

# MEDICIONES COMPARATIVAS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA PRESIÓN SONORA

Ricardo Dorantes E., Santiago J. Pérez R.  
 Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET),  
 UNAM, Laboratorio de Acústica y Vibraciones  
 Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria México, D.F. Coyoacan  
 56228602 ext.1194, [dorantes@aleph.cinstrum.unam.mx](mailto:dorantes@aleph.cinstrum.unam.mx)  
 56228602 ext.1196, [jesper@aleph.cinstrum.unam.mx](mailto:jesper@aleph.cinstrum.unam.mx)

**Resumen:** Para efectuar mediciones de aislamiento, es necesario calificar el recinto donde se realizarán las mediciones; el procedimiento de calificación es semejante al utilizado para calificar una cámara reverberante para realizar mediciones de potencia sonora. El procedimiento de calificación usual es muy lento y es deseable instrumentar un procedimiento alternativo más rápido. Los procedimientos que se presentaran consisten en utilizar dos señales diferentes de excitación.

Este trabajo forma parte de las mediciones necesarias para poder hacer pruebas de aislamiento, en la cámara reverberante del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del CCADET (Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico) de la UNAM.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de la caracterización de la Cámara Reverberante del Laboratorio de Acústica del CCADET, para determinar su calificación y poder realizar pruebas de aislamiento sonoro en cabinas (audiológicas, de protección, etc.), posteriormente, esta información servirá para calificar la Cámara en la medición de potencia sonora en banda angosta.

Las mediciones consistieron en determinar la variabilidad espacial de presión sonora en el interior de la Cámara, utilizando dos métodos para obtener la presión sonora en doce combinaciones fuente micrófono distribuidos dentro de la Cámara Reverberante. Los métodos implementados consisten en utilizar dos tipos diferentes de señales de excitación: el de multitonos y el de ruido blanco filtrado.

El método de multitonos consiste en aplicar una señal sinusoidal que contenga una frecuencia central y una serie de componentes discretas que difieren de la central en +/- algunos Hz. Dependiendo de la frecuencia central. De este modo se consigue una señal de excitación con espectro centrado en la banda de frecuencia a medir.

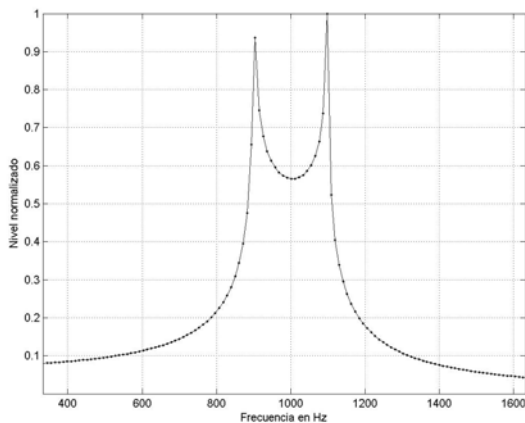
Los valores de las frecuencias centrales y su variación según la ANSI S12.33-1996 [1], se muestran en la tabla 1.

Frecuencia Central	Incremento en Hz +/-	Tolerancia del Incremento Hz +/-	Número de Frecuencias de Prueba
100	1	0.3	22
125	1	0.3	26
160	1	0.3	27
200	2	0.5	22
250	2	0.5	26
315	3	1	22
400	3	1	27
500	5	1.5	23
630	6	2	24
800	8	3	23
1000	10	3	22
1250	10	5	26
1600	10	5	23
2000	20	5	22
2500	20	5	26

**Tabla1** Frecuencia central y su variación en bandas de un tercio de octava

## 2. MEDICIONES

Las señales multitonos de excitación son generadas por un programa realizado con MATLAB. Este programa muestra una interfaz gráfica la cual facilita la selección de la frecuencia central de los tonos que se quieren generar. La duración de la señal se puede cambiar fácilmente desde el programa. Como ejemplo del espectro logrado en este tipo de señales sintetizadas, se muestra el espectro de una señal en la banda de 1000 Hz, en la Figura 1



**Fig. 1** Espectro de la señal multitono en la banda de 1000 Hz, muestreada a una frecuencia de 44100 Hz.

### 2.1 Cámara Reverberante

La Cámara Reverberante es una construcción que se encuentra dentro del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del CCADET, Figura 2. La Cámara es un cubo de concreto armado con paredes de 30 cm de espesor y con dimensiones interiores de 8.10m de largo, 5.74m de ancho y 4.66m de alto, que nos da un volumen interno de  $216.6\text{m}^3$ . Esta construcción es sostenida por seis columnas de concreto, una en cada esquina y las otras dos en medio de la parte más larga del piso de la Cámara, entre cada columna y la construcción se encuentran tres colchones de neopreno de 4cm cada uno dando 12cm de espesor, estos tienen la finalidad de evitar vibraciones. Para disminuir aun más el ruido en el interior de la Cámara, toda la construcción se encuentra dentro de otro cubo de concreto armado.

