

Las condiciones acústicas en las aulas de música

Paloma Pérez Castillo

Las aulas de música de los Institutos de Educación Secundaria de La Rioja carecen, por lo general, de unas condiciones acústicas idóneas. Mediante un análisis de variables perceptivas y de parámetros físicos; y la correlación entre ellos, se han podido identificar aquellos valores acústicos que garantizan el confort acústico deseado. Tomados estos valores como criterio para la rehabilitación acústica de un aula de música previamente estudiada, la mejora alcanzada resulta altamente satisfactoria. Con todo ello se pretende contribuir a una mayor efectividad de la comunicación oral y musical para el buen desarrollo de la didáctica de la música.

Palabras clave: *Condiciones acústicas, comunicación, sensibilización, didáctica de la música.*

Generally, the music classrooms of the Secondary Schools from La Rioja lack appropriate acoustic characteristics. With the help of an analysis of perceptive variables and physical parameters, and the correlation between them, those acoustic values which guarantee the acoustic confort have been able identify. These values taken like a criteria to the acoustic restoration of a music classroom studied before, the reached improvement results satisfactory. With all of them it pretends to contribute to a better effectiveness of the oral and musical communication for a good development of the music didactics.

Key words: *acoustic conditions, communication, sensitiveness, music didactics.*

INTRODUCCIÓN

Las condiciones acústicas de las aulas de música de la mayoría de los Institutos de Educación Secundaria no son las adecuadas.

La población escolar sí aprecia ciertas deficiencias sonoras, principalmente el profesorado, pero no está suficientemente sensibilizada acerca de la importancia de unas buenas condiciones acústicas en las aulas para garantizar un correcto proceso de enseñanza-aprendizaje.

Existe un elevado absentismo laboral en los docentes por trastornos de la fonación. Según los datos facilitados por las administraciones de La Rioja el porcentaje asciende a un 6,82% y en el País Vasco de un 6,33% del absentismo laboral total. Este absentismo derivado de problemas de la voz es, en muchos casos, consecuencia de deficiencias en las condiciones acústicas de las aulas.

Las normativas que regulan las condiciones acústicas de los recintos plantean unas exigencias muy generales, de carácter mínimo que resultan insuficientes. Estas normas no profundizan en aspectos técnicos necesarios y en muchos de los casos se convierten en simples recomendaciones. Ni siquiera en aquellos centros escolares que se han construido hace menos de diez años se ha tenido en cuenta la importancia de unos requisitos acústicos mínimos que hagan posible una buena comunicación dentro de las aulas.

METODOLOGÍA

En el desarrollo metodológico del estudio el primer paso es conocer las aulas de música de los Institutos de Educación Secundaria de La Rioja para escoger una muestra representativa. Se estudia su ubicación en el centro, sus dimensiones, los materiales de construcción, objetos de que consta, etc... En este conocimiento de las aulas también se toma nota de las primeras impresiones sobre las características acústicas de las mismas. En ellas se aprecian aspectos positivos pero también deficiencias.

Así se plantea como objetivo principal de esta investigación precisar cuáles son los parámetros acústicos que garantizan la adecuación de las aulas de música a las funciones que les corresponden, analizando las causas que determinan las condiciones acústicas idóneas y elaborando propuestas que conduzcan a su mejora.

Como objetivo específico fundamental se plantea verificar la validez de los resultados realizando un trabajo de rehabilitación acústica en un aula partiendo, en cada una de ellas, de los resultados obtenidos en las mediciones tanto de tipo vivencial como físicas.

PROCEDIMIENTO

Para la consecución de los objetivos se procede a la determinación de las respuestas perceptivas que inciden en la adecuada efectividad acústica de las aulas. Estas respuestas son importantes porque expresan las percepciones y las vivencias

que los diferentes sujetos aprecian al encontrarse dentro de distintos recintos. Para ello se llevó a efecto un estudio detallado de la inteligibilidad de la palabra, así como de una encuesta relativa a la actividad musical-grupal.

Paralelamente se midieron algunos parámetros acústicos con instrumentación precisa para obtener datos que determinen las características acústicas de las diferentes aulas.

Se presenta una conexión de los aciertos de palabras con los parámetros físicos. Para ello se ha de recurrir al análisis estadístico mediante el cálculo de coeficientes de correlación y líneas de regresión.

