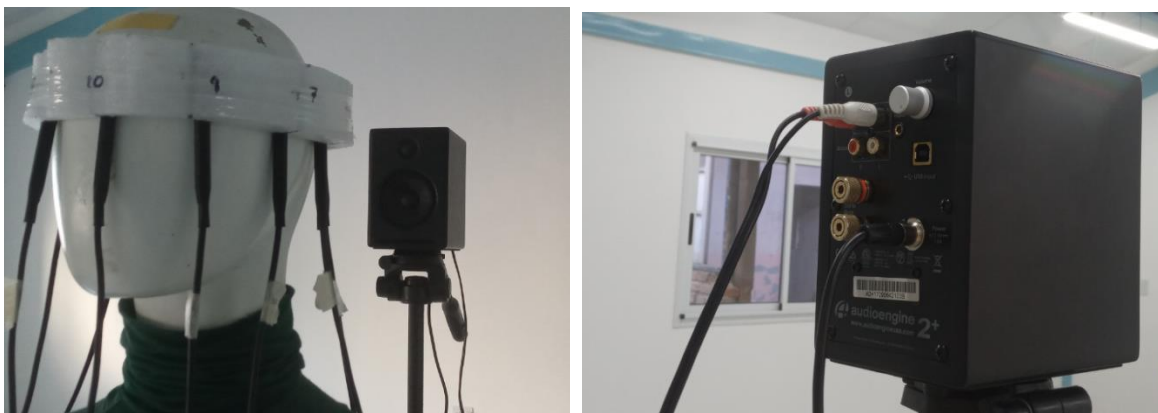


Figura 16. Puesta de Parlante para ubicación 90°

e) Desde la PC abrimos la interface RME TotalMix. Activamos el Phantom para los Mic 11 y 17. Las 8 señales restantes ingresarán por los canales ADAT 1 al 8.

f) En la PC creamos una sesión de Reaper, asignándoles una pista del 2 al 11 a cada señal de la interface. En la pista 1 cargamos el archivo de audio dry.wav que se enviara al parlante. Fig17

