

# TRABAJO PRÁCTICO 1: MEDICIÓN DE ESPECIFICACIONES DE MICRÓFONO

JONATHAN D. FREIDKES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Tres de Febrero, Electroacústica I, Buenos Aires, Argentina.  
jonifreidkes@gmail.com

**Resumen** – Se realiza el presente trabajo con el fin de obtener empíricamente las especificaciones de distintos micrófonos a través de mediciones basadas en diversas normas y métodos. Se mide sensibilidad y respuesta en frecuencia a través del método propuesto por Don Davis con ciertas modificaciones, pero en condiciones no ideales. Luego a través de metodología más moderna se vuelven a estimar estos parámetros con mayor precisión, adicionando la medición de efecto de proximidad y diagrama de captación.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se busca en este trabajo obtener las especificaciones técnicas principales que caracterizan cualquier micrófono y permiten comparar distintos transductores de similares características entre sí. Más allá de que las mediciones no logran describir por completo todos los elementos de caracterización de este tipo de dispositivos, se puede obtener los que generalmente revisten mayor importancia. En dos etapas de medición en días separados, se mide bajo dos métodos de diversa índole. Por un lado, en una medición inicial se utilizan la forma aplicada previa a la masificación de la informática y acceso a la tecnología computacional de alta gama para todos los fabricantes. Se realiza a través de una modificación del método propuesto por Don Davis. Esto implica la medición en condiciones acústicas específicas (mínimamente recinto anecoico o semi anecoico, ruido de fondo casi inexistente) con instrumental electrónico de baja complejidad, como ser multímetro y sonómetro con el objetivo de la obtención de respuesta en frecuencia aproximada y la sensibilidad del micrófono. En una segunda etapa de medición se utiliza una interfaz digital para conversión analógica a digital con el fin de registrar los datos medidos a través de un soporte virtual, y su posterior procesamiento informático. Esto se acerca aún más a los métodos utilizados actualmente y permite la obtención de datos más precisos, el requerimiento de menos extrapolación en los cálculos y mayor facilidad en el proceso general. El objetivo de aplicación de este método es obtener la respuesta en frecuencia, sensibilidad, patrón polar y variación de la respuesta por efecto de proximidad. Así se llega a que en menor tiempo se puede obtener información

más compleja y precisa respecto de las características del transductor acústico-mecano-eléctrico.

Se presenta a continuación un análisis que detalla los parámetros, los procedimientos aplicados y los problemas encontrados, tanto por el instrumental utilizado como por el recinto y las condiciones físicas del procedimiento de medición.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Sensibilidad

La sensibilidad de un micrófono es el nivel de salida en Volts [V] que éste es capaz de producir, para una señal de entrada normalizada en niveles de presión sonora y expresada en decibeles [dB SPL]. Hay dos formas de indicar este parámetro: tensión a circuito abierto y máxima potencia de salida. El método consiste en la generación de ruido rosa filtrado que se reproduce por un altavoz. A un metro medido desde el eje acústico del mismo se debe poner en posición coincidente los diafragmas de un medido de nivel sonoro calibrado y del micrófono a medir y se busca tener 94 dB<sub>SPL</sub> en ese punto. Con un multímetro se mide la diferencia de potencial a la salida del micrófono y se calcula la sensibilidad mediante medición de tensión a circuito abierto con la fórmula:

$$S = 20 \log \frac{E_0}{1V} - L_p + 74 \quad (1)$$

Donde S = Sensibilidad del sistema en tensión a circuito abierto [dB<sub>V</sub>/0,1 Pa], E<sub>0</sub> = Diferencia de potencial a la salida del

micrófono [V],  $L_p$  = Nivel de presión sonora [dB<sub>SPL</sub>].

En caso de la expresión en máxima potencia de salida se utiliza el cálculo:

$$L = S - 10 \log Z + 44 \text{ dB} \quad (2)$$

Donde L = Sensibilidad del sistema en máxima potencia de salida [dB<sub>W</sub>/Pa], S = Sensibilidad del sistema en tensión a circuito abierto [dB<sub>V</sub>/0,1 Pa], Z = Impedancia de carga.

