

DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.604380>

Estudio objetivo y propuestas para el mejoramiento acústico en una escuela de Tafí Viejo, Tucumán, Argentina.

Leonardo Paterlini¹; Beatriz Garzón²

Resumen:

El presente trabajo tiene como propósito mostrar la evaluación acústica que se realizó a una escuela (aulas y exteriores) en Tafí Viejo, Tucumán, Argentina. Sus objetivos son: 1) identificar, analizar y evaluar diferentes variables acústicas (ruido, tiempo de reverberación (TR), inteligibilidad de la palabra) dentro de los espacios educativos; 2) realizar propuestas arquitectónicas para mejorar el confort acústico. Se utilizó una combinación metodológica que se enmarca en la Investigación Acción Participativa. Para las diferentes etapas de la investigación se utilizaron diferentes metodologías: a) el método de estudio de caso; b) el método exploratorio; c) el método descriptivo; d) el método analítico, el método deductivo. Para cada situación se utilizaron diferentes herramientas que permitieron realizar: 1) mediciones objetivas

de ruido con instrumental normado. 2) mediciones objetivas de TR con el método impulsivo; 3) determinación de la inteligibilidad de la palabra, a través del método matemático de "Pérdida de articulación de consonantes", 4) generación de propuestas para el mejoramiento de la aislación y TR dentro de las aulas para alcanzar una inteligibilidad aceptable. Los resultados obtenidos muestran que en las aulas existen problemas de ruidos que son generados dentro del aula misma principalmente; problema que se ve acentuado por los altos tiempos de reverberación debido a los materiales usados para materialización de las superficies interiores de las aulas, los que son reflectantes en su mayoría, dando como resultado una mala inteligibilidad de la palabra. Es posible lograr el mejoramiento de las aulas implementando materiales fonoabsorbentes en el interior de las aulas.

¹ CONICET, FAU-UNT. Av. Néstor Kirchner N°1900, CP4000

² CONICET, MINCyT, FAU-SCAIT, UNT. Av. Néstor Kirchner N°1900. CP4000, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina | *paterlinileonardo@gmail.com, bgarzon06@gmail.com

Palabras clave: Aulas; aislación Acústica; Reverberación; Inteligibilidad; Confort acústico

Introducción:

Una de las problemáticas más acentuadas dentro de los espacios educativos en la actualidad, es la falta de confort acústico. Esto, lleva indiscutiblemente a un déficit en el proceso de la enseñanza – aprendizaje.

A lo largo de los años, se han realizado en la República Argentina, diferentes planes con el fin de dotar de edificios públicos destinados a la enseñanza en jardín de infantes, primario y secundario. Inclusive los modelos educativos han sido modificados para adaptarse a las nuevas generaciones en pos de mejorar la relación alumno – profesor. El principal fin, siempre es el mejoramiento de los estándares académicos de los alumnos. Para el desarrollo de estos planes y la construcción de estos nuevos edificios, los diferentes Ministerios de la Nación, realizaron publicaciones donde explicitan las normas y estándares de calidad que deben cumplir tales edificios. Las indicaciones son de variada índole; por ejemplo, orientaciones, ventilaciones, lumínico y otro sin fin de buenas indicaciones; pero los aspectos acústicos han sido pasados por alto.

En la actualidad existen numerosas estrategias y acciones para lograr el me-

joramiento acústico de espacios áulicos. Pero se debe destacar que tales acciones, al ser implementadas posterior a la construcción de los edificios, no tienen el mismo impacto, ni en lo tecnológico ni en lo económico. El caso ideal es proyectar estos edificios teniendo en cuenta los aspectos acústicos para su apropiado funcionamiento.

Objetivos

El objetivo principal de la presente investigación es determinar las diferentes variables acústicas (tiempo de reverberación, ruido, aislación, inteligibilidad de la palabra) dentro de las aulas.

Los objetivos particulares son generar propuestas para el mejoramiento de tales espacios a fin de alcanzar el confort acústico.

