

“Efectos auditivos y no auditivos del ruido de baja frecuencia sobre los estudiantes en aulas de enseñanza. Análisis de la eficiencia de la ponderación vigente en la evaluación y medición de los mismos”.

Ing. Francisco Ruffa, Ing. Mayra Cardozo, Mariano Alvarez B.

Universidad Nacional de Tres de Febrero

{ fruffa@fi.uba.ar, mcardozo@untref.edu.ar, mariano_ab85@hotmail.com }

Resumen

La exposición a ruidos con alto contenido de bajas frecuencias puede generar efectos dañinos en la salud de las personas. Estos efectos pueden ser clasificados en auditivos y no auditivos. Los últimos generalmente están asociados a trastornos psicosociales y fisiológicos, entre los que podemos citar: déficit de atención, errores en la percepción del habla, discriminación auditiva y efectos cognitivos.

Basados en los antecedentes y normativas locales e internacionales, se diseñó una metodología de investigación fundamentada en la evaluación de los descriptores actualmente utilizados, haciéndose énfasis en la eficiencia de la curva de ponderación A. El procedimiento se llevó a cabo en 7 instituciones educativas de nivel primario de la provincia de Buenos Aires, Argentina, seleccionadas por la densidad de su población y por su cercanía a fuentes de ruido con alto contenido de bajas frecuencias. La investigación se dividió en dos etapas: la primera consistió en la medición objetiva de dos recintos por institución, estimándose, a través de su respuesta al impulso, variables como %ALCONS y el índice de claridad C50. Resultados preliminares demuestran que las aulas superan los valores normales de destino. Estos serán constatados en la segunda etapa de investigación con pruebas subjetivas de inteligibilidad de la palabra y test de atención.

Palabras-clave: *Ruido, ponderación, Audición, Normativas, Efectos no auditivos.*

“Auditory and Non-Auditory effects of LFN on students in classrooms. Efficiency analysis about the actual weighting curves for its measurement and evaluation.”

Abstract

Exposure to elevated LFN content can produce harmful effects on the health of a person. These effects can be classified in Auditory and Non-Auditory. The latter is commonly associated with psychosocial and physiological disorders, such as: attention deficit, speech perception errors, auditory discrimination and cognitive effects.

Based on historical writings as well as both local and international regulations, a research methodology to evaluate the descriptors currently used it's designed, with emphasis on the efficiency of the A-weighting. The procedure was to achieve in 7 primary level educational institutions in the province of Buenos Aires, Argentina. Those places were selected by population density and their proximity to noise sources with a great LFN content. The research was divided into two stages: the first consisted of the objective measurement of two rooms in each institution to get variables like %Alcons and clarity index, C50, these were obtained by the impulse response of the rooms. Preliminary results show that classrooms exceed the recommended values.

The second phase of the research, will verify the firsts results, with subjective tests of speech intelligibility and attention test.

Keywords: *LFN, A-weighting curve, Audition, Normative, Non-Auditory effects.*

1 Introducción

Este documento sintetiza los últimos avances de la investigación dirigida por el Ing. Francisco Ruffa y co-dirigida por la Ing. Mayra Cardozo para la Universidad Nacional de Tres de Febrero. El proyecto tuvo origen a comienzos del año 2010 y ha sido desarrollado desde entonces por un equipo de estudiantes ad'honorem del área de investigación de Acústica Ambiental de la misma institución, una Universidad pública de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

El objetivo principal de la investigación es analizar la eficiencia de los descriptores utilizados actualmente en el país para la medición y la evaluación del ruido de baja frecuencia, especialmente en el entorno educativo.

En las últimas décadas, diversas investigaciones muestran un interés creciente acerca de los efectos de la exposición al ruido de bajas frecuencias. Comúnmente, este tema es abordado como un problema de índole laboral u ocupacional. En realidad, la finalidad es estudiar los efectos de la exposición al ruido de bajas frecuencias en instituciones educativas públicas.

Basados en los antecedentes estudiados, los efectos de la exposición al ruido de bajas frecuencias podrían ser clasificados en auditivos y no auditivos. Los primeros están relacionados con el desplazamiento del umbral de audición y los segundos comúnmente se asocian con desórdenes psicosociales y fisiológicos tales como déficit de atención, errores en la inteligibilidad de la palabra, discriminación auditiva y efectos cognitivos.

