

Acústica en salones de clase

Un recurso para crear ambientes de aprendizaje con condiciones de audición deseables

Parte I

Acoustical Society of America

asa@aip.org

RESUMEN

El objetivo de esta publicación es proporcionar un material suplementario para arquitectos, educadores y diseñadores de escuelas para emplearlo en la construcción o renovación de ambientes de aprendizaje. La publicación no pretende reemplazar los servicios de un consultor acústico profesional. Es para emplearse como un auxiliar en la comprensión de los elementos de las condiciones deseables de audición en los salones de clase.

PALABRAS CLAVE

Acústica, salones, aulas.

ABSTRACT

The intent of this publication is to create a supplemental resource for architects, educators, and school planners for use with new construction or renovation of learning environments. The publication is not intended to replace the services of a professional acoustical consultant. It is to be used as an aid in the understanding of the elements of desirable listening conditions in classrooms.

KEYWORDS

Acoustics, classrooms.

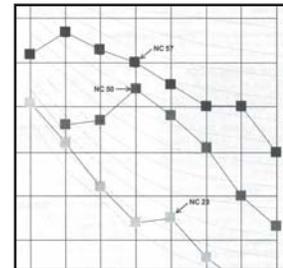
NOTA

Esta publicación fue preparada por el Comité Técnico de Acústica Arquitectónica de la Sociedad Americana de Acústica (ASA), por Benjamín Seep, Robin Glosemeyer, Emily Hulce, Matt Linn, and Pamela Aytar, quienes durante la preparación de la publicación, eran estudiantes avanzados en el programa de Ingeniería Arquitectónica de la Universidad de Kansas. La supervisión de este proyecto estuvo a cargo de Bob Coffen, FASA, un miembro de la Facultad de Ingeniería Arquitectónica de la Universidad de Kansas.

INTRODUCCIÓN

Los Estados Unidos se encuentran inmersos en la campaña más grande de la historia de construcción y renovación de escuelas. Con un énfasis primordial en la educación, se debe tomar la oportunidad de terminar con una antigua práctica americana: la construcción de salones de clase con acústica inferior. Este problema invisible tiene implicaciones de largo alcance, pero de fácil solución.

Ruido excesivo y reverberación interfieren con la inteligibilidad del habla, lo que resulta en comprensión reducida, y con ello, aprendizaje también reducido.



Copyright©2000
Acoustical Society of
America.
All right reserved.
Reproducción autorizada
por la ASA.
Traducido por Sergio
Beristáin, Presidente del
Instituto Mexicano de
Acústica.

En muchos salones de clases en los Estados Unidos, la inteligibilidad del habla es de 75 % o menor. Esto significa que, en pruebas de inteligibilidad, público con audición normal sólo puede entender el 75 % de las palabras leídas de una lista. Imaginen la lectura de un texto en donde una de cada cuatro palabras se pierde, si se supone que el material debe ser comprendido y además examinado. ¿Suena ridículo? Bueno, esa es exactamente la situación que enfrentan los estudiantes todos los días en escuelas de todo el país.

Muchos educadores piensan que es importante mejorar las condiciones acústicas de los salones de clase empleados para niños con problemas de audición, pero innecesario para los usados para estudiantes con audición normal. Sin embargo grandes poblaciones estudiantiles con “audición normal”, también se beneficiarán en salones de clase con buena acústica. Incluyendo estudiantes con desórdenes de aprendizaje, los que tienen problemas de proceso auditivo, y aquellos para los que el inglés es su segundo lenguaje. Normalmente estos estudiantes no son ubicados en salones con mejor acústica, sino que se mezclan con otros estudiantes. Otro grupo para el que el aprendizaje es especialmente dependiente de una buena acústica, es el de niños pequeños, ya que están inhabilitados para “predecir a partir del contexto”. Con su vocabulario y experiencia limitados, si pierden unas pocas palabras de la lección del maestro, están incapacitados con respecto a estudiantes mayores, para “completar” las ideas perdidas. A partir de estas consideraciones, queda claro que un amplio sector de estudiantes se beneficiará de salones de clase con acústica mejorada.

¿Porqué los problemas acústicos en los salones de clase deben ser endémicos, si las soluciones no son prohibitivamente costosas?. La razón principal no es falta de fondos, sino falta de reconocer el problema y sus soluciones. En 1998, se invirtió la increíble suma de 7,900 millones de dólares en la construcción de escuelas en todo el país. Por una pequeña fracción de eso, todos esos espacios pudieron haber sido diseñados o renovados para proporcionar buenas condiciones para la audición. Sin embargo para que esto ocurra, es necesario que los arquitectos y diseñadores de escuelas empiecen el

proceso de diseño con la acústica del salón de clases en mente. La mejor manera de resolver problemas acústicos es prevenirlos antes de que se presenten, y no corregirlos cuando están presentes. Durante el proceso de diseño, los problemas acústicos pueden evitarse previniendo un arreglo diferente de los mismos materiales de construcción. La renovación de salones mal diseñados es mucho más costosa. Aun así, el costo de la renovación es pequeño comparado con el costo social de la mala acústica de los salones, que se refleja en un aprendizaje deficiente de millones de niños.