VARIABLES Y SU MEDICIÓN

Para la obtención de datos de las respuestas perceptivas se realizan las pruebas en cuatro aulas de música de diferentes Institutos Públicos de Educación Secundaria de La Rioja. Se extrae información de ocho grupos, dos por aula de música, lo que supone un total de 177 alumnos.

El material utilizado para el test consiste en cien palabras bisílabas equilibradas de acuerdo con la distribución existente en el idioma español, pero formando palabras sin sentido. El test ha sido grabado previamente en compact-disc. La emisión de cada grupo de palabras se ha realizado a niveles crecientes de intensidad y con el mismo radiocassette, que se colocó en la posición más frecuente ocupado por el profesor. Los alumnos contestaron en una plantilla.

Los parámetros físicos medibles en este estudio son:

- El nivel sonoro de los bloques de palabras: es el nivel de presión sonora expresado en dB(A).
- El nivel de ruido: es el nivel de presión sonora del ruido de fondo expresado en dB(A).
- El tiempo de reverberación, definido como el tiempo que tarda en decaer una señal estacionaria sesenta decibelios una vez cesada la fuente.
- El RASTI (Rapid Speech Index), que es un índice rápido de transmisión de la palabra que se basa en un sistema de modulación limitado a dos bandas de octava, a 500 y 2000 hercios.
- La Claridad acústica, definida como la relación de la energía sonora que nos llega entre los primeros 50 milisegundos y la total.
- El tiempo de decaimiento primario (E.D.T.), que es el tiempo que tarda un pulso en decaer diez decibelios.
- El tiempo de elevación, definido como el tiempo que tarda en llegar el cincuenta por ciento de la energía sonora generada por un pulso.

Las mediciones físico-acústicas se llevan a cabo por medio de un analizador de Fourier (tipo 2034 de la Brüel & Kjaer y el 2800 de la Larson Davis con un micró-

fono).

Conectar las respuestas perceptivas con los parámetros físicos es de gran interés, ya que primero se aprecia la vivencia sonora y luego se mide físicamente siendo posible, si fuera necesario, una manipulación de los parámetros físicos.

MUESTRA

Para una interpretación idónea de los resultados se tienen en cuenta las características de los centros y de las aulas escogidas para la realización del estudio.

El Instituto Duques de Nájera tiene una antigüedad de diez años y se encuentra ubicado en una vía de salida de la ciudad, está sometido a niveles de ruido exterior relativamente altos por su cercanía a la vía del tren y dado que la fachada principal recae a una calle en la que existe un tráfico medio/alto. El aula de música da a esta calle principal y se encuentra en el primer piso del edificio. Es pequeña: 50,31 metros cuadrados de planta y 173,5 metros cúbicos. Las paredes tienen colocadas hasta media altura baldosas pequeñas y el resto es yeso al igual que el techo. El suelo es de baldosas grandes.

El Instituto Escultor Daniel tiene una antigüedad de dieciocho años y se encuentra ubicado en uno de los barrios periféricos de la ciudad, en la zona oeste, junto a un ambulatorio. El número de edificaciones está aumentando y el tráfico rodado también. Todo el edificio recae en calles con elevado tráfico. El aula de música da a una rotonda y se encuentra en la planta baja, hecho por el que las condiciones acústicas son extraordinariamente negativas. Tiene 55,09 metros cuadrados de planta y 161,4 metros cúbicos. El suelo del aula es de baldosas grandes y las paredes y el techo de lucido de yeso.

El Instituto Hermanos D'Elhuyar tiene una antigüedad de veintinueve años y está ubicado en el centro de la ciudad. Se encuentra en una zona tranquila. El aula de música que da a un patio interior, se encuentra en el segundo piso del edificio; tiene 58,4 metros cuadrados de planta, 189,8 metros cúbicos y está insonorizada. El suelo del aula es de baldosas grandes. Las paredes tienen baldosas pequeñas hasta la mitad y el resto lucido de yeso, al igual que el techo.

El Instituto Batalla de Clavijo tiene una antigüedad de treinta y dos años y se encuentra ubicado en uno de los barrios periféricos de la ciudad. Es una zona tranquila. El aula de música da a un patio interior, se encuentra en el primer piso; y tiene doble ventana. Sus dimensiones son de 75,86 metros cuadrados de planta y de 238,2 metros cúbicos. Es una aula espaciosa y con mucha iluminación. El suelo del aula es de baldosas grandes. Las paredes tienen baldosas pequeñas hasta un metro de altura y el resto lucido de yeso, al igual que el techo.

