

MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE UNA MUESTRA

Franco Daniel Areco

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Caseros, Buenos Aires, Argentina
email:francoareco53@gmail.com

Juan Almaraz

Universidad Nacional de Tres de Febrero, Ingeniería de Sonido, Caseros, Buenos Aires, Argentina
email:juan.almaraz097@gmail.com

1. Introducción

Es esencial conocer el coeficiente de absorción de los materiales para diseñar adecuadamente el tratamiento acústico de un recinto. Aunque la mayoría de los productos destinados a tratar la acústica de una habitación proporcionan información sobre su comportamiento como absorbentes, hay otros productos que, aunque no fueron creados con ese propósito, tienen un buen rendimiento acústico. Elementos como cortinas, muebles, colchones y más pueden cumplir funciones tanto acústicas como prácticas y estéticas. Por lo tanto, contar con un método para evaluar sus propiedades absorbentes es una herramienta valiosa para conocer y predecir su comportamiento en un recinto.

Este informe detalla los procedimientos y resultados de la medición del coeficiente de absorción de una muestra, siguiendo la norma ISO 354 [1]. La muestra seleccionada consiste en un arreglo de paneles compuestos por marcos de madera, conteniendo lana de vidrio en su interior y cubierto en tela. Las mediciones fueron realizadas en el aula 301 de la UNTREF, en Caseros, Argentina. En el informe se detalla el relevamiento del aula, los resultados obtenidos para distintos arreglos de una misma muestra y las limitaciones que surgen al llevar a cabo esta medición sin contar con una cámara reverberante.

2. Marco Teórico

2.1 Tiempo de Reverberación

El tiempo de reverberación (RT) se define como el periodo necesario para que la intensidad del sonido disminuya 60 decibelios (dB) tras la interrupción de la fuente sonora. Esta convención, que utiliza una reducción de 60 dB como referencia, proporciona una métrica objetiva para evaluar las características acústicas de una sala. El RT es esencial para la caracterización de la acústica de salas, ya que influye en la calidad del sonido en diversas aplicaciones, como salas de conciertos, estudios de grabación y aulas.

Para obtener el Tiempo de Reverberación T_{30} y T_{20} , se consideran rangos dinámicos inferiores a 60 dB y se extrapolan a partir de T_{60} . T_{30} se define como el tiempo que tarda la energía en descender desde -5 dB hasta -35 dB por debajo del nivel inicial, mientras que T_{20} se define como el tiempo que tarda en descender desde -5 dB hasta -25 dB .

Estos parámetros de tiempo de reverberación proporcionan una comprensión detallada de cómo se comporta el sonido en un espacio y son esenciales en el diseño y evaluación de entornos acústicos para diversas aplicaciones.

Es importante señalar que cuando el decaimiento del sonido es lineal, es decir, cuando la curva de decaimiento de la intensidad sonora sigue una trayectoria constante, los valores de T60, T20 y T30 son idénticos. Esto significa que si se conoce el valor de T60 en una sala determinada, se pueden deducir con precisión los valores de T20 y T30, lo que simplifica enormemente el proceso de medición y análisis acústico. Este fenómeno se refleja claramente en la figura 1 donde se observa la igualdad de estos parámetros cuando se cumple la condición de decaimiento lineal.