Metodología

Para la determinación de los diferentes parámetros acústicos, se realizaron trabajos de campos donde se determinaron los niveles sonoros L_{eq} ; L_{10} y L_{90} exteriores e interiores a la escuela y sus aulas. Tales mediciones fueron realizadas de acuerdo a las NORMAS IRAM 4113-1, y NORMA IRAM 4113-2 "Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental". Las mediciones fueron realizadas con un sonómetro marca Lutron de clase 1 calibrado con un calibrador clase 1 marca Brüel & Kjaer. Para determinar los tiempos de reverberación

(TR_{60}) internos de cada aula se utilizó la NORMA IRAM 4109-1 y NORMA IRAM 4109-2, "Medición de parámetros acústicos en recintos normales". Se utilizó el método impulsivo que consiste en realizar explosiones dentro del espacio que superen en 60 dB el ruido de fondo. Se realizaron mediciones de control con 2 posiciones para la fuente y 3 posiciones para el receptor. El estudio realizado a las mediciones fue realizado en banda de octavas como indica la Norma para mediciones de control. Se utilizaron las NORMAS ANSI 12.60 y el Building Bulletin 93 (BB93) como parámetros de comparación para las mediciones y lo que ellas establecen como máximo y mínimo de tiempos de reverberación en espacios áulicos. El equipamiento utilizado fue un micrófono de medición Behringer ECM8000 con una placa de sonido Line 6 UX2. El software de estudio elegido fue Audacity para Windows con un módulo de Aurora de Angelo Farina

Marco teórico

Para tener una comprensión global del trabajo, es necesario definir los siguientes aspectos:

Nivel de presión sonora equivalente ponderado en A ($L_{eq,A}$): es aquel nivel continuo en dB(A), el cual, produciría la misma energía sonora en el mismo tiempo que el suceso dado. Normalmente se extiende el período de observación a 24 horas, a menos que se indique lo

contrario. Según el Building Bulletin 93, este valor debería ser entre 35 dB y 40 dB para la educación en primaria y secundaria. También indica que no se debería superar los límites de 55dB dentro de las aulas.

$$L_{eq,A} = 10 \log \left(\frac{\sum ti 10^{L_i/10}}{T} \right)$$

L_{10} : es un término estadístico. Nivel sonoro en dB(A) que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación. Representa el nivel de "ruido pico", el que causa más molestias.

L_{90} : es un término estadístico. Nivel sonoro en dB(A) que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación. Es representativo del nivel de ruido de fondo.

Tiempo de reverberación: tiempo que transcurre desde que cesa una fuente sonora hasta que las reflexiones cesan. El parámetro para la determinación de la reverberación apropiada es el TR_{60} , que es el tiempo que transcurre desde que cesa una fuente sonora hasta que la energía decae en 60 dB respecto de la primera. Tanto para las Normas ANSI 12.60 como las Building Bulletin 93 (BB93), el TR_{60} para la función escolar es de 0,6 segundos o menos. Otros tiempos de reverberación harán que en la inteligibilidad de la palabra sea deficiente en detrimento del aprendizaje escolar.

Análisis de la escuela

San Miguel de Tucumán se encuen-



Imagen 1. Foto Satelital de San Miguel de Tucumán. Google Earth

tra al noroeste de la República Argentina. El barrio de Lomas de Tafi se materializó hace unos 15 años, aproximadamente, para dar solución habitacional a la clase media; y, al día de hoy sigue en consolidación. El mismo fue dotado de todos los servicios primarios; entre ellos,

cuanta con una Escuela Secundaria Lomas de Tafi que ha sido construida bajo los pliegos de especificaciones técnicas del Plan Nacional 700 Escuelas.

La imagen 3 muestra la planta de la escuela, marcadas las aulas estudiadas.



Imagen 2. Ubicación de la Escuela Secundaria Lomas de Tafi. Google Earth



Imagen 3. Planta de la escuela. Plan Nacional 700 Escuelas.

Determinación de los niveles de ruido

En los pliegos de especificaciones para la construcción de escuelas, no hay ninguna indicación al respecto de las características que las escuelas deben cumplir para alcanzar ciertos estándares acústicos para su apropiado funcionamiento.

Según lo indica el BB93, las mediciones de ruido en espacios áulicos se deben hacer sin personas adentro y sin la incidencia de las otras aulas. Para tal situación los niveles de $L_{eq,A}$ deben estar entre los 35 y 40 dB. En las mediciones realizadas al aula señalada en el gráfico 3, los niveles de $L_{eq,A}$ corresponden a 57,6 dB. Muy por encima de lo recomendado.