La necesidad de una buena acústica en los salones de clase y los métodos para lograrlo se conocen desde hace décadas, pero esta información no ha estado disponible para los arquitectos, diseñadores, administradores, maestros y, padres de familia. Este trabajo está diseñado para proporcionar un análisis general de los problemas y soluciones relacionados con los salones de clase, tanto para su construcción como renovación. El texto presenta explicaciones prácticas y directas, además de ejemplos; el Apéndice proporciona definiciones cuantitativas y cálculos, y otras fuentes para información más detallada. El diseño de espacios con requisitos acústicos especiales, como teatros o cuartos de música, o espacios con problemas complejos de ruido, es mejor que los atienda un consultor acústico calificado.

LAS BASES

Frecuentemente se dice que se desean construir recintos con “buena acústica”, pero esto se ha convertido en un término vago y casi sin sentido. No existe un criterio que abarque todos los aspectos necesarios para obtener una “buena acústica” para recintos en cualquier aplicación. Pequeños salones de clases, grandes aulas, auditorios, cuartos de música, cafeterías y gimnasios, todos tienen diferentes requisitos acústicos. Para entender cómo deben diseñarse estos espacios diferentes, hay que familiarizarse con algunas propiedades básicas del sonido.

En el primer siglo A.C. el arquitecto romano Vitruvius, en su famoso tratado de arquitectura en 10 volúmenes *De arquitectura*, explicó que el sonido se mueve en innumerables ciclos circulares sin fin,

como los innumerables círculos crecientes que aparecen en el agua cuando se arroja una piedra... pero mientras en el agua los círculos se desplazan en forma horizontal, en el plano de la superficie, la voz no sólo lo hace en forma horizontal, sino que también asciende en forma vertical en forma regular.

Vitruvius no comprendió todo acerca del sonido, pero en este punto tiene razón. En general, el sonido se radia en ondas en todas direcciones a partir de una fuente puntual, hasta que encuentra obstáculos como muros o techos. Dos características de las ondas sonoras son de particular interés en la arquitectura, amplitud y frecuencia. Amplitud es la medición física de una onda sonora, relacionada con la fuerza del sonido o la sonoridad que produce. También se puede medir la frecuencia de una onda sonora, que se percibe como tono. Por ejemplo, en un piano, las teclas de la derecha producen tonos más altos que las de la izquierda. Si un sonido tiene una sola frecuencia, es llamado tono puro, pero la mayoría de los sonidos cotidianos como voz, música y ruido son sonidos complejos formados por una mezcla de diferentes frecuencias. Se observa la importancia de la frecuencia cuando la onda sonora encuentra una superficie: el sonido tiene reacciones diferentes a diferentes frecuencias. La sensibilidad del oído humano también cambia con la frecuencia, y hay mayor probabilidad de lastimarlo con ruidos de frecuencias medias a altas, especialmente con tonos puros.

Piensen en el sonido como un haz, como un rayo de luz atravesando el espacio y encontrando objetos. Varias cosas pueden ocurrir cuando el sonido llega a una superficie (Ver figura 1), incluyendo:

- Transmisión- El sonido pasa a través de la superficie al espacio detrás de ella, como luz a través de una ventana.
- Absorción- La superficie absorbe sonido como una esponja absorbe agua.
- Reflexión- El sonido impacta la superficie y cambia de dirección como una pelota rebotando en un muro.

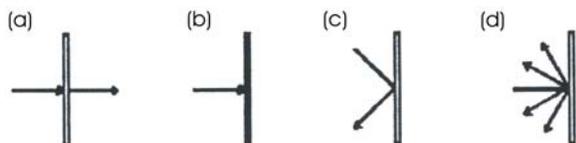


Fig.1. Interacción Sonido/Superficie: (a) transmisión, (b) absorción, (c) reflexión, (d) difusión.

- Difusión- El sonido impacta a la superficie y es reflejado en múltiples direcciones, como los pines golpeados por una bola de boliche.

Recuerde que varias de estas acciones pueden ocurrir simultáneamente. Por ejemplo, una onda sonora puede ser reflejada y parcialmente absorbida por un muro al mismo tiempo.