## 2.2. Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia de un micrófono es la especificación que describe cómo es el comportamiento de generación eléctrica del mismo en todo el espectro audible. Se grafica en un eje semi-logarítmico de frecuencias en abscisas y un eje de ordenadas de nivel en dB. Es una medición relativa, tomando como referencia un valor dado, generalmente en 1 KHz por convención y se observan las variaciones de todas las frecuencias respecto de ese punto. Se muestra un ejemplo de gráfico en la Figura 1.

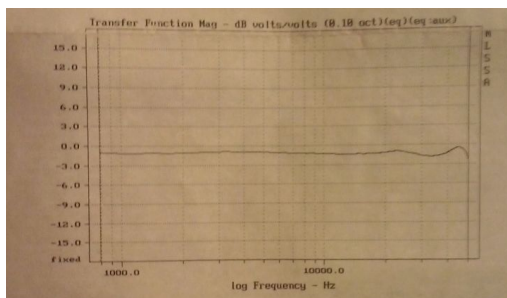


Figura 1: Respuesta en frecuencia de micrófono Earthworks M50, número de serie 1587E.

## 2.3. Directividad

La directividad o patrón de captación indica la respuesta del transductor en nivel de salida respecto de los diferentes ángulos de incidencia. Se puede especificar en diagrama polar o en un gráfico de nivel, representado en variación de color en cada punto que depende de frecuencia y ángulo. Como resultado de la directividad se observan los diferentes diagramas de captación de micrófonos directivos, generalizados en omnidireccional, figura de 8, cardioide, hipercardioide, supercardioide, entre otros.

## 2.4. Efecto de proximidad

El efecto de proximidad refiere a una modificación de la respuesta en frecuencia del micrófono dada por la cercanía de la

fente al transductor. Esto se nota principalmente como un aumento en baja frecuencia que se da en micrófonos directivos. Se debe principalmente a la ley del cuadrado inverso que implica en acústica la duplicación del campo sonoro con la reducción de la raíz cuadrada de la distancia (junto con su recíproco), en simultáneo con la no actuación del circuito acústico inversor de fase por la larga longitud de onda incidente.

## 3. EQUIPAMIENTO UTILIZADO

En la medición según el método de Don Davis para respuesta en frecuencia aproximada y sensibilidad se dispuso el siguiente equipamiento:

- Micrófono Earthworks M50 (número de serie 1587E).
- Micrófono Shure SM57.
- Generador de señal alterna GW Instek GAG-810.
- Altavoz monitor KRK Rokit 8.
- Osciloscopio Tektronix TDS2004B.
- Consola Mackie 1202-VLZ3.
- Sonómetro Svantek 959 con su correspondiente calibrador.
- Cableado de tensión y señal necesario.

Para la segunda medición se cambió parte del equipamiento:

- Micrófono Earthworks M50 (número de serie 1587E).
- Micrófono Shure SM57.
- Micrófono Beyerdynamic MM1.
- Altavoz monitor KRK Rokit 8.
- Interfaz de sonido ART, 2 canales.
- Computadora.
- Mesa rotativa.
- Cableado de tensión y señal necesario.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Método basado en Don Davis

Se conecta el generador de señal senoidal ajustado alrededor de 1 KHz a la entrada de línea del monitor con sus controles fijos en un punto conocido. Se posiciona el medidor de nivel sonoro a un metro del eje acústico de la fuente, donde el cruce de ambas vías del altavoz se supone coincidente. En el mismo punto se coloca el micrófono a medir. Se conecta el transductor a una entrada de micrófono de la consola con el fin de preamplificar la señal para poder medir su diferencia de potencial con mayor precisión que si fuera sobre los contactos de salida del micrófono. Se mide la tensión a la salida de la consola con la única señal en el canal 1 que será la salida del micrófono

Earthworks. Como se conoce su sensibilidad a 1 Pa, se puede comparar con el valor obtenido por el multímetro y obtener la ganancia del sistema. Se muestra el procedimiento en la Tabla 1.