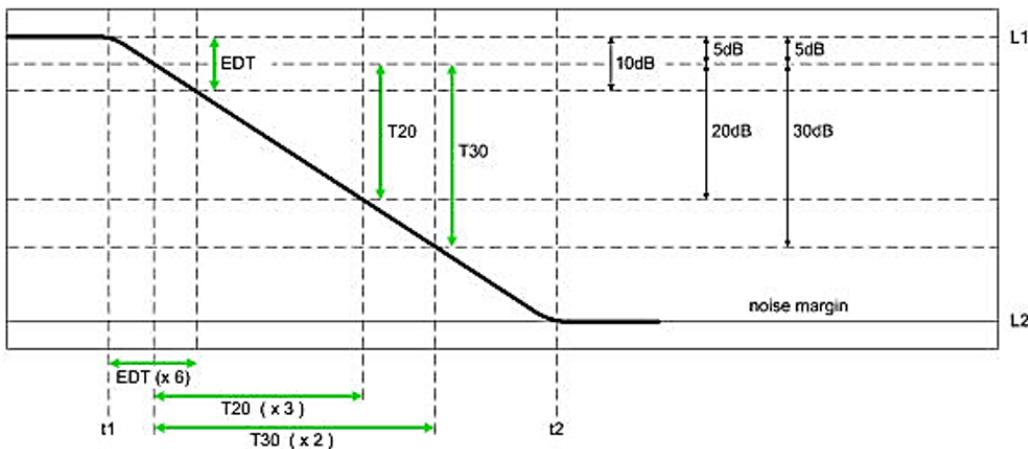


Figura 1: Comparación entre el EDT, T10, T20 y T30.

2.2 Coeficiente de absorción

Cuando una onda acústica se encuentra con un cambio de impedancia en su trayectoria, su energía se distribuye principalmente de tres maneras: parte de la onda original se transfiere y continúa su camino, otra parte se refleja (ya sea de manera especular o difusa), y el resto se absorbe [1]. El coeficiente de absorción describe la fracción de la energía acústica que es absorbida por un material específico. Su definición se expresa en la Ecuación 1.

$$\alpha = 1 - \left(\frac{p_r}{p_i} \right)^2 \quad (1)$$

donde p_r es la presión RMS de la onda reflejada y p_i es la presión RMS de la onda incidente.

Para obtener este parámetro a partir de mediciones de tiempo de reverberación, se deben seguir los lineamientos que se encuentran en la norma ISO 354 [1]. Primero, se obtiene el área de absorción equivalente A_T de acuerdo a la Ecuación 2.

$$A_T = 55,3V \left(\frac{1}{c \cdot T_2} - \frac{1}{c \cdot T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad (2)$$

Donde V es el volumen de la cámara, c es la velocidad del sonido, T_2 es el tiempo de reverberación obtenido a partir de la medición a sala vacía y T_1 es el obtenido con la muestra dentro de la sala.

En cuanto a m_1 y m_2 , estos coeficientes están relacionados con las condiciones climatológicas dentro de la sala al momento de cada medición, y se puede ver que si se asume que se mantienen constantes el segundo término de la ecuación se puede despreciar.

Finalmente, el coeficiente de absorción de la muestra se calcula con la Ecuación 3.

$$\alpha = \frac{A_T}{S} \quad (3)$$

Donde S es la superficie total de la muestra.

2.3 Cámara reverberante

De acuerdo a la norma ISO 354 [1], el volumen de la cámara reverberante debe ser, por lo menos, 150 m^3 . En caso de que la sala tenga un volumen mayor a 500 m^3 puede que no sea posible medir con precisión la absorción sonora en altas frecuencias debido a la absorción del aire. En cuanto a la relación entre las dimensiones, la longitud de mayor segmento (l_{max}) debe cumplir la relación de la Ecuación 4

$$l_{max} < 1,9 \cdot V^{1/3} \quad (4)$$

Donde V es el volumen de la sala, en metros cúbicos.

Con objeto de conseguir una distribución uniforme de frecuencias propias, especialmente en las bandas de baja frecuencia, no puede haber dos dimensiones de la cámara cuya relación coincida con los primeros números enteros.

Para asegurar una satisfactoria difusión del campo sonoro, se requiere, en general, el uso de difusores suspendidos (ya sea fijos o giratorios).

En cuanto al área de absorción equivalente de la cámara vacía, en la Tabla 1 se encuentran los valores máximos sugeridos por bandas de tercios de octava. En caso de que el volumen de la sala sea distinto de 200 m^3 , los valores de la tabla deben multiplicarse por el factor $(V/200\text{m}^3)^{2/3}$.