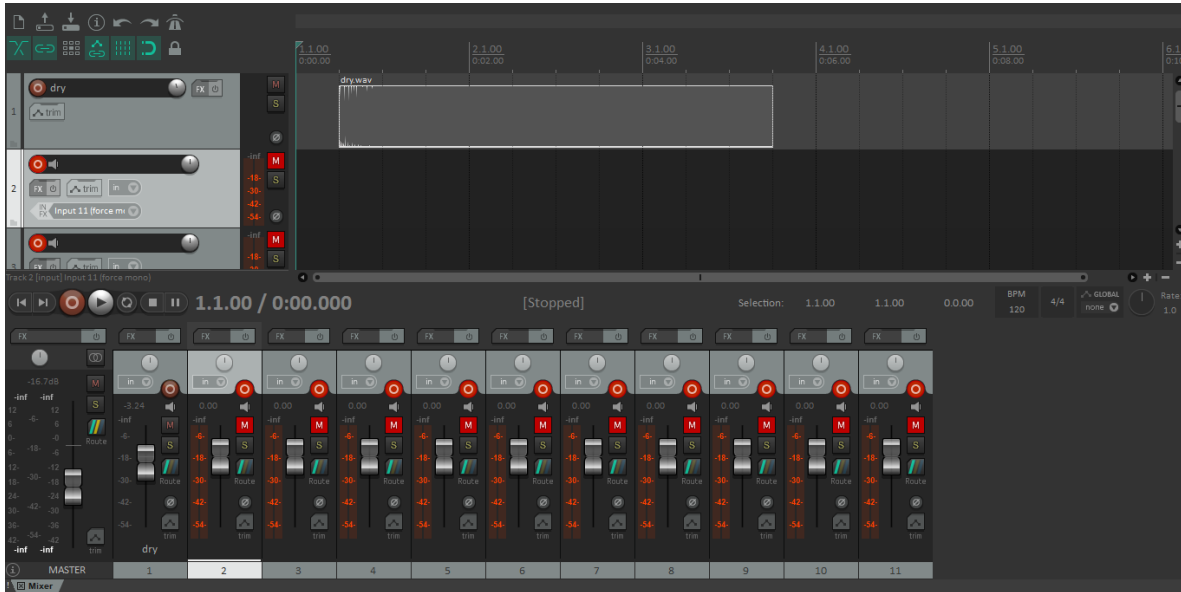


Figura 17. Sesión de Reaper

g) Una vez activado y verificado cada uno de los elementos, se procede a reproducir el archivo de audio y grabar las señales captadas por los mics para cada uno de las posiciones. Lo mismo se muestra en las figuras 18, 19 y 20.



Figura 18. Puesta de parlante para Theta 30° (izq.) y 60° (der)



Figura 19. Puesta de parlante para Theta 120° (izq.) y 150° (der)



Figura 20. Puesta de parlante para Theta 90°

6 SOFTWARE. PROCESAMIENTO DE SEÑAL

Una vez obtenidas todas las señales necesarias de la toma de sonido, se procede a registrarlas y procesarlas. Para esto se hace uso de la función de Matlab *prueba_getIR*. La misma es un código que prueba la función *getIR.m* de obtención de la respuesta al impulso de un sistema a partir de dos archivos de audio: uno de entrada y otro de salida al sistema. En nuestro caso, la señal de entrada

será el archivo de audio 'dry.wav', mientras que la señal de salida corresponde a cada una de las señales obtenidas durante la práctica.

La función se puede observar en las figuras 21, 22 y 23. En primer lugar el código carga los dos archivos de audio y obtiene la frecuencia de muestreo a partir de la función 'audiainfo()'. A partir de este, calcula la respuesta al impulso empleando la función 'getIR'. A continuación obtiene la transformada de Fourier de la señal obtenida y grafica por último la respuesta en tiempo y frecuencia.

```
1 %% Entradas
2 - x_fname='30-0-9.wav';
3 - y_fname='dry.wav';
4 - Nfft=2^9;
5 %% Intermedios
6 - Fsyl=audiainfo(y_fname);
7 - Fsy=Fsyl.SampleRate;
```

Figura 21. Carga de audio y frecuencia de Muestreo

```
8 %% Respuesta al impulso
9 - h = getIR(x_fname,y_fname);
10 - t = (0:length(h)-1)/Fsy;
11 %% search max sample in imp resp
12 - t_max = (find(abs(h)>.1*max(abs(h)),1))/Fsy;
13
14 %% Respuesta en frecuencia
15 - H = fft(h,Nfft);
16 - omega = (0:Nfft/2-1)/Nfft*Fsy;
```

Figura 22. Obtención de la respuesta al impulso y su equivalente en frecuencia

```
17 %% Plot
18 - figure
19 - plot(t,h);
20 - hand_h = gca;
21 - hand_h.XLim = t_max + [-.1 .2]; % zoom a tiempos entre 100 ms previos y 200 ms posteriores al máximo
22
23 - figure
24 - plot(omega,H(1:Nfft/2));
25 - hand_h = gca;
26 - hand_h.XLim = [20 20e3]; % zoom a frecuencias audibles
```

Figura 23. Grafica ambas respuestas.

Como se mencionó, la función anterior llama a la función *getIR* para obtener la respuesta del sistema. La misma se muestra a continuación en la Figura 24.

```

1  function [h] = getIR(y,x,f0min,f0max,Fs,lor)
2  % This function estimates the impulse response of a system h in wich an
3  % exitation signal x was introduced to produce an output signal y.
4  %
5  % Usage: [RT,R2,Sch,tt,Fs2,h1] = ...
6  % reverb_calc(N_wet,N_dry,fob,f0min,f0max,lor)
7  %
8  % h: impulse response
9
10 %% input data
11 if nargin<1, y='dry.wav';
12 end
13 if nargin<2, x='wettddb.wav';
14 end
15 if nargin<3, f0min =56;
16 end
17 if nargin<4, f0max=19000;
18 end
19 if nargin<5, Fs=44100;
20 end
21 if nargin<6, lor = 0; % wet 0: left or mono (default) 1: right channel
22 end

```

Figura 24. Lectura de datos para la función gerIR

En ella se realiza la lectura de las señales de audio de entrada y de salida a las cuales nombramos *dry.wav* y *wet.wav*.