Sensibilidad dada por fabricante	Tensión medida a la salida de la consola	Ganancia del sistema (G)
34 mV/Pa	5,82 V <sub>RMS</sub>	43,8 dB

Tabla 1: Ganancia del preamplificador.

Así, se puede medir la señal a la salida del sistema en diferencia de potencial y restar el valor medido con la ganancia del preamplificador, de forma que:

$$E_0 = 10 \log(V_0) - G \quad (3)$$

Donde  $V_0$  es el valor medido [V] y  $G$  es la ganancia medida del amplificador [dB].

Emitiendo la señal conocida con frecuencias de 1 KHz, 100 Hz y 10 KHz se logra trazar una curva de respuesta en frecuencia aproximada para el micrófono. Esto implica una medición relativa al valor en 1 KHz por convención, por lo que se indica este valor como 0 dB y se trazan los otros puntos con los otros valores referidos al mismo.

#### 4.2. Método computacional

Con la utilización del *plugin* desarrollado por Angelo Farina se genera una señal del tipo *sine sweep* que consiste en un seno de frecuencia variable en todo el rango audible con crecimiento exponencial. Se justifica la utilización de esta señal en dos principales aspectos: contiene el rango completo a medir, y tiene una excelente relación señal a ruido. Como el ruido es de banda ancha y la señal de espectro acotado, es posible discriminarlas con más facilidad que otras señales en las condiciones dadas de medición. Además de generar la señal de prueba, el *plugin* genera el filtro inverso que sirve para convolucionar con la señal medida por el micrófono y obtener la respuesta al impulso para cada medición. Este método da resultados que se utilizan para el cálculo del patrón de directividad.

Para el cálculo de la respuesta en frecuencia del micrófono Beyerdynamic MM1, del Shure SM 57 y su efecto de proximidad se utiliza la función de coherencia a través del software Smaart. Esta función compara el micrófono a medir con la respuesta en el

mismo punto (por colocarse las cápsulas coincidentes) con el micrófono Earthworks M50. Se elige tomar como patrón este micrófono ya que se confía en la respuesta en frecuencia medida por su fabricante que se observa relativamente constante en todo el espectro audible sin grandes incrementos ni atenuaciones, como se observa en la figura 1. La ventaja de este método radica no solo en su facilidad de realización y cantidad de datos obtenidos sino también en el poco tiempo que demora la misma y la profundidad de resultados que puede arrojar cada dato obtenido.

### 5. RESULTADOS

Se muestra en la Tabla 2 y Figura 2 el resultado de la medición de respuesta en frecuencia del Shure SM 57 y Earthworks M 50 con el método de Don Davis.

Micrófono	100 Hz	1 KHz	10 KHz	Unidad
Shure SM 57	74,4	74,4	74,4	dB <sub>SPL</sub>
	3	14,5	22	mV
	-13,7	0	3,6	dB
Earthworks M50	73,7	73,7	73,5	dB <sub>SPL</sub>
	550	430	400	mV
	2,1	0	-0,6	dB

Tabla 2: 3 puntos de medición para Shure SM 57 y Earthworks M50.

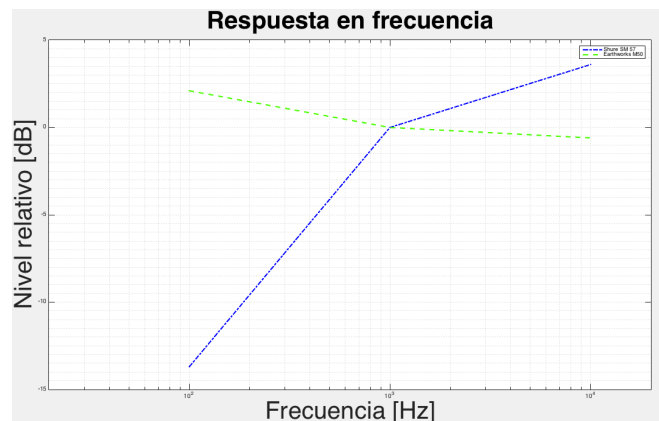


Figura 2: Respuesta en frecuencia obtenida por medición en 3 puntos. El trazo azul en trazo interrumpido -. Corresponde al Shure SM 57 y el trazo de línea interrumpida en verde corresponde al Earthworks M50.

