

DISEÑO ACÚSTICO DE LAS AULAS DE CLASE DE LA NUEVA CONSTRUCCIÓN DEL COLEGIO DISTRITAL “I.E.D REPÚBLICA DE COSTA RICA”

Ingeniera Acústica Laura Vanesa Acero

lacer@ecustic.co

Ingeniero Acústico César Darío Bustos

cbustos@ecustic.co

Abstract

The main goal of this project was to study, analyse and give practical solutions to overcome the poor acoustic situation of the classrooms in the I.E.D República de Costa Rica. This project demonstrates the mediocre acoustic treatment that the classrooms have, and it also highlights additional problems that may have been overlooked by the academic community including not only physical and medical issues but additional problems related to the academic performance of both teachers and students. This project shows appropriate ways to treat all educational spaces based on acoustics simulations, and it also guarantees that all spaces will conform to all international recommendations and regulations.

1. Introducción

La educación es un eje fundamental para el desarrollo de la sociedad, ya que es con éste que se adquieren todas las habilidades y conocimientos que forman al hombre para vivir en sociedad, solucionar los problemas que hoy en día se afrontan y mejorar la calidad de vida.

Hay numerosos estudios por parte de reconocidas organizaciones internacionales donde se demuestran los resultados negativos del proceso *aprendizaje-enseñanza* y del desarrollo cognitivo del estudiante cuando se está expuesto a un alto valor de ruido, además del desgaste físico y psicológico de los docentes. Es por ello que se debe tener un ambiente de aprendizaje adecuado, donde la transmisión de la

palabra y la comunicación docente-estudiante sea apropiada y donde la capacidad de concentración no se vea afectada por exposición a alto ruido, para de esta manera lograr altos niveles de educación.

Asimismo, la demanda en construcción de colegios distritales en Colombia no ha tenido en cuenta problemáticas relacionadas con el funcionamiento acústico de las aulas ya que ciertos factores como el tiempo de reverberación, inteligibilidad de la palabra, aislamiento entre aulas y de ruido externo, no cumplen con recomendaciones internacionales. Como consecuencia, la comunidad escolar presenta quejas constantes referentes al exceso de ruido acumulado en las aulas.

Es por ello que se debe hacer frente a este problema con el adecuado tratamiento acústico de las aulas. En este artículo se presenta una solución basada en simulaciones de elementos finitos, lo cual aseguraría el cumplimiento de las recomendaciones internacionales.

2. Descripción del espacio

La institución, cuenta con 2 bloques que tienen diversos espacios para el aprendizaje de los alumnos, entre estos están 35 aulas de clase, laboratorios de física y química, aula de música, manualidades e informática, biblioteca, sala múltiple, aula audiovisuales y oficinas administrativas. Cabe acotar que la institución consta de tres jornadas (mañana y tarde) y así

mismo los estudiantes van desde los grados tercero hasta once.

Dentro de la institución solo se encuentran dos tipos de salones, los que están en el primer y segundo piso que serán llamados de ahora en adelante salón tipo 1, y los salones en el tercer piso que serán llamados salones tipo 2.



Figura 1. Salones Tipo 1



Figura 2. Salones Tipo 2

3. Desarrollo Ingenieril

Con el fin de presentar una solución única para cada tipo de salones, se realizó una tipificación de todos los recintos en base a mediciones acústicas y análisis de ruido de fondo.

3.1 Ruido de fondo

El colegio se encuentra ubicado en una zona donde se tienen diversas fuentes de ruido como de tráfico vehicular y/o de tráfico aéreo. El ruido producido por estas fuentes se convierte en una formidable barrera para el aprendizaje de los alumnos y así mismo a la salud de la comunidad escolar por dos razones:

- Si el ruido de fondo supera las recomendaciones dadas, los alumnos tendrán un menor grado de concentración en sus clases e interfiere directamente con el entendimiento de la palabra hablada; además se ha comprobado que la presencia continua de una fuente de ruido proporciona efectos negativos sobre las habilidades de los niños para leer¹.
- Para que los alumnos logren entender lo que el maestro está enseñando, debe existir una relación señal a ruido de por lo menos $+15 \text{ dB S/R}^2$, es decir los profesores deben hablar 15 dB por encima del ruido de fondo en el colegio para ser entendidos, si dicho ruido de fondo supera las recomendaciones dadas, el profesor debe incrementar el nivel de su voz causando fatiga al hablar, reduciendo el número de interacciones verbales con los alumnos y así mismo aumentando el ausentismo debido a posibles enfermedades causadas por dicho esfuerzo³.