Al conocer estos efectos, se busca identificar cuales son los descriptores mas apropiados para la evaluación del ruido con una concentración de energía considerable en la región del espectro entre 20Hz y 250Hz, mediante la medición y el análisis de los parámetros objetivos utilizados en la actualidad. Una vez obtenidos estos valores, se compararán con pruebas subjetivas.

Dado que en Argentina no existen normativas para la evaluación de instituciones dedicadas a la enseñanza, este proyecto hace uso de normativas internacionales tales como ANSI S12.60:2002, como guía en las mediciones realizadas. Además, se prevé hacer una recomendación al comité Argentino de normas sobre diseño de aulas y uso de la ponderación A.

2 Trabajos previos.

Los efectos adversos auditivos y no auditivos son ocasionados por distintos factores del evento sonoro, tales como altos niveles sonoros, tiempo de exposición y espectro del sonido. El espectro del sonido es significativamente importante así como el nivel y el tiempo de exposición lo cual ha sido objeto de distintos estudios. Se puede encontrar que cuando el nivel de presión sonora (NPS) supera los 85 dB(A) es altamente posible que el sistema auditivo sufra daños temporales o permanentes [1]. El efecto directamente auditivo, provoca un desplazamiento en el umbral, que puede ser temporal (TTS: Temporary threshold shift) o permanente (PTS: Permanent threshold shift).

Problemas asociados con la audición debido al ruido son más fáciles de encontrar en la bibliografía, por lo tanto, las patologías asociadas a la exposición prolongada por ruido es medible por profesionales dedicados a esta disciplina, como lo son otorrinolaringólogos y fonoaudiólogos, por mencionar algunos. Estos profesionales evalúan la calidad auditiva mediante estudios cómo audiometrías, impedanciometrías, logaudiometrías, potenciales evocados de tronco, electrocoleografía, entre otros.

El deterioro particular del umbral auditivo, producido por la exposición del oído a elevados

niveles de ruido, es una característica que surge del exceso de NPS, actuando sobre estructuras de un sistema hidromecánico que posee propiedades fisiológicas determinadas [2]. Las células ciliadas del órgano de Corti no se regeneran, por lo que la pérdida auditiva arrojada por estos estudios es irreversible. Debido que los ruidos intensos provocan esta lesión, se debe tener cuidado con la exposición al mismo.

Sin embargo, es menester realizar una descripción de los efectos no auditivos. Existen distintos espectros de ruido que afectan la salud desde el punto de vista fisiológico y psicológico, pero sólo se hará énfasis en aquellos relacionados con las frecuencias bajas.

Fisiológicamente hablando, existen patologías como mareos, náuseas, enfermedades vibro acústicas (*Alves-Pereira-Castelo Branco*), pérdida del equilibrio, fatiga corporal, ahogamiento, disminución en la precisión visual, estrés, reducción del rendimiento entre muchos más y psico socialmente se pueden encontrar efectos cognitivos, memoria, atención y motivación [3] enmascaramiento [4], interferencia en la comunicación [5], etc. Estos problemas si bien no están desligados del nivel del estímulo ni del tiempo de exposición, que en conjunto generan las sensaciones anteriormente mencionadas [5], dependen de otros estímulos relacionados con las bajas frecuencias.

El ruido es definido como un sonido no deseado según distintas fuentes y puede generar efectos no deseados en el organismo.

En distintas ciudades del mundo se han realizado mediciones para caracterizar los ruidos y determinar su control mediante normativas. Hablando específicamente del ruido urbano, distintos estudios realizados en España destacan los siguientes factores principales de ruido:

- 80% debido al tránsito vehicular
- 4% al tránsito ferroviario
- 10% a la industria
- 6% a otros factores (construcción, actividades comunitarias, etc.)

En estos términos, se puede caracterizar las fuentes más importantes del ruido como provenientes del tránsito, de la industrial y el generado por actividades comunitarias y de ocio. [6]

Esta información, específica de España, no es verificable en Argentina, dado que hasta la fecha no se poseen datos ciertos.