Tabla 1: Áreas máximas de absorción equivalente para cámaras de volumen igual a 200 m^3

Frecuencia [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Área de abs [m^2]	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Frecuencia [Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Área de abs [m^2]	6.5	7.0	7.5	8.0	9.5	10.5	12.0	13.0	14.0

3. Procedimiento

3.1 Recinto y muestra a medir

Como se mencionó anteriormente en la introducción de este informe, el recinto utilizado para realizar las mediciones es el aula 301 de la UNTREF. En la Figura 2 se puede ver una imagen de la sala utilizada durante el momento de medición. El Volumen de la misma es de 110 m^3 y la superficie total aproximada es de 153 m^2 .

En cuanto a los materiales que componen las superficies del recinto se encuentran paredes de yeso, ventanas de vidrio, un piso que aparece compuesto por baldosas cerámicas, y un cielo raso en el cual se encuentran paneles de telgopor. Además, cercana a la ventana se encuentra una columna de 0.6 m de diámetro, la cual puede aportar a la difusión del campo sonoro.

De acuerdo a la ecuación 4, la diagonal de la sala debe ser menor a 9 metros, mientras que el aula tiene una diagonal de 10.15 m. Este es uno de los apartados en los que el aula utilizada incumple los requisitos de la norma para ser utilizada como cámara reverberante.

En cuanto a las muestras de material absorbente, estas se conforman por cuatro paneles de 1.5 m de altura y 0.4 m de ancho, además de otros dos paneles de 1.2 m de altura y 0.4 m de ancho. Todos los paneles cuentan con 0.1 m de profundidad.



Figura 2: Imagen del aula 301 tomada durante el momento de la medición.

3.2 Mediciones

Las mediciones se llevaron a cabo el día viernes 6/10/23, con una temperatura ambiente de 17 grados Celsius y una humedad relativa del 45 % [2].

Como señal estímulo se utilizó un barrido senoidal logarítmico (LSS) de 125 Hz hasta 16 kHz, con una duración de 40 s. La fuente utilizada fue una omnidireccional marca Outline. Para obtener los registros sonoros, se utilizaron 6 micrófonos Earthworks M50 conectados a una interfaz RME. Se utilizó una Macbook con el software *Reaper* para reproducir la señal estímulo y para registrar las mediciones.

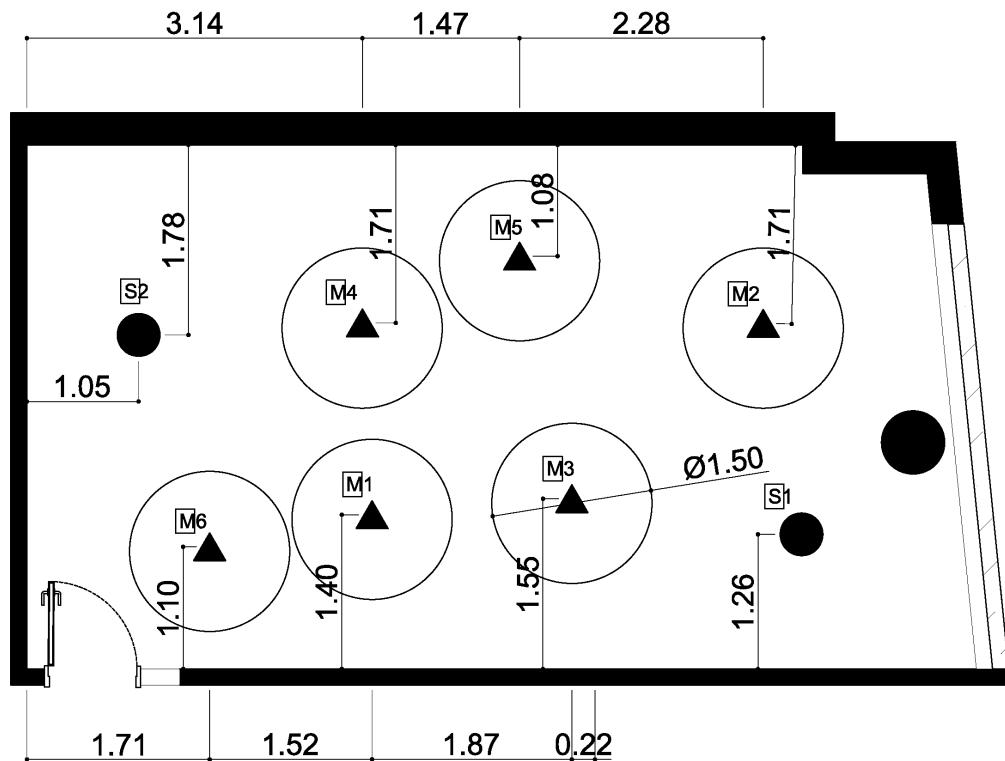


Figura 3: Posiciones de micrófono y fuente para la medición de TR.

