



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Proyecto de aislamiento acústico del Aulario común de la UNL

Kemmerer, I.¹

¹ Licenciatura en Sonorización y Grabación Instituto Superior de Música de la Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe, Argentina, iari_kemm@hotmail.es

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un relevamiento de las aulas del Aulario común de la Universidad Nacional Litoral (UNL) en relación al factor ruido para luego obtener el grado de aislamiento actual, detectar los flancos y finalmente realizar una propuesta que mejore la calidad acústica o el confort de dichas aulas.

El desarrollo del mismo se dividió en dos etapas, una primera etapa de evaluación y diagnóstico, donde se realizó un relevamiento de todas las aulas del edificio y a través de los planos arquitectónicos del mismo, se seleccionaron tres aulas, las cuales reúnen las características generales representativas de un total de trece aulas. Luego, se seleccionaron dos aulas por piso, de las cuales se eligió una como receptora - la que se encontraba más expuesta al ruido - y otra como emisora, para evaluar el impacto acústico desde el recinto emisor hacia recinto receptor. Posteriormente, se tomaron las normas IRAM 4109 y la IRAM 4063 como referencia metodológica para poder realizar mediciones acústicas y finalmente hallar el grado de aislamiento actual in situ. Le sigue una segunda etapa de diseño en la que se planificó una posible solución a la problemática existente teniendo en consideración diversos objetivos acústicos tales como el aumento del índice de reducción acústica aparente (R') de cada tabique divisor y el sellamiento de todas las fugas y no acústicos como durabilidad y efectividad de la solución. Realizando así, cálculos predictivos para brindar una propuesta de mejora de la situación teniendo presente la realidad socio-económica del establecimiento.

Palabras-claves: Aislamiento acústico – Índice de reducción acústica aparente (R') – Impacto acústico

PACS: 43.25. Nm, 43.40.-r, 43.55. Gx

Abstract

The main objective of this work is to carry out a survey of the classrooms of the common lecture hall of the Universidad Nacional Litoral (UNL) in relation to the noise factor and then obtain the current degree of insulation, detect the flanks and finally make a proposal that improves the quality. acoustics or the comfort of these classrooms. The development of the same was divided into two stages, a first stage of evaluation and diagnosis, where a survey of all the classrooms of the building was carried out and through the architectural plans of the same, three classrooms were selected, which meet the representative general characteristics out of a total of thirteen classrooms. Then, two classrooms per floor were selected, of which one was chosen as receiver - the one that was most exposed to noise - and another as emitter, to evaluate the acoustic impact from the emitting room to the receiving room. Subsequently, the IRAM 4109 and IRAM 4063 standards were taken as a methodological reference to be able to carry out acoustic measurements and finally find the current degree of insulation in situ.



This is followed by a second design stage in which a possible solution to the existing problem was planned, taking into account various acoustic objectives such as increasing the apparent noise reduction index (R') of each dividing wall and sealing all leaks, and non-acoustic as durability and effectiveness of the solution. Thus, performing predictive calculations to provide a proposal to improve the situation, bearing in mind the socio-economic reality of the establishment.

Keywords: Acoustic insulation - Apparent acoustic reduction index (R') - Acoustic impact

1.INTRODUCCIÓN

En los ambientes dedicado a la educación como lo es el Aulario común de la UNL ubicado en la provincia de Santa Fe, Argentina, el ruido es uno de los dos factores acústicos que afectan el proceso de aprendizaje, el otro la reverberación excesiva. En este caso se trabajará sobre el ruido. [1,2]

El ruido puede provenir del interior del recinto que habitamos (llámese aula u otro espacio) o puede también tener su origen en el exterior, como pueden ser los pasillos y halls dentro del mismo edificio o incluso zonas exteriores al edificio en sí, causando falta de concentración, fatiga auditiva, molestias e interferencias en la comunicación. Para que esta inmisión sonora indeseada no penetre en el interior del recinto, el mismo deberá estar lo suficientemente aislado, ya sea a través de los tabiques divisorios entre distintos ambientes o bien por medio de los muros que separan el interior del exterior del edificio.[3]

En general estos problemas requieren una financiación que muchas veces no se logra obtener. Esto trae como consecuencia tratamientos de aislamientos acústicos deficientes, transversales al Aulario en mayor o menor medida, dependiendo de la ubicación, dimensiones y características constructivas de cada aula.