Como resultado, la onda reflejada no será tan fuerte como la onda original. La frecuencia del sonido también hace una diferencia. Muchas superficies absorben sonidos de alta frecuencia y reflejan los de baja frecuencia. El Coeficiente de Absorción (α) y el NRC (coeficiente de reducción de ruido) se emplean para especificar la capacidad de los materiales para absorber sonido.

Los ecos discretos son un problema especial que resulta de la reflexión sonora. Mucha gente está familiarizada con el hecho de que al gritar en una cañada, se escucha la propia voz que responde un segundo después. El eco también puede ocurrir en los salones, pero más rápidamente. Si la voz del maestro produce ecos continuamente hacia una región del salón, cada eco interferirá con la siguiente palabra, con lo que la comprensión de la lección se hace más difícil. El eco también es un problema común en los gimnasios.

Otro tipo de eco que interfiere con la audición, es el eco repetitivo. Cuando dos superficies planas y rígidas están paralelas, el sonido puede rápidamente rebotar entre ellas, creando un efecto resonante. Esto puede ocurrir entre dos paredes o entre el piso y el techo.

Los niveles de intensidad y presión sonora pueden medirse en decibeles (dB). En general los sonidos fuertes tienen mayores valores en dB que los sonidos suaves. Ya que la escala de decibeles es logarítmica y no lineal, los decibeles no se pueden sumar de la forma normal.

Una medida acústica fundamental se llama Tiempo de Reverberación (RT o RT(60)), se emplea para determinar que tan rápido decae el sonido en un cuarto. El tiempo de reverberación depende del volumen físico y de los materiales superficiales del cuarto. Espacios grandes como catedrales y gimnasios, normalmente tienen tiempos de reverberación largos, y suenan ‘vivos’ y algunas veces ‘confusos’. Cuartos pequeños, como recámaras o estudios de grabación, normalmente son menos reverberantes, y suenan ‘secos’ o ‘muertos’.

La Reducción de Ruido (NR) de un muro (también expresada en dB), entre dos cuartos, se encuentra al medir el porcentaje del sonido producido en un cuarto que pasa a través del muro hacia el cuarto adyacente. (Ver figura 2.) El NR se calcula restando el nivel de ruido del segundo cuarto en dB, del nivel de ruido del cuarto donde está la fuente sonora.

Relación Señal-a-Ruido (S/N) es una simple comparación que es útil para estimar que tan comprensible es la voz en un recinto. La S/N en dB es igual al nivel sonoro de la voz del maestro, en dB, menos el nivel de ruido de fondo en dB. A mayor S/N, mayor es la inteligibilidad del habla. Si la S/N es negativa (i.e. el ruido de fondo es más fuerte que la voz del maestro), será difícil entender al maestro. Hay que tomar en cuenta que la S/N varía a lo largo del salón, de acuerdo a los cambios de los niveles de señal y ruido. Típicamente la S/N es menor cuando: (1) en la parte posterior del salón de clases, donde el nivel de voz del maestro ha alcanzado su valor mínimo; o (2) cerca de la fuente de ruido, donde el nivel de ruido es máximo, por ejemplo, cerca de una unidad de aire acondicionado. Estudios han demostrado que, en salones de clase con relación señal-a-ruido inferior a +10 dB, la inteligibilidad se degrada en forma significativa, para niños con audición normal. Niños con algún problema de audición necesitan cuando menos una S/N de +15 dB.

La Inteligibilidad del Habla puede evaluarse en salones existentes, empleando listas de palabras. Se realizan varias pruebas en las que una persona recita palabras de una lista normalizada, y el auditorio escribe lo que escucha. El porcentaje de palabras correctamente escuchadas por el auditorio es una medida de la inteligibilidad de la voz en el cuarto.

El Apéndice da más información para aquellos interesados en aprender más acerca de estos temas.

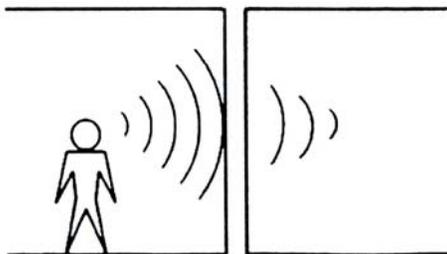


Fig. 2. Reducción de Ruido por muro divisorio entre dos espacios.

GUÍAS ACÚSTICAS PARA SALONES DE CLASE

Una vez familiarizados con los fundamentos de acústica, se puede aprender como aplicarlos para obtener condiciones satisfactorias de audición en los salones de clase. Las siguientes recomendaciones se diseñaron para un salón típico para aproximadamente 30 estudiantes, en donde la clase se imparte desde el frente del salón, o los estudiantes trabajan en pequeños grupos. Recomendaciones para gimnasios, cafeterías y auditorios, se presentan más adelante.

