

# **CARACTERIZACION SONORA DE AULAS:**

Un estudio de los principales parámetros acústicos en aulas argentinas

Parte 1: Diagnóstico

Por:

**L. Ercoli y A. P. Azzurro**

Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos, Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad  
Tecnológica Nacional.

11 de abril 461, (8000) Bahía Blanca, ARGENTINA. E-mail: lercoli@criba.edu.ar

y

**A.M. Méndez y J. Stornini**

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Comisión de Investigaciones Científicas, Pcia. Bs.  
Aires.

Parque Tecnológico Gonnet, La Plata, ARGENTINA. E-mail: acustica@isis.unlp.edu.ar

Octubre 1998

## RESUMEN:

En el presente trabajo se muestran resultados de mediciones de parámetros acústicos efectuadas en aulas de un colegio secundario y de una universidad, ambas de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Se demuestra que las características constructivas de los edificios no tienen en cuenta un diseño apropiado para lograr condiciones acústicas favorables que coadyuven al mejoramiento de este importante aspecto del proceso enseñanza-aprendizaje, encontrándose los parámetros analizados muy por encima de los criterios aconsejados por diferentes investigadores en la literatura abierta internacional. Las conclusiones permiten afirmar que es importante adoptar urgentemente acciones correctivas y normativas que permitan una rápida mejora de la calidad acústica actual y provean una legislación acorde para futuras construcciones.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Observaciones realizadas por los actores de los distintos niveles de la educación permiten aseverar que las aulas tradicionales son ruidosas y que el ruido interfiere con el desenvolvimiento académico de los alumnos y docentes en general. La determinación del grado de interferencia está siendo investigado en países de alto desarrollo.

En efecto, los altos niveles sonoros existentes en los distintos sectores de los establecimientos educacionales en general y en las aulas en particular, las características acústicas arquitectónicas y constructivas inapropiadas y los bajos rendimientos académicos observados en los últimos años llevaron a la institución de mayor prestigio relacionada con la acústica en el mundo, la Acoustical Society of America (ASA, EE.UU.), a crear en el transcurso del año 1996 el Subcomité de Acústica de Aulas (Classroom Acoustics) dentro del Comité Técnico de Acústica Arquitectónica, el cual tuvo su primera expresión en la Sesión Especial de Acústica en Aulas realizada en el Congreso N° 133 de la ASA, Ref. 1, y convocó a un taller en la ciudad de Los Angeles en diciembre de 1997.

En los últimos tiempos han sido muchas las contribuciones a esta disciplina, tanto desde la audiología como desde la arquitectura e ingeniería. En la Ref. 2, Abbot y otros presentaron una interesante revisión de literatura y métodos para estudios de comunicación de la conversación en aulas de escuelas primarias. Hodgson, Rempel y Park [3], desarrollaron e implementaron un procedimiento experimental para la determinación de niveles típicos de conversación y ruido de fondo en aulas universitarias durante las clases. Jiang [4], encontró niveles sonoros de 130 dB, comparables a los generados por un avión, en gimnasios de escuelas debido al uso de silbatos y comprobó que la pérdida de audición inducida por ruido de un docente de educación física se debió a esta causa. Nelson [5], investigó el impacto de la pérdida de audición en niños que asisten a escuelas públicas regulares. Soli y Sullivan [6], analizaron los factores que afectan la comunicación de la conversación de los niños en las aulas, demostrando que existen grandes diferencias individuales en las características de los receptores, las que afectan significativamente la acústica requerida en el aula para lograr una efectiva comunicación. Lubman [7], demostró la necesidad que tienen los EE.UU. de contar con normativas para asegurar una acústica satisfactoria en las aulas de sus establecimientos educacionales, actualizando las actuales [8] y tomando en cuenta las guías suecas [9-10] para su revisión. Picard y Bradley aportan en la Ref. 11 la revisión bibliográfica más reciente y completa sobre la totalidad de los aspectos involucrados en interferencias de la conversación y soluciones remedias para aulas.

En una comunicación reciente a los autores, el Presidente del Subcomité de Acústica de la ASA, Michael T. Nixon, efectúa una reseña de los esfuerzos que se llevan a cabo en el mundo en estos momentos y que han sido detectados por ellos: D. Heerwagen en la Escuela de Arquitectura de Seattle, Washington, y C. Johnson en la Universidad de Auburn, ambas de EE.UU., exploran la inteligibilidad de la palabra en aulas. En el Reino Unido, D. McKenzie en Escocia y D. Canning

en la Universidad de Londres conducen investigaciones sobre acústica en aulas; también la Universidad de Manchester. En Canadá, J. Bradley del Consejo Nacional de Investigaciones y M. Hodgson [3 y 12] en la Universidad de British Columbia están trabajando en el tema. Así mismo, han tomado nota de actividades de este tipo en España y Portugal.

La revisión bibliográfica anterior permite aseverar que las malas condiciones acústicas reducen la inteligibilidad de la palabra en las aulas, afectando la atención y el rendimiento académico de los alumnos. También, el ruido torna poco confortable el ambiente laboral de los docentes, convirtiéndose en un factor negativo para su trabajo.

Las aulas poseen elementos y características típicas de dos naturalezas: a) fijas, tales como paredes, ventanas, cielos rasos, puertas y pisos, y b) móviles, como muebles y elementos didácticos, los cuales pueden ser cambiados de lugar para una gran diversidad de actividades de mayor o menor duración. También los modelos de enseñanza y aprendizaje son dinámicos. Distintos docentes pueden utilizar un mismo espacio de diferente manera en un mismo día.

Entre las posibles causas de un ambiente acústico inapropiado en las instalaciones educativas, pueden citarse:

- Mal diseño de las aulas (cuadradas o rectangulares con grandes superficies de paredes paralelas, paredes duras, etc.), lo que conduce a tiempos de reverberación altos.
- Ruido invasivo proveniente de aulas adyacentes y otros ambientes (corredores, patios, etc.); de equipos de aire acondicionado, gimnasios, etc.
- Ruido interno generado por los propios alumnos.
- Ruido invasivo proveniente del exterior: tránsito vehicular, industrias, comercios, etc.

Entre los principales problemas originados por el ruido, deben evaluarse:

- Interferencia en la conversación: cuesta oír la voz del docente. La situación empeora para alumnos con hipoacusias.
- Fatiga en los docentes, que deben alzar su voz por el encima del ruido de fondo para ser oídos, causándoles depresión, angustia, jaquecas, etc.
- Contribuye en gran medida al bajo rendimiento académico de los alumnos.