2.1 Curvas de ponderación [7]

Las normas Argentinas encargadas de la regulación de ruido ambiental, entre las que se destacan la IRAM 4113 (*Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental: Parte 1 - Magnitudes básicas y métodos de evaluación y Parte 2 - Determinación de niveles de ruido ambiental*), 4070 (*Ruidos: Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles "NC" y "RC"*), 4062 (*Ruidos molestos al vecindario*), 4079, 4061, 4066 y la Ley 1540 con su decreto reglamentario 740, han adoptado la ponderación A, siguiendo a las organizaciones mundialmente reconocidas tales como ISO, ANSI, UNI y UNE.

Esta curva, al igual que la C, se encuentra incluida en los dispositivos destinados a medir el nivel de presión sonora.

2.2 Hipótesis.

Los antecedentes indican que los ruidos de baja frecuencia debido al tránsito y a otras fuentes, producen una molestia cuantificable que podría llegar a desencadenar desordenes de atención [8], lo que muestra la debilidad que se presenta al medir con una ponderación que no da cuenta estrictamente del fenómeno sonoro registrado en esa parte del espectro y de otros fenómenos relacionados a la sensación sonora, aunque a través de los años se haya utilizado en las normativas mundiales.

La caracterización espectral de las fuentes de ruido definen el grado de molestia [9], por lo que resulta conveniente utilizar los decibeles “ponderado A” para evaluar pérdida auditiva en el rango de mayor sensibilidad auditiva (1000 a 4000 Hz), no obstante, daños fisiológicos y psicosociales son causados precisamente sobre las frecuencias que esta curva omite.

3 Metodología.

Con la finalidad de evaluar la correlación de las variables que se tuvieron en cuenta en la hipótesis, se escogieron seis instituciones educativas públicas, considerando su proximidad a vías de tráfico vehicular o ferroviario:

EPB 1/ESB 27:	W. del Tata 4930, Caseros PBA Argentina
EPB 2/ESB 32:	Urquiza 4417, Caseros, PBA Argentina
EPB 3/ESB T4:	G. Lorca 2768, José Ingenieros PBA Argentina
EPB 9/ESB 6:	M. Moreno 5766, Caseros PBA Argentina
EPB 11/ESB 14:	A. Pini 5256, Caseros PBA Argentina
EPB 12/ESB 18:	A. Ferreyra 2679, Caseros PBA Argentina

Para cada establecimiento se planificó llevar a cabo dos etapas de medición.

La **Primer Etapa** consistió en mediciones objetivas, cuya finalidad era la descripción de las características acústicas de cada una de las aulas elegidas.

3.1 Primera etapa

A sus efectos, por cada institución se eligieron dos aulas, las que se denominaron:

Aula A, al recinto considerado por el personal docente como mas ruidoso por su proximidad a fuentes externas de ruido de baja frecuencia.

Aula B, al recinto más silencioso, con la expectativa de tener una diferencia considerable en el nivel de ruido de fondo.

En ambos recintos se midió y registró: el nivel de ruido de fondo, previendo que este iba a ser el estímulo de la siguiente etapa, la respuesta al impulso y las vibraciones, de acuerdo a las siguientes normas:

- Ruido de fondo: IRAM 4113-1 / IRAM 4062

- Registro de ruido de fondo: IRAM 4113-2 Apartado 5.1
- Medición de Tiempo de Reverberación: ISO 3382
- Registro de envolvente dinámica: ISO 3382-1997 Apartado 4.2.2.2
- Evaluación y medición de vibraciones: IRAM 4077 1 y 2

Posteriormente y ya en el laboratorio, se procedió a analizar los datos cuantitativos con el siguiente esquema:

- Comparación de registros y de los niveles medidos, a fin de determinar si la elección del aula B era acertada según el criterio NC/RC.(*IRAM 4070*)
- Procesamiento de ruido registrado en aula A (normalización y filtrado en frecuencia), para obtener la señal necesaria de enmascaramiento y de esta forma realizar el test de atención.
- Procesamiento de los registros de la envolvente dinámica (*ISO 3382*), a fin de obtener los valores de EDT, C50, MTF, STI, RASTI, %ALCONS e IL% de ambas aulas y verificar similitudes edilicias que permitan compararlas con la norma ANSI_S12.60-2002 de diseño de aulas.

Las mediciones permitieron además obtener una serie de descriptores tales como el Leq y el LeqA, permitiendo predecir algunos efectos de la exposición al ruido de fondo tal como el detrimento en la inteligibilidad de la palabra.