En la Tabla 3 se muestran los valores correspondientes a la sensibilidad del Shure SM 57.

Salida de consola	Ganancia preamplificador	Valor estimado a la salida de micrófono
150 mV <sub>RMS</sub>	43,8 dB	0,97 mV <sub>RMS</sub>

Tabla 3: Medición de sensibilidad Shure SM 57.

Por la aplicación de la ecuación 1 se obtiene:

$$S = 20 \log \frac{0,97 \cdot 10^{-3} V}{1V} - 94 \text{ dB} + 74 = -60 \text{ dB}/0,1\text{Pa}$$

Mediante el análisis de las distintas respuestas al impulso obtenidas para cada rotación de la mesa giratoria, se logra construir el diagrama de captación que se presenta en la figura 3.

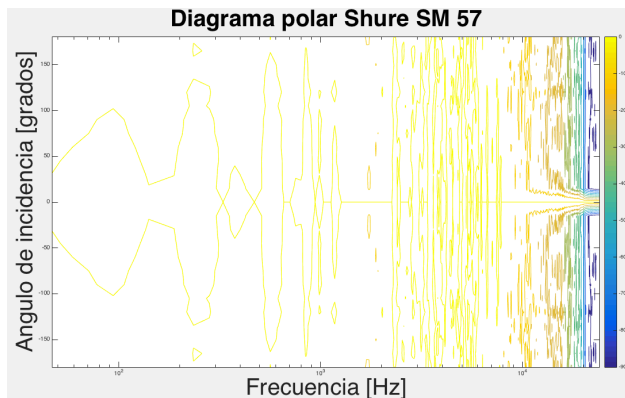


Figura 3: Diagrama de captación obtenido para Shure SM 57.

Con la medición a 1m, 0° respecto de la fuente, se obtiene la respuesta en frecuencia para el micrófono que se muestra en la Figura 4.

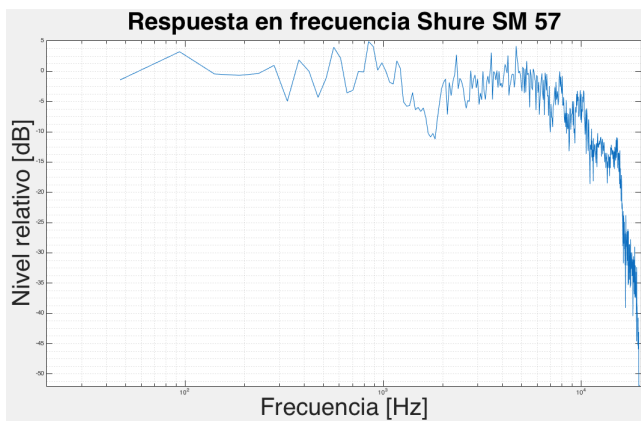


Figura 4: Respuesta en frecuencia obtenida para Shure SM 57.

En el mismo punto de medición se coloca el micrófono Beyerdynamic MM1 aprovechando haber configurado el equipamiento. Se mide con el micrófono apuntando al eje acústico de la fuente y a 90° que es la posición recomendada por el fabricante para obtener una respuesta en frecuencia homogénea. En la Figura 5 se observa la respuesta en frecuencia obtenida y en la Figura 6 la respuesta en fase.

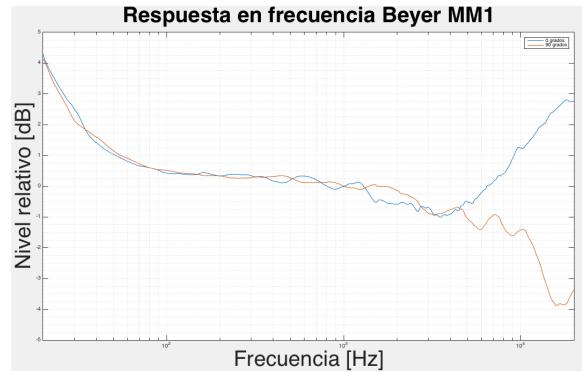


Figura 5: Respuesta en frecuencia para Beyerdynamic MM1 en ambas angulaciones.