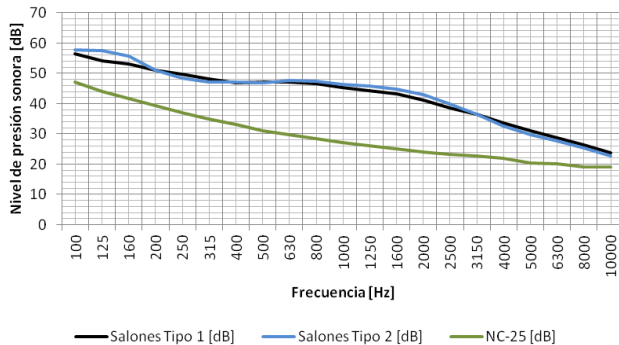
Según las recomendaciones dadas por “ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools” los niveles máximos permisibles de ruido de fondo para aulas de clase cerradas con un volumen menor a 283m³, deben estar entre 35 y 55 dB(A), es decir que dichos niveles se deben ajustar a las curvas NC (Noise Criteria) 25-30.

¹ Design of Child Care Centers and Effects of Noise on Young Childrens, Dr. E.Maxwell & Dr. W. Evans, Cornell University – p 2.

² Classroom Acoustics, Publication of the Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America, p 4.

³ The Impact of Classroom Acoustics on Scholastic Achievement, Louis C. Sutherland and David Lubman, 17th Meeting of the International Commission For Acoustics – p 2.

A continuación se mostrara el promedio del ruido de fondo medido en los dos tipos de salones con el fin de comprobar si son los estándares son cumplidos o no tanto en la gráfica 1:



Gráfica 1. Comparación de valor de ruido de fondo con curvas NC-25.

Como se puede observar en la gráfica 1, se evidencia que las aulas de clase no cumplen con los niveles máximos permisibles para ofrecer un óptimo ambiente de aprendizaje y así mismo se puede deducir que los profesores deben elevar su voz casi hasta 70 dB para que el mensaje hablado sea correctamente transmitido, produciendo así la posibilidad de absentismo en sus diarias actividades profesionales.

Así mismo, el ruido de fondo no se acomoda a las recomendaciones NC 25-30, por lo cual se concluye que los elementos constructivos de las fachadas no permiten un aislamiento adecuado.

Para el desarrollo del proyecto se realizaron estudios de ruido de fondo para las fuentes de ruido de tráfico; de ruido producido por alumnos en aulas de clase; y por el ruido emitido desde el patio central y de distancias críticas. No se presentarán los resultados para evitar extender el presente artículo, más se garantiza que los recintos mostraron un comportamiento suficientemente homogéneo para realizar una tipificación acertada.

3.2 Tiempo de reverberación

Para el análisis de tiempo de reverberación se tendrá en cuenta el parámetro T10 de 60 Hz a

16000Hz, para tener así un estimado más aproximado, ya que debido a la presencia de fuentes externas como ruido de tráfico y aeronáutico, el verídico resultado de las mediciones puede ser significativamente afectado. Uno de los requisitos de diseño más importantes en un recinto destinado al habla, es un bajo tiempo de reverberación. A continuación se presenta el promedio aritmético de las mediciones en comparación con la norma ANSI S12.60-2010/Parte 1.

Salón Tipo	T10 Actual	Rt Ideal	¿Cumple?
Tipo 1	1,99 s	$Rt \leq 0,6$ s	NO
Tipo 2	1,63 s	$Rt \leq 0,6$ s	NO

Tabla 1. Comparación de tiempo de reverberación medido contra tiempo de reverberación recomendado según ANSI/ASA S12.60-2010/Parte 1.