Entre el cubo interior y el exterior tiene un espacio de 80cm. entre las paredes, 2.0m entre los techos y 1.60m entre los pisos, ambas construcciones cuentan con puertas especialmente diseñadas para aislar el ruido exterior.

### 2.2 Instrumentación

Para realizar las mediciones se colocaron seis micrófonos de medición, distribuidos dentro de la Cámara en alturas diferentes. Se utilizaron dos altavoces colocados estratégicamente para tener la excitación dentro de la cámara.



**Fig. 2** Cámara Reverberante del Laboratorio de Acústica del CCECADET

En el cuarto de control de la Cámara se conectó un amplificador para excitar los altavoces, una computadora que nos genera las señales multitonos, un multiplexor para controlar los micrófonos, un amplificador de medición y un analizador de frecuencias de tiempo real [2] que registra los niveles de presión y tiene generador de ruido.

El equipo utilizado para las mediciones fue el siguiente:

- Computadora Personal (Pentium 4 a 2.4 GHz)

- Analizador de Frecuencias de Tiempo Real marca Brüel & Kjaer (B & K) modelo 2133
- Multiplexor de 8 canales B & K modelo 2811
- Amplificador de Medición B & K modelo 2636
- 6 Micrófonos de medición B & K modelo 4166
- 2 Baffles marca B & W modelo Matriz 803 serie 2
- Amplificador Yamaha modelo AX-308
- Termómetro y medidor de humedad relativa marca White Box mod. CT485-RS

amplificador. El amplificador tiene conectados los altavoces en ese canal, uno en el sistema A y el otro en el sistema B, para poder seleccionar la combinación de un micrófono y un altavoz y así poder tener 12 combinaciones fuente-micrófono.

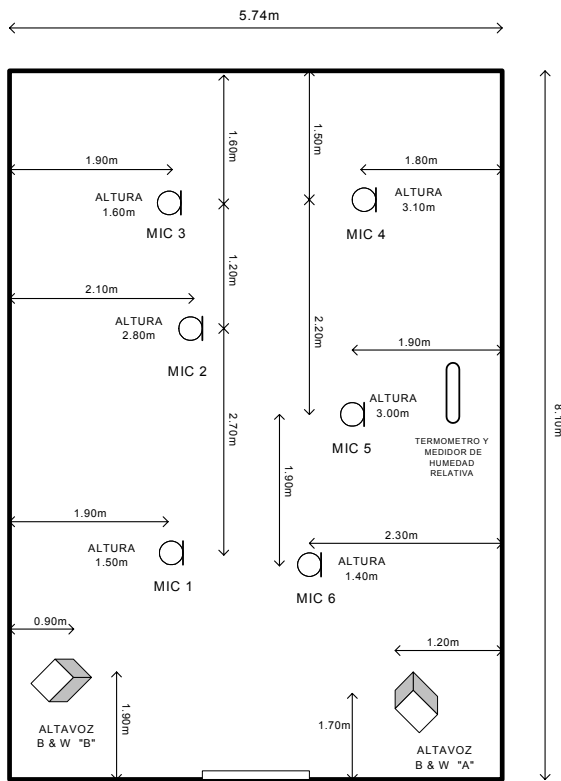
La señal de excitación se selecciona en la computadora y puede ser de 100 a 2500 Hz, en bandas de un tercio de octava.

Los altavoces reproducen el sonido dentro de la Cámara y los micrófonos registran el nivel en cada uno de los seis puntos. La señal de los micrófonos llega al multiplexor que nos permite seleccionar cualquiera de los seis micrófonos. El amplificador de medición solo lo utilizamos para monitorear el nivel dentro de la Cámara y asegurarnos que es el mismo que le llega al analizador.

El analizador registra el nivel de presión en cada micrófono y en cada banda de tercio de octava de 100 a 2500 Hz. El analizador cuenta con una unidad de disco flexible, la cual nos permite guardar los resultados de presión sonora de cada medición para analizarla y procesarla posteriormente.

Con los datos almacenados y utilizando varios programas hechos en MATLAB, se pueden obtener los niveles de presión para cada frecuencia, sus espectros y la desviación normal para cada valor de frecuencia central. Estos valores de desviación normal se comparan con los especificados en la norma ANSI S12.33-1996 [1], con lo que se puede verificar si la Cámara cumple con los requisitos para estar calificada.