RESULTADOS

Una vez detalladas las características de las aulas se procede al análisis de los resultados obtenidos mediante las variables perceptivas. En el test de inteligibilidad

de la palabra los aciertos totales de los alumnos muestran una tendencia intermedia. Los alumnos del I.E.S. Duques de Nájera son los que obtienen los resultados más bajos en los bloques de mayor nivel de presión sonora. Los alumnos del I.E.S. Escultor Daniel obtienen los más bajos resultados en los cuatro primeros bloques pero luego estos datos ocupan el segundo lugar. Los alumnos del I.E.S. Hermanos D'Elhuyar alcanzan los resultados más elevados de aciertos de palabras en todos los bloques. En el I.E.S. Batalla de Clavijo se obtienen los segundos más altos resultados en los cuatro primeros bloques pero después se pasa a un tercer lugar.

Una conclusión clara obtenida a partir de estos datos es que los valores de inteligibilidad aumentan notablemente con la intensidad sonora. Aunque no solo la superación del ruido entra en juego sino también una mayor capacidad de discriminación de las señales acústicas. Estos resultados van en la misma dirección que en pruebas realizadas por otros investigadores.

Por tanto se puede deducir que es necesario elevar la voz para que la inteligibilidad aumente. Esto presenta una situación incómoda para el alumno y para el profesor ya que a 52 dB apenas se entiende un 20% y es necesario alcanzar más de 70 dB para que la inteligibilidad de la palabra en todos los centros supere el 60%. Todo parece indicar que esto se debe a la superación del nivel de ruido (52 decibelios aproximadamente). Una vez superado ese nivel de ruido, se produce un salto considerable en el número de aciertos en todos los centros.

Respecto a los resultados obtenidos a través de las variables perceptivas (aciertos mínimos, obtenidos en el primer bloque de palabras a 42 dB(A); aciertos máximos, obtenidos en el noveno bloque de palabras a 76 dB(A); y el umbral de inteligibilidad, lugar donde se alcanza el 50% de la inteligibilidad total,) se percibe una tendencia en el orden de las aulas de música. El I.E.S. Duques de Nájera (centro moderno de ruido externo medio/alto) obtiene los resultados más bajos y alcanza en último lugar el umbral de inteligibilidad. El aula del I.E.S. Escultor Daniel (centro de mediana antigüedad con ruido externo medio/alto) alcanza el umbral de inteligibilidad en tercer lugar respecto de las otras aulas, obtiene bajos resultados en los primeros bloques y mejora la inteligibilidad a medida que aumenta el nivel sonoro. El I.E.S. Hermanos D'Elhuyar (centro antiguo en zona tranquila) alcanza la máxima inteligibilidad en todos los bloques de palabras y también el umbral de inteligibilidad. El I.E.S. Batalla de Clavijo (centro antiguo de ruido externo bajo) alcanza en segundo lugar relativo el umbral de inteligibilidad y tiene, en proporción, mayores aciertos en los primeros bloques de palabras que en los de mayor intensidad sonora.

Respecto a los parámetros físico-acústicos se pueden observar los resultados en la siguiente tabla.

INSTITUTOS	DUQUES DE NÁJERA	ESCULTOR DANIEL	HERMANOS D'ELHUYAR	BATALLA DE CLAVIJO
PARÁMETROS				
Ruido de fondo ponderación A(dB)	46.8	51,6	32,3	27

Tiempo de reverberación (sg) con medidas físicas a 500 hercios con niños	0,74	0,71	0,74	0,92
Tiempo de reverberación (sg) con medidas físicas a 2000 hercios con niños	0,59	0,56	0,61	0,78
RASTI con niños	0,69	0,71	0,69	0,63
Claridad acústica	0,3726	0,4054	0,4218	0,3312
Tiempo de decaimiento primario (msg)	245,21	226,2	209,55	289,1
Tiempo de elevación (msg)	69,4	60	58,3	80