En esta etapa se procedió, además a obtener datos sobre: a) el entorno (características internas y periféricas del establecimiento y fuentes de ruido próximas apreciables, tales como, transporte de pasajeros y carga, ferrocarril, etc); b) Número de estudiantes, cantidad de aulas, aulas internas y sobre fachada, cantidad de estudiantes por aula, etc.

3.2 Segunda Etapa

Esta consistirá en el diseño experimental de la investigación a través de mediciones subjetivas.

El índice de claridad C50 y los valores de %ALCONS e IL% obtenidos en el procesamiento de la envolvente dinámica de cada aula, forman parte de los descriptores objetivos recomendados para evaluar la calidad de las mismas.

En esta etapa, se efectuará una verificación de las mediciones objetivas mediante diferentes métodos que involucran varios tipos de ensayos.

Por un lado se verificará el valor de %ALCONS mediante el método subjetivo de Peutz, utilizando el registro de la lista de palabras del Dr. Tato para la lengua española, acorde a la edad de los sujetos bajo ensayo, lista pronunciada por un locutor profesional, normalizada y espaciada según ISO/TR 4870, ensayo constatado por el Journal de la AES (19,12) y teniendo en cuenta que “La pérdida de articulación de consonantes es un criterio para evaluar el índice de transmisión de la palabra en un recinto”.

Simultáneamente se realizará una encuesta estandarizada de evaluación de la molestia a través de un test de atención adecuado a la edad de los niños, con la colaboración de profesionales en el tema.

El diseño de los test y la programación de su evaluación se llevarán a cabo con el asesoramiento del equipo de psicólogas y psicopedagogas del servicio de orientación vocacional de la Universidad de Tres de Febrero (SOEVO), con el apoyo y supervisión de los equipos psicopedagógicos de cada establecimiento educativo. Para la ejecución de la prueba se procederá a:

1. Seleccionar una muestra de estudiantes (n+n)
2. Medir el ruido de fondo en aula B.
3. Reproducir con fuente omnidireccional el registro de ruido de aula A en el aula B, considerando que el Leq con ponderación lineal y ruido de fondo de aula B, da como resultado un valor aproximado al Leq con ponderación lineal registrado en aula A.
4. Asignar n sujetos al azar al grupo A.
5. Administrar los estímulos para efectuar el test de atención y el de inteligibilidad (IL%), recogiendo los datos cuantitativos.
6. Realizar el ensayo del punto 5 sin administración del estímulo.
7. Asignar n sujetos al azar al grupo B.
8. Repetir el ensayo indicado en los puntos 5 y 6.

Realizadas las pruebas subjetivas enunciadas, se realizará el análisis de las muestras obtenidas de acuerdo a una:

- a) Exploración de los datos recolectados mediante mediciones y test.
- b) Análisis descriptivos y visualización de los datos por variable.
- c) Evaluación de la confiabilidad, validez y objetividad de los instrumentos de medición utilizados.
- d) Cuantificación de errores.
- e) Análisis de datos de todos los establecimientos.
- f) Presentación formal de conclusiones y propuestas de soluciones.

Los experimentos se realizarán con y sin el estímulo registrado en la etapa precedente, buscando evaluar si los descriptores objetivos medidos guardan correlación, y en que grado, con los resultados de las mediciones subjetivas.

4 Resultados obtenidos.

A título de ejemplo, se presentan los resultados obtenidos en la medición de niveles de ruido y de respuesta al impulso de una de las escuelas evaluadas (EPB 11/ESB 14).

4.1 Ruido.

Siguiendo los procedimientos indicados en la norma IRAM 4113-1-2, se procesó y analizó el ruido de fondo medido en cada recinto mediante el análisis espectral por octavas y tercios de octavas, promediando los valores obtenidos en diferentes posiciones de cada aula, obteniéndose el gráfico 1 que caracteriza el espectro de nivel de ruido de fondo para el aula A del establecimiento medido.