Los tabiques o muros del Aulario común de la UNL son diversos, mayormente convive la construcción tradicional con la construcción en seco y las aberturas son de madera, aluminio y vidrio. Estos materiales pueden ser muy nobles, pero si los mismos no son aplicados con el criterio acústico de aislar, se puede perder efectividad por zonas débiles. Estas pueden ser flancos descubiertos en las aberturas (por su montaje o por fallas en el mecanismo de cierre),

tabiques divisorios que en sus aristas o juntas con otros planos presenten defectos de terminación, así como también la construcción en si misma de dichos tabiques. En el caso de construcciones en seco, el tipo de estructura de soporte de las placas, su materialidad, cantidad, espesor y tipo de relleno afectará en gran medida el desempeño acústico.

Es así que, como consecuencia del contexto donde se encuentra enmarcado el proyecto, se instala la problemática de realizar una propuesta que incluya un enfoque socio-económico. Como punto de partida para dicho trabajo, se estudiará y diagnosticará el grado de aislamiento acústico de un grupo de aulas representativas de todas las presentes en el edificio. Esto se llevará a cabo por medio de mediciones acústicas y obteniendo valores de magnitudes acústicas para diagnosticar la situación actual. Luego, por contrastación de estos resultados con determinados criterios acústicos, se realizará una propuesta de aislamiento acústico.[3]

Objetivos:

- Efectuar un relevamiento de las aulas del Aulario común de la UNL con el fin de establecer un grupo representativo de todas ellas.
- Realizar mediciones acústicas para obtener el grado de aislamiento actual en las aulas seleccionadas.
- Revisar los parámetros vinculados con el impacto acústico que ocasiona una actividad determinada sobre un punto de inmisión (receptor) y los métodos de evaluación adquiridos en el transcurso de la carrera.
- Proponer posibilidades de mejora en las condiciones acústicas en relación a la información obtenida.



2. FUNDAMENTO

2.1. Aislamiento acústico

2.1.2. Índice de reducción acústica e Índice de reducción acústica aparente (R y R')

Lo que caracteriza a una pared ubicada entre dos recintos se expresa generalmente en términos de la pérdida de transmisión (R) es decir el índice de reducción acústica.

Entonces, si una pared es alcanzada por una potencia Pot_1 , de otro lado está irradiando una potencia acústica Pot_2 , menor siempre que Pot_1 . [4]

Así, el coeficiente de transmisión, τ , está definido por

$$\tau = \frac{Pot_2}{Pot_1} \quad (1)$$

El índice de reducción acústica (R) es más eficaz visto desde otro enfoque de las aplicaciones, expresado en dB y definido

$$R = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{\tau} = 10 \cdot \log_{10} \frac{Pot_1}{Pot_2} \quad (2)$$

Donde τ y R son independientes del área de la pared considerada. Por eso, si el área se modifica Pot_1 y Pot_2 cambian de igual manera. [4]

Resulta que en la práctica los valores de R se obtienen mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a la norma IRAM 4063-3. Lo que se intenta eliminar en el laboratorio son los aportes de las vías secundarias para así, poder medir la aislación que tiene el material bajo ensayo. No se logran eliminar por completo estos aportes, pero si, se logra reducirlos en gran medida de acuerdo al estándar. Este índice puede obtenerse por medio de un ensayo donde se utilizan dos cámaras reverberantes ensambladas horizontalmente por un portamuestra aproximadamente de 10 m² y en especial tratadas de una manera que se evite vinculaciones entre ambas. [5]

Posteriormente, el procedimiento de ensayo que se lleva a cabo se basa en emitir un ruido de banda ancha filtrado en la banda de interés y

medir el nivel sonoro en ambas salas sabiendo las características de absorción que tiene el recinto receptor. [5]

Pero, cuando nos encontramos en una situación real, las condiciones “in situ” no son las mismas que en el caso antes mencionado ya que nos encontramos con vías de transmisión indirectas, es decir, caminos de propagación entre salas. [6]

Se define así el índice de reducción acústica aparente (R') teniendo en cuenta el aporte de las vías secundarias de la siguiente manera

$$R' = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W_i}{W_{t, directa} + W_{t, indirecta}} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

Donde W_i es la potencia acústica incidente en el lado emisor, $W_{t, dir}$ la potencia acústica transmitida en el lado receptor por vía directa y $W_{t, ind}$ la potencia acústica transmitida en el lado receptor por vías indirectas (estructuras, elementos, grietas, etc.)

En este proyecto se utiliza el valor de R' ya que existen vías de transmisión indirectas, es decir, nos encontramos en condiciones “in situ”. Por esta razón, es que la forma completa de calcular el R' necesitara de varios cálculos desarrollados en la subsección 3.5.3.