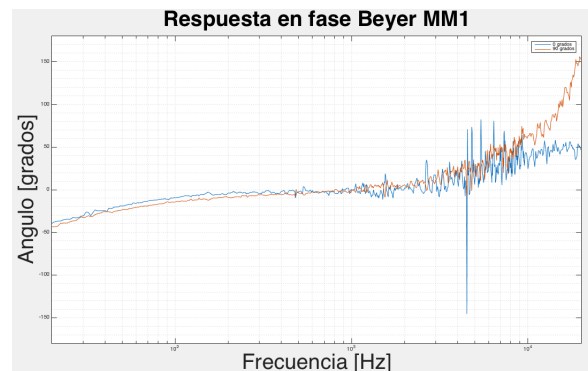


Figura 6: Respuesta en fase para Beyerdynamic MM1 en ambas angulaciones.

Finalmente se obtiene el resultado del efecto de proximidad medido para el Shure SM 57 acercando la fuente en forma progresiva, reduciendo la distancia a la mitad. Esto implica una primera medición a 1 m, luego 50 cm, 25 cm y 10 cm. Se grafica en la figura 7 el resultado de todas las mediciones.

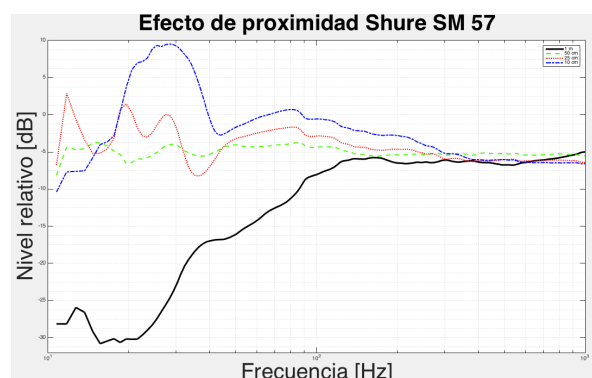


Figura 7: Efecto de proximidad de Shure SM 57.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En principio, se puede analizar el resultado de la respuesta en frecuencia estimada por la medición en 3 puntos y la extrapolación lineal. Se nota en un principio la imprecisión en el nivel sonoro medido, que hace que los datos puedan no ser muy precisos. Es probable que la extrapolación de la respuesta en

frecuencia del Shure SM 57 haya exagerado la caída en baja frecuencia, ya que al observar en la Figura 8 la curva dada por el fabricante, el corrimiento es importante.

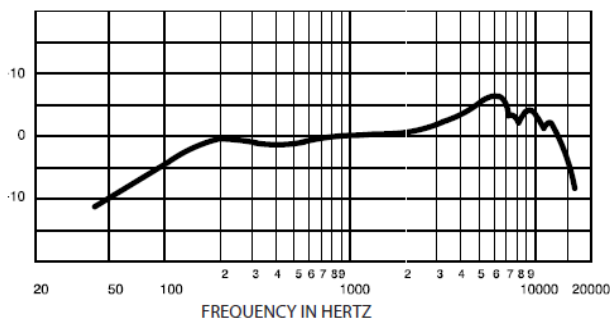


Figura 8: Respuesta en frecuencia de Shure SM 57. Fuente: Shure.com.

Sin embargo, para la respuesta del Earthworks M50, como era esperable, se observa poca diferencia en los diferentes puntos medidos.