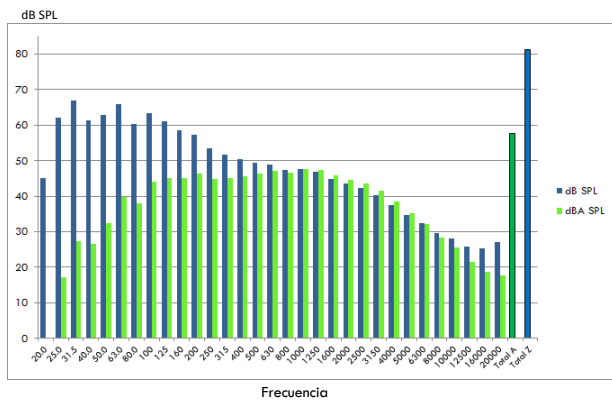


Figura 1. Nivel de presión sonora Aula A - EPB 11/ESB 14.

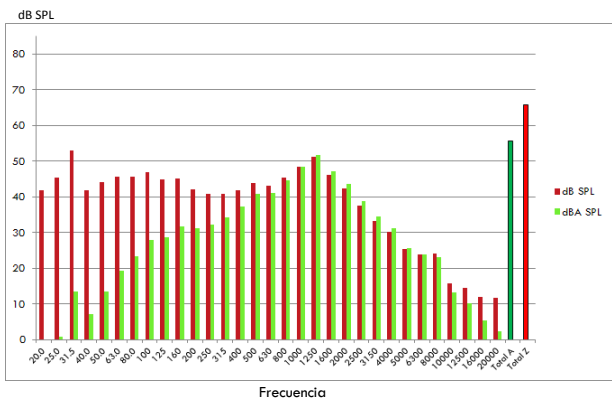


Figura 2. Nivel de presión sonora Aula B - EPB 11/ESB 14.

El mismo procedimiento se aplicó al aula B, donde el gráfico 2 permite observar la distribución energética en bandas de tercio de octava para el recinto que se espera contenga un menor nivel de ruido de fondo.

Las barras en azul y rojo muestran el nivel de ruido de fondo (Leq con ponderación lineal) por banda de tercio de octava promediado para las aulas A y B respectivamente.

A título de información y análisis, se han trazado en ambos diagramas las curvas de ruido de fondo por tercio de octavas en ponderación A, lo que permite apreciar que si bien los niveles no poseen diferencias apreciables de magnitud en las frecuencias medias y altas, difieren de manera apreciable en baja frecuencia, siendo ampliamente superiores en el aula más expuesta al ruido de tránsito (Aula A).

La figura 3 muestra la comparación entre ambos perfiles.

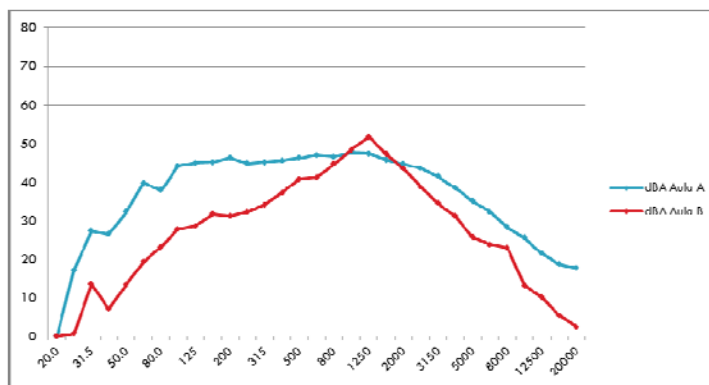


Figura 3. Comparación de niveles de ruido de fondo registrados en el aula A y en el aula B

Los niveles globales obtenidos para ambos recintos son:

Aula A: 57.70 dBA (81.30 dB)

Aula B: 55.60 dBA (65.70 dB)

En este análisis particular se concluye que las mayores diferencias entre los niveles de ruido registrados en ambas aulas se encuentran en las bandas de baja frecuencia (entre 20 Hz y 250 Hz).

Tomando esto en consideración, se plantea la posibilidad de realizar un test de inteligibilidad y atención a los alumnos dentro del aula B (no expuesta a ruido de tránsito), con y sin la reproducción del ruido de tránsito registrado en el aula A, procesado en el espectro indicado.

Esto permitiría la comparación de respuestas con la presencia de una única variable, el ruido de tráfico vehicular de baja frecuencia.