Por lo tanto, deben ser investigadas posibles soluciones, tales como:

- Creación de legislación (normas) sobre acústica para aulas y establecimientos educacionales específicamente.
- Soluciones de ingeniería y arquitectura: mejoras en los sistemas de aire acondicionado, aislación acústica, ventanas con vidrios dobles, materiales absorbentes en paredes y superficies (son de bajo costo y de implementación sencilla).
- Concientización del problema por parte de docentes, alumnos y autoridades para tomas de decisiones rápidas.
- Amplificar la voz de los docentes mediante entrenamiento o micrófonos (si no es contraproducente para aulas vecinas) y disminuir el ruido de fondo.
- Promover la disciplina mediante la toma de conciencia de los alumnos, logrando un mayor silencio.
- Formación de equipos multidisciplinarios (docentes, ingenieros, arquitectos y fonoaudiólogos) para morigerar esta causa de limitación de logros académicos.
- Destinar fondos para la investigación y solución de este problema. La sociedad pierde más por las consecuencias que el mal rendimiento académico produce que por el ahorro al no tomar decisiones (deserción en la educación = desempleo, delincuencia, adicciones, etc.)

Dentro del marco conceptual descripto, los autores se han propuesto los siguientes objetivos:

- Determinar los niveles sonoros presentes en aulas, sus causas y efectos contraproducentes para el proceso enseñanza – aprendizaje, investigando los principales parámetros acústicos.
- Investigar y desarrollar acciones tendientes a dar soluciones a los problemas que se detecten.
- Optimizar el ambiente acústico en las aulas para favorecer un óptimo rendimiento de los actores del proceso educativo.
- Concientizar a la comunidad educativa de todos los niveles y a la sociedad en general.

En este trabajo se presentan los resultados de las mediciones realizadas a modo de estudio piloto, en aulas de la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional y del Colegio La Inmaculada.

## 2.- REVISIÓN DE PARÁMETROS Y CRITERIOS INTERVINIENTES

En general, en los edificios que han sido diseñados sin prestar atención a sus aspectos acústicos, prevalecen superficies reflectoras del sonido. Las escuelas argentinas con sus típicas construcciones de ladrillo y revoque duro y liso, pisos de mosaicos, cielos rasos, sillas, bancos y otros mobiliarios duros y altamente reflectores se encuentran dentro de esta tipología. Las dos condiciones acústicas presentes en la mayoría de los establecimientos educacionales y que impactan negativamente sobre la comprensión del lenguaje hablado son la reverberación y el ruido. La reverberación es la persistencia en el ambiente de energía sonora reflejada, también conocida errónea y vulgarmente como “efecto eco”. Es potenciada en espacios con grandes volúmenes y materiales con mínima o nula capacidad de absorción sonora y su consecuencia es la amplificación del ruido presente. En efecto, en cualquier espacio cerrado el sonido que se escucha es una combinación del sonido directo (que viaja directamente del emisor hacia el receptor) y el sonido reverberante que viaja desde el emisor y rebota en varias superficies antes de alcanzar el oído del receptor. Técnicamente, es el tiempo en segundos que toma para que un sonido decrezca 60 dB luego de haber sido generado en la sala usualmente a una amplitud de 90 dB. Cuanto más reflectora o reverberante sea ésta, mayor será el tiempo que le lleve al sonido decrecer 60 dB. Se denota TR60, o simplemente TR.

El segundo factor es el ruido de fondo (RF) o cualquier sonido no deseado proveniente del exterior o interior del edificio que interfiere con la habilidad de las personas para entender el lenguaje hablado. Se lo mide generalmente en dB compensados con la escala A, dB(A), y promediado en el tiempo de tal forma de encontrar un sonido constante de igual energía que el real, dando lugar al concepto de nivel sonoro continuo equivalente: NSCE.

La relación señal a ruido (RSR) indica la diferencia en dB existente entre la señal que se desea escuchar (instrucción verbal del docente) y el ruido de fondo existente.

Es interesante destacar que desde el punto de vista del oído humano, la disminución de sonoridad percibida en relación con una reducción del ruido medida en dB(A), es de naturaleza logarítmica. Así, una reducción de 10 dB del nivel sonoro, para el oído humano equivale a una sensación sonora (sonoridad) de casi la mitad; una de 7 a 9 dB es una gran reducción de la sensación sonora y una de 4 a 5 dB se traduce en una mengua perceptible y significativa de la sonoridad.

La Referencia 2 puntualiza el hecho de que numerosos investigadores han demostrado que niños con sensibilidad auditiva normal requieren relaciones señal a ruido mayores y tiempos de reverberación menores que oyentes adultos normales para alcanzar grados equivalentes de percepción, señalando que un aula con ambiente acústico relativamente bueno debería rondar los valores  $RSR = +6$  dB y  $TR = 0,4$  seg, mientras que en un ambiente pobre - aunque encontrado con frecuencia - los valores se hallan en  $RSR = 0$  y  $TR = 1,2$  seg. El reconocimiento de los estímulos por parte de niños con audición normal baja de 71 % en el primer caso a 30 % en el segundo. Sin embargo, en [7] Lubman sostiene que parece existir un amplio consenso en que la comunicación hablada más satisfactoria ocurre cuando la relación conversación a ruido excede 15 dB. Según los expertos de ASHA [8], un aula de condición acústica satisfactoria debería poseer niveles de RF menores a 30 dB(A) cuando está desocupada, RSR mayores a 15 dB en el oído del estudiante y un TR menor o igual a 0,4 seg medido en un rango amplio de frecuencias discretas.

Houtgast [13], efectuó pruebas de inteligibilidad a maestros y alumnos en aulas bajo una gran variedad de condiciones de ruido proveniente del tránsito automotor y encontró que los resultados de inteligibilidad se deterioran para niveles de ruido (interior) que exceden un valor crítico de -15 dB con respecto al nivel del habla del maestro.

Según la Ref. 14, con el objeto de lograr un TR menor a 0,7 seg, un aula debería tener un cielo raso tratado acústicamente, el piso alfombrado y cerca del 50% de las paredes revestidas con materiales absorbentes.