Como sabemos, la salida del sistema en función del tiempo está dada por la convolución entre la señal de entrada y la respuesta al impulso del sistema $h(t)$.

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

Para lograr el objetivo, la función emplea la propiedad de la Transformada de Fourier para la convolución, en la que la convolución de dos variables en el tiempo, se convierte en el producto de la transformada de estas variables en frecuencia.

$$y(t) = x(t) * h(t) \rightarrow Y(f) = X(f) H(f) \rightarrow H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

Aquí, $H(f) = F\{h(t)\}$, la transformada de Fourier de la función impulso, es la llamada función de transferencia de frecuencia del sistema y en general es compleja y se puede expresar analíticamente como:

$$H(f) = |H(f)|e^{j\theta(f)}$$

Luego, despejando y antitransformando, se obtiene la respuesta $h(t)$ de nuestro sistema. Lo expuesto se observa en la Figura 25.

```

48 %% compute fft and drop waves
49 - Xwet=fft([xwet; aux1]); clear aux1 clear xwet
50 - Xdry=fft([xdry; aux2]); clear aux2 clear xdry
51 % H = -> Xwet./Xdry
52 %% compute impulse response h
53 - H = Xwet./Xdry; % frequency response
54
55 % filter a band
56 - wn1 = ceil(f0min/Fs*1+1); % lowcut index
57 - wn2 = floor(f0max/Fs*1+1); % highcut index
58 - w = zeros(1,1); w(wn1:wn2)=1; % filter window
59 - H=H.*w;
60 - h = real(ifft(H));

```

Figura 25. Transformada de Fourier de las señales de entrada para el despeje y cálculo de $H(f)$. Posteriormente se realiza el filtrado y la anti transformada.

Por último, a la respuesta h se la transforma en una señal de audio empleando el arreglo obtenido y la frecuencia de muestreo de la señal original F_{sy} .

```

>> h2=h.*10^03;
>> audiowrite('h7.wav',h2,Fsy);

```

7 SEÑALES OBTENIDAS

De la toma de sonido realizada se obtuvieron 310 señales correspondientes a los 10 micrófonos para las 31 posiciones planteadas, exceptuando la toma a 0° , tal y como se vio en la tabla 1. A continuación se muestran algunas de las respuestas obtenidas, correspondientes a dos de los micrófonos empleados, el N°7 y el N°2 (ver figura 11), los cuales se ubican en sectores opuestos de la esfera. También cabe recordar que el código de Matlab empleado entrega dos graficas correspondiente a las respuestas del sistema en función del tiempo y de la frecuencia.

