

Práctica 5. Medición del aislamiento acústico entre dos recintos

SEGURIDAD: Durante la realización de los ensayos se usarán protectores auditivos que serán ofrecidos por el tutor encargado. En ningún caso se excederá un nivel acústico superior a 90 dB, lo cual ha de ser monitorizado por el tutor. Si algún asistente notara molestia, se ruega que lo comuniqué de inmediato al tutor. No se recomienda la realización de la práctica a personas con oído especialmente sensible, con enfermedad auditiva o que les hayan recomendado no verse sometidos a sonidos altos.

Fecha realización: **Fecha de entrega:**

Realizado por: (rellenar)

Apellidos y nombre	% participación	Firma

Se entregará 1 informe por grupo, salvo indicaciones.

1. OBJETIVOS

Obtener experimentalmente el aislamiento entre dos locales separados por un tabique con puerta. Se realizará midiendo el nivel acústico (Level L) simultáneamente en ambos, mientras que se excita el campo acústico con una fuente estacionaria con ruido rosa en uno de ellos.

Tanto el tutor como los demás asistentes han de conocer la materia objeto de la práctica y los detalles de su realización antes de comenzar, extremo que ha de ser verificado por el tutor antes de comenzar.

Han de tomarse todas las precauciones posibles para evitar golpes de sonido excesivo, manejando los controles con prudencia.

2. MATERIAL

2 micrófonos para mediciones acústicas de y 2 cables de conexión con pre-amplificador.

1 amplificador de carga para micrófonos.

2 cables largos BNC/BNC para llevar la señal de salida del amplificador al analizador de espectros y dos adaptadores BNC/BNC hembras.

2 trípodes fotográficos para sujetar los micrófonos.

2 adaptadores de micrófono a trípode.

1 fuente de ruido rosa con amplificador incorporado con cable de conexión de red y a altavoz.

1 altavoz, preferiblemente omnidireccional.

1 tarjeta de sonido PC con conexión USB de 2 canales, dotada de 2 adaptadores BNC/RCA.

1 cable USB

1 calibrador tipo pistófono.

1 microordenador PC con Windows XP y software de análisis espectral. Se puede hacer uso de OSCILLOMETER, o equivalente, disponible en versión de evaluación totalmente operativa para 15 segundos de adquisición: <http://shmelyoff.nm.ru/>. Actúa así de analizador de espectros en tiempo real de dos canales, con capacidad de octava y tercio de octava.

2 cintas métricas para la medición de los locales.

Tapones de protección de los oídos para cada asistente.

1 memoria PENDRIVE, aportada por los alumnos para retirar los resultados.

3. Bases teóricas

El **aislamiento acústico bruto** se define como la diferencia en dB del nivel acústico en ambos recintos y es fácilmente medible si se invoca la existencia de un campo difuso.

$$R_i = 10 \log \left(\frac{I_{emisor,i}}{I_{receptor,i}} \right) = 10 \log \left(\frac{I_{emisor,i} / I_{ref}}{I_{receptor,i} / I_{ref}} \right) = L_{p,emisor,i} - L_{p,receptor,i} \quad (1)$$

Este parámetro es función de la frecuencia, de ahí que nos refiramos a él con el subíndice i .

Si no se dispone de capacidad simultánea de medida en dos canales, se podrá disponer de un solo micrófono que se colocará en uno y posteriormente en el otro recinto, mientras que la fuente emite el mismo ruido.

Para la determinación del aislamiento entre recintos se emplea en el recinto de emisión una fuente lo más omnidireccional posible y colocada de tal manera que cree una intensidad lo más uniforme posible sobre la el tabique separador y también sobre el resto de particiones y preferiblemente normalizada.

Con el propósito de evitar la formación de estacionarias el sonido puede ser de tonos puros oscilantes dentro de la banda de medida, de ruido aleatorio filtrado en bandas, o bien de ruido aleatorio, conteniendo ruido simultáneamente en todo el espectro de interés con igual nivel en bandas de frecuencia, lo cual significa ruido rosa¹. Esta última opción es la elegida.