Imagen 4. Fachada de la Escuela Secundaria Lomas de Taft. Producción propia.

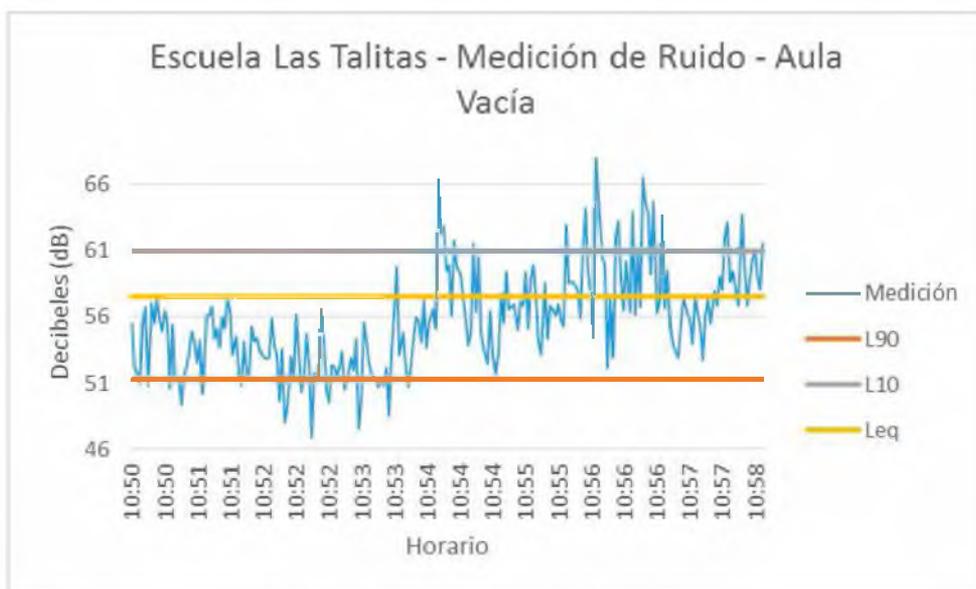


Imagen 5. Medición de ruido en aula vacía.

La siguiente medición se realiza a fin de determinar a qué niveles de ruido se encuentran sometidos los alumnos y docentes diariamente. Los niveles de Leq, A medidos durante una clase, en este caso de física, corresponden a 70,8 dB.

Las Normas IRAM de higiene y seguridad nos indican que las dosis de ruido a la que una persona podría estar sometida son de 80 dB durante 24 horas. Con lo cual no se estaría incidiendo en la salud de alumnos y profesores, pero si en el proceso enseñanza - aprendizaje.

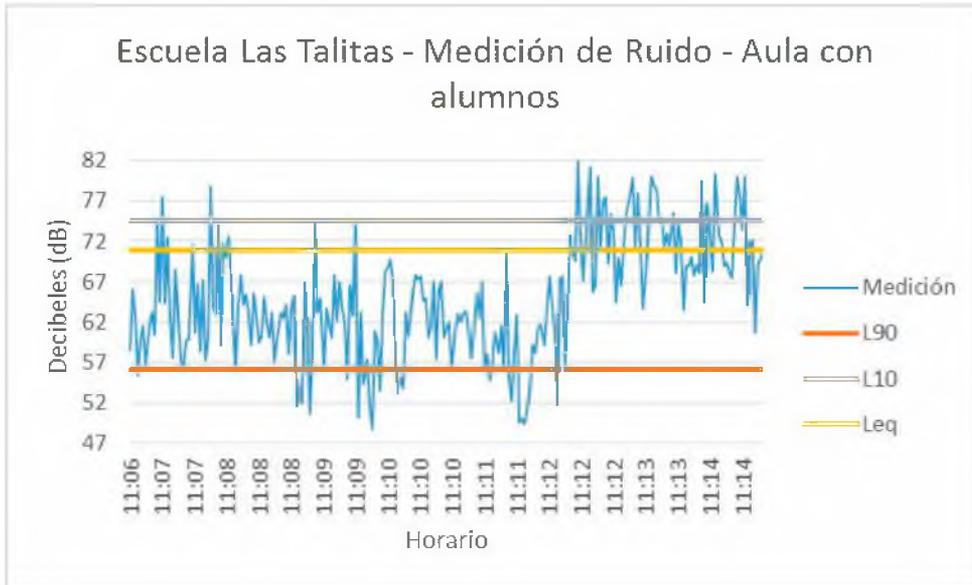


Imagen 6. Medición de ruido en aula durante clases de física.