1) -Elevación (Theta): 90° Azimut (Phi): 0°

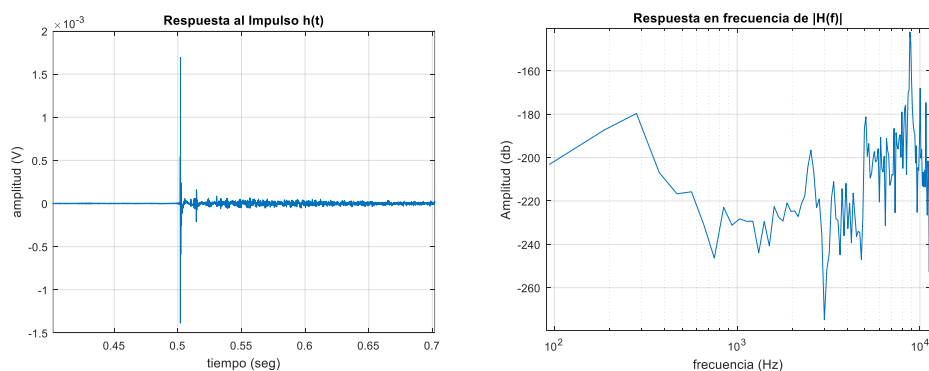


Figura 26. Respuesta para el Mic. 7 (posición 3) para Theta:90 y Phi:0

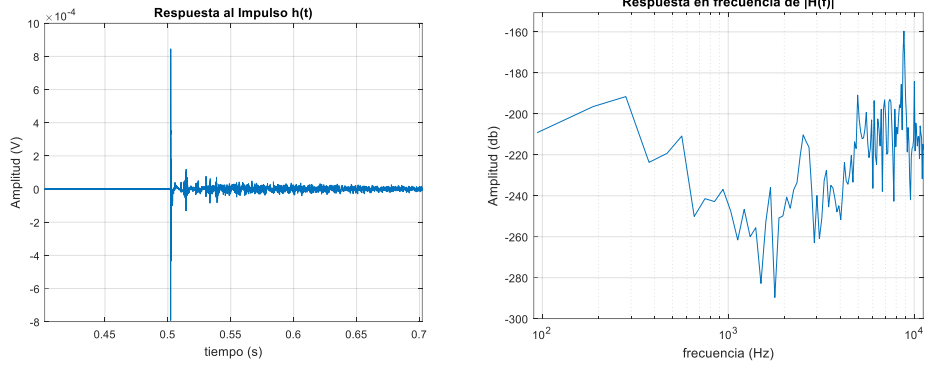


Figura 27. Respuesta para el Mic. 2 (posición 8) para Theta:90 y Phi:0

2) -Elevación (Theta): 90° Azimut (Phi): 60°

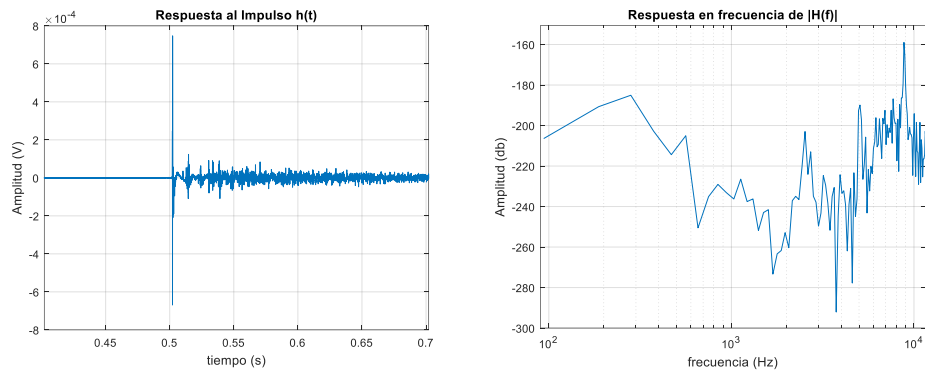


Figura 28. Respuesta para el Mic. 7 (posición 3) para Theta:90 y Phi:60

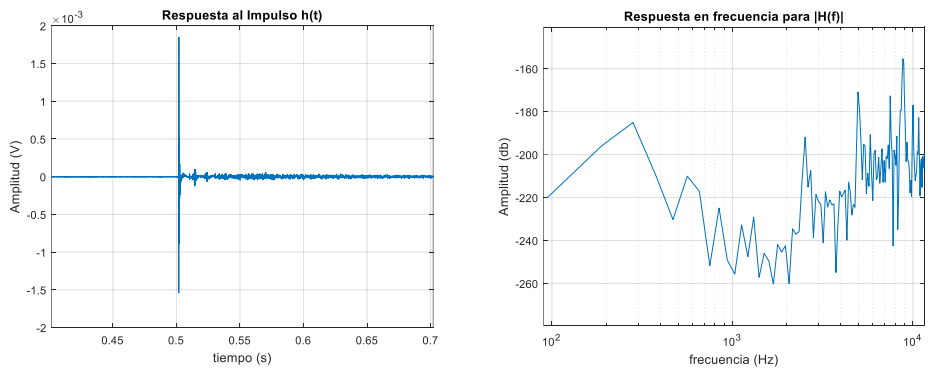


Figura 29. Respuesta para el Mic. 2 (posición 8) para Theta:90 y Phi:60