Cuando se tiene un alto tiempo de reverberación, la inteligibilidad de la palabra se ve negativamente alterada ya que reduce la capacidad de los alumnos de entender la información que el profesor está instruyendo. Este problema afecta a toda la comunidad escolar pero se debe prestar especial atención a los niños de menor edad, debido a que no han desarrollado aún la capacidad de “predecir por contexto”⁴ ya que tienen un vocabulario limitado, por lo que si pierden algunas de las palabras dichas por el orador, no serán capaces de deducir las palabras faltantes.

Por otro lado los alumnos que no tienen una clara comunicación oral en las aulas de clase, están más propensos a desarrollar problemas de comunicación interpersonal, ya que existe la tendencia de culpabilizarse a sí mismo por no escuchar correctamente⁵.

Los tiempos de reverberación inadecuados en un aula de clase, se presentan debido al uso excesivo de superficies duras y reflejantes dentro del salón (ventanas, cielorrasos duros, paredes en

⁴ Classroom Acoustics, Publication of the Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America, p 2.

⁵ EPA - Indoor Air Quality (IAQ) Tools for Schools, Stress and Behavior

ladrillo). Ninguna de estas superficies posee valores significativos de absorción acústica y por lo tanto se presentan reflexiones especulares indeseadas que interfieren con el sonido directo producido por el orador.

3.3 Inteligibilidad de la palabra

Acorde a los resultados de las mediciones de tiempo de reverberación se estudiaron 3 de los parámetros más importantes de inteligibilidad; STI, Rasti y ALcons.

A continuación se muestran los resultados comparados con las recomendaciones internacionales:

Salón Tipo	Valores Medidos			Valores Recomendados		
	STI	RASTI	%ALcons	STI	RASTI	%ALcons
1	0,49	0,47	13,19	$0,7 \geq \text{STI} \leq 1$	$0,7 \leq \text{RASTI} \leq 1$	$0 \geq \text{ALcons} \leq 1,3$
2	0,52	0,47	13,32	$0,7 \geq \text{STI} \leq 1$	$0,7 \leq \text{RASTI} \leq 1$	$0 \geq \text{ALcons} \leq 1,3$

Tabla 2. Comparación entre valores de inteligibilidad medidos y recomendados.⁶

Al realizar la comparación de los valores medidos en los salones y los valores recomendados, se puede encontrar que ninguno de los dos tipos de aulas cumple las recomendaciones y por el contrario se encuentra en una calificación de inteligibilidad pobre/regular. Se concluye entonces que el estado actual de los salones no es el óptimo para la inteligibilidad de la palabra.

3.4 Análisis de las particiones sometidas a ruido aéreo

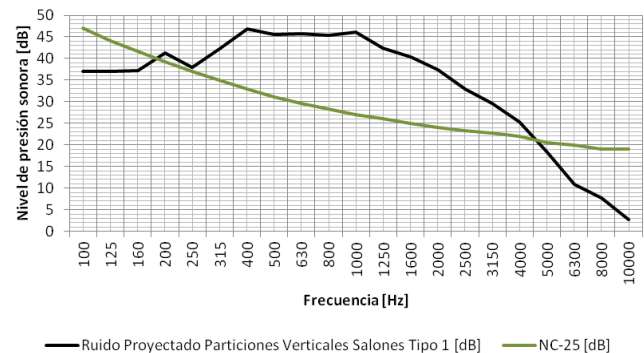
Este análisis de ruido proyectado, se realizará para las particiones que separan un salón de otro tanto verticales como horizontales. Ya teniendo los valores tipificados de los salones tipo 1 y tipo 2, se prosigue a analizar si dichas particiones están acomodadas a las curvas internacionales NC.