La emisión simultánea en todo el espectro demanda separar la recepción en bandas, pues el aislamiento depende de la frecuencia. En el recinto vecino (recepción) si se mide el nivel global, se obtiene de su diferencia con el del local emisor, una aproximación grosera al aislamiento global frente a ruido rosa en dB, pues el ruido obtenido en la realidad no es exactamente rosa.

¹ Por ruido rosa se entiende aquél que siendo de origen aleatorio, pero de valor eficaz constante en el tiempo, proporciona igual densidad de energía en todo el espectro dB/Hz. En virtud de ello su nivel decae 3dB/octava. También proporciona igual nivel en todo el espectro, si éste está en escala logarítmica y consecuentemente también en octavas, tercios de octava o cualquier fracción de octava.

La desigual respuesta frecuencial del amplificador de potencia, altavoz y recinto hacen que el ruido medido no sea de amplitud constante en bandas, sino una aproximación a él. Sin embargo, como lo mediremos por bandas, esto no resulta relevante, pues ha de resaltarse que aunque el ruido rosa no sea de amplitud perfectamente constante con la frecuencia, esto no es un gran inconveniente, pues se trabajará por diferencia, banda a banda. Lo que sí es relevante, es que haya excitación suficiente en todo el espectro de interés, lo cual significa más de 10 dB por encima del ruido de fondo en el local receptor. Esto es perfectamente posible dado que se medirá en un espectro limitado, entre 100 y 5.000 Hz.

El altavoz no ha de instalarse orientado hacia el tabique, para evitar que predomine en la incidencia el ruido directo. Las normas recomiendan instalarlo en las dos esquinas opuestas a la separación y mirando hacia el rincón. Si el recinto está vacío y es poco reverberante sería necesario colocar difusores del sonido. Solo de esta manera se logrará una aproximación satisfactoria al campo difuso.

Se mide el aislamiento por bandas de frecuencias, pues éste puede ser muy distinto a distintas frecuencias. Siguiendo la norma UNE 74040/IV, se considera un ruido rosa normalizado, en frecuencias comprendidas dentro del rango de 100 a 5.000 Hz. Esto proporciona n bandas de octava:

$$2^{n-1} = \frac{5.000}{100} \Rightarrow n = \frac{\log \frac{5.000}{100}}{\log 2} + 1 = 7 \quad (2)$$

Usando las frecuencias preferidas, serían: 125, 250, 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz, luego, solo se mediría desde 125 Hz hasta 4.000 Hz; es una menos, 6; si se incluye desde 100 hasta 5.000 Hz serían 8.

Para afinar más se pueden usar bandas de tercios de octava, o cual proporciona m bandas:

$$2^{(m-1)/3} = \frac{5.000}{100} \Rightarrow m = 3 \frac{\log \frac{5.000}{100}}{\log 2} + 1 = 18 \quad (3)$$

Las frecuencias centrales son las de la tabla 1.

Para poder medir el ruido en bandas ha de disponerse de un analizador de espectro. En nuestro caso puede ser la conjunción de una tarjeta de sonido de PC y software de análisis espectral, ya que se trata de una mera práctica docente que no necesita gran precisión. Este equipo no constituye un analizador especializado en medidas acústicas, sino de propósito general. Por ello:

No proporciona niveles de presión acústica en dB, sino que proporciona la medida en dB referida a un nivel eléctrico de la señal de entrada, V_0 , que es el tope de escala. Esto puede comprobarse pues la escala va desde un valor muy bajo (-120 dB p. e.) hasta 0 dB en el tope de la escala. En consecuencia, las medidas siempre serán con dB negativos (por debajo del nivel de tope de escala). Por ello ha de cuidarse que el posible amplificador de micrófonos esté en la misma posición de amplificación para ambos canales y que el botón de balance esté en el centro para el caso de usar tarjeta de sonido y PC (en **Panel de Control/dispositivos de sonido de Windows/Audio** o bien pulsando **control/x** en el software OSCILLOMETER).