Imagen 7. Desarrollo de las mediciones durante las clases de física. Producción propia

Los tres gráficos a continuación muestran las mediciones realizadas en los exteriores de la escuela. En todos los casos debemos destacar que desde la calle, que es el foco de ruidos principal, hasta la fachada de la escuela hay aproximadamente 15 metros. Las

mediciones corresponden al ruido en estos canales de circulación vehicular y la incidencia de los mismos se verá disminuida por la distancia. Por lo tanto, se puede decir que la incidencia de los ruidos urbanos dentro de la escuela será despreciable.

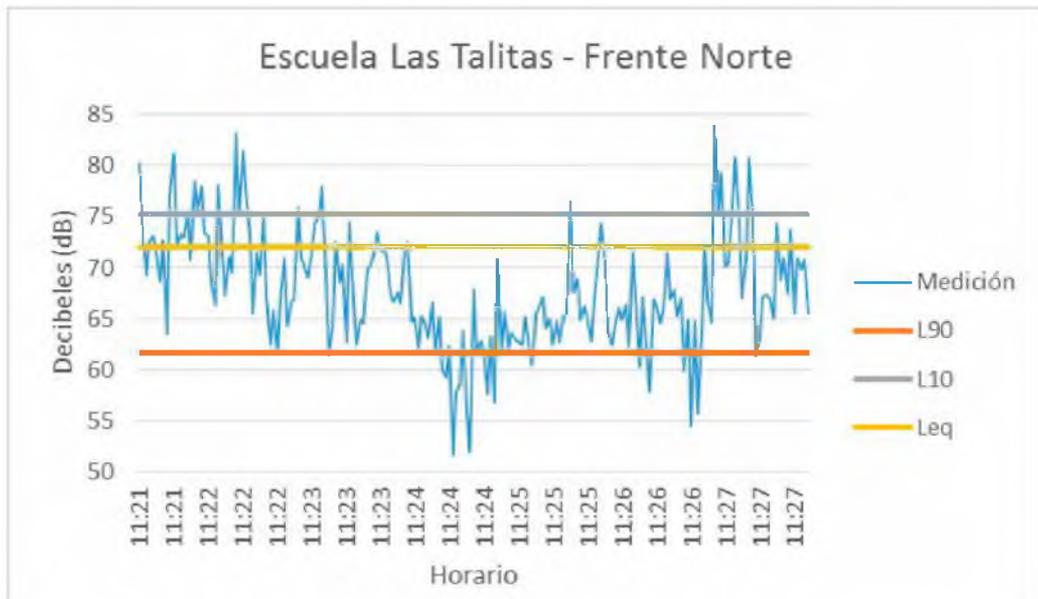


Imagen 8. Medición de ruido sobre la cara hacia el frente principal de la escuela.