4.2 Perfil normalizado NC.

Basados en la norma IRAM 4070, se trazaron los valores de nivel de presión sonora del ruido de fondo por octavas sobre un perfil normalizado NC obteniéndose los siguientes resultados:

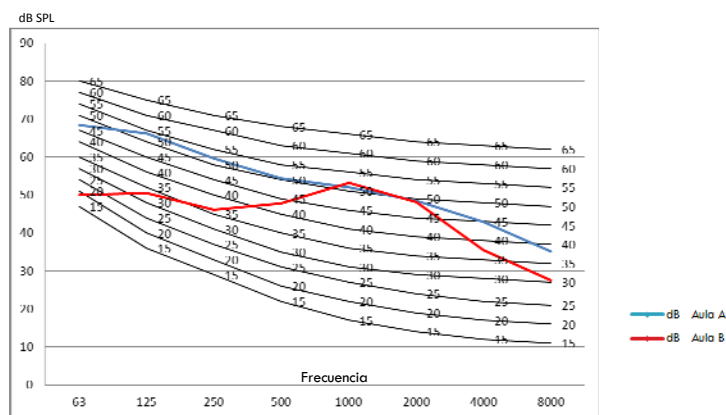


Figura 4. Aula A EPB 11/ESB 14: el ruido de fondo registrado acompaña un perfil NC-54
Aula B EPB 11/ESB 14: el ruido de fondo registrado acompaña un perfil NC-52

Esta normativa sugiere, para aulas y salas de lectura, no superar los perfiles NC-25 a NC-30, con una distribución armónica de niveles por octavas tal que acompañen el mismo y sin valores singulares.

La figura estaría indicando, a priori, un exceso de niveles, lo que se deberá analizar en profundidad con las evaluaciones subjetivas.

4.3 Tiempo de reverberación y parámetros derivados.

Con el propósito de profundizar el análisis del comportamiento de las aulas bajo estudio y de esta forma compararlas con el estándar ANSI S12.60-2002 (Diseño de aulas) y algunos criterios actuales de proyecto [10] [11] [12] [13] [14], se procedió a realizar una evaluación de los parámetros derivados del tiempo de reverberación, tales como los índice de claridad C50 y C80 (Clarity) [15], EDT (Early Decay Time) [16], Integral inversa de Schroeder [17], Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (%Alcons) [18], Inteligibilidad (IL %) [19], STI Índice de transmisión de la palabra (Speech Transmission Index) y RASTI o método reducido.

En la figura 5 y 6 se presentan los resultados del tiempo de reverberación y claridad respectivamente.

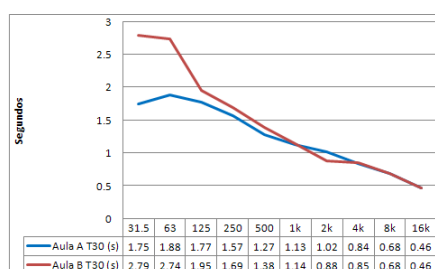


Figura 5. Tiempo de Reverberación - EPB 11/ESB 14.

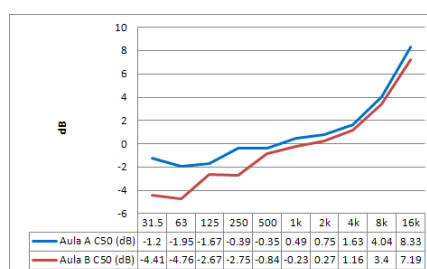


Figura 6. Índice de Claridad - EPB 11/ESB 14.

5 Conclusiones

La interpretación de los datos obtenidos permitirá, mediante pruebas estadísticas, evaluar y cuantificar la correlación entre las variables detalladas en la hipótesis y también la correspondencia entre resultados objetivos y subjetivos. Con respecto a la posible divergencia en estos últimos resultados, se clasificarán las posibles causas trabajando en detalle sobre la ponderación del espectro y los descriptores objetivos seleccionados para describir los efectos de la exposición al ruido de baja frecuencia.

Dado que las aulas analizadas tienen un volumen aproximado de 130 m³, se puede decir que superan los límites de nivel de presión sonora adecuados para el objetivo del lugar, como se ha indicado. Posteriores estudios estarán encaminados a encontrar su correlación con la molestia subjetiva que éste ruido genera.

Los valores de TR también están alejados de aquellos recomendados por cualquier normativa internacional vigente, lo cual indica una disminución de parámetros indispensables para el correcto entendimiento del mensaje transmitido.