2.1.3. Índice de reducción acústica (R) compuesto

En el caso de tabiques o divisores que están compuestos por superposición de varios materiales, como, por ejemplo, una parte de roca-yeso, otra de madera y una ventana de vidrio, cada uno con un índice de reducción acústica (R_i) y un área (S_i), se intentara obtener el R de todo el tabique. [4]

Para esto se tiene en cuenta que si del lado que está expuesto a la fuente (recinto emisor) incide una potencia acústica Pot total, la potencia acústica que recibirá cada material es

$$Pot_i = Pot \cdot \frac{S_i}{S} \quad (4)$$



Donde S será el área de la pared. Entonces, la potencia Pot_i' que se irradia al recinto receptor por cada material estará dada por

$$Pot_i' = \tau_i \cdot Pot \cdot \frac{S_i}{S} = 10^{\frac{-R_i}{10}} \cdot Pot \cdot \frac{S_i}{S} \quad (5)$$

Si estas potencias se suman, se logra calcular la potencia total que irradia el tabique al recinto receptor

$$Pot' = \sum_{i=1}^n 10^{\frac{-R_i}{10}} \cdot \frac{S_i}{S} \cdot Pot \quad (6)$$

$$R = 10 \cdot \log_{10} \frac{Pot}{Pot'} = 10 \cdot \log_{10} \frac{S}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}} \quad (7)$$

2.1.4. Materiales aislantes

Cuando hablamos de materiales aislantes nos encontramos con que se especifican por medio de la pérdida de transmisión antes definida como

$$R = 10 \cdot \log_{10} \frac{Pot_1}{Pot_2} \quad (8)$$

Este parámetro se detalla en bandas de octavas o de tercio de octava ya que depende de la frecuencia. Para todos los casos su medición se lleva a cabo suponiendo que no hay transmisiones por flancos o que éstas pueden despreciarse. Dichas transmisiones consideran el sonido que se transmite de un ambiente a otro por un camino distinto del material que se está estimando. Eliminar estas transmisiones implica asegurar que el componente más débil respecto a aislación es el que se quiere evaluar. [4]

3. DESARROLLO

3.1. Aulas

El criterio para seleccionar las aulas se basó en elegir por medio de los planos del edificio tres aulas representativas respecto a dimensiones y características constructivas sobre un total de trece aulas. Las mismas se encuentran distribuidas en el Aulario común de la UNL.

3.1.1. Aula 6

De base rectangular y con un volumen de $264,95 \text{ m}^3$, ubicada en el Aulario común de la UNL, en el tercer piso, con muros longitudinales de $8,75 \text{ m}$, transversales de $7,57 \text{ m}$ y una altura de 4 m . Las paredes están construidas con tabiques de roca-yeso, excepto la pared que da al norte con la envolvente de todo el edificio (al exterior), que está hecha de hormigón y tiene material de mampostería. El techo, cielorraso de roca-yeso y el piso, con mosaicos en granito. Las aberturas de las ventanas, los ventanales y la puerta son de aluminio. A su vez, consta de un tablero y cinco sillas para Docentes, un pizarrón y capacidad para sesenta y un pupitres. Dicha aula es una de las de tamaño medio de todo el edificio.

3.1.2. Aula 9

De base rectangular y con un volumen de $828,27 \text{ m}^3$, ubicada en el Aulario común de la UNL, en el cuarto piso, con muros longitudinales de $18,62 \text{ m}$ y transversales de $10,85 \text{ m}$, y una altura de 4 m . Las paredes están construidas de revoque grueso y fino, y tabiques de roca-yeso y el piso, granítico, con mosaicos en granito. Las aberturas de las ventanas, ventanales y la puerta son de aluminio. A su vez, consta de un tablero y cinco sillas para Docentes, dos pizarrones y capacidad de ciento cuarenta y nueve pupitres.

3.1.3. Aula 10

De base rectangular y con un volumen de $733,63 \text{ m}^3$, ubicada en el Aulario común de la UNL, en el cuarto piso, con muros longitudinales de $18,62 \text{ m}$, transversales de $9,85 \text{ m}$ y una altura de 4 m . Las paredes están construidas con tabiques de roca-yeso, excepto la pared que da al sur con la envolvente de todo el edificio (al exterior), que está hecha de hormigón y tiene material de mampostería. El techo, cielorraso de roca-yeso y el piso,



granítico, con mosaicos en granito. Las aberturas de las ventanas, ventanales y la puerta son de aluminio. A su vez, consta de un tablero y cinco sillas para Docentes, dos pizarrones y capacidad para 1ciento cincuenta y ocho pupitres.

Esta aula junto al Aula 9 son las representativas de las salas de mayor tamaño en todo el edificio.