REVERBERACIÓN

Aunque tiempos de reverberación (TR) prolongados son 'muy comunes' en los salones de clase con mala acústica, existe una solución. Idealmente los salones de clase deben tener un TR en el rango de 0.4-0.6 seg., sin embargo muchos de los salones existentes tienen TR del orden de 1 segundo o más. En la figura 3 se indican los tiempos de reverberación apropiados para varios recintos típicos de las instalaciones educativas. Es fácil estimar el tiempo de reverberación, tanto para salones nuevos como para los que ya están construidos, empleando la ecuación de Sabine. Las variables son el volumen físico (m^3), las áreas (m^2) de los diferentes materiales superficiales, y los coeficientes de absorción de esos materiales a ciertas frecuencias. El coeficiente de absorción es una medida de cuanta energía de la onda sonora se absorbe en el material.

Existen dos formas de reducir el tiempo de reverberación en un cuarto: El volumen debe reducirse, o la absorción sonora incrementarse. Aunque reducir el volumen no es siempre una opción, es una alternativa viable para salones de clase antiguos con techos altos. En esos espacios, agregando un techo suspendido (*plafond*), a base de paneles absorbentes, puede mejorar la acústica de manera significativa al reducir el volumen e incrementar la absorción simultáneamente. Sin embargo agregar un plafón puede requerir cambiar las luminarias y puede afectar ventanales altos. El ejemplo que se presenta más adelante, muestra una solución alternativa para los salones de clase con techos altos.

Incrementar la absorción de un salón se consigue agregando materiales 'suaves', tal como paneles de fibra de vidrio cubierta con tela, alfombra o plafones

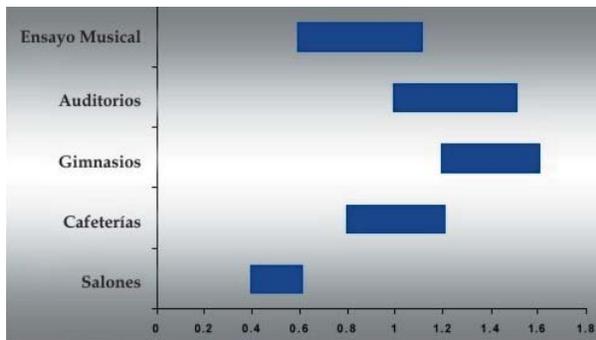


Fig. 3. Tiempos de reverberación en segundos adecuados para diferentes recintos típicos de instalaciones educativas.

acústicos. Existen muchos productos comerciales para este propósito, y - con planeación - se pueden diseñar salones de clase con TR aceptable empleando materiales de construcción comunes. Los materiales absorbentes funcionan mejor si se distribuyen en todo el cuarto, y no se concentran en un sólo muro, piso o techo. En muchos salones únicamente con falsos plafones se puede reducir el tiempo de reverberación a valores aceptables; sin embargo, con ello no se resuelve el problema de ecos de las paredes. Tampoco los plafones acústicos son iguales. Verifique las especificaciones y busque plafones con NRC de 0.75 o mayor. Y para absorber tanto altas como bajas frecuencias, es necesario suspender el plafón por debajo del techo estructural. Si sólo se agrega alfombra al piso del salón no habrá una reducción significativa del tiempo de reverberación, especialmente a bajas frecuencias, pero esta alfombra sí reducirá el ruido originado por los estudiantes al desplazar sus sillas o mesas en el piso.

Para los interesados en calcular el TR de salones existentes o estimar cuanta absorción es necesaria, el Apéndice incluye ejemplos y una tabla de coeficientes de absorción de algunos materiales comunes.

REFLEXIONES INDESEABLES

Como ya se mencionó, los ecos interfieren con la inteligibilidad del habla. Los ecos pueden controlarse empleando absorción y/o difusión. Cuando se coloquen materiales absorbentes para reducir el tiempo de reverberación, considere de que manera contribuirán a reducir también los ecos. Colocando material absorbente en el muro del fondo del salón se evita que la voz del maestro se refleje hacia el frente del salón. Mientras que la absorción es una