También, y siguiendo la Referencia 3, deben determinarse en dB(A), además del RF, parámetros como nivel de presión sonora de la conversación, de la actividad de los estudiantes, causas de los mismos, etc., tratando de cuantificar las componentes típicas del sonido en las aulas. De acuerdo con la norma sueca [10], un aula acústicamente satisfactoria debería poseer un nivel de ruido ambiente que no supere 30 dB(A) cuando está desocupada, las bibliotecas 35 dB(A), gimnasios 40 dB(A), corredores, escaleras y baños 45 dB(A), aconsejando niveles máximos interiores promedios (NSCE) debidos al tránsito (con ventanas cerradas) de 30 dB(A) y 45 dB(A) de valor instantáneo para aulas (para ruido debido a tráfico ocasional con ocurrencia menor de una vez por hora, acepta un nivel máximo 10 dB(A) superior).

En un reciente artículo [15], el presidente del Consejo Nacional de Consultores Acústicos de EE.UU. sostiene que las condiciones acústicas actuales de las escuelas norteamericanas no deberían ser toleradas, concluyendo que existe una fuerte necesidad de mínimas normas acústicas para sus aulas. Luego de analizar varios métodos sofisticados para evaluar el ruido de fondo, prefiere que se continúe con el uso del dB(A), sosteniendo que una norma federal debería establecer un mínimo rondando los 40 y un nivel altamente deseable de 30 (en especial para estudiantes de idiomas extranjeros o con problemas de audición). Según él, este criterio para RF debería aplicarse para ruido estable, en especial para mediciones de NSCE en períodos cortos de tiempo, evaluado en cualquier ubicación potencial del estudiante en todas las aulas (incluyendo gimnasios). Además, los niveles máximos de ruido intermitente del tráfico exterior y aviones deberían limitarse a 55 dB(A) en respuesta lenta del medidor de nivel sonoro. Como criterio para el TR aconseja adoptar 0,5 seg en las frecuencias correspondientes al habla.

Los autores de la Ref. 16 determinaron que una reducción del TR de 1,6 a 0,6 seg en los lugares más reverberantes de guarderías de niños, resultó en una reducción de 5 dB(A) del nivel de exposición al ruido en una sala dada. Además, no se ha encontrado evidencia de que TR muy breves en aulas sean perjudiciales para la propagación de la voz [17]. Al revés, aulas con esta características ayudan a los métodos de enseñanza que utilizan la separación en grupos pequeños que realizan actividades de clase.

Con respecto a los ruidos provenientes de pasillos internos y de otras aulas adyacentes, los valores de aislación mínimos recomendados por normas las específicas [18-20] son de 40 y 44 dB respectivamente, expresados como números únicos  $R_w$ . Similares requerimientos se exigen en las normas alemanas [21].

Por otra parte, resulta de gran utilidad la realización de encuestas entre docentes y alumnos, con el objeto de evaluar la problemática desde el punto de vista subjetivo, de tal manera de establecer correlaciones entre parámetros objetivos (mediciones) y subjetivos (opiniones).

### 3.- MEDICIONES REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

En esta etapa piloto del proyecto, se realizaron mediciones y encuestas en tres aulas y sala de lectura de la biblioteca del Colegio La Inmaculada y en cuatro aulas de la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional, todas elegidas como resultado de un relevamiento previo de posibles deficiencias acústicas y buscando las más representativas de la totalidad. Así mismo, dadas las características constructivas de los edificios y los materiales de construcción típicos del país, se considera que estos dos establecimientos son representativos de la gran mayoría de los pertenecientes al sistema educativo argentino, tanto de la esfera de la educación pública como privada.

En este estudio, se tuvieron en cuenta las condiciones arquitectónicas de las aulas (en especial una descripción precisa del tamaño y de las terminaciones de piso, paredes y techo), dado que este importante factor contribuye en ocasiones a los altos niveles de ruido presentes y no ha sido

incorporado en la mayoría de las investigaciones notables sobre el tema, lo que confiere a las mismas una tendencia predominante hacia la audiolología. Con esta incorporación, se busca que el estudio sea de interés a un segmento más amplio dentro de las disciplinas de la acústica. En efecto, si la arquitectura resulta ser un factor de peso, pueden existir recomendaciones inmediatas para la reducción de los niveles sonoros cubriendo este aspecto. El relevamiento de los datos constructivos de las aulas se realizó mediante la planilla de información que se muestra en el Anexo 1.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta fue la opinión de los docentes, desde el punto de vista acústico, sobre su lugar de trabajo. Estos datos subjetivos se recabaron por medio de la encuesta de ruido del Anexo 2.

A los fines de notación, se designan las aulas con los siguientes códigos:

UTN-1: Aula 805, 8vo. Piso, División: 3er. Nivel Ing. Mecánica

UTN-2: Aula 603, 6to. Piso, División: 1er. Nivel Ing. Mecánica

UTN-3: Aula 403, 4to. Piso, División: 3er. Nivel Ing. Electrónica

UTN-4 Aula 202, 2do. Piso, División: 1er. Nivel Lic. Organización Industrial

LI-1: 1er. Piso, División 8vo. B (EGB), Alumnos de 13 años.

LI-2: 1er. Piso, División 9no. A (EGB), Alumnos de 14 años.

LI-3: 2do. Piso, División 3ro. A (Media), Alumnos de 15 años.

LI-4: Primer piso, Biblioteca: sala de lectura.

Las mediciones de tiempo de reverberación (TR) se realizaron con un analizador marca Larson-Davis, Mod. 2900B, y un equipo generador de ruido blanco aleatorio, de amplio espectro, en el rango de frecuencias 20 Hz – 20 kHz que entrega energía sonora distribuida uniformemente en todas las bandas.

Las Tablas 1 y 2 corresponden a las aulas de la UTN y del Colegio respectivamente y muestran las dimensiones, características constructivas, número de alumnos presentes durante las mediciones, valores de TR en la banda de 1000 Hz con el aula ocupada y vacía y la opinión de los profesores sobre el aula desde el punto de vista acústico.

Las Figuras 1 y 2 muestran las curvas de los TR obtenidos en las distintas aulas para los tercios de octava comprendidos entre 100 y 5000 Hz. Los valores representan el promedio de dos ubicaciones del micrófono, adelante y atrás en el aula respectivamente.

En la Figura 3 se observan los valores de los niveles sonoros medidos y del aislamiento neto entre un aula del colegio y el pasillo para las distintas bandas de frecuencia estudiadas.

Se calcularon el índice de reducción acústica (R) con el método de la Referencia 18 y el índice de reducción acústica compensado ( $R_w$ ) siguiendo la Referencia 19.