En la Figura 3 se pueden ver las posiciones de la fuente y de los micrófonos utilizadas para obtener el tiempo de reverberación. Esta disposición se realizó teniendo en cuenta las condiciones sugeridas por la ISO 354, la cual establece una distancia mínima de 1.5 m entre micrófonos, 2 m de cualquier fuente sonora y 1 m de cualquier superficie de la cámara y de la muestra de ensayo. Además, las dos posiciones de fuente deben distar por lo menos 3 m. De esta manera, se cumple con el mínimo de 12 curvas de caída de nivel necesarias para obtener el tiempo de reverberación. Esta configuración se mantuvo constante tanto con la sala vacía como con los distintos arreglos de las muestras absorbentes.

Luego, para comparar el desempeño de las muestras, se realizaron tres arreglos distintos como se ve en la Figura 4

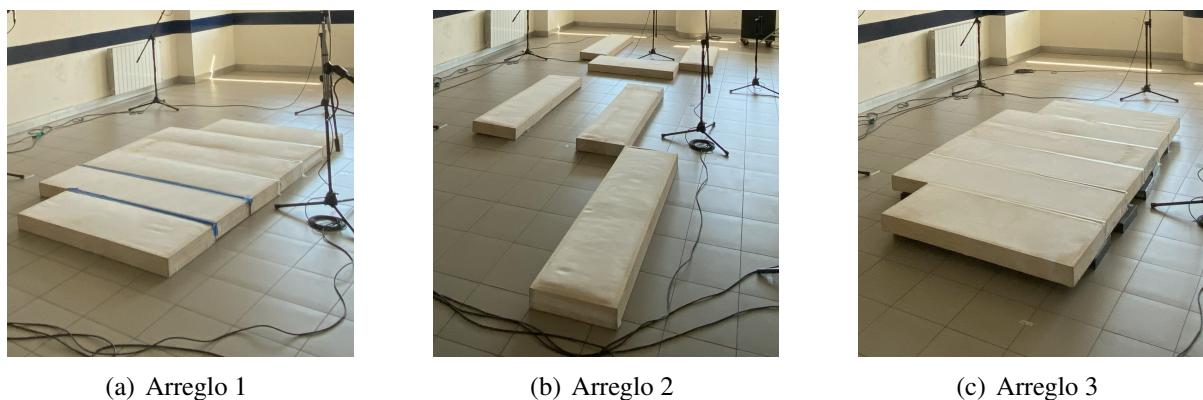


Figura 4: Distintas configuraciones de absorbente.

4. Resultados

Para evitar que el comportamiento modal de la sala afecte a los resultados obtenidos, se calculó la frecuencia de Schroeder, la cual resultó de aproximadamente 226 Hz para un tiempo de reverberación de 1.38 s y un volumen de 108 m^3 . Por ello, los resultados que se muestran a continuación se expresan en bandas de tercios de octava, desde 200 Hz hasta 5 kHz.

En la Figura 5 se presenta el promedio de los tiempos de reverberación del recinto vacío y con los distintos arreglos de las muestras de material absorbente colocada.