forma de minimizar la energía reflejada en el salón, otro procedimiento emplea difusión. Colocando elementos difusores en el muro del fondo del salón, se distribuye el sonido en múltiples direcciones, de tal manera que el nivel de la reflexión en cualquier dirección es reducida. El eco repetitivo es un problema particularmente significativo cuando ocurre entre los muros al frente del salón, en donde el maestro habla. Una manera sencilla de verificar si el eco repetitivo es un problema, consiste en aplaudir una vez en forma impulsiva, colocado cerca del centro del salón, entre paredes paralelas. Si existe el eco repetitivo, se escuchará un sonido resonante después del aplauso, mientras el sonido rebota continuamente entre las dos paredes. Intente colocarse en diferentes direcciones y aplauda nuevamente para determinar cuales son los muros que producen el eco repetitivo. Para eliminar el eco repetitivo entre dos paredes rígidas y paralelas, cubra una o ambas con paneles de fibra de vidrio cubierta con tela, o un material absorbente de sonido similar. También funciona colocando paneles en paredes opuestas en forma alternada, o sea un panel en frente de un espacio igual de muro sin recubrir. Inclinando un muro con respecto al otro por lo menos ocho grados, también eliminará el eco repetitivo entre ellos.

REFLEXIONES ÚTILES

Hasta ahora se han discutido los métodos para reducir las reflexiones en los salones, pero en algunos casos es deseable reforzar algunas reflexiones. Esto es especialmente necesario en salones grandes con tiempos de reverberación cortos. La energía sonora de la voz del maestro puede quedar absorbida por un techo suave, antes de llegar a los alumnos en la parte posterior del salón. La voz del maestro puede difundirse hacia todo el salón con placas reflectoras de la forma adecuada colocadas al frente del salón, o haciendo rígida y reflejante la parte central del techo. Esta superficie reflejará el sonido hacia la parte posterior del salón. Para mantener un tiempo de reverberación corto en salones con superficies reflectoras, puede ser necesario agregar material absorbente en los muros laterales y posterior. La necesidad de reflectores depende de los métodos de enseñanza empleados. Por ejemplo, los reflectores son útiles en clases, pero no se necesitan en salones empleados para trabajo en pequeños grupos o en laboratorios.

RUIDO DE EQUIPO MECÁNICO

El ruido ambiental elevado proveniente de equipo mecánico como sistemas de calefacción, ventilación o aire acondicionado (HVAC), es muy común en algunas escuelas. Este es un problema tanto para maestros como estudiantes. Los maestros deben aumentar su nivel de voz para mantener los +10 dB de relación-señal-a-ruido necesaria para una buena comprensión del habla. Ello resulta en que algunos maestros se ven forzados a tomar algunos días al año por enfermedad debida al esfuerzo vocal, lo que representa un gasto del dinero de los impuestos que podría mejor emplearse en sistemas mecánicos más silenciosos. Al mismo tiempo, los estudiantes deben esforzarse por escuchar con claridad o pueden distraerse y no prestar atención a la clase. El ruido mecánico es fundamentalmente el resultado de una mala planeación y puede ser muy difícil o costoso eliminarlo en salones existentes. Sin embargo, el ruido mecánico excesivo puede eliminarse por muy poco o ningún gasto adicional si el sistema se diseña adecuadamente desde el principio. Los ingenieros mecánicos algunas veces no se dan cuenta o son insensibles a este problema, y hay que recordarles que el control de ruido debe establecerse desde las etapas de diseño y adquisición de materiales.

Hay muchos métodos para determinar la sonoridad del ruido mecánico. Una buena referencia es que el nivel de ruido en los salones no debe exceder NC 25 a 30. El valor de NC o Criterio de Ruido, se determina midiendo los niveles de ruido a ciertas frecuencias, marcándolos en una gráfica y después comparándolos con las curvas establecidas NC (una explicación más detallada se encontrará en el Apéndice). Otra referencia útil es que el nivel de ruido no debe exceder 35 dB (A), este es un valor único del nivel de ruido, fácil de medir y que reduce el ruido de baja frecuencia al simular la sensibilidad del oído. Típicamente el nivel de ruido en dB (A) de un salón es unos 5 a 7 dB mayor que el valor NC (la forma de convertir valores medidos en bandas de frecuencia de octavas a valores en dB (A), también se explicará en el Apéndice).

Localizar una fuente de ruido mecánico en un salón, a veces es tan difícil como encontrar la proverbial aguja en un pajar. El ruido puede originarse en una o varias fuentes, y en los casos complejos es

mejor dejarlo en las manos de un consultor acústico profesional con las habilidades y el equipo necesario para ubicar y reducir los niveles de ruido de todas las fuentes. Con ello en mente, la figura 4 presenta una lista de problemas comunes que pueden buscarse en salones existentes con ruido mecánico excesivo que