Los niveles sonoros presentes fueron determinados con una medidor de nivel sonoro integrador marca Quest, Mod. 2900, calibrado previamente a las mediciones. Se empleó la escala de compensación A y la respuesta lenta del aparato.

En primer lugar, se utilizó un día laborable normal aunque sin actividad académica ni administrativa en la UTN para determinar el nivel del RF proveniente del exterior. Se encontró así que con la Facultad vacía, en el Aula UTN-4 el NSCE del ruido de fondo corresponde a 43 dB(A).

En las mismas condiciones pero en el caso del Aula LI-1 del Colegio (a la calle, con una parada de ómnibus en la vereda de enfrente), con una ventana abierta, el NSCE se determinó en  $L_{eq} = 70,4$  dB(A), con un pico máximo durante el período de integración (10 min) de  $L_{m\acute{a}x} = 86,6$  dB(A) debido a la aceleración de un ómnibus al dejar la parada.

Seguidamente se determinaron los niveles sonoros para aulas ocupadas y en distintas situaciones de clase. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 3.

#### 4.- ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En ambas instituciones los tiempos de reverberación determinados acusan valores muy superiores a los considerados altos por diversos especialistas y normativas. Los TR deberían

reducirse mediante el tratamiento acústico de las aulas con materiales absorbentes. Las curvas TR vs. frecuencia deben bajarse a valores que idealmente deberían acercarse a 0,4 seg y que de ninguna manera superen los 0,7 seg, buscando lograr una curva plana en el rango de frecuencias del habla: 250 – 2000 Hz [17]. De acuerdo a las Figuras 1 y 2 puede observarse que, en general, los valores medidos superan los ideales en un 300 %, constituyendo un problema que merece especial atención el hecho de que los TR más altos son los correspondientes a las bajas frecuencias (250 Hz), llegando en algún caso a superar el valor ideal en 800 %, motivo por el cual deben recomendarse materiales absorbentes que posean una curva de respuesta apropiada a esta característica. El estudio para la elección de los materiales que mejor coadyuven a la solución de estos problemas teniendo en cuenta la relación costo/beneficio será objeto de una segunda parte del presente trabajo.

Con respecto a la relación señal a ruido, cabe consignar que con las metodologías modernas de enseñanza el alumno tiene un rol activo y el docente forma parte del grupo, motivo por el cual la determinación de la misma resulta complicada, existiendo en la actualidad un debate entre los especialistas con respecto al método más correcto para su determinación. En el presente trabajo, ver Tabla 3, se ha determinado que en pleno trabajo grupal el NSCE se encuentra en 75 dB(A), mientras que con el docente dictando consignas y los alumnos en silencio el nivel promedio es de 68 dB(A). Puede inferirse entonces que durante el trabajo grupal, cuando el docente desea aclarar conceptos encausar situaciones áulicas, debe levantar el nivel sonoro de su voz por encima de los 75 dB(A), mientras que su nivel normal es de 68 dB(A). Adoptando el criterio de una adecuada RSR = 15 dB(A), la voz del docente debería alcanzar los 90 dB(A) hasta lograr la atención plena de los alumnos y por ende un nivel de RF aceptable.

En condiciones de atención plena, puede observarse que, en el caso de la UTN con RF = 43 dB(A), la RSR es de 25 dB(A), resultando altamente satisfactoria.

Por otra parte, para el aula LI-1 del colegio, a la calle, con una ventana abierta, (condición que prevalece en época de calor al comienzo y finalización del ciclo lectivo), la RSR resulta negativa (68 – 70,4) obteniéndose un valor de  $-2,4$  dB(A), la cual resulta inaceptable por cuanto el nivel de la voz del profesor se encuentra por debajo del RF presente. Tomando para la ventana cerrada un valor de aislación de 8,2 dB(A) [11], resultaría un RF de 62,2 dB(A) y por consiguiente una RSR de 5,6 dB(A), la cual resulta sumamente inapropiada. Además, teniendo en cuenta que los picos máximos no deben sobrepasar los 55 dB(A) con una ocurrencia inferior a 1 vez/hora [10], para ventanas cerradas se tendrían, siempre en LI-1, valores de  $L_{m\acute{a}x} = 78,4$  dB(A) con una ocurrencia del orden de 18 veces/hora dada la existencia de tres líneas de ómnibus (501, 503 y 512). Nuevamente, los valores son inaceptables. Resulta obvio en este caso que, siendo la fuente de ruido comunitario más frecuente el tránsito automotor [22], debería modificarse la localización de la parada de ómnibus existente frente a las aulas, dado que los picos máximos de nivel sonoro provienen de los frenos primero y de las aceleradas para proseguir el recorrido luego, concepto este que debería aplicarse por extensión a la totalidad de los establecimientos educativos que se hallan en similares condiciones.

Por otra parte, teniendo en cuenta la Figura 3, puede observarse que los valores de aislamiento entre un aula del colegio y el pasillo, para el rango de frecuencias estudiado son de aproximadamente 25 dB, llegando a un mínimo de 13 dB para la banda de 150 Hz. El índice de reducción acústica compensado resulta en este caso  $R_w = 27$  dB. Por lo tanto, estos valores resultan inferiores en 13 dB a los mínimos recomendados por las normas [19-21].

## 5.- CONCLUSIONES

Se han investigado las características acústicas de aulas que pueden considerarse típicas, y por lo tanto, representativas de la mayoría de los establecimientos educacionales existentes en las ciudades de nuestro país. Se determinaron valores de los principales parámetros acústicos que

deben tenerse en cuenta para el diseño y la construcción de edificios destinados a este tipo de actividades.

De acuerdo con los resultados obtenidos y las comparaciones efectuadas, surge claramente que los edificios escolares resultan altamente inapropiados para las actividades de enseñanza y aprendizaje desde el punto de vista de las condiciones acústicas imperantes. En efecto, los TR, las RSR, los RF y el aislamiento entre ambientes están muy alejados de los valores recomendados en la literatura abierta internacional.

En un artículo reciente para una lista de interés en Internet, M. T. Nixon opina al respecto:

“El ambiente acústico puede ser el rumbo por lejos más importante en definir la misión de lo que constituye una buena educación, mucho más que casi cualquier otra cosa. En mi opinión, la educación es el proceso de impartir ciertas habilidades elementales que conducirán a los estudiantes a razonar y pensar por sí mismos y que los guiarán a toda una vida de aprendizaje. Es la interacción social entre estudiantes y docentes lo que comienza este proceso, y en gran medida esa interacción es de naturaleza auditiva y verbal. Sin un ambiente que optimice este proceso quizás se acote al estudiante inhibiendo sus destrezas para alcanzar su potencial pleno”.