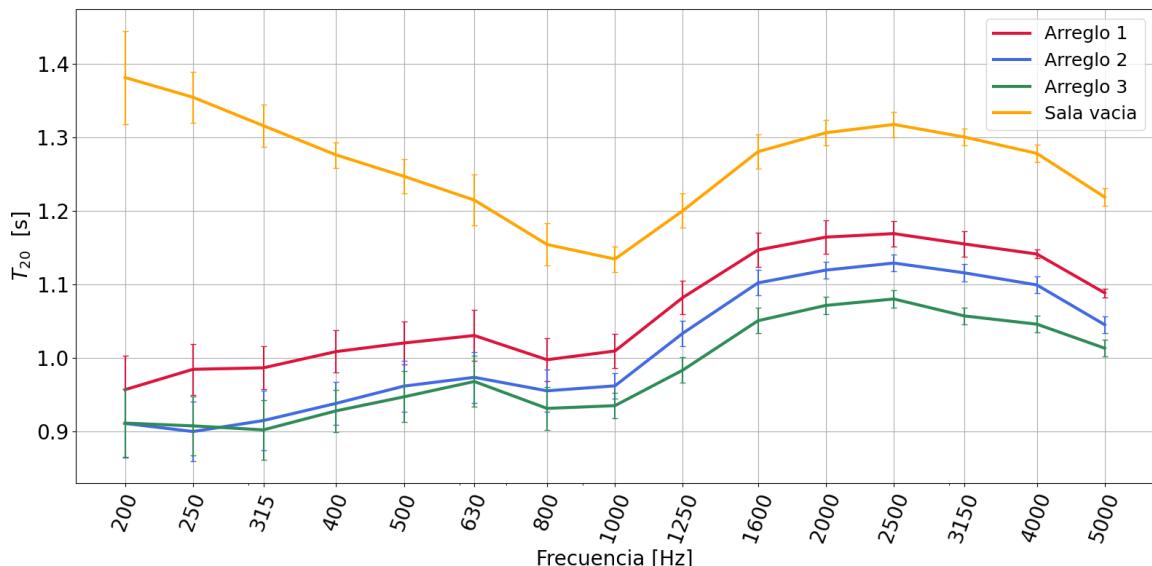


Figura 5: Tiempo de reverberación obtenido para cada arreglo y para la sala vacía.

En cuanto al tiempo de reverberación de la cámara vacía se observa una máxima en 200 Hz. Este comportamiento puede ser causado por la influencia del espacio vacío por encima del cielo raso, comportándose como un resonador y afectando al campo sonoro desarrollado en el recinto. Luego se ve un mínimo en 1 kHz, aumenta alrededor 2.5 kHz y luego vuelve a disminuir. El decaimiento irregular de la energía en el espectro puede deberse a los elementos propios de la sala, como son la columna o la ventana, o también al aporte del escritorio que estuvo presente durante la medición.

Por otro lado, al observar las curvas correspondientes al T20 medido con las muestras de absorbente, se puede ver que presentan una mayor disminución del tiempo de reverberación en baja frecuencia. Esto puede deberse a que la difracción producida por la geometría del elemento ayuda a que se aprecie un mayor decaimiento de la energía en esa frecuencia. Otra posible causa a este fenómeno es que la introducción de las muestras de material absorbente en la cámara interrumpe el desarrollo normal del campo sonoro, potencialmente evitando la aparición de resonancias en el rango de frecuencias entre 200 y 250 Hz.

Además, por encima de los 800 Hz, se observa una disminución uniforme del tiempo de reverberación (TR) en cada configuración de muestras en comparación con la medición en una sala vacía.

Luego, en la Figura 6 se muestran los coeficientes de absorción de cada muestra calculados a partir de la Ecuación 3, expresados en bandas de tercios de octava.