REHABILITACIÓN ACÚSTICA DE UN AULA

Una vez analizados todos los datos obtenidos en la investigación es necesario decidir qué aula de música de los cuatro centros estudiados va a ser la que reciba la mejora acústica. Con lo que se ha dicho hasta ahora es de esperar que la mejora se realice en el aula de música del I.E.S. Batalla de Clavijo. Esta decisión se comunica al centro y éste da permiso para llevarla a cabo. Se piden tres presupuestos a dos empresas de Logroño especializadas en el acondicionamiento acústico de recintos y en sistemas de techos desmontables. En ambos presupuestos se plantea que la solución para mejorar el aula es la colocación de un falso techo. El procedimiento seguido es la proyección en las dos vigas colgadas y en las dos medias, de cola de impacto así como en el aglomerado de espumas por una de sus caras, forrándose las mismas en su totalidad. Posteriormente se proyecta la cola sobre el aglomerado y sobre la placa Gyptone. A continuación se procede a colocar el falso techo desmontable en los tres huecos que forman las vigas descolgadas, rebajando su altura desde el forjado a techo terminado en 17 centímetros. Esta mejora estuvo soportado con cálculos previos de coeficientes de absorción de diferentes materiales y las previsiones fueron razonablemente buenas.

Una vez terminados los trabajos se procede de nuevo a realizar las mediciones tanto psicoacústicas como acústicas en el aula. La primera impresión, una vez terminada la rehabilitación acústica del aula de música, es que se ha producido una gran mejoría en el rendimiento acústico del aula. Esta apreciación se ve afianzada al comparar los aciertos de palabras del test de inteligibilidad antes y después de la mejora.

El número de aciertos en cada bloque de palabras es mayor después de la mejora y el umbral de inteligibilidad se alcanza a 54 decibelios. Dato importante ya que antes de la mejora se alcanzaba a 66,5 decibelios.

Comparando las palabras acertadas en otros centros con el aula rehabilitada acústicamente se observa que en ésta última los aciertos son mayores en todos los bloques excepto en el bloque noveno que es superado por el I.E.S. Hermanos D'Elhuyar.

Observando los resultados acústicos en el aula antes y después de la mejora se aprecia que el parámetro ruido de fondo ha aumentado después de la mejora en siete decibelios en la ponderación "A", aún así no existe mayor trascendencia porque sigue siendo el segundo instituto con menor ruido de fondo después del I.E.S. Hermanos D'Elhuyar y no ha superado el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (35 dBA)

Los tiempos de reverberación presentan una disminución muy considerable, especialmente en las bajas frecuencias. Esta disminución viene ratificada con un aumento del índice RASTI. Esto va a contribuir a una buena inteligibilidad de la palabra. En el parámetro claridad acústica el incremento es considerable. El tiempo de decaimiento primario disminuye y esto va a propiciar una mayor rapidez en la caída de un pulso; al igual que la disminución en el tiempo de elevación indica que la respuesta del aula ha sido más rápida; y en consecuencia ambos favorecen la inteligibilidad de la palabra.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el aula rehabilitada acústicamente y los que se conocen de otros trabajos llevados a cabo en esta materia se pretende obtener los valores mínimos que es necesario que alcance cada variable perceptiva y cada parámetro para garantizar un confort acústico en las aulas de música. Estos valores mínimos se muestran en la siguiente tabla.

PARÁMETROS	VALORES MÍNIMOS
Aciertos mínimos (a 42 decibelios "A")	25% de aciertos de palabras
Aciertos máximos (a 76 decibelios "A")	85% de aciertos de palabras
Umbral de inteligibilidad	55 decibelios "A"
RASTI sin niños	0,65 – 0,75
RASTI con niños	0,72 – 0,85
Ruido de fondo	35 decibelios "A"
Tiempo de reverberación a 500 Hz.	0,49-0,6 segundos
Tiempo de reverberación a 2000 Hz.	0,45-0,5 segundos
Claridad	0,45
Tiempo de decaimiento primario	192-209 milisegundos
Tiempo de elevación	52-58 milisegundos

Además de conocer los valores mínimos se va a describir a continuación un procedimiento para alcanzar los valores de cada parámetro que garanticen unas condiciones de excelencia acústica en las aulas. El procedimiento consiste en realizar correlaciones entre los distintos parámetros considerando el valor 0,75 del RASTI sin niños, un dato asumido como valor concreto que garantiza el confort acústico deseado; ya que la normativa finlandesa, otros estudios anteriores y los resultados de la propia investigación así lo proponen.

SÍSTESIS DE RESULTADOS

A continuación se exponen las características acústicas de las cuatro aulas de música estudiadas y las posibilidades de mejora que se proponen.