Como conclusión general del presente estudio puede aseverarse que las características arquitectónicas y las localizaciones de los edificios destinados a la educación en sectores urbanos altamente ruidosos, no contribuyen en absoluto a brindar un ambiente acústico adecuado para este tipo de actividades. Los autores consideran que deben investigarse soluciones de ingeniería susceptibles de ser logradas con relaciones costo/ beneficios óptimas. A tal efecto, una proyección del presente trabajo consistirá en la búsqueda de las soluciones más apropiadas desde el punto de vista de la eficiencia y la economía para lograr mejoras en aspectos tales como aislamiento, absorción, localización, sugerencias para la modificación de recorridos de líneas de transporte público, etc.

## 6.- AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Michael T. Nixon, Presidente del Subcomité de Acústica de la Acoustical Society of America, por su aliento a las presentes investigaciones y el aporte de abundante material científico y técnico sobre la disciplina.

A las autoridades del Colegio La Inmaculada, en especial al Ing. Ricardo Bernatene, a la Prof. Fabiana Vidal y a su grupo de alumnos del Club de Ciencias Juana de Lestonac: Julieta L. Ercoli, Agustina Polla, Juana Serrón, Santiago Fernández e Ignacio Trócoli que cooperaron con gran ahínco durante las investigaciones realizadas en el colegio.

Al Ing. Braulio Laurencena, Director de Medio Ambiente, a la Ing. Alicia Alvarez y al Sr. Jorge Smael del Departamento de Saneamiento Ambiental, Municipalidad de Bahía Blanca, por su interés y apoyo hacia el proyecto.

Las presentes investigaciones son auspiciadas por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional y por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires según convenio de fecha 29/5/98.

## 7.- REFERENCIAS

- 1.- 133<sup>rd</sup> Meeting of the Acoustical Society of America (ASA), 15-20 Junio, 1977, Pennsylvania, The Journal of The ASA 101(5), Pt. 2, 1977, pp 3068-70.
- 2.- P. Abbot, et al., Pilot studies of speech communication in elementary school classrooms: literature review and methods. NOISE-CON 97, 15-17 Junio 1977, Pennsylvania, EE.UU.

- 3.- M. Hodgson, R. Rempel y E.Park, Measurement of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures. NOISE-CON 97, id. ant.
- 4.- T. Jiang, Can noise levels at school gymnasia cause hearing loss: a case study of a physical education teacher. NOISE-CON 97, id. ant.
- 5.- P. B. Nelson, Impact of hearing loss on children in typical classrooms. NOISE-CON 97, id. ant.
- 6.- S. D. Soli and J Sullivan, Factors affecting children's speech communication in classrooms. 133<sup>rd</sup> ASA Meeting, 15-20 junio 1997, Pennsylvania, EE.UU.
- 7.- D. Lubman, Classroom Acoustics: America's need for standards and guidelines to ensure satisfactory classroom acoustics. 133<sup>rd</sup> ASA Meeting, id. ant.
- 8.- American Speech-Language and Hearing Association (ASHA), Guidelines for acoustics in educational environments, 37, Suppl. 14, pp. 15-19, 1995.
- 9.- Swedish Board of Housing, Building and Planning, Building Regulations BBR 94, Protection Against Noise BFS 1995:17, 1995.
- 10.- Swedish Council for Building Research, Acoustic Guide: selection of acoustic quality in buildings, April 1996.
- 11.- M. Picard y J. S. Bradley, Revisiting speech interference and remedial solutions in classrooms, Sometido para publicación a Journal of the Acoustical Society of America, enero 1998.
- 12.- M. Hodgson, UBC-classroom acoustical survey, Canadian Acoustics 22(4), 3-10, 1994.
- 13.- T. Houtgast, The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms, Applied Acoustics 14, 15-25, 1981.
- 14.- R. M. Towne y K. L. Anderson, The changing sound of education, Sound and Vibration, 48-50, Jan 1997.
- 15.- J. G. Lilly, Establishing acoustical standards for classrooms, Sound and Vibration, 5-6, Dec. 1997.
- 16.- C. T. Gagnon y R. Héту, Noise in day-care centers for children, Noise Control Engineering Journal (30)2, 57-63, 1988.
- 17.- M. J. Koradas, Reverberation times of typical elementary school classrooms, Noise Control, 17-19, July 1960.
- 18.- Norma IRAM 4063, Transmisión de sonido en edificios. Métodos de medición, 1982.
- 19.- Norma IRAM 4043, Aislamiento del sonido en edificios, 1984.
- 20.- Norma IRAM 4044, protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros. 1985.
- 21.- Norma DIN 4109, Noise control in buildings, Sheet 2, Requirements, 1962.
- 22.- L. Ercoli, A. P. Azzurro, A. Alvarez y J. Smael, Recent studies on community noise in Bahia Blanca city (Argentina), Fifth International Congress on Sound and Vibration, University of Adelaide, Australia. Dec. 15-18, 1997.

Aula	Area [m <sup>2</sup> ]	Vol. [m <sup>3</sup> ]	Cant. Alumn	Terminación interior	TR <sup>1</sup> (1000 Hz), [seg]		Opiniones del docente
					Ocupada	Vacía	
UTN-1 (Al patio interno)	47,52 (Rectangular)	152,0	30	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera. 2 hojas 0,85x2,05 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. Vidrio. 3 paños 1,53x1,53 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera, 4,1x1,22 m<sup>2</sup></li> </ol>	1,45	2,53	Silenciosa. Sin eco. Ruido más molesto: pasillo. Concentración no disminuye.
UTN-2 (Al patio interno)	92,82 (Cuadrada)	243,2	17	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Losa hormigón.</li> <li>4. Madera. 2 hojas 0,85x2,05 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. Vidrio. 10 paños 0,5x1,52 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera, 8x1,25 m<sup>2</sup></li> <li>7. Madera s/pared, 1,9x9,1 m<sup>2</sup></li> </ol>	1,51	2,07	Silenciosa. A veces rumorosa. Ruido más molesto: pasillo. Concentración disminuye algo.
UTN-3 (Al patio interno)	34,83 (Cuadrada)	111,5	10	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera. 1 hoja 1,5x2,05 m<sup>2</sup></li> <li>5. Vidrio. 3 paños 1,53x1,53 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera, 3,07x1,24 m<sup>2</sup></li> </ol>	1,46	2,45	Silenciosa. A veces rumorosa. Ruido más molesto: pasillo. Concentración disminuye algo.
UTN-4 (Al patio interno)	76,50 (Rectangular)	248,6	38	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera. 2 hojas 0,85x2,05 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. Vidrio. 6 paños 1,3x0,68 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera, 4,1x1,22 m<sup>2</sup></li> </ol>	1,51	2,79	Silenciosa. Sin eco (a veces murmullo). Ruido más molesto: pasillo. Concentración disminuye mucho.