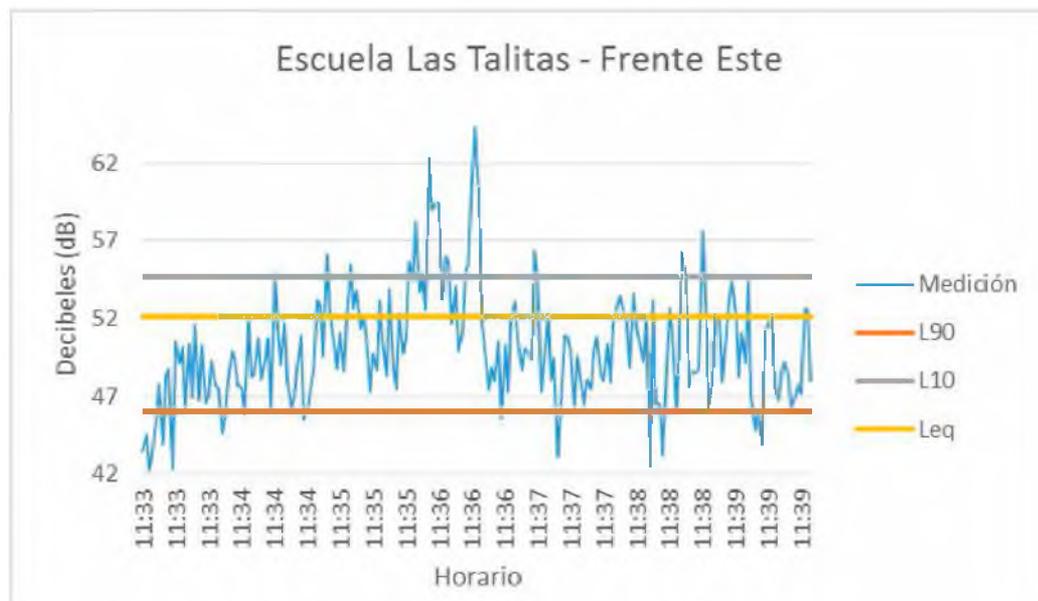


Imagen 9. Medición de ruido sobre el lateral este.

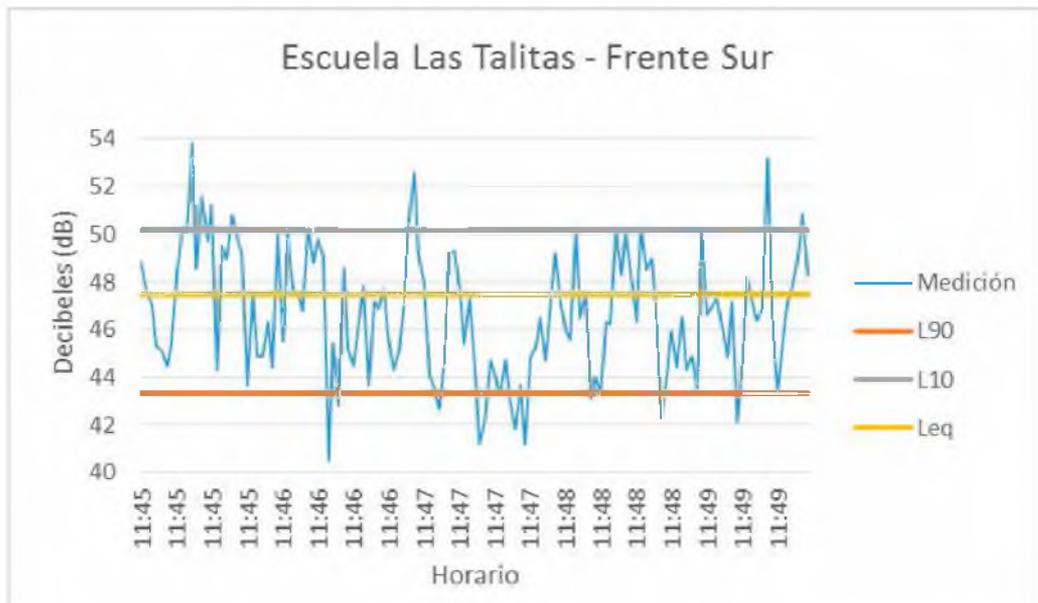


Imagen 10. Mediciones sobre la fachada sur de la escuela.

Determinación de los tiempos de reverberación

Las mediciones de tiempo de reverberación se realizaron según indica las

normas, por el método impulsivo. En 2 puntos testigo se hicieron explosiones de globos con 3 posiciones de micrófonos. En total fueron realizadas 6 mediciones. Los resultados se muestran en el gráfico 13.