El *ruido generado L* será el medido en las aulas de clase (recinto emisor) cuando los alumnos estaban presentes. Se realizó un promedio energético de todas las mediciones. Este nivel de presión sonora, es el que tiene que ser aislado o detenido por las particiones separadoras, las cuales tienen un *índice de reducción aparente R'*. Para calcular el nivel de presión sonora que se estará escuchando en el recinto receptor, se realizará una resta aritmética del *ruido generado L* y el *índice de reducción aparente R'*, dando como resultado el ruido proyectado D:

$$L - R' = D$$

Ruido Generado – Reducción Aparente = Ruido Proyectado

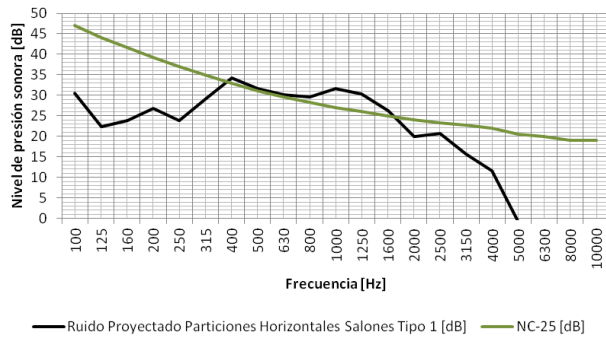
Dicho ruido proyectado D es el nivel de presión sonora en el recinto receptor, el cual debe ser comparado con las curvas NC para determinar si la partición cumple con las recomendaciones internacionales. Los resultados se presentarán en función de la frecuencia.



Gráfica 2. Ruido proyectado particiones verticales salones tipo 1 comparado con curva NC 25.

Como se esperaba, el ruido resultante no se acomoda a la curva NC-25. Si bien se logra acomodar para las primeras frecuencias (de 63Hz a 200Hz), probablemente debido a la tolerancia y flexibilidad en dicho rango de frecuencias, no se logra acomodar para frecuencias medias de 300Hz a 5KH. Hay que tener en cuenta, que es especialmente en esta banda, donde el rango del habla se ubica; para salones de clase la relación señal/ruido debe ser notablemente alta para que la inteligibilidad sea aceptable.

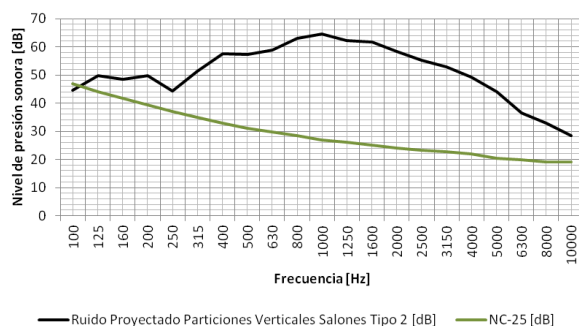
⁶ Classroom Acoustics, Publication of the Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America, p 21.



Gráfica 3. Ruido proyectado particiones horizontales salones tipo 1 comparado con curva NC 25.

Para este tipo de partición hay que tener en cuenta que será analizado solamente la transmisión por vía aérea, ya que no se dispuso de una máquina de impactos para medir el ruido por transmisión vía sólida. Esto es importante de denotar, ya que ésta partición ha de ser resistente a ruido sólido, ya que los alumnos pueden estar generando un alto ruido, posiblemente por las actividades recreo-deportivas.

Al analizar las curvas, se puede decir que la partición si se acomoda a la curva NC-25, con una ligera tolerancia alrededor de 1Khz, donde se supera el valor límite por aproximadamente 3dB. Reiteradamente, se acomoda a la curva NC-25 para transmisión de ruido aéreo, que posiblemente no es el tipo que más cause problemas.



Gráfica 4. Ruido proyectado particiones verticales salones tipo 2 comparado con curva NC 25.

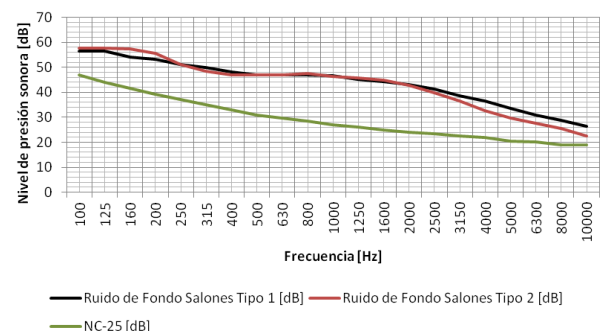
Una vez más, se puede observar como el ruido proyectado, no se acomoda de a la curva NC-25. Al igual que el caso de las particiones verticales tipo 1, se puede acomodar para frecuencias menores a 200Hz, pero por encima de este valor no lo hace de ninguna manera, y por lo contrario, se aleja significativamente de lo que sería el ruido aceptado.