Tabla 1. Aulas de la UTN: Tiempos de reverberación a 1000 Hz, características arquitectónicas y evaluaciones subjetivas.

Edificio de 10 pisos situado en mitad de cuadra. Estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillo cerámico hueco. (1) Promedio de dos locaciones del micrófono: adelante y atrás en el aula. Ref.: 1: Paredes, 2: Techo, 3: Pisos, 4: Puertas, 5: Ventanas, 6: Pizarrones, 7: Revestimiento.

Aula	Area [m <sup>2</sup> ]	Vol. [m <sup>3</sup> ]	Cant. Alumn	Terminación interior	TR <sup>1</sup> (1000 Hz), [seg]		Opiniones del docente
					Ocupada	Vacía	
LI-1 (A la calle)	49,2 (Rectangular)	184,0	26	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera y vidrio. 2 hojas 1,22x2,67 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. A la calle: Vidrio. 16 paños 0,4x1,1 m<sup>2</sup> c/u. Al pasillo int.: Vidrio. 9 paños 0,41x0,33 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera, 3x1,22 m<sup>2</sup></li> </ol>	1,49	1,63	Algo ruidosa. Sin eco. Ruidos más molestos: pasillo y calle (tráfico). Concentración disminuye algo.
LI-2 (Al patio interno)	48,1 (Rectangular)	180,0	18	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera y vidrio. 2 hojas 1,22x2,67 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. Al patio: Vidrio. 20 paños 0,68x0,36 m<sup>2</sup> c/u. Al pasillo int.: Vidrio. 9 paños 0,41x0,33 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera. 3x1,22 m<sup>2</sup></li> </ol>	1,52	2,52	Ruidosa. Sin eco. Ruido más molestos: clase. Concentración disminuye algo.
LI-3 (A la calle)	49,2 (Rectangular)	184,0	16	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Cielo raso de yeso aplicado.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera y vidrio. 2 hojas 1,22x2,67 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. A la calle: Vidrio. 20 paños 0,41x0,95 m<sup>2</sup> c/u. Al pasillo int.: Vidrio. 9 paños 0,41x0,33 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>6. Madera. 3x1,22 m<sup>2</sup>.</li> </ol>	1,57	1,75	Ruidosa. Sin eco. Ruido más molestos: calle y clase. Concentración disminuye algo.
LI-4 (A la calle)	55,4 (Rectangular)	203,0	5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revoque grueso y fino a la cal. Pintura esmalte sintético.</li> <li>2. Planchas de madera aglomerada, pintadas, c/espacio de aire atrás.</li> <li>3. Mosaico granítico.</li> <li>4. Madera y vidrio. 2 hojas 1,22x2,67 m<sup>2</sup> c/u.</li> <li>5. A la calle: Vidrio. 16 paños 0,45x0,9 m<sup>2</sup> c/u. Al pasillo int.: Vidrio. 9 paños 1,37x1,62 m<sup>2</sup> c/u.</li> </ol>	1,46	---	Silenciosa.

Tabla 2. Aulas del Colegio La Inmaculada: Tiempos de reverberación a 1000 Hz, características arquitectónicas y evaluaciones subjetivas.

Edificio de PB y dos pisos situado en esquina. Estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillo macizo común. (1) Promedio de dos locaciones del micrófono: adelante y atrás en el aula. Ref.: 1: Paredes, 2: Techo, 3: Pisos, 4: Puertas, 5: Ventanas, 6: Pizarrones, 7: Revestimiento.

Aula	Ubicación	Cant. Alumn	Situación áulica	dB(A)
UTN-4	Al patio interno	38	CLASE DE QUÍMICA - Profesora dictando (alumnos en silencio) - Interacción docente/alumnos - Alumnos en actividades grupales - Ruido por voces en pasillo (recreo)	69,8 70,6 74,0 ---
LI-1	A la calle	26	CLASE DE MATEMÁTICA - Profesora dictando (alumnos en silencio) - Interacción docente/alumnos - Alumnos en actividades grupales - Ruido por voces en pasillo (recreo)	71,8 73,0 76,2 ---
LI-2	Al patio interno	18	CLASE DE ARTÍSTICA - Profesora dictando (alumnos en silencio) - Interacción docente/alumnos - Alumnos en actividades grupales - Ruido por voces en pasillo (recreo) CLASE DE BIOLOGÍA - Profesora dictando (alumnos en silencio) - Interacción docente/alumnos - Alumnos en actividades grupales - Ruido por voces en pasillo (recreo)	67,5 71,9 75,2 61,6 69,0 72,4 73,6 ---

Tabla 3: valores del NSCE para distintas situaciones de clase.