3.2. Tabique que divide el Aula 6 del pasillo sur en el tercer piso

El tabique sur que divide el Aula 6 con respecto al pasillo que da al sur tiene 32,45 m² de superficie. Está compuesto por una pared simple, construida en sus dos caras con una placa de roca yeso 12,5 mm y rellena con lana de vidrio de 70mm. Dichas placas a su vez, están vinculadas a través de montantes de 70 mm. Empotrada en dichas estructuras se encuentran cuatro ventanales de vidrio (con bordes de aluminio) de 0.8 m alto y 1,68 m de ancho en cada tabique. A su vez, contiene empotrada una puerta de madera de 2,05 m de alto y 2,9 m de ancho con dos ventanas de vidrio de 1,33 m de alto y 0,557 m de ancho en cada hoja y una ventana de 0,70 m de alto y 1,71 m de ancho también de vidrio por encima, todas con comisuras de aluminio a su alrededor incluida la puerta.

3.3. Tabique que divide el Aula 9 de Aula 10 en el cuarto piso

El tabique que divide el Aula 9 del Aula 10 tiene 62,9 m² de superficie y está compuesto por una pared simple, construida en sus dos caras con una placa de roca yeso 12,5 mm y rellena con lana de vidrio de 70mm vinculadas a través con montantes de 70 mm.

3.4. Fugas

En el relevamiento de cada aula y tabique seleccionado se observaron posibles fugas y estructuras en condiciones poco favorables. Estas, se registraron por medio de fotografías, pero se seleccionó solo una por tipo de fuga como representativas del total como muestran desde las Figuras 1 a la 4.



Figura 1: Imagen a la Izquierda: Posible fuga lateral en los tabiques de las distintas aulas. Imagen a la derecha: Posible fuga vertical entre la unión de ambas hojas en las puertas de las distintas aulas.

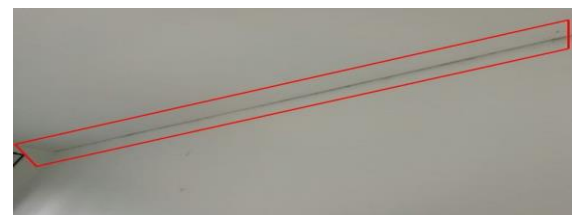


Figura 2: Posible fuga horizontal entre tabique y techo en las distintas Aulas como también entre tabique y piso.



Figura 3: a) Posible fuga debajo de las puertas de las distintas aulas. b) Posible fuga en orificio roto en las puertas. c) Posible fuga en defectos en el mecanismo de cierre de las puertas de las aulas.



Figura 4: Posible fuga horizontal en las ventanas de las distintas Aulas.



3.5. Criterios de medición

3.5.1. R'

Las mediciones acústicas para determinar el índice de reducción acústica aparente (R') de los tabiques que dividen el Aula 6 del pasillo al sur y el Aula 9 del Aula 10 en bandas de 1/3 de octava mediante un ensayo “in-situ”, se realizaron siguiendo las recomendaciones de la norma IRAM 4063-3. Se utilizó un altavoz de campo activo Behringer Truth B2031a, ubicado en dos posiciones distintas en los recintos emisores (pasillo y Aula 10) y en los recintos receptores (Aulas 6 y 9), y un sonómetro TES-1353S montado en un trípode.

La señal acústica utilizada para estas mediciones, fue ruido rosa de banda ancha generado con el software Room EQ Wizard (REW) desde una Notebook Acer Aspire 3 A315.

Se verificó que la diferencia de niveles entre bandas de 1/3 de octava sucesivas de la señal en los recintos receptores no superara los 8 dB. También, se corroboró que los niveles medidos en dichos ambientes estuvieran 10 dB por encima del ruido de fondo para evitar realizar correcciones posteriores. [7]

La fuente utilizada fue el Monitor de campo activo Behringer Truth B2031a perteneciente al Instituto Superior de Música de la UNL. A este se lo conectó a una placa Focusrite Scarlett 2i4 conectada a su vez a la Notebook Acer Aspire 3 A315. Luego, siguiendo la recomendación de la norma, se tuvo en cuenta una mínima distancia de 0,5 m entre la fuente y las superficies del recinto, una mínima distancia de 1,4 m entre distintas posiciones de la fuente y una mínima distancia entre fuente y partición bajo ensayo de 1 m.