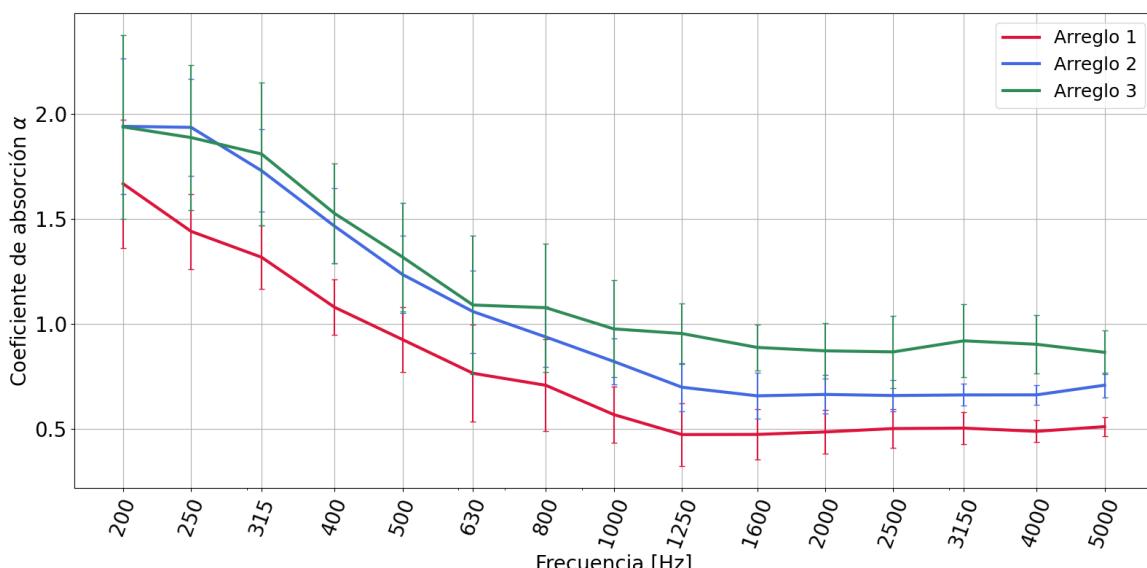


Figura 6: Coeficiente de absorción de la muestra para cada arreglo.

Observando los tres arreglos, se observa que los tres presentan un coeficiente de absorción superior a 1 por debajo de 800 Hz. Esto se debe al efecto de borde de la muestra, que produce un aumento en el coeficiente de absorción obtenido al aumentar la superficie aparente de la muestra. Esto no significa que las mediciones sean inválidas, pero los resultados obtenidos no pueden extrapolarse y considerarse como propios del material, o aplicarlos a superficies más extensas.

Luego, observando a partir de 1 kHz, se puede ver que el tercer arreglo es el que presenta mayor absorción, seguido del 2do arreglo, y por último el primero. Esto es de esperar, ya que en el cálculo realizado a partir de la Ecuación 3, se tomó la misma superficie para los tres arreglos (la suma total de los seis paneles, $3.36 m^2$). El problema es que al separar los paneles, hay mas superficies que resultan expuestas a la sala, mientras que al colocarlas todas juntas la superficie aparente de la muestra es menor.

Una conclusión interesante es que al utilizar el arreglo de la Figura 4(c), se obtiene un mayor coeficiente de absorción que en los otros dos casos, lo cual significa que se puede obtener un mayor desempeño de la muestra utilizada si se la coloca separada unos centímetros de la pared.

5. Conclusiones

Se logró medir el coeficiente de absorción de tres arreglos distintos de una muestra utilizando equipamiento homologado y siguiendo las pautas de la norma ISO 354. Se puede concluir que el fenómeno de efecto de borde es notorio en mediciones de muestras pequeñas (especialmente en frecuencias bajas) y se puede manifestar alcanzando valores de absorción superiores al límite teórico de 1.

En cuanto a posibles fuentes de error en la medición, la principal es el aula utilizada como cámara reverberante. Por un lado, no cumple con la máxima longitud especificada por la ISO 354, siendo aproximadamente 1 metro mayor a la máxima permitida. Por otro lado, el volumen de $108\ m^3$ no alcanza los $150\ m^3$ requeridos, lo cual afecta al rango de frecuencias que se puede representar de manera válida en los resultados. Además, la presencia de una cámara de aire por encima del cielo raso puede haber afectado a los resultados obtenidos aportando resonancias indeseadas.

Referencias

1. UNE-EN ISO 354:2004. Acoustics - measurement of sound absorption in a reverberation room. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2004.
2. Histórico del tiempo en buenos aires. <https://www.meteored.com.ar/tiempo-en-Buenos+Aires-America+Sur-Argentina-Ciudad+Autonoma+de+Buenos+Aires-SABE-sactual-13584.html>. Accessed: 2023-11-23.