Problemas Comunes por Ruidos Mecánicos
<p>Problema: El aire viaja muy rápido en los ductos, generando silbidos, sonidos ásperos o siseantes a su paso por amortiguadores, cambios de dirección y difusores.</p> <p>Identificación: Escuchar el sonido a diferentes velocidades del ventilador, para observar si disminuye a bajas velocidades de aire. Abrir y cerrar amortiguadores, eliminar difusores y escuchar los cambio en el ruido.</p> <p>Soluciones: Emplear bajas velocidades de ventilador, incrementar tamaño de los ductos, reubicar amortiguadores y/o emplear difusores más silenciosos.</p>
<p>Problema: Ruido de la manejadora de aire (ventilador) viaja a lo largo de los ductos hacia el cuarto (inyección o retorno)</p> <p>Identificación: Compare el ruido en el cuarto con el ruido cerca de la manejadora de aire. Busque los sonidos característicos de baja frecuencia y/o rechinos.</p> <p>Soluciones: Reemplace ductos de lámina simple por ductos recubiertos en su interior con material absorbente de sonido (recordar que esto reduce el área interna del ducto e incrementa la velocidad del aire, así que el ducto recubierto podría necesitarse más grande). Modificar la ductería para establecer una trayectoria más larga desde la manejadora hasta el salón. Inserte un silenciador de ducto cerca de la manejadora. Reemplace la manejadora con un modelo más silencioso.</p>
<p>Problema: Unidades 'fan and coil' o cajas de volumen de aire variable (VAV), generan ruido que se transmite al salón a través de los ductos o del plafón.</p> <p>Identificación: Encienda y apague la unidad y escuche los cambios del ruido. De ser posible, remueva algunas piezas del plafón y observe y escuche las unidades ruidosas.</p> <p>Soluciones: Mueva la unidad lejos del salón (quizá a un corredor adyacente en el caso de las cajas VAV), elimínela o reemplácela por un modelo silencioso. Agregue recubrimiento absorbente o un silenciador después de la unidad, en la trayectoria del sonido. Aísle acústicamente la unidad encerrándola en una caja de tabla-roca u otro material denso, y recubra el interior con material absorbente, previniendo que el sonido se fugue de esta caja o a través del plafón, hacia el salón de clases.</p>

Fig. 4. Ruido Mecánico: Problemas y Soluciones.

proviene de un sistema central que distribuye aire a los salones a través de ductos.

Para los sistemas mecánicos ruidosos, el viejo adagio “más vale prevenir que lamentar” es verdaderamente cierto. Para limitar este tipo de ruido, mantenga en mente las siguientes recomendaciones cuando se diseñen salones de clase nuevos.

1. Ubique el equipo mecánico de los techos o unidades de ventilación pequeñas (*fan-coil*), lejos de los sitios sensibles como salones. Colocar las unidades sobre los pasillos y colocar ductos hacia los salones es una buena solución. Evite colocar cualquier unidad mecánica grande dentro, encima, debajo o adyacente a los salones.
2. Seleccione manejadoras de aire que produzcan bajos niveles de ruido.
3. Emplee ductos grandes para reducir la velocidad del aire y coloque rejillas con niveles NC por debajo de 20 a 25.
4. Gaste un poco más en ductos más largos. Esto tiene la ventaja de menor ruido mecánico y menor cruce de ruido (transmisión de sonido entre cuartos a través de los ductos). Ver Figura 5 para un ejemplo de una buena y una mala instalación de ductos.
5. Evite usar ventiladores de ventana, unidades *fan-coil* o unidades compartidas en salones. Estas unidades contienen ventiladores y algunas veces compresores que son notoriamente ruidosos y difíciles de tratar debido a su posición en el salón.

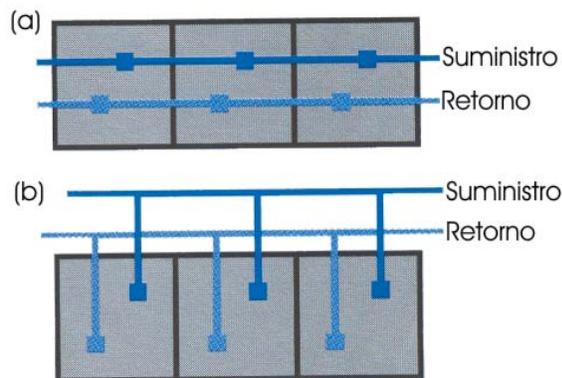


Fig. 5. Arreglos de ductos. a) mal arreglo - el sonido viaja a través del ducto de un cuarto a otro, en cambio b) buen arreglo - el sonido tiene que recorrer una trayectoria mayor en los ductos recubiertos entre cuartos adyacentes.