Al sonómetro se lo posicionó fijo, con un soporte mediante trípode con una mínima distancia de separación de 0,7 m y se realizaron mediciones en cinco posiciones distintas del mismo por cada posición de la fuente (dos posiciones) en cada aula (veinte mediciones en total entre dos aulas) y tres posiciones distintas por cada posición de la fuente en los pasillos (dieciséis mediciones en total entre un aula y el

pasillo), con una mínima distancia de 0,5 m entre la posición del sonómetro y las superficies de la sala y una mínima distancia de 1 m entre fuente y sonómetro.

Por último, además de las lecturas del sonómetro se tomaron muestras con un dispositivo de grabación, utilizando una placa de sonido Focusrite Scarlett 2i4. A esta se le conectó la salida del sonómetro y luego, se la conectó a una notebook para grabar con el Daw Audacity. A partir de las grabaciones de las señales de audio calibradas, se obtuvieron diversos descriptores como el nivel sonoro equivalente sin ponderar en bandas de tercio de octava (Leq, 1/3 oct) mediante un post-procesamiento digital.

3.5.2. Tiempo de Reverberación (TR_{60})

Para poder calcular el índice de reducción acústica aparente (R') de cada tabique divisor se midió el tiempo de reverberación (TR_{60}) de cada recinto receptor (Aula 6 y 9) a partir de grabaciones de audio con el software REW (Room EQ Wizard), siguiendo la norma IRAM 4109-2 a nivel ingeniería.

Las mediciones del RIR (Respuesta Impulsiva del Recinto) se realizaron sin presencia de alumnos (sala vacía) como indica la norma. Y este se obtuvo aplicando la técnica de deconvolución de señales. Como señal de excitación se utilizó un barrido de frecuencia de variación exponencial (señal determinística). La cantidad de puntos seleccionados correspondió al método de precisión especificado en la norma, registrando un total de 12 (doce) respuestas impulsivas correspondientes a 6 (seis) posiciones de micrófono y 2 (dos) posiciones de fuente.

Para realizar las mediciones, se utilizó un micrófono de medición Behringer ECM8000 de condensador con característica omnidireccional real y equilibrada. El mismo, con una respuesta en frecuencia sumamente lineal desde 15 Hz a 20kHz.

La fuente acústica utilizada para la medición fue el monitor Behringer Truth B2031a que proporciona el woofer y el tweeter con amplificadores separados, con una respuesta en



frecuencia muy lineal de 50 Hz a 21 kHz. Impedancia de entrada de 10 kOhm, un nivel de entrada máximo de +22 dBu, un pico de potencia de 265 W y un nivel de presión de máximo 116 dB SPL @ 1 m (par). De dimensiones de 400 mm de alto, 250 mm de ancho y 290 mm de profundidad. Dentro del equipo de medición también se utilizó una placa de sonido Focus Scarlett 2i4 con salida de monitores y preamplificadores de micrófonos con Phantom Power.

El mobiliario de cada Aula seleccionada para medir el TR_{60} en ellas constó, para el Aula 6 con un tablero, cinco sillas y sesenta y un pupitres. Y para el Aula 9 con un tablero, cinco sillas y ciento cincuenta y ocho pupitres.

EL TR_{60} se obtuvo a partir de la curva de decaimiento energético medida en los distintos puntos seleccionados. Se aproximó dicha curva a una recta para así obtener su pendiente. Esto a su vez se realizó para sortear las dificultades del ruido de fondo y la no linealidad del campo difuso que se presentan como inconvenientes a la hora de realizar las mediciones “in situ”. Dicha recta en los distintos puntos medidos de cada aula es bastante lineal, y está alejada en parte del ruido de fondo.

En cuanto al ruido de fondo, de acuerdo a la definición de TR_{60} se debió conseguir un SNR (relación señal ruido) superior a 60dB, algo que en la práctica es dificultoso. Por eso, se midió el decrecimiento del nivel sonoro bastante menor a 60 dB. Obteniendo la pendiente en rangos menores a TR_{60} . Tomando el T_{30} y T_{20} en vez del TR_{60} ya que las pendientes son bastante similares y equivalentes al mismo, solo están calculados en un rango de decaimiento menor (30 dB y 20 dB). [4]

3.5.3. Cálculos para obtener el R'

Para los cálculos se utilizó una planilla de Excel. Una vez obtenidos los resultados del post-procesamiento digital, con cada una de las mediciones se calculó un promedio energético espacial del nivel de presión sonora equivalente en cada recinto para cada posición de fuente con la expresión:

$$L = 10 \times \log \left(\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (9)$$

donde $L_i = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ son los niveles de presión sonora equivalentes medidos en las n diferentes posiciones del sonómetro en cada recinto.