Imagen 11. Mediciones de tiempo de reverberación por el método impulsivo. Producción propia

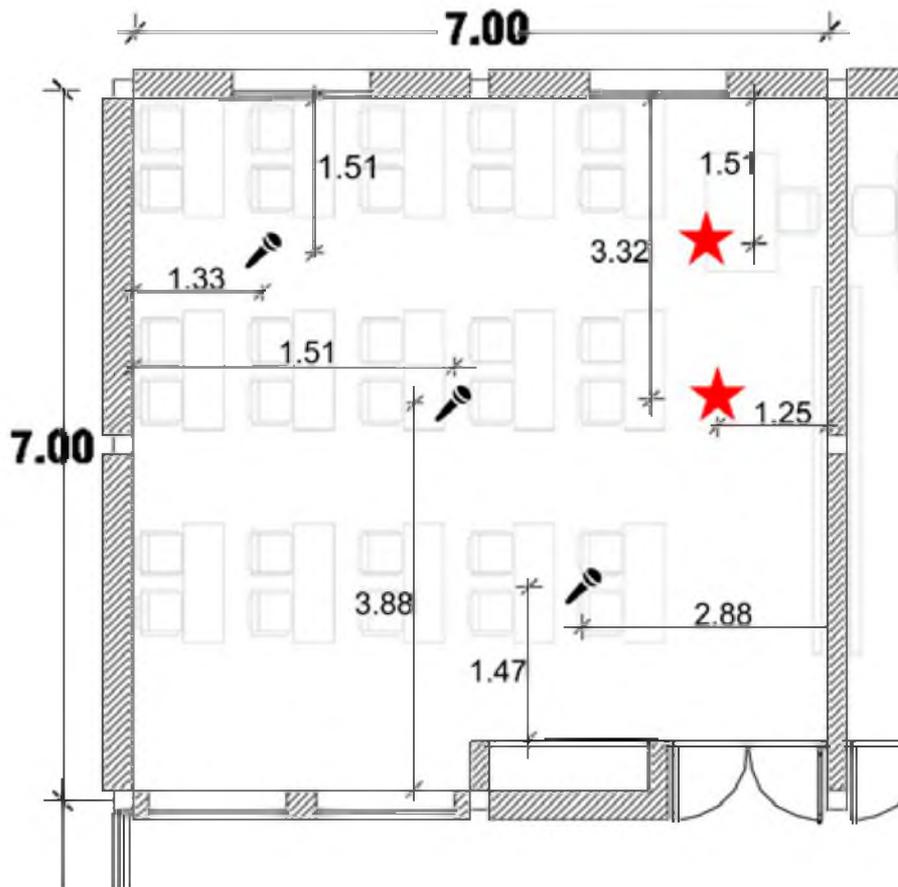


Imagen 12. Planta del aula y método impulsivo para determinar el TR_{60} .

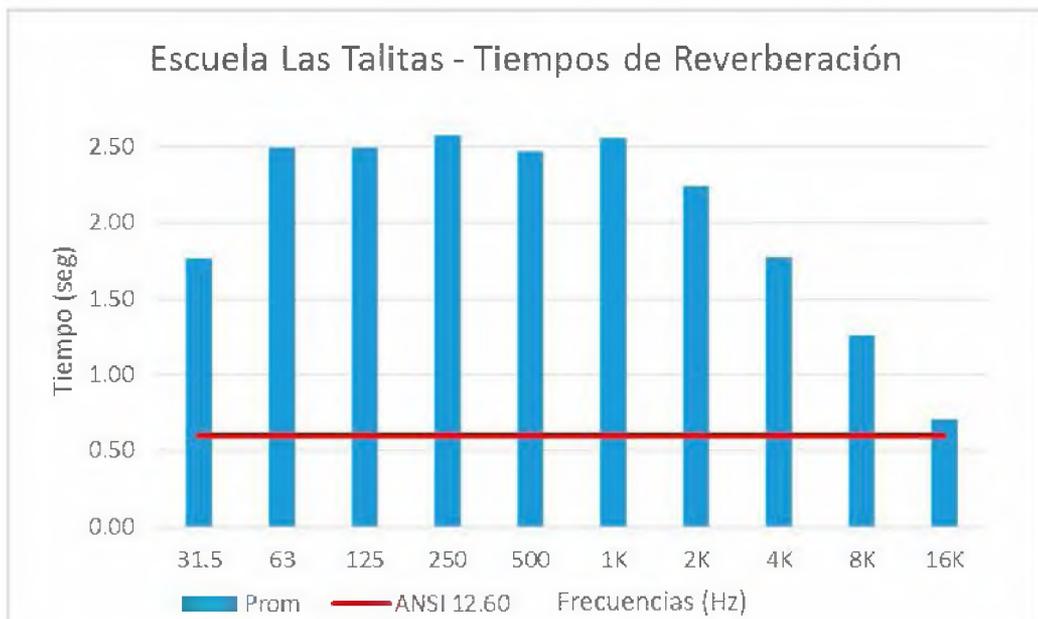


Imagen 13: Resultados del TR_{60} en comparación con el apropiado para aulas de BB93 y ANSI 12.60