El aula de música del I.E.S. Duques de Nájera no tiene buenas condiciones acústicas, el ruido exterior es elevado, por esto la inteligibilidad dentro del aula no es la recomendable. Las dimensiones del aula son reducidas, no es un aula apropiada para la enseñanza de la música y por tanto la mejor solución es ubicar el aula de música en otro lugar del centro con mayores dimensiones.

El aula de música del I.E.S. Escultor Daniel tiene buenas condiciones acústicas aunque parámetros como claridad acústica, tiempo de elevación o tiempo de decaimiento primario podrían mejorarse. De los cuatro Institutos del estudio es el que mayor índice de ruido de fondo presenta. La primera y fundamental medida que hay que tomar para mejorar el aula es el aislamiento exterior. Hay que evitar que el ruido exterior perjudique la inteligibilidad de la palabra y del lenguaje musical dentro del aula.

El aula de música del I.E.S. Hermanos D'Elhuyar también tiene buenas condiciones acústicas. Estas condiciones se pueden mejorar reduciendo los tiempo de reverberación ya que es el parámetro que peor índice alcanza y en consecuencia es el que perjudica la inteligibilidad de la palabra y de la música dentro del aula. Al ser demasiado elevado el tiempo de reverberación es difícil realizar correctamente actividades en grupo ya que el resultado final se ve deteriorado por el exceso de sonido que queda dentro del aula y no es absorbido por ningún material. Una medida importante a llevar a cabo en el aula de música del I.E.S. Hermanos D'Elhuyar es colocar materiales absorbentes que consigan reducir los altos tiempos de reverberación principalmente en las bajas frecuencias.

El aula de música del I.E.S. Batalla de Clavijo cuenta con las mayores dimensiones respecto a las otras aulas de música. Como ya se ha citado anteriormente, después de la rehabilitación acústica todos los parámetros han mejorado considerablemente, consiguiendo así un aula con buenas condiciones acústicas para desempeñar correctamente la enseñanza musical.

BALANCE DESDE LA PRESPECTIVA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación queda abierta a posteriores estudios de este tipo en otras aulas, aumentando la muestra para comprobar si los resultados obtenidos son aplica-

bles o necesitan de matizaciones y realizando nuevas rehabilitaciones acústicas de aulas capaces de solucionar las deficiencias existentes para alcanzar el confort acústico deseado. Los datos obtenidos crean un referente para posibles mediciones acústicas que se vayan a realizar a posteriori. Además hay que destacar que existe un buen acuerdo entre los datos obtenidos en este estudio y los de otros trabajos sobre acondicionamiento acústico.

Como medida se propone a la administración educativa el cambio de algunos aspectos acústicos en las normativas existentes dentro del campo de la acústica de recintos escolares y una mayor preocupación por el emplazamiento de los futuros centros docentes, construyéndolos según las condiciones del ambiente acústico del entorno.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. (2000b). Psicodidáctica y acústica musical. *Revista de Psicodidáctica*, 9, 151-159.
- Delgado, C. (1995). Inteligibilidad de la palabra en la medida de la audición. *Actas del Simposio sobre Acústica Fisiológica y Audiometría* (pp. 27-36). Santiago de Compostela.
- Delgado, C., Perera, P., y Santiago, J. S. (1994). Inteligibilidad de la palabra en aulas escolares. *Revista de Acústica*, 25, 5-10.
- Díaz, C., y Velázquez, C. (1992). Estudio de las relaciones entre la inteligibilidad de la palabra y algunos parámetros acústicos, en salas rectangulares. *Jornadas Nacionales de Acústica, Tecnicústica 92* (pp. 113-115). Pamplona.
- Houtgast, T. (1981). The effect of ambient noise in speech intelligibility in classroom. *Applied Acoustics*, 14, 15-25.
- Houtgast, T., y Steeneken, H. (1973). The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility. *Revista de Acústica*, 28, 66-73.
- Jordan, V. L. (1977). Acoustical criteria and acoustical qualities of concert hall. *Music, Room and Acoustics*, 17, 114-123.
- Kinsler, L., y Frey, A. (1988). *Fundamentos de acústica*. México: Limusa.
- Pekkarinen, E., y Viljanen, V. (1991). Acoustic conditions for speech communication in classrooms. *Scand Audio*, 20, 257-263.
- Recuero, M. (1999). *Acústica arquitectónica aplicada*. Madrid: Paraninfo.
- Solbes, J., y García, A. (1996). Estudio acústico de dos centros de E.S.O. *Revista de Acústica*, 27, 32-36.