Según la Acoustical Society of America y la norma ANSI S12.60:2002, un aula de clases requiere buenas características de inteligibilidad de la palabra, por lo que no debería superar los 35 dBA de nivel de ruido de fondo, para volúmenes menores a 566 m³ y 40 dBA para volúmenes mayores (con una tolerancia máxima de 2dB y 0.1s para TR).

Para el caso particular de este trabajo, los niveles globales de ruido de fondo en las aulas superaron los recomendados, considerando que los volúmenes de las aulas A y B son menores a los especificados. En el aula A se ha registrado un nivel sonoro continuo equivalente ponderado A de 57.70 dBA y en el aula B de 55.60 dBA, integrándole el hecho de poseer un gran contenido de ruido de baja frecuencia, producto de las cercanías con el ferrocarril de tracción diesel y el tránsito automotor pesado.

Los ensayos subjetivos planeados permitirán verificar la influencia de esos ruidos sobre los alumnos y la necesidad en caso de ser necesario de proponer un cambio de ponderación para diseñar este tipo de recintos.

6 Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración prestada por: Radio Universidad de la Matanza para confeccionar la lista de palabras; La coordinación, los docentes, los alumnos y el centro de orientación vocacional de la carrera de Ingeniería de sonido de UNTREF, el programa de incentivos a la investigación, los directores, docentes y alumnos de las escuelas analizadas y a los directores del distrito educativo del partido de Tres de Febrero.

7 Referencias

- [1] Kuttruff, Heinrich: *Acoustics, an introduction*. Editorial: Taylor & Francis, London, 2007
- [2] Santos Tieso. *Fisiología Auditiva*, Ediciones Corrales, Buenos Aires, 2006
- [3] Gary W. Evans; Stephen J. Lepor. *Non-auditory Effects of Noise on Children: A Critical Review*, Children, Youth and Environments, 1993
- [4] Gelfand S: *Hearing*, Third edition, Marcel Dekker, New York, 1998.
- [5] Kryter: *The Effects of Noise on Human*, second edition, Academic Press, London, 1985
- [6] Manuel Rejano de la Rosa. *Ruido industrial y Urbano, Editorial paraninfo, 2000*
- [7] Fletcher y Munson. *Loudness it's definition, measurement and calculation JASA, 1933.*
- [8] OMS. *Community noise*. Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
- [9] Karld; Kryter. *Non-Auditory Effects of Environmental Noise*, Second edition, Academic Press, London, 1985
- [10] Technical Committee on Architectural Acoustics, 2000. *Classroom Acustics*. Acustical Society of America, <http://www.nonoise.org/library/classroom/>.
- [11] Nelson; Soli; Seltz. Technical Committee on Speech Communication. *Classroom Acustics: Acustical barriers to learning*. Acustical Society of America's 2002, <http://www.centerforgreenschools.org/docs/acoustical-barriers-to-learning.pdf>.
- [12] Leventhall; Benton; Robertson. *Coping Strategies for Low Frequency Noise.*, Department for Environment, Food and Rural Affairs 2005, <http://coping.confweb.org/Papers/Coping%20JLFNV.pdf>
- [13] Lamancusa. *Instrumentation for Noise Measurement*, Pennsylvania State University, 2000 <http://www.me.psu.edu/lamancusa/me458/7Instruments.pdf>
- [14] Daniels; Freemantle; Patel. *Acoustic design of Schools*, Department of education and skills, London, 2010. www.connevans.com/information/BB93_teachernet_gov.pdf.
- [15] Reichardt, W.; Lehmann, U. *Definition eines Raumeindrucksmaßes R zur Bestimmung des Raumeindrucks bei Musikdarbietungen auf der Grundlage subjektiver Untersuchungen*. Applied Acoustics, 1978, pp 99.
- [16] Kuttruff Heinrich. *Room acoustics*, Capítulo 5, Editorial Elsevier Applied Science. Gran Bretaña, 1991.
- [17] Schroeder M. R. *Frequency-correlation functions of frequency responses in rooms*, *Journal on the Acoustical Society of America* 34 (12), 1962, pp.1819-1823.
- [18] Peutz A.; Klein. *Sound System Engineering*. Davis y Davis, Ed. Howard Sams y Co. Segunda edición, 1987.
- [19] Fuch G. L. *Medición de inteligibilidad*, 1965.
- [20] Loro; Zannin. *Perception of teachers and pupils to the acustics of classrooms*. Acoustics, Paris, 2008.