Respecto de la medición de sensibilidad del Shure SM 57, el resultado de  $-60 \text{ dB}_V/0,1\text{Pa}$  se puede transformar a  $-40 \text{ dB}_V/1 \text{ Pa}$  conociendo la diferencia de  $20 \text{ dB}_{\text{SPL}}$  entre ambas medidas de presión. Esto sirve para comparar con la indicada por el fabricante que es de  $-54,5 \text{ dB}_V/1 \text{ Pa}$ . Esta diferencia en resultados se debe a la imprecisión de la medición llevada a cabo. El hecho de tener que medir a través de un preamplificador introduce mayor posibilidad de error, transformando una medición que debería hacerse a la salida del micrófono en una luego de un cuadripolo activo. Sin embargo, esto debe realizarse porque la diferencia de potencial en los terminales del micrófono está en un orden de magnitud muy bajo, lo que dificulta medición con un multímetro como el que estaba disponible. Por ser muy sensible a ruidos electromagnéticos, no se puede asegurar que el valor mostrado sea el que se busca medir. Asimismo se asume ganancia lineal para los semiconductores del circuito de preamplificación y se desestiman errores en el cálculo de decibeles, dando como resultado este error de alrededor de 35%.

El diagrama de directividad obtenido es producto de una cadena de aproximaciones y errores necesarios para obtener el resultado aproximado. Cada respuesta al impulso fue simulada por la convolución de la respuesta grabada con el filtro inverso de la señal generada, lo que introduce una primer etapa de error. Luego, el espectro obtenido para cada respuesta implica un ventaneo frecuencial que impone mayor precisión en alta frecuencia que en baja, con lo que se genera una nueva etapa de error. Asimismo, reflexiones en el recinto y la presencia de toda la clase en el salón de medición impone otro error por el incremento del ruido de fondo y los rebotes, absorción y difusión del campo sonoro inestimables. Por otro lado, se asume simetría en la construcción del micrófono por lo que se mide para

media esfera y se extrapola, cosa que podría no ser cierta en este caso particular. Las diferencias de nivel 0 a 180 grados obtenidas por la medición son menores a las dadas por el fabricante, siendo las primeras en el orden de hasta 30 dB y las de la medición del orden de 40 hasta 90 dB. Probablemente las erróneas sean las obtenidas, sobre todo porque la diferencia aumenta en alta frecuencia, donde la precisión del método aplicado se vuelve menor. Se observa en la figura 9 el patrón polar dado por el fabricante.

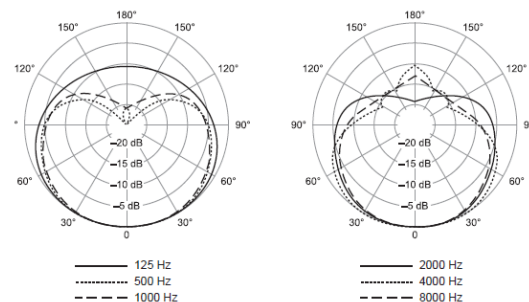


Figura 9: Patrón polar de Shure SM 57. Fuente: Shure.com.

La respuesta en frecuencia obtenida para el Shure SM 57 es confiable en frecuencias medias-altas por el ventaneo utilizado en el cálculo que quita precisión a la parte baja del espectro. Allí se muestra que sigue la curva dada por el fabricante, con leve notoriedad en el aumento alrededor de 6 KHz pero con valores extraños para frecuencias superiores a 10 KHz. Asimismo es muy cambiante la curva graficada por no haber utilizado suavizado por tercio de octava, lo que hace más notoria diferencias sutiles en el espectro.

La respuesta en frecuencia obtenida para el micrófono Beyerdynamic MM1 muestra resultados más alentadores. Se nota lo plano de la curva de respuesta cuando el micrófono es posicionado de forma tal como lo indica el fabricante (a 90 grados de inclinación respecto de la fuente), sobre todo en alta frecuencia, en comparación con la respuesta sobre el eje acústico de la fuente. El hecho de que la curva medida se asemeje a una plana le otorga credibilidad a la medición, ya que se está estimando este parámetro de un micrófono de medición y es conocido que su respuesta en frecuencia no varía sustancialmente entre 20 y 20 KHz. Es por eso que se espera una respuesta plana. La respuesta en fase es información dada adicionalmente, que se puede obtener como resultado de la medición de respuesta en frecuencia. Esto se muestra para observar la constancia entre 100 Hz y 10 KHz, con leve rotación en ese ancho de banda, y también para representar una medición adicional que demuestra el beneficio de utilizar métodos computacionales. Así es como con los mismos datos se puede dar una respuesta en frecuencia de un micrófono y su respuesta en fase en el mismo espectro, con una sola medición simultánea.