A partir de la medición se observa que los tiempos de reverberación están muy por encima del recomendado. Esta situación generará que dentro del aula haya una pérdida de la inteligibilidad del mensaje, ergo, un déficit en el proceso enseñanza – aprendizaje.

De los resultados obtenidos de las mediciones de ruido y reverberación, se puede decir que el problema acústico es el generado principalmente por la actividad misma dentro de las aulas y, no está relacionado con factores ajenos a la misma. El ruido es un factor que afecta el desarrollo de las clases, pero es un ruido que va a poder ser absorbido internamente si se aplican materiales absorbentes para disminuir el campo reverberante, que hace que tales ruidos se exacerbén. Al instalar tales materiales absorbentes, los tiempos de reverberación también disminuirán logrando confort acústico dentro de las aulas, por ende una mejora en los procesos enseñanza – aprendizaje.

Propuestas para el mejoramiento acústico

A partir de las mediciones realizadas, se procedió a realizar una propuesta para el mejoramiento acústico del aula.

En la actualidad las aulas tienen pisos graníticos, losas pintadas y paredes con revoque fino pintado. También, las ventanas son de vidrios simples de 4 mm. Como se observa en la foto a continuación (*Ima-*

gen 14), cuentan con espacios de guardado con puertas de madera.

En general, todos los materiales tienen coeficientes de absorción muy bajos, determinando que los tiempos de reverberación sean elevados.

La propuesta para el mejoramiento es colocar un cielorraso fonoabsorbente. Se eligieron los paneles Armstrong para cubrir una superficie de 37,5 metros cuadrados. Tal superficie logra que los tiempos de reverberación medios estén alrededor de los 0,6 segundos. Los paneles se intercalan con paneles de iluminación OSRAM DEDRA plus. En total se previeron 14 luminarias para obtener una iluminación adecuada para la función. Para el resto de la superficie se seleccionaron paneles ciegos con bajo coeficiente de absorción como se muestra en la siguiente imagen.





Imagen 14. Interior de las aulas en la actualidad. Producción propia

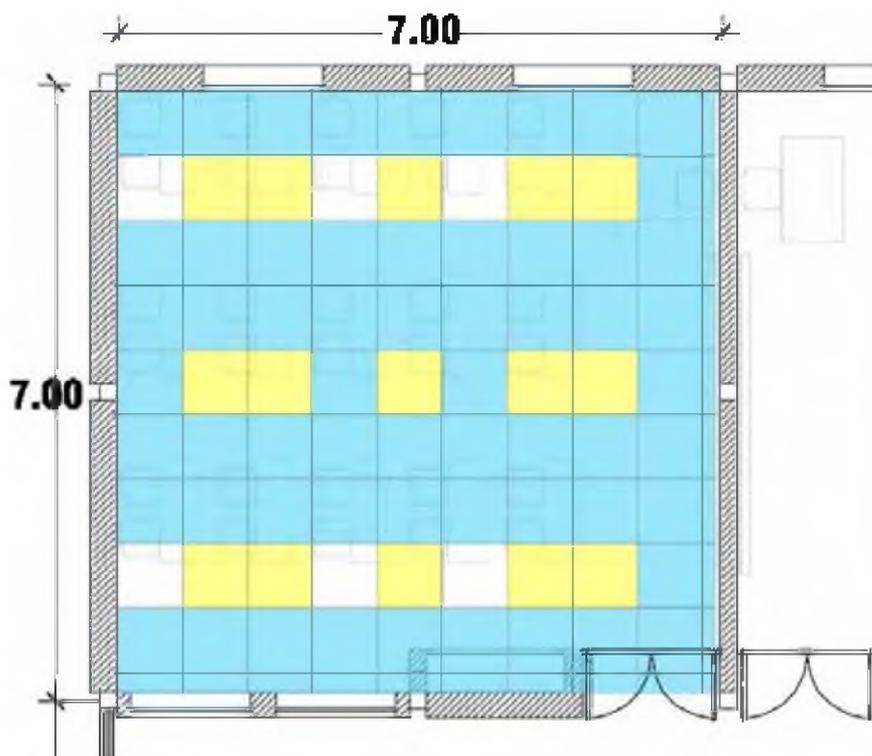


Imagen 15. Planta para la ubicación de paneles fonoabsorbentes e iluminación.