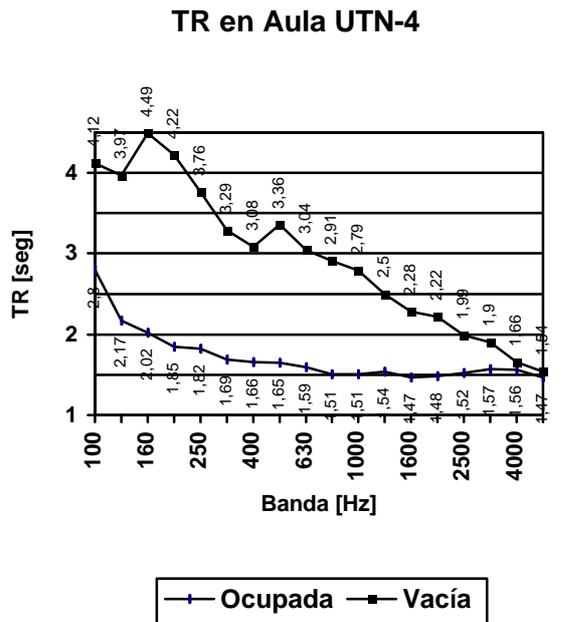
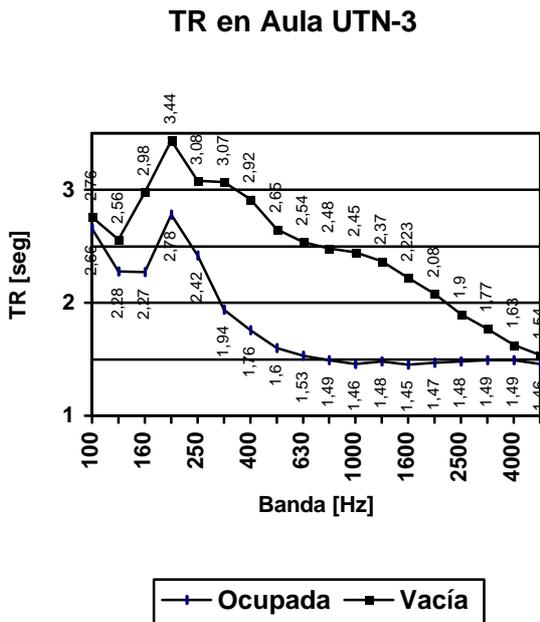
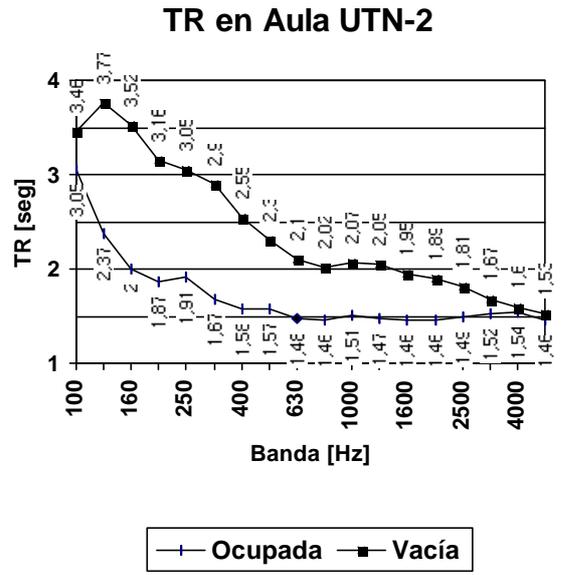
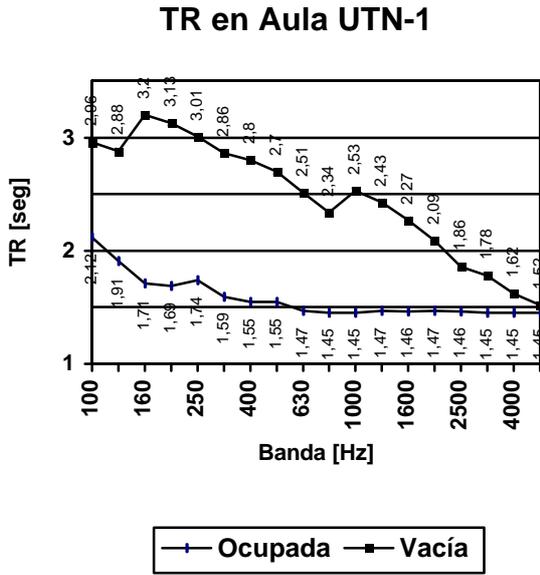


Figura 1: Tiempos de reverberación (TR) medidos en las aulas de la Universidad.

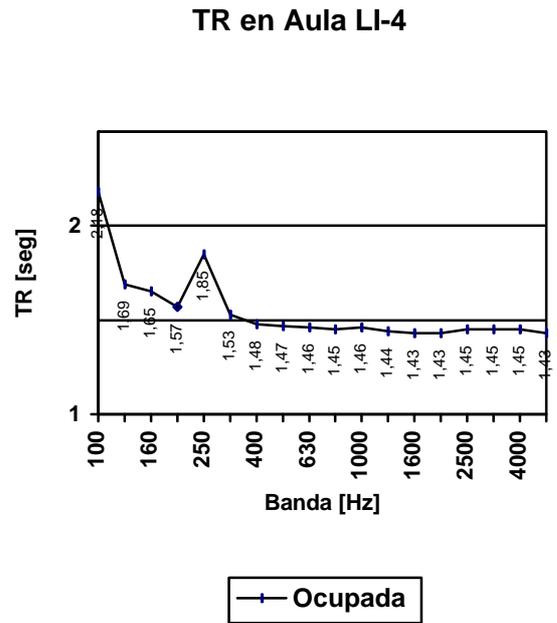
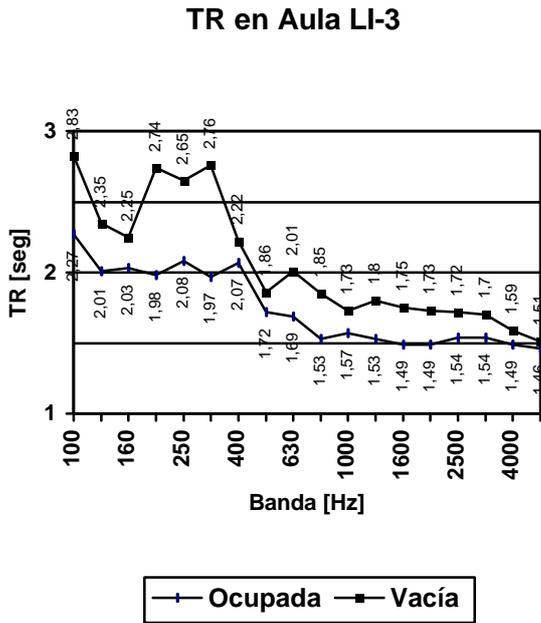
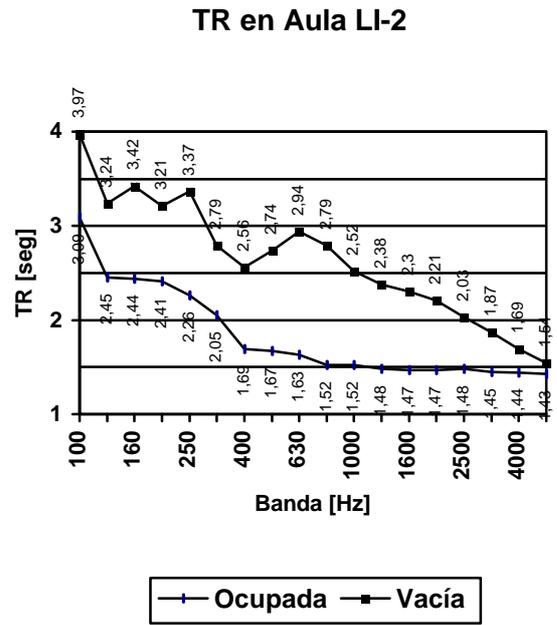
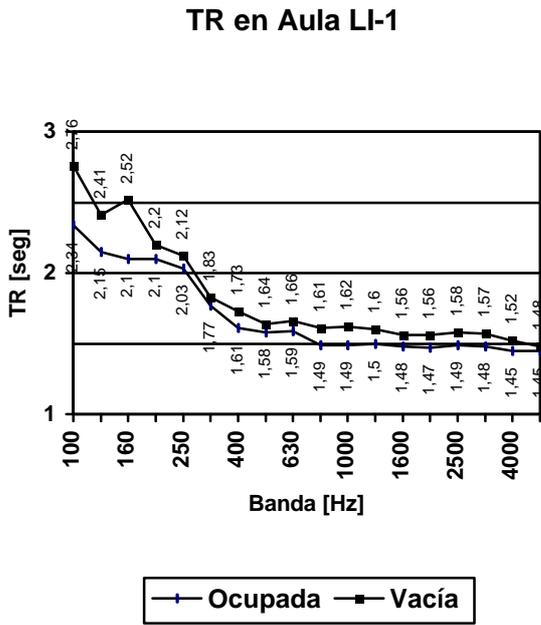