4. Metodología

Una manera de relacionar las medidas del analizador de espectro L_{ana} con el nivel acústico L_p es aplicar al micrófono correspondiente un generador de presión acústica calibrado, el cual estará disponible en el laboratorio². Generalmente se le denomina **pistónfono**. Una vez encendido y aplicado al micrófono, se anota el nivel obtenido en la banda correspondiente del analizador, lo que denominaremos $L_{ana,pis}$. Se anotará asimismo el nivel calibrado que proporciona el pistónfono, que denominaremos L_{pis} y que normalmente consta en el propio aparato, generalmente 94 dB. En consecuencia, a todas las mediciones proporcionadas por el analizador es necesario agregar la diferencia, que llamaremos L_{corr} :

Este procedimiento se aplicará a los dos micrófonos.

MICROFONO EMISOR (rellenar):

$$\left. \begin{array}{l} L_{pis} = \boxed{} \text{ dB leído en calibrador} \\ L_{ana,pis} = \boxed{} \text{ dB leído en pantalla} \\ L_{corr} = L_{pis} - L_{ana,pis} = \boxed{} \text{ dB} \end{array} \right\} \rightarrow L_p = L_{ana} + \underbrace{\boxed{}}_{L_{corr}} \quad (4)$$

MICRÓFONO RECEPTOR (rellenar):

$$\left. \begin{array}{l} L_{pis} = \boxed{} \text{ dB} \\ L_{ana,pis} = \boxed{} \text{ dB} \\ L_{corr} = L_{pis} - L_{ana,pis} = \boxed{} \text{ dB} \end{array} \right\} \rightarrow \underbrace{L_p}_{NPS} = L_{ana} + \underbrace{\boxed{}}_{L_{corr}} \quad (5)$$

Como esto se aplicará a todas las frecuencias y el pistónfono solo excita con una onda simple de amplitud constante a 1.000 Hz, se está asumiendo que el micrófono y toda la cadena eléctrica hasta llegar al analizador espectral responden de igual manera a todas las frecuencias.

En el recinto de recepción del ruido la norma pide que se promedie la medida, L_p , efectuándose para ello medidas en distintos lugares, o bien usando un mecanismo de giro, en un plano inclinado, dotado de un brazo en cuyo extremo se sitúa el micrófono (cuello de jirafa). Promediando en tiempo se corrigen las inhomogeneidades. Estas mediciones, caso de hacerse se anotarán aparte y su promedio se consignará en la tabla.

El analizador dispone de la capacidad de obtener promedios de espectros en el tiempo, necesario, dada la aleatoriedad del ruido rosa. Para ver como se configura, consultar el manual correspondiente.

² La demostración de este cambio de escala es simple. El nivel acústico viene dado por $L_p = 10\log(I/I_{ref})$. El nivel eléctrico en el analizador viene dado por $L_{p,ana} = 10\log(V/V_0)$. La función de transducción del micrófono y toda la cadena de medida es lineal, luego $V = KI$. Sustituyendo este valor en la última ecuación y de ella despejando I , se puede finalmente introducir la expresión resultante en la primera ecuación. El resultado es: $L_p = 10\log(V_0/K) + L_{ana}$. Efectuando una calibración que asocie $L_{p,pis}$ con $L_{p,ana,pis}$ permite despejar V_0/K , que puede finalmente introducirse en esta última expresión, quedando: $L_p = L_{ana} + (L_{p,pis} - L_{ana,pis})$ c. q. d..

De este modo, la medición se habrá realizado siguiendo el espíritu de la Norma UNE 74040/IV (Medida de Aislamiento Acústico de los Edificios y Elementos Constructivos, posteriormente modificada por la Comisión Técnica de Aislamiento Acústico del AENOR CT-74, según Norma UNE 21/314-75), equivalente a la Norma ISO-140.

Antes o después de cada secuencia de medida, se tomará también el espectro de ruido de fondo ó ruido ambiente, L_n , para restarlo en el local de recepción, en el caso de que esté suficientemente próximo, < 10 dB de diferencia a cada banda. En emisión, como la fuente se suele poner con un nivel de presión acústica alto, 94 dB típicamente, el ruido de fondo suele ser despreciable.