3) -Elevación (Theta): 90° Azimut (Phi): 180°

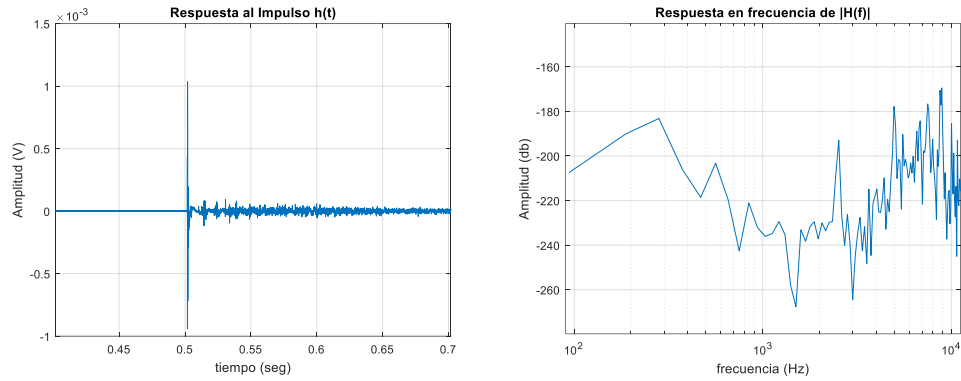


Figura 30. Respuesta para el Mic. 7 (posición 3) para Theta:90 y Phi:180

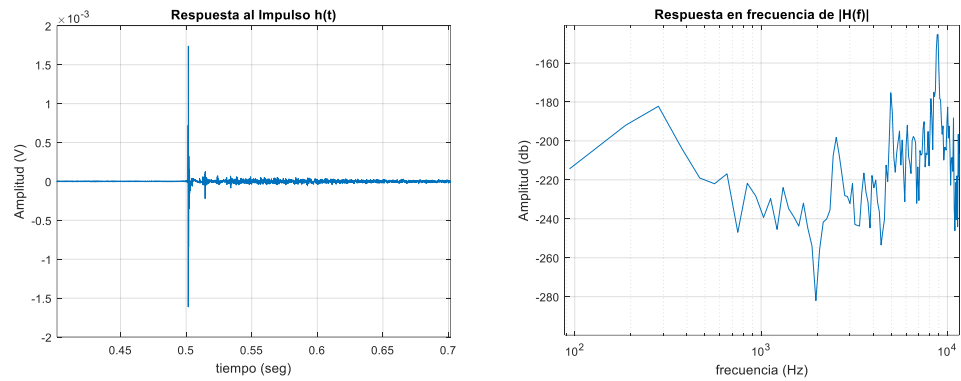


Figura 31. Respuesta para el Mic. 2 (posición 8) para Theta:90 y Phi:180

4) -Elevación (Theta): 150° Azimut (Phi): 0°

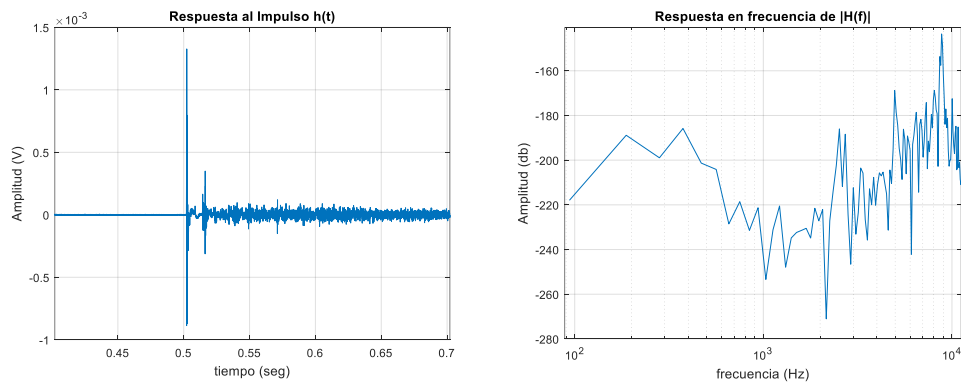


Figura 32. Respuesta para el Mic. 7 (posición 3) para Theta:150 y Phi:0

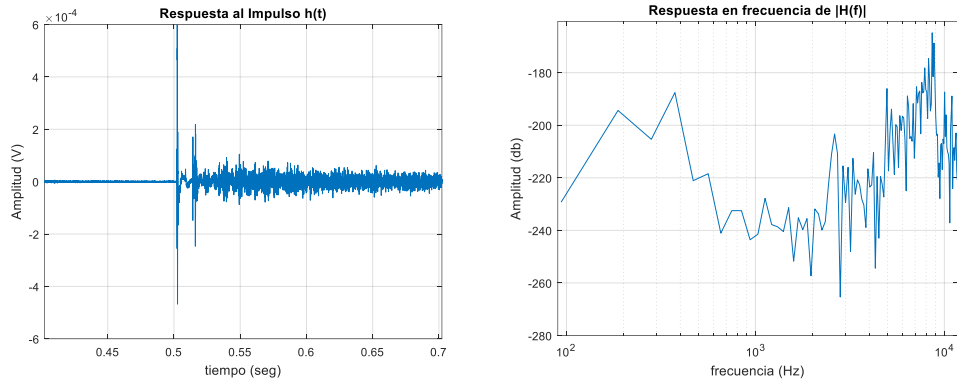


Figura 33. Respuesta para el Mic. 2 (posición 8) para Theta:150 y Phi:0

5) -Elevación (Theta): **150°** Azimut (Phi): **90°**