En este caso resulta ser $n=5$ y $n=3$ (en el caso de los pasillos) para cada posición de la fuente.

$$L = 10 \times \log \left(\frac{1}{5} \cdot (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} + 10^{\frac{L_4}{10}} + 10^{\frac{L_5}{10}}) \right) \quad (10)$$

Aplicando dicho promedio a las posiciones del sonómetro en el recinto emisor ($L = L_E$) y receptor ($L = L_R$), y luego, aplicando la Ecuación (10) para cada posición de la fuente en ambos recintos se obtuvo los niveles continuos equivalentes.

Seguido, se obtuvo la diferencia de nivel (D) entre el nivel de presión sonora en el recinto emisor y el recinto receptor con respecto a cada posición de fuente utilizando la siguiente expresión:

$$D = L_E - L_R \quad (11)$$

En este caso aplicando la fórmula anterior obtenemos D_1 y D_2 . Donde:

$$D_1 = L_{E1} - L_{R1}$$

$$D_2 = L_{E2} - L_{R2}$$

Esto nos permite poder calcular el índice de reducción sonora aparente (R'_j) para cada posición de la fuente con el que se caracteriza el grado de aislamiento in-situ de la partición bajo estudio para cada posición del parlante.

$$R'_j = D + 10 \times \log \left(\frac{S_{12}}{A} \right) \quad (12)$$

donde D es la diferencia de nivel entre locales, S_{12} es el área de la partición (en m^2) y A es el área de absorción efectiva del local receptor.

Resultando,

$$R'_1 = D_1 + 10 \times \log \left(\frac{S_{12}}{A} \right)$$

$$R'_2 = D_2 + 10 \times \log \left(\frac{S_{12}}{A} \right)$$



Luego, para calcular el área de absorción efectiva del recinto receptor. Se utilizó el TR_{60} medido en cada aula y el volumen de las mismas.

$$A = 0,16 \times \frac{V}{TR_{60}} \quad (13)$$

donde V es el volumen del local receptor (en m^3).

Una vez obtenidos los valores de A , utilizando la Ecuación (12) obtenemos los valores de R' para cada posición del altavoz.

Finalmente se obtuvo el valor global del índice de reducción acústica aparente de los tabiques divisores en bandas de 1/3 de octavas desde 100Hz hasta 5000Hz teniendo en cuenta las distintas posiciones de la fuente con la expresión:

$$R' = -10 \times \log \left(\frac{1}{m} \times \sum_{j=1}^m 10^{\frac{-R_j}{10}} \right) \quad (14)$$

Siendo m la cantidad de posiciones del parlante y R'_j es el índice de reducción acústica aparente para la posición j .

Al utilizar dos posiciones de la fuente, $m=2$, resultando:

$$R' = -10 \times \log \left[\frac{1}{2} \times \left(10^{\frac{-R_1}{10}} + 10^{\frac{-R_2}{10}} \right) \right]$$

Luego, sabiendo la composición de los materiales presentes en los tabiques divisorios, se extrajo de una tabla de índices de reducción acústica obtenidos en laboratorio los valores correspondientes a los materiales que componen los mismos.

Siendo que los tabiques están compuestos por elementos con distintos valores de R , el cálculo se realizó con la siguiente expresión:

$$R = -10 \times \log_{10} \left(\frac{S_1 10^{\frac{-R_1}{10}} + S_2 10^{\frac{-R_2}{10}} + \dots + S_N 10^{\frac{-R_N}{10}}}{S_1 + S_2 + \dots + S_N} \right) \quad (15)$$

Para el mismo se necesita conocer la superficie de cada material que componen los tabiques y la superficie total de los mismos, además de su R correspondiente.

Estos valores de laboratorio no tienen en cuenta las contribuciones de vías indirectas de transmisión por lo que se utiliza una aproximación. En este caso se utilizó una forma simplificada recomendada por el Building Bulletin 93 (BB93) del Ministerio de Educación de Inglaterra [8], que recomienda utilizar un factor de seguridad entre R y R' de al menos 5 dB, es decir:

$$R' = R - 5 \text{ dB}$$

3.6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.6.1. R' teórico vs R' medido

Se tomó el índice de reducción acústica aparente teórico (R' teórico) de cada tabique bajo ensayo, buscando los R tabulados, obtenidos en el laboratorio de acuerdo a la norma IRAM 4063-3 y se les agrego el efecto de las fugas presentes en cada tabique para calcular un R' teórico ($R_{t,f}$) compuesto (con fugas). Seguido, al $R_{t,f}$ se lo comparo con el R' y el R' compuesto de cada tabique denominado R' medido (R_m). Luego, se intentó una aproximación entre los R' ($R_{t,f}$ y R_m) por bandas de 1/1 octava agregando las fugas a los $R_{t,f}$, y así aproximar los valores del $R_{t,f}$ a los del R_m . Seguido, se mejora el $R_{t,f}$ para demostrar como mejoraría el R_m si se le aplicaran las posibles mejoras y soluciones propuestas sobre el $R_{t,f}$, obteniendo un $R_{t,sf}$ (R' teórico sellando las fugas).