La otra prueba que se realizó en la Cámara, consistió en excitar con ruido blanco a través del amplificador y obtener el espectro en bandas de tercio de octava y en el intervalo de 100 a 2500Hz, para cada uno de los seis micrófonos y con cada una de las dos fuentes. Al realizar esto contamos con doce espectros que guardamos en un disco flexible. Estos resultados se analizan, como en el caso anterior y se comparan con los valores especificados en la norma ANSI S12.33-1996. [1]



**Fig. 3** Colocación de micrófonos y altavoces dentro de la Cámara Reverberante

**2.3 Procedimientos**

Las mediciones se realizaron de la siguiente manera: Después de colocar los micrófonos y los altavoces dentro de la Cámara, se cierra perfectamente para evitar ruidos del exterior.

Para la medición con multitonos, se conecta la salida de la tarjeta de sonido a un canal del

**3. RESULTADOS**

Como se ha mencionado, los resultados deben de cumplir con las desviaciones normal especificadas en la norma ANSI S12.33-1996. [1] Los resultados de las desviaciones normal obtenidas con MATLAB después de analizar las mediciones, se muestran en las tablas 2 y 3.

Lasa mediciones se realizaron a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 60%.

Frecuencia Central Bandas en Tercio de Octava (Hz)	Desviación Normal Permisible (dB)	Desviación Normal Señal Multitonos (dB)
100	3	2
125	3	2.1
160	3	1.3
200	2	2.5
250	2	1.9
315	2	1.6
400	1.5	2.2
500	1.5	1.5
630	1.5	1.3
800	1	1.3
1000	1	1
1250	1	1
1600	1	1
2000	1	1.4
2500	1	1.4

**Tabla 2** Desviación Normal obtenida con Excitación Multitonos

Frecuencia Central Bandas en Tercio de Octava (Hz)	Desviación Normal Permisible (dB)	Desviación Normal Señal Ruido Blanco (dB)
100	3	3.2
125	3	3.2
160	3	2
200	2	2
250	2	1.5
315	2	1.3
400	1.5	1.6
500	1.5	1.4
630	1.5	1.1
800	1	1
1000	1	1
1250	1	1.1
1600	1	1.2
2000	1	1.1
2500	1	1.2

**Tabla 3** Desviación Normal obtenida con Excitación Ruido Blanco

#### 4. CONCLUSIONES

Como podemos observar en los resultados preliminares, la Cámara no califica en varias frecuencias al tener desviaciones mayor a la permitida. Aunque es claro que utilizando señales multitono se logran resultados con menor desviación en frecuencias bajas.

Este hecho es particularmente importante porque en la gama de frecuencias bajas se presenta una densidad modal baja, en el comportamiento de los recintos. Esta baja densidad modal se traduce en una mayor variabilidad de los niveles de presión sonora y hace que la calificación de la cámara se dificulte a medida que se quiera extender la gama de medición a frecuencias cada vez más bajas.

Estos resultados preliminares apuntan a que el método de excitar la cámara con señales multitonales, reduce el efecto de no excitar suficientemente los reducidos modos en frecuencias bajas y conseguir una mayor difusión.

Con este procedimiento es posible, utilizar alguna de las estrategias recomendadas por la norma ISO 140-3 [3] para reducir la variabilidad.

Algunas medidas que se pueden tomar para que la Cámara cumpla son añadir un poco de amortiguamiento, aumentar el número de difusores o cambiar la ubicación de micrófonos y fuentes de excitación.

Las mediciones que se reportan, son las que mejor cumplieron, después de realizar mediciones con los altavoces en diferentes posiciones.

Nuestro siguiente paso es cambiar la posición o la altura de los micrófonos que presentan lecturas muy diferentes a los otros, ya que puede estar colocado en un modo de la Cámara con la frecuencia de excitación.

Estas tareas nos ocuparán en lo sucesivo para que califique la Cámara Reverberante y continuar realizando experimentos y mediciones.

#### REFERENCIAS

[1] American National Standard Precision Methods for the determination of Sound Power Levels of Discrete-Frequency and Narrow-Band Noise Sources in Reverberation Rooms,

American National Standards Institute ANSI  
S12.32-1990 (R 1996)(Acoustical Society of  
America, New York, 1990)

- [2] Instruction Manual, Vol.1, Real-time  
Frequency Analyzers Types 2123/2133, March  
1990.
- [3] Norma ISO 140-3 Acoustics- Measurement of  
sound in buildings and of building elements-  
Part 3: Laboratory measurements of airborne  
sound insulation of building elements, Annex  
C: Qualification and positioning of the sound  
source, 1995.
- [4] Peter K. Baade and George c: Maling, Jr.,  
Technical Note: Reverberation room  
Qualification using multitone signals, Noise  
Control Eng. J., 46 (1), Feb.1998, 23-28.