Tras finalizar las mediciones se recalibrarán los micrófonos.

Hasta ahora el aislamiento medido, R'_i , se denomina **aislamiento bruto**, pues incorpora dos efectos que complican la medida. Es necesario obtener el **aislamiento normalizado**.

El ruido transmitido del emisor al receptor vuelve otra vez a emisión en sentido contrario, amortiguándose, y a su vez vuelve a recepción, contribuyendo al campo acústico recibido. Este efecto suele ser inapreciable si el tabique es lo suficientemente aislante y la absorción del recinto receptor alta.

El nivel de campo acústico recibido en estado estacionario depende de la absorción acústica de este local. Está claro que para una determinada potencia recibida del paramento separador, el nivel acústico en el recinto será mayor cuan menor sea la absorción, es decir, cuanto mayor sea el tiempo de reverberación en este local en la banda i : T_i . Si la medida de este tiempo en las bandas correspondientes no está disponible, esta corrección se hará con 0,5 s a todas las bandas. Con esta corrección se obtiene el **aislamiento acústico normalizado**, D_i , denominado pérdida de transmisión (Transmisión Loss o TL en denominación estadounidense) y que caracteriza la separación. Si se asume campo difuso su expresión es:

$$D_i = R'_i + 10 \log \left(\frac{S_i}{A'_i} \right) \quad (6)$$

S_i = Superficie del elemento separador, igual en sus dos caras.

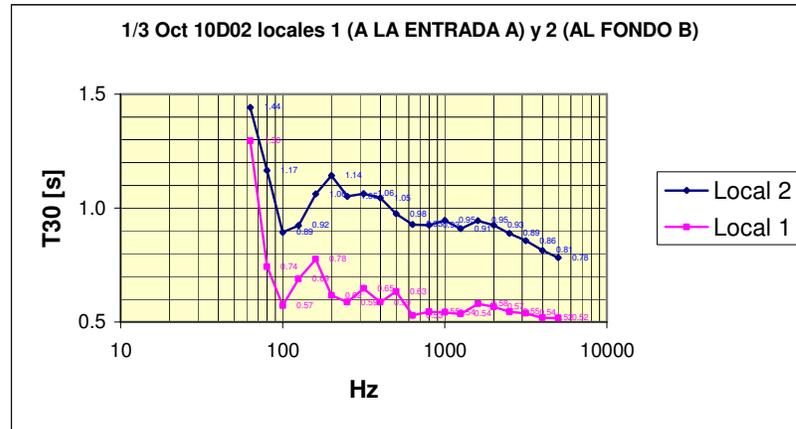
A'_i = Área de absorción del recinto receptor en iguales unidades que S_i . Puede calcularse en m^2 partiendo del tiempo de reverberación T_i en segundos, que es distinto a cada banda, haciendo uso de la fórmula de Sabine:

$$A'_i = \frac{0,161V}{T_i} \quad (7)$$

V = Volumen del recinto en m^3 . Calculado usando las dimensiones del local, que siendo aproximadamente paralelepédico será (rellenar):

LOCAL RECEPTOR Ancho = m Alto = m Largo = m $V =$ m^3 $S_i =$ m^2

Las mediciones del tiempo de reverberación han arrojado los siguientes resultados en bandas de tercios de octava para un recinto característico.



T30 en este caso corresponde al tiempo de reverberación de caída de 60 dB, usando solamente datos entre 0,1 s después de la interrupción de la fuente sonora continua y cuando el nivel ha bajando 30 dB y además es superior a 10 dB del ruido de fondo. De esta manera se logra una mayor estabilidad de las mediciones. Con esos datos se ha extrapolado linealmente hasta la caída de 60 dB.

Para evaluar el campo acústico incidente en la separación, L_{emisor} se instala un único micrófono omnidireccional. Por ello su orientación no es importante. Se montará sobre un trípode fotográfico en posición cercana a la separación, pero a más de 70 cm de cualquier pared, suelo, techo u objeto reflectante. Si el recinto de emisión es lo bastante reverberante, se supone que el campo acústico en él es espacialmente uniforme y omnidireccional (campo difuso) y por ello también el campo incidente en la separación. No obstante las normas piden que se realice con varias posiciones de este micrófono, típicamente 3 por cada posición del altavoz.