Figura 2: Tiempos de reverberación (TR) en las aulas del Colegio La Inmaculada.

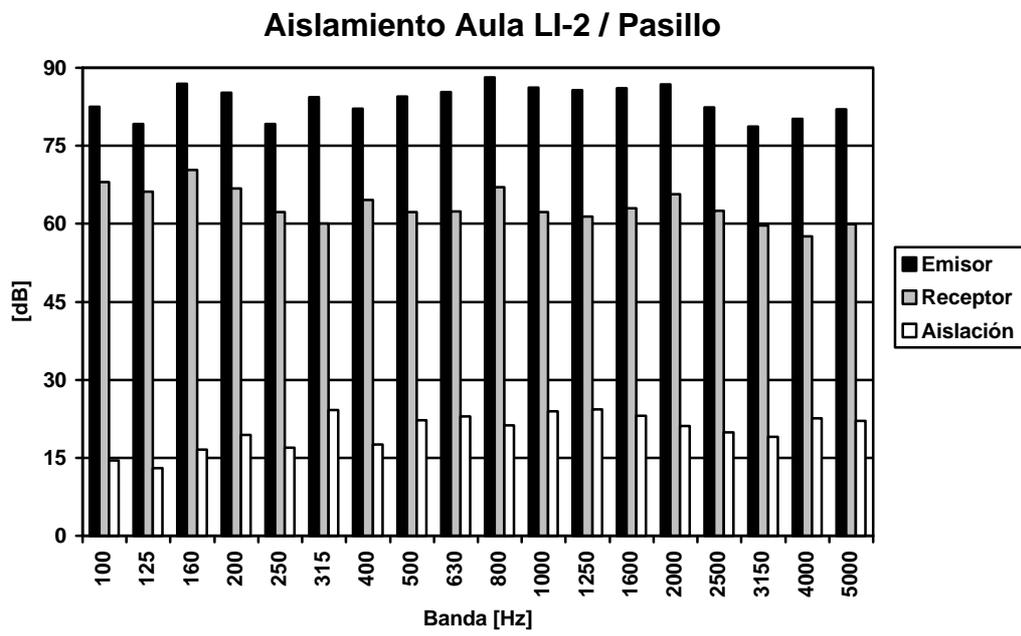


Figura 3: Aislamiento entre el aula LI-2 y el pasillo

**ANEXO 1**

**PLANILLA DE INFORMACION**

**Institución:**

Aula N°: ..... División:..... Turno:.....

Cantidad de bancos: ..... Cantidad de alumnos:.....

**Dimensiones del aula:**

Altura(H).....m Ancho (A): .....m. Largo(L): .....m

Volumen =H.A.L = .....m<sup>3</sup>

**Ventanas:**

Alto (m): .....Ancho (m): ..... A la calle.....   
 Al pasillo interno.....   
 Al patio.....

Medidas de los vidrios: .....m x .....m Cantidad:.....

Alto (m): .....Ancho (m): ..... A la calle.....   
 Al pasillo interno.....   
 Al patio.....

Medidas de los vidrios: .....m x .....m Cantidad:.....

Alto (m): .....Ancho (m): ..... A la calle.....   
 Al pasillo interno.....   
 Al patio.....

Medidas de los vidrios: .....m x .....m Cantidad:.....

Alto (m): .....Ancho (m): .....A la calle.....   
 Al pasillo interno.....   
 Al patio.....

Medidas de los vidrios: .....m x .....m Cantidad:.....

**Materiales:**

**Paredes:**

**Puertas:**

**Techo:**

**Piso:**

**Revestimientos:**

**ANEXO 2**

**ENCUESTA DE RUIDO EN AULAS**

- Marcar con una cruz (x) lo que corresponda:

Vos sos:      Profesor      .      /      Alumno      .

Institución:.....Curso...../División.....Edad.....

Aula N°:.....

Número de alumnos que hay en el aula:

Número de bancos que hay en el aula:

- Cuestionario:

1) Como describirías tu aula?:

a) Muy ruidosa      .      b) Ruidosa      .      c) Silenciosa      .

2) El ruido que hay allí, te molesta:

a) Mucho      .      b) Algo      .      c) Nada      .

3) Que ruidos son los que más te molestan?:

a) Los que vienen de la calle

b) Los que vienen del patio

c) Los que hacen tus compañeros/alumnos

d) Otros (especificar) . . . . .

4) En el aula escuchás:

a) Bien      .      b) Con eco      .      c) Nada      .

5) Notás que el ruido presente en tu aula disminuye tu concentración

a) Mucho      .      b) Algo      .      c) Nada      .

6) Considerás que el ruido en tu aula es perjudicial para el proceso de enseñanza-aprendizaje?

Si      .      No      .