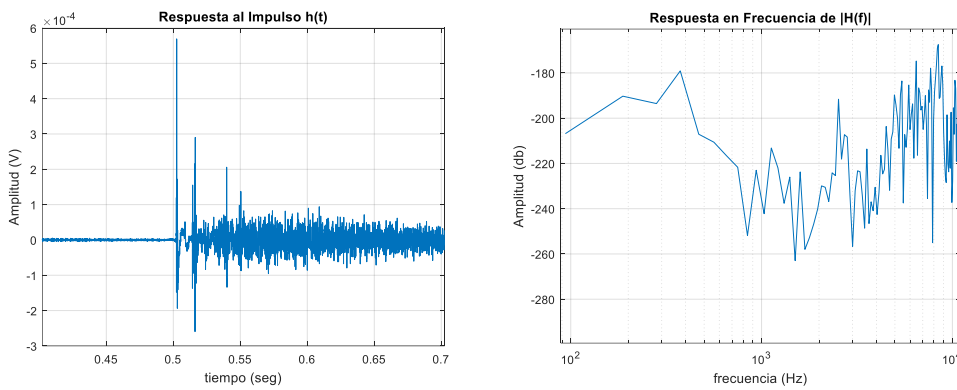


Figura 34. Respuesta para el Mic. 7 (posición 3) para Theta:150 y Phi:90

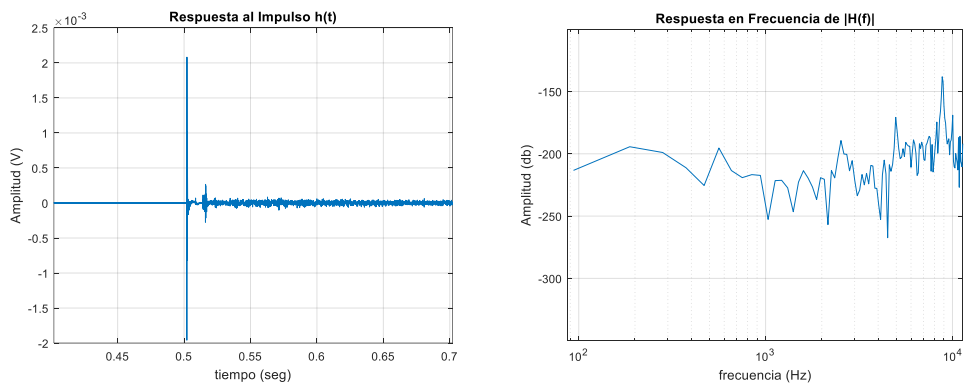


Figura 35. Respuesta para el Mic. 2 (posición 8) para Theta:150 y Phi:90

6) -Elevación (Theta): 150° Azimut (Phi): 180°

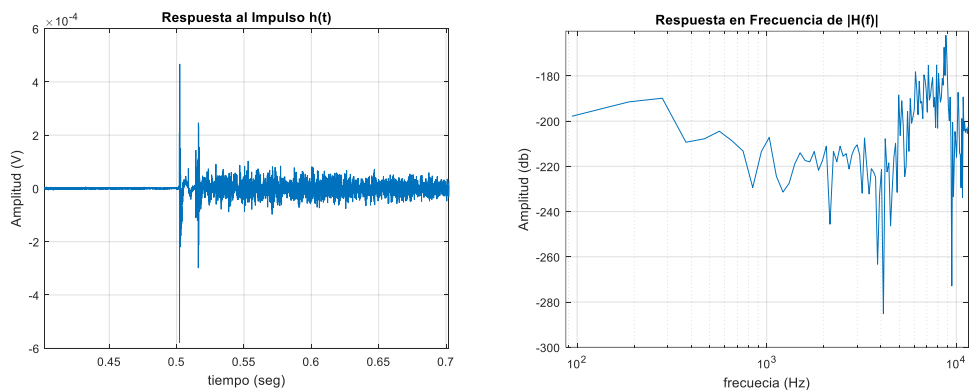


Figura 36. Respuesta para el Mic. 7 (posición 3) para Theta:150 y Phi:180

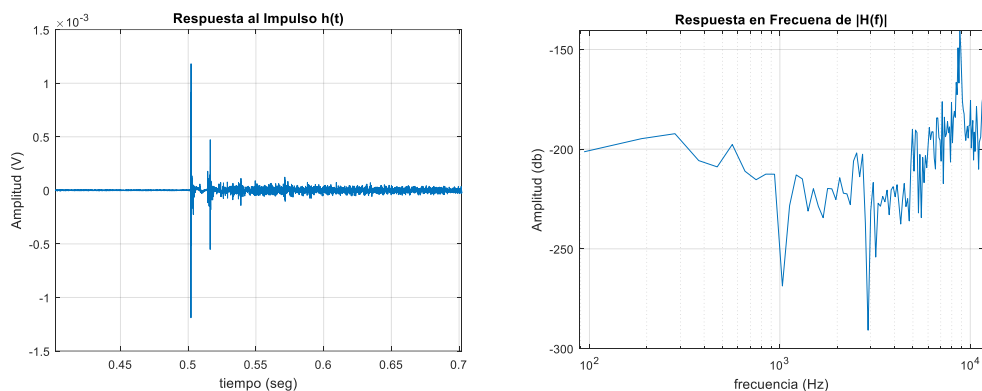


Figura 37. Respuesta para el Mic. 2 (posición 8) para Theta:150 y Phi:180

8 CONCLUSIONES

Con este trabajo, se logró llevar adelante la toma de sonido de las 310 mediciones que se plantearon, llevándolas posteriormente a Matlab para procesarlas y formar las respuestas al impulso correspondientes. Tanto las señales de audio capturadas, el estímulo empleado y las respuestas generadas conforman un conjunto de datos.

9 REFERENCIAS

- 1) Spherical Harmonic Decomposition of a Sound Field, Chalmers University of Technology
- 2) Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-Sine Technique, Angelo Farina, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Palma, Italia.