Para esto, las posibles propuestas para mejorar el R_m de cada tabique bajo ensayo, se llevaron a cabo por medio del mismo mecanismo de comparación antes presentado. Se propuso, sellar todas las fugas antes mencionadas y en el tabique que contiene una puerta (el tabique que divide el aula 6 del pasillo) además, intentar a su vez cambiarle la puerta por una puerta con mayor R' por bandas de 1/1 de octava. En este caso se propone una puerta acústica de 70 mm con un R' por bandas 1/1 de octava. Se puede ver, a continuación, en las Tablas 1 y 2, como el $R_{t,f}$ de estos tabiques mejora, es decir, aumenta al sellarles las fugas. En el tabique que también contiene una puerta, aumenta aún más sellándole las fugas y cambiándole la puerta. Logrando así, ver una mejora en el índice de reducción acústica aparente de los tabiques.



En el tabique que divide el aula 6 del pasillo sur (A6-P1) se encontraron fugas debajo de la puerta de 1,825 m de ancho por 0,02 m de alto y en las cuatro ventanas de 1,68 m de ancho por 0,01 m de alto. Se presenta en la Tabla 1 los distintos valores de R' . Es decir, el R_m , el $R_{t,f}$ y el $R_{t,sf}$ y en este caso el $R_{t,sf}$ cambiando la puerta de madera maciza sin sellos alrededor del perímetro, por una puerta acústica de 70 mm.

Tabla 1: $R_{t,f}$ y los $R_{t,sf}$ por bandas de 1/1 de octava y R_m del tabique que divide el Aula 6 del pasillo que da al sur en el tercer piso.

[dB]	Frecuencia central bandas de 1/1 de octava [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
R_m	13,3	19,2	21,5	22,8	22,2	21,2
R_t c/fugas	14,6	20,8	23,7	23,0	22,5	20,5
R_t s/fugas	14,9	22,4	27,9	26,2	25,2	22,0
R_t s/fugas y cambiando la puerta	16,1	26,9	38,3	43,7	43,4	35,7

Se logra observar en la Figura 5 que sellando las fugas y encima, cambiándole la puerta al tabique A6-P1, el R_m del mismo aumenta entre 2,8 dB y 20,9 dB aproximadamente en las distintas bandas de 1/1 de octava. Y solo sellando las fugas, aumenta entre 0,8 dB y 6,4 dB, dando la posibilidad de aplicar esta solución en el tabique medido.

Por último, en el tabique que divide el aula 9 de la 10 (A9-10) se encontró una fuga lateral de 3,45 m de alto por 0,06 m de ancho y una

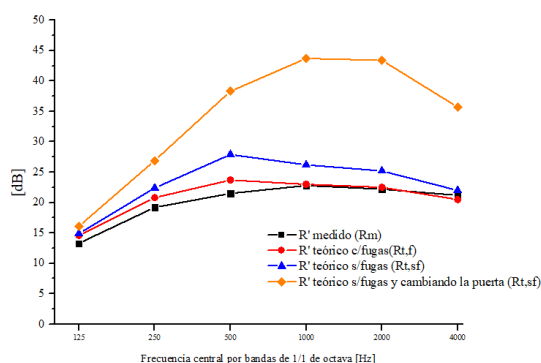


Figura 5: Comparación entre el R_m y el $R_{t,f}$. Y luego, ambos, comparados con el $R_{t,sf}$ (fugas selladas) y el $R_{t,sf-p}$ (fugas selladas y cambio de puerta).

horizontal de 18,353 m de ancho por 0,01 m alto. Se presenta en la Tabla 2 los distintos valores de R' . Es decir, el R_m , el $R_{t,f}$ y el $R_{t,sf}$.

Tabla 2: $R_{t,f}$ y $R_{t,sf}$ por bandas de 1/1 de octava y R_m del tabique que divide el Aula 9 del Aula 10 en el cuarto piso.