FUENTES INTERNAS DE RUIDO

El ruido de los cuartos adyacentes perturba el proceso de aprendizaje, especialmente en los momentos de lectura silenciosa o presentación de exámenes. Hace unos cincuenta años, cuando los muros de las escuelas, típicamente se hacían de ladrillos pesados o bloques de concreto, esto no era un gran problema. En las últimas décadas, a causa de la necesidad de reducir los costos de construcción, se ha optado por emplear muros delgados y ligeros, con lo que se obtiene poca reducción de ruido. Aún peor, en los años 60 - 70, se construyeron muchos salones en ‘plan abierto’, sin divisiones entre salones. En muchas escuelas, dichos espacios han sido divididos, pero la reducción de ruido puede aún ser insuficiente.

Cuando no se está seguro si es adecuado el muro divisorio entre dos salones, se puede hacer esta sencilla prueba. Encienda un televisor en uno de los salones, con el volumen a un nivel que sea agradable en el fondo del salón. Después vaya al salón vecino y escuche el sonido que viene del primero. Si el sonido es débil o inaudible, la barrera es suficiente. Si el sonido es fuerte, y específicamente, si se pueden comprender las palabras que se dicen, la división entre estos salones debe mejorarse.

La figura 6 muestra ejemplos de buen y mal montaje en la construcción de muros de tabla-roca. En general, al incrementar la masa de los muros, la reducción de ruido también se incrementa. Sin

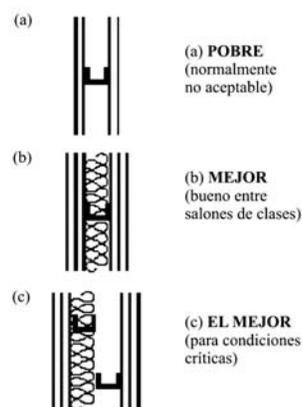


Fig. 6. Construcción de muros de tabla-roca en orden de menor a mayor aislamiento sonora (a) una capa de tabla-roca a cada lado, (b) Dos capas de tabla-roca, aislamiento de fibra de vidrio, y dos capas más de tabla-roca, (c) Dos capas de tabla-roca, dos juegos de soportes, aislamiento de fibra de vidrio, y dos capas de tabla-roca.

embargo, un muro grueso y sólido normalmente es costoso, pesado y usa mucho espacio de piso útil. Por lo que, un compromiso adecuado es construir muros con una capa de material pesado, un espacio de aire, y una segunda capa de material pesado. Un ejemplo típico sería un muro hueco que consta de dos capas de tabla-roca de 5/8 de cada lado. Al construir tales muros, asegúrese de traslapar las capas de tabla-roca, de tal manera que las uniones de las capas no coincidan y generen una rendija por la que puede pasar el sonido. Agregando aislamiento de fibra de vidrio o lana mineral en la cavidad central, también se contribuye a la atenuación del ruido.

En términos de reducción de ruido, un muro es como una cadena, es sólo tan fuerte como el más débil de sus eslabones.

- (a) POBRE (normalmente no aceptable)
- (b) MEJOR (bueno entre salones de clases)
- (c) EL MEJOR (para condiciones críticas)

Ventanas, puertas, rendijas, fracturas, rejillas, ventilas, etc. pueden cancelar totalmente la efectividad de un muro. Espacios entre muros y pisos o losas deben sellarse con un sello acústico. Puertas delgadas o huecas con grandes espacios en la parte baja, producen fugas sonoras en muros de buena calidad. Puertas sólidas con holguras pequeñas y marcos sellados son mejores. Su ubicación también cuenta (la figura 7 muestra arreglos malos y buenos).

Por ejemplo, es conveniente no juntar puertas de cuartos adyacentes, ya que se produce una pequeña

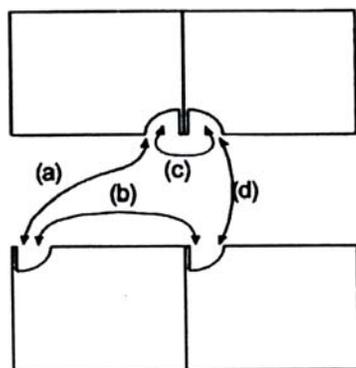


Fig. 7 Arreglos de puertas. Trayectorias (a) y (b) representan arreglos adecuados, ya que el sonido tiene una trayectoria mayor para ir de un salón a otro, las trayectorias (c) y (d) representan malos arreglos, ya que la distancia es muy corta.

trayectoria a través de la cual el sonido puede viajar de un cuarto a otro, a través de las puertas. También, las puertas de los salones no deben ubicarse una enfrente de la otra en un pasillo. Alternando las puertas a lo largo de los pasillos se obtienen trayectorias más largas y se reduce el paso del ruido de un cuarto a otro.

Para que los muros divisorios sean efectivos, deben extenderse de piso a techo estructural. De otra manera, el sonido de un salón puede pasar fácilmente a través del falso plafón, sobre el muro divisorio y el falso plafón del otro cuarto (ver figura 8). Esto frecuentemente se pasa por alto cuando se agregan muros en renovaciones, como cuando los salones de plan abierto son divididos.