Finalmente, con los resultados del efecto de proximidad también puede considerarse una medición exitosa. Se puede despreciar la respuesta entre 30 y 50 Hz ya que se debe este incremento al efecto de la configuración *bass reflex* del monitor y la cercanía del tubo de sintonía con el transductor medido. Fuera de eso, se observa el progresivo incremento de la respuesta en baja frecuencia del micrófono a medida que la distancia entre fuente y transductor se achica. El incremento de alrededor de 6 dB cerca de los 80 Hz implica la cuadruplicación de potencia en el transductor, cuestión esperable en este efecto medido. En esta medición no se consideran los resultados por encima de 1 KHz ya que para acercarse al micrófono y fuente fue necesario correrse del eje acústico, con lo que la respuesta en alta frecuencia tendrá conflictos de fase respecto de la esperada.

## 7. CONCLUSIONES

Se pueden obtener varias conclusiones con los resultados dados, pero se deben considerar las condiciones de medición para ver su validez.

- El recinto de medición (Aula 304 edificio Caseros II, UNTreF) no tiene ningún tipo de tratamiento acústico y es altamente reflectante.
- Todos los alumnos participantes de la medición se encontraban adentro del recinto al momento de la misma.
- La respuesta en frecuencia del micrófono Earthworks M50 tomado como referencia está especificada en ciertas condiciones de temperatura y humedad ambiente (25<sup>o</sup> C, 36% humedad), diferentes de las del momento de la medición.
- Se midió un piso de ruido al inicio de la medición de 65 dB<sub>SPL</sub>. Esto trae dificultad en la baja relación señal a ruido, principalmente en las mediciones que implican emisión de 74 dB<sub>SPL</sub>.
- Las distancias que debían ser 1 metro se tomaron a 40 cm para no necesitar amplificación excesiva del sistema de altavoces.
- El monitor de estudio utilizado no está diseñado para la reproducción de señales puramente senoidales. Esto implicó el apuro por no dejarlo en funcionamiento demasiado tiempo y la imposición de distorsión por parte del transductor.

Se destaca que la sensibilidad medida a circuito abierto responde mejor a las condiciones normales de uso, cargado al micrófono con una alta impedancia, en este caso con la entrada de un preamplificador. Por más que el valor obtenido no coincida con el especificado por el fabricante, es un valor de orden cercano y confiable.

La medición de respuesta en frecuencia a través de 3 puntos implica demasiada extrapolación y resultados de poca confiabilidad.

El diagrama de directividad obtenido no es de total confiabilidad, pero también se debe tener en cuenta que el diagrama cardioide es una aproximación. El error en la estimación tomada está en el ventaneo utilizado con pocas muestras, resulta impreciso en baja frecuencia y el alto nivel de ruido de fondo durante la medición.

Las respuestas en frecuencia obtenidas por función de coherencia implican creer que la respuesta en frecuencia del micrófono de referencia es constante en todo el espectro, pero dan una buena aproximación a la respuesta real del transductor evaluado. Es notorio el requisito de posicionamiento del micrófono Beyerdynamic MM1, ya que en ambas respuestas en frecuencia es notoria la diferencia en alta frecuencia.

En cuanto al efecto de proximidad se obtuvieron resultados esperables que pueden ser considerados válidos, responden al fenómeno estudiado.

Se pudo así exitosamente medir los parámetros de comparación de micrófonos de distinta índole con equipamiento de acceso a los estudiantes en UNTreF. Se demostró también la mayor eficacia y precisión en la medición a través de métodos computacionales, obteniendo ventajas también en el desarrollo y configuración de la medición. Los valores no muy certeros dados por la primera medición son consecuencia de las pobres condiciones del experimento respecto de lo exigido por las normativas.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Ruffa, Francisco; Ramón, Facundo. Apunte de la cátedra Electroacústica I, perteneciente a la carrera Ingeniería de Sonido, de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. (2016)
- [2] Beranek, Leo L. "Acústica" 2 Ed. 1969
- [3] Farina, Angelo. "Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique". Convención AES, Febrero 2000.