Imagen 16. Aula con las mejoras propuestas. Producción propia.

Conclusiones

En las escuelas proyectadas dentro del Plan Nacional 700 Escuelas, no han sido previstas las condiciones acústicas que deben cumplir los edificios en general y las aulas en particular. Esto llevó a que la construcción de las mismas no cumpla con ningún estándar de necesidad acústica. Hoy en día, para remediar tal situación, se debería hacer una inversión de importancia.

Si bien, no existen ruidos urbanos que generen discomfort, el no tener

materiales acústicos fonoabsorbentes como revestimiento de las superficies de los espacios interiores los convierte en excesivamente reverberantes, lo cual genera una situación de déficit sonoro.

Muchos de los problemas acústicos podrían haber sido evitados si se tuvieron en cuenta en la etapa de diseño de las escuelas la consideración e incorporación de materiales aislantes acústicos y materiales absorbentes según corresponda.

Bibliografía

1. Pasch, V.; Miyara, F.; Yanitelli, M.; Cabanellas, S.; Miechi, P.; Accolti, E.; Marenco Rodríguez, F. Acústica de Aulas. *Arquitectura Investiga*, 2012. p. 3.
2. Architects and Building Branch. *Building Bulletin 93. Acoustics Design os Schools*. London 2003.
3. Segura J. M. "El problema de la educación". *La Gaceta*, San Miguel de Tucumán. Publicaciones web. <http://www.lagaceta.com.ar/nota/622382/opinion/problema-educacion.html>, 2015.
4. Longoni, H. C.; Ferreyra, S. P.; Cravero, G. A.; Flores, M. D.; Ramos, A. y Tommasini F. C. Evaluación objetiva del espectro del ruido de fondo en aulas universitarias. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Mecánica Computacional Vol. XXXIII*. 2014. p. 570.
5. Pasch, V.; Miyara, F.; Yanitelli, M.; Cabanellas, S.; Miechi, P.; Accolti, E.; Marenco Rodríguez, F. *Acústica de Aulas. Arquitectura Investiga*, 2012. p. 12
6. Garzón, B.; Paterlini, L.; Soldati, E.; Cerasuolo, N. "Puntos de ruido en San Miguel de Tucumán, investigación, evaluación y recomendaciones"; I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable – en la Expo ENCACS 2016 organizado por el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad La Plata – Buenos Aires. 2015.
7. Paterlini, L.; Garzón, B. XIV ENCAC Encuentro Nacional de Conforto no Ambiente Construido. X ELACAC Encuentro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construido. "caracterización acústica de la arteria principal de la ciudad de san miguel de Tucumán". ISBN 978-67169-08-8. ISSN 21756333. 27, 28 y 29 de Septiembre de 2017. Campus Univali. Balneario de Camboriú. Santa Catarina. Brasil.
8. Paterlini, L.; Garzón, B. "Evaluación acústica de aulas en 3 escuelas en Tucumán". 48th Congreso Español de Acústica TECNIACUSTICA 2017. Encuentro Ibérico de Acústica. European Symposium on underwater acoustics applications. European Symposium on Sustainable Building Acoustic. ISBN 978-84-87985-29-4. ISSN 2340-7441 (versión digital). Coruña. España. 4 al 6 de octubre de 2017.
9. Paterlini, L.; Garzón, B.; Soldati, E.; Cerasuolo, N. "Evaluation and comparison of acoustic insulation of traditional and alternative masonry in Tucumán". 22nd International Congress on Acoustics. ICA 2016. Buenos Aires. 2016.
10. Acoustical Society of America. "ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools". United States of America. 2002.