El diseño preventivo puede eliminar frecuentemente la necesidad de muros gruesos y costosos. En la etapa de diseño, considérese qué cuartos serán ruidosos (cuartos mecánicos, gimnasios, cafeterías, salones de música, aulas de diseño industrial, etc.) y utilice áreas muertas (pasillos, bodegas, y sanitarios) para separar estos espacios de las áreas críticas de audición (salones de clase, bibliotecas, áreas de educación especial, y oficinas).

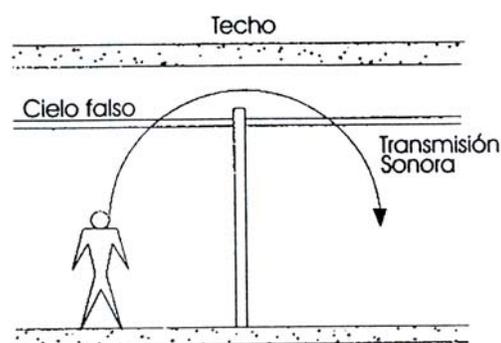


Fig. 8. El sonido viaja sobre el muro divisorio, a través de los plafones. Los muros divisorios deben continuar hasta la losa estructural para formar barreras sonoras efectivas.

FUENTES EXTERIORES DE RUIDO

Es muy importante la reducción de ruido con los muros al exterior, ya que muchas actividades ruidosas o potencialmente molestas pueden realizarse en el exterior de las escuelas. Muchas escuelas tienen

muros exteriores de tabique o block de cemento, que son muy buenas barreras sonoras, pero con ventanas inadecuadas que permiten una considerable transmisión sonora. Para obtener reducción de ruido en ventanas, deben estar bien selladas. Ventanas con doble vidrio proporcionan más reducción de ruido que las de un sólo vidrio (además de un mejor aislamiento térmico y costos menores de energía). Otros culpables de las fugas de sonido son las unidades de aire acondicionado de ventana, montadas hacia el exterior. Estas unidades no sólo transmiten ruido desde el exterior, sino que generan su propio ruido: deben evitarse siempre que sea posible.

Desde la planeación, considere las fuentes externas de ruido que pueden afectar el aprendizaje e intente ubicar los salones lejos de tales áreas. Fuentes de ruido comunes incluyen: pasos de aviones, calles activas, autobuses escolares funcionando estacionados, áreas de juegos, campos deportivos, equipo mecánico, depósitos de basura al ser cambiados o vaciados, podadoras mecánicas y maquinaria ruidosa en edificios cercanos.

REFUERZO SONORO

Los sistemas de refuerzo sonoro, conocidos como “megáfonos” o “megáfonos FM”, frecuentemente se sugieren como soluciones más o menos económicas para salones con señal a ruido pobre.

Un sistema típico consiste de un micrófono inalámbrico para el maestro, y uno o más altavoces ubicados al frente del salón, en el plafond, o a lo largo de los muros para distribuir el sonido entre los estudiantes. Al amplificar la voz del maestro, se

incrementa la relación señal-a-ruido, lo que mejora la comprensión y reduce la tensión vocal. Esto puede ser útil en salones con una cantidad moderada de ruido mecánico que pudiera resultar difícil o costoso de atenuar. Sin embargo, estos sistemas también tienen limitaciones. Por ejemplo en un cuarto con mucha reverberación, se provocará una confusión sonora evitando la comprensión. Se empleen o no sistemas de refuerzo sonoro en los salones, es fundamental tratarlos acústicamente para controlar el tiempo de reverberación.

Otra limitante de los sistemas de refuerzo sonoro, es que sólo amplifican la voz del maestro. No hay amplificación para los estudiantes cuando hacen preguntas o hablan entre ellos al trabajar en grupos. Algunos sistemas proporcionan un micrófono de mano que puede pasarse entre los estudiantes. Sin embargo, esta solución es problemática, ya que interfiere con las discusiones espontáneas. Además, si el micrófono no está cerca de la persona que habla, captará tanto ruido ambiente como voz, por lo que la relación S/R no mejora. Un problema más es que el sonido amplificado, será ruido para otros salones. A pesar de estas complicaciones, los sistemas de refuerzo sonoro, pueden constituir mejoras económicas para salones con altos niveles de ruido, y frecuentemente son mejor que nada.



En la segunda parte de este artículo, la cual se publicará en el siguiente número de *Ingenierías*, se presentarán algunos ejemplos y casos de soluciones acústicas para salones de clases, así como los apéndices.