[dB]	Frecuencia central bandas de 1/1 de octava [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
R_m	2,8	15,4	22,5	21,8	20,6	29,0
R_t c/fugas	15,0	21,4	22,0	22,1	22,1	22,0
R_t s/fugas	16,0	30,0	43,0	50,0	51,0	38,0

Se logra ver en la Figura 3.83 que, sellando las fugas el R_m aumenta entre 9 dB y 30,4 dB aproximadamente en las distintas bandas de 1/1 de octava, dando la posibilidad de aplicar esta solución en el tabique medido.

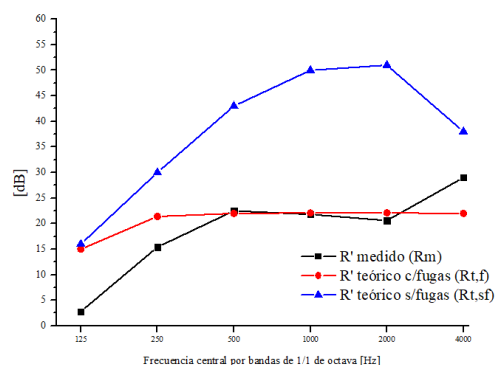


Figura 6: Comparación entre el R_m y el $R_{t,f}$. Y luego, ambos, comparados con el $R_{t,sf}$ (fugas selladas).

CONCLUSIONES

En primera instancia, se logró llevar a cabo sin problemas el relevamiento de las aulas del Aulario común de la UNL propuesto, para establecer el grupo representativo de las mismas. Eligiendo dos grupos de dos aulas, y aula con pasillo, de acuerdo a las dimensiones; las de dimensión mediana y las de mayores dimensiones. Luego, se logró realizar las mediciones acústicas y obtener el grado de aislamiento actual de dichas aulas, es decir, el índice de reducción acústica aparente (R') de cada tabique bajo ensayo por bandas de 1/1 de



octava. Observando, que el grado de aislamiento acústico de dichos tabiques es muy bajo en las bajas frecuencias, es decir, que no atenúa casi nada los sonidos graves justo en bandas de frecuencia que corresponden a la fundamental de la voz hablada de hombres y mujeres adultos.

Luego, a raíz de lo expuesto anteriormente, se propusieron dos posibles soluciones, sellar fugas y cambiar las puertas, logrando con esto, que los tabiques que dividen las aulas seleccionadas mejoren y/o aumenten su grado de aislamiento acústico volviéndose más efectivos. No se propusieron cambios en la materialidad de los tabiques ni en los componentes que lo constituyen, excepto en la posibilidad de cambiar las puertas, ya que se tuvo en cuenta el contexto socio-económico donde están emplazadas las aulas, descartando así propuestas que exijan cambiar estructuras completas, derribar tabiques y/o desalojar aulas o el edificio por un periodo de tiempo, tanto por el costo que requiere como por la clausura momentánea hasta realizar esas reformas.

Finalmente, se intentó mostrar que se puede cambiar y optimizar la acústica en cuestión con pocos recursos. Por eso se buscó encontrar una solución factible para mostrar que a veces, con pasos previos en la planimetría, con una auditoria de obra, que dentro del plan arquitectónico este contemplado el confort acústico relacionado a la finalidad del recinto sin desestimar el contexto socio-económico o con solo prestarle atención a las fugas y las puertas se puede mejorar y solucionar la acústica de las aulas destinadas a la educación con poco y así las personas lograrían no distraerse, mejorar su calidad de aprendizaje y acercarnos más a que las aulas logren cumplir su función teniendo un nivel bajo de ruido.

REFERENCIAS

- [1] “Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares.” *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 2014;52 (3):402-410
- [2] Curso de Acústica. Vizcaya: Universidad del País Vasco; 2009 “Efectos y normativa. Efectos

Fisiológicos del Ruido”. Mayo 2021, Documento en formato HTML, accesible por internet en la dirección: <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/efectos%20y%20normativa/efectos%20y%20normativa.html>

- [3] M.Vázquez Reina. Vizcaya: Fundación EROSKI;c 2013 “Condiciones ambientales en la escuela 2010”. Mayo 2021, Documento en formato HTML, accesible por internet en la dirección: <http://www.consumer.es/web/es/educacion/escolar/2010/10/22/196660.php>
- [4] F. Miyara, *Control de Ruido*. Rosario, Argentina, 1999
- [5] Norma IRAM 4063-3:2002. “Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción”
- [6] Norma IRAM 4063-4:2002. “Medición ‘in situ’ del aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales”
- [7] M. H. Cyril, *Handbook of noise control*. McGraw-HiU Book Company 1221, New York. 1957.
- [8] Building Bulletin 93. *Acoustic design of schools. A desing guide*. ISBN 0 11 27110