5. Resultados

Los resultados obtenidos, serán tales que completen la tabla siguiente.

Se recomienda tomar nota de los resultados manualmente, leyendo en la pantalla con ayuda del cursor y apuntando a mano en la tabla, para prevenirse frente a un posible fallo en los archivos creados por el programa.

Para detraer el ruido de fondo, caso de ser éste menos de 10 dB menor que la señal, úsese la resta de intensidades, lo que conduce a la siguiente fórmula en L o NPS :

$$L_{corr} = 10 \log \left(10^{L_{corr \text{ con ruido}}/10} - 10^{L_{corr \text{ fondo}}/10} \right) \quad (8)$$

El haber efectuado esta corrección se podrá indicar en la tabla encerrando el resultado con un círculo.

Para la obtención de R' se usará la diferencia de L_p . Para la obtención de D se hará uso de la hipótesis de ruido incidente rosa puro, con lo que resulta la siguiente expresión:

$$D = 10 \log \frac{N}{\sum_{i=1}^N 10^{-D_i/10}} \quad (9)$$

Este cálculo da excesiva importancia a los valores obtenidos a bajas frecuencias y a altas frecuencias (incluso dentro del intervalo restringido de 100 a 5.000 Kz), ya que el oído es poco sensible a las bajas frecuencias y además, las fuentes naturales ofrecen poca contribución a las bajas y a las altas frecuencias. Por ello, suele ponderarse frecuencialmente con escala A y así adaptar psicoacústicamente la cifra. Se deja como opción voluntaria el realizar el cálculo de D_A .

f_i	Ruido rosa emisor $L_{ana,i}$ (dB re 1V)	Ruido fondo emisor $L_{n,i}$ (dB re 1V)	$L_{corr} =$ dB ----- $L_{p,i,emisor}$ (dB acústicos)	Ruido rosa medido en recepción $L_{ana,i}$ (dB re 1V)	Ruido de fondo receptor $L_{n,i}$ (dB re 1V)	$L_{corr} =$ dB ----- $L_{p,i,receptor}$ (dB acústicos)	Aislami. Acústico bruto R_i (dB de reducción)	Tiempo de reverb. T_i (s)	Sabinos de absorción A_i (m ²)	Aisl. Acust. Norm D_i (dB de reducción)
100										
125										
160										
200										
250										
315										
400										
500										
630										
800										
1.000										
1.250										
1.600										
2.000										
2.500										
3.150										
4 000										
5.000										
Global (dB)			$L_p =$ dB emisor			$L_p =$ dB receptor	$R' =$ dB			$D =$ dB

Tabla 1

6. Informe (use huecos)

Trabajos, medidas realizadas y resultados obtenidos (en la tabla), comentarios e incidencias.

7. Comentarios finales.

Se recomienda comentar especialmente la capacidad de aislamiento de la separación a bajas frecuencias, medias y altas, haciendo cita y referencia a la ley de la masa. Puede ayudar el representar gráficamente D_i y compararlo con la ley de la masa, trabajo voluntario adicional que se propone.

Incertidumbre de las medidas realizadas. (estimación a criterio del alumno)

Realice una estimación del orden de magnitud que se estima para los resultados finales de D_i , en dB ($\pm 0,01$ dB, $\pm 0,1$ dB, ± 1 dB, ± 10 dB ?...), citando las posibles causas de la incertidumbre.

Ideas de mejora para futuras realizaciones de la práctica

Lista de documentos adjuntos

Si se desea puede adjuntarse hoja justificativa con volcado de pantalla, hoja Excel®, listados o gráficos

8. Bibliografía

Apuntes de la asignatura.

Beranek L. L.; Vér I. L. eds. Noise and Vibration Control Engineering, 1992 John Wiley.

Kiely G. Ingeniería Ambiental, 1999 McGraw-Hill.

Celma et al. El Ruido como Agente Contaminante en la Industria, Edelvives.