Éste análisis, da a entender que las particiones no están bien diseñadas. Aunque se tuviese un margen de tolerancia debido a la falta de precisión de los instrumentos de medición, la diferencia entre el ruido proyectado y el ruido permitido es incluso mayor a 15dB. Esto no es aceptable de ninguna manera.

También se puede deducir que las frecuencias que se deben atacar más fuertemente están alrededor de 1KHz. Nótese que si se reduce el ruido transmitido en esta frecuencia (que sería aproximadamente 35dB), muy posiblemente el problema sea solucionado para las frecuencias adyacentes.

3.5 Análisis de fachada

Para el análisis de fachada se realizaron mediciones de ruido de fondo cuando no hay actividad dentro de las aulas. Se encontró que los niveles de ruido de fondo no cumplen con los criterios de confort para aulas de clase como se muestra a continuación:



Gráfica 5. Análisis de aislamiento en fachada comparado con curva NC 25.

Los niveles de presión sonora medidos dentro de los salones superan en al menos 10 dB el criterio de ruido NC 25. Estos niveles son producidos por el ruido de tráfico aéreo y vehicular que incide en las edificaciones mostrando que los elementos constructivos que componen la fachada no permiten un aislamiento ideal, por lo cual se hace necesario el rediseño de dichas particiones para cumplir con los estándares objetados.

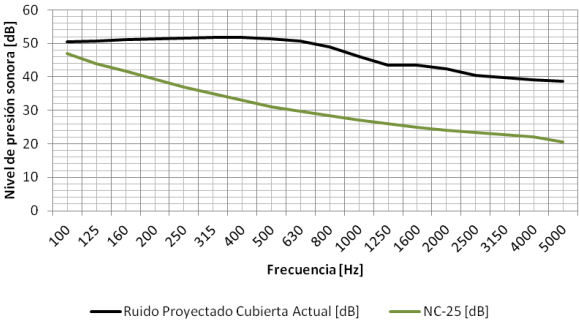
3.6 Análisis de cubierta

Para evaluar el aislamiento aportado por la cubierta actual a ruido de impacto causado por lluvias, se realizara la simulación correspondiente a lluvias con una pluviometría de 40mm/hr, diámetro de gotas de 5mm y velocidad de lluvia equivalente a 7ms.

Especificación técnica de la partición		Ruido Proyectado en dB(A)
Cubierta actual	Cubierta metálica (Aproximadamente calibre 20)	57

Tabla 3. Especificación de cubierta actual

Los valores obtenidos, serán comparados con la curva NC-25, para determinar si la cubierta es eficiente.



Gráfica 6. Comparación del nivel de ruido proyectado de la cubierta actual (ruido de lluvia) con curva NC 25.

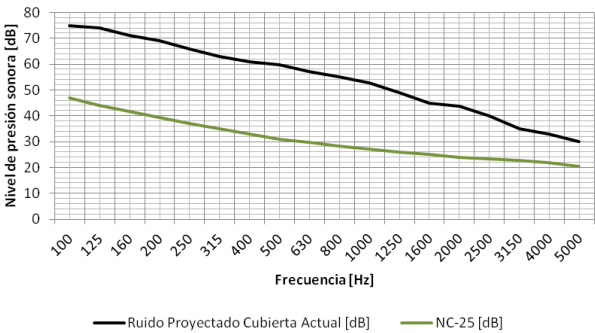
Como se puede observar en la gráfica anterior, el aislamiento proporcionado por la cubierta actual a ruido de impacto producido por lluvia NO CUMPLE con el criterio de confort NC 25mostrando así la necesidad de un rediseño acústico.

Debido a que el ruido procedente de aviones y carros es uno de los problemas que más afectan el desarrollo de las actividades académicas dentro de las aulas de clase, también se debe evaluar la transmisión de estos a través de la cubierta, para dicho calculo se tendrá en cuenta la simulación de la partición, el STC de la misma y el ruido de tráfico a aislar encontrado.

Los resultados de la simulación se muestran a continuación:

Especificación técnica de la partición		Ruido Proyectado en dB(A)
Cubierta actual	Cubierta metálica (Aproximadamente calibre 20)	57

Tabla 4. Especificación de cubierta actual



Gráfica 7. Comparación del nivel de ruido proyectado de la cubierta actual (ruido de tráfico) con curva NC 25.

Como se puede observar en la grafica la cubierta actual no cumple con el aislamiento requerido a ruido emitido por tráfico aéreo y vehicular denotando así la necesidad del rediseño de dicha partición.

4. Diseño de acondicionamiento acústico en aulas de clases

Teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por la “ANSI/ASA S12.602010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools” los tiempos de reverberación dentro de aulas de clase deben estar entre 0,4 segundos y 0,6 segundos. Para realizar los diseños cuyas características

prometen adaptarse a las condiciones ideales, se tienen en cuenta las mediciones de tiempo de reverberación mostradas en el numeral 3.2. Las simulaciones se realizaron con la plataforma virtual de trabajo CATT- Acoustics V8.0. De esta manera, se logrará mostrar el comportamiento de la sala con respecto al tiempo de reverberación e inteligibilidad.

4.1 Simulación de los diseños de acondicionamiento acústico propuestos para las aulas de clase del colegio I.E.D República de Costa Rica.

El tiempo de reverberación de los salones debe ser drásticamente reducido, por lo cual se propone tratar dicho problema implementando materiales que tengan los coeficientes de absorción acústica adecuados para lograr acomodar el tiempo de reverberación a las normativas internacionales nombradas anteriormente. La instalación de los materiales se propone sea en cielorraso a una altura prudente, de tal manera que éste este fuera del alcance de los alumnos y otros miembros de la comunidad escolar, para de esta manera prevenir el daño del material implementado.

Debido a que las diferencias entre los salones Tipo 1 y los Salones Tipo 2 radican en la composición y altura de sus respectivos cielorrasos se propone un único diseño unificando las características acústicas de todas las aulas de clase, presentando los mismos resultados y asegurando el cumplimiento de los criterios acústicos en todas las aulas⁷. Dicha unificación se realiza proponiendo la instalación de cielorraso absorbente a la misma altura en todas las aulas de clase, manteniendo así las características constructivas y el volumen en cada una de estas.

Opción 1

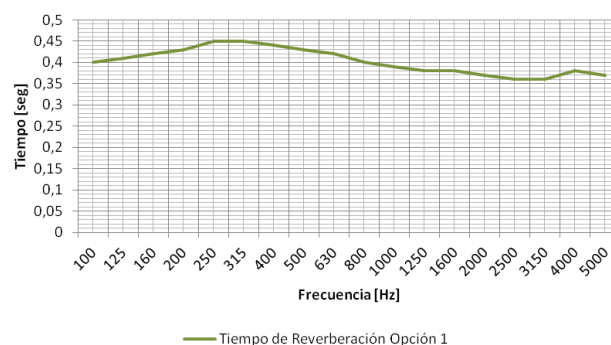
Material a Utilizar: Duracoustic Rocks perforado ó Star Onion Perforado. Lámina rígida de fibra de

vidrio recubierta en una de sus caras por una película de PVC microperforada.



Figura 3. Imagen de Duracoustic Rocks perforado.

Con base en las características acústicas de este material, se ha realizado una simulación en el modelo plantilla configurado anteriormente. Los resultados se muestran a continuación. El resultado de la simulación se muestra a continuación:



Gráfica 8. Tabla de resultados del tiempo de reverberación con sistema de acondicionamiento opción 1.

Como se puede observar en la gráfica, la instalación del material propuesto (Duracoustic Rocks perforado) en el 100% del cielorraso cumple con las necesidades de las aulas de clase obteniendo tiempos de reverberación óptimos

⁷ ANSI/ASA S12.602010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools

en dichos espacios.

Así mismo los porcentajes de inteligibilidad (RASTI y STI) en los 4 puntos receptores simulados, se encuentran por encima del 75% indicando entonces que la calificación de inteligibilidad de los salones es buena/excelente al implementar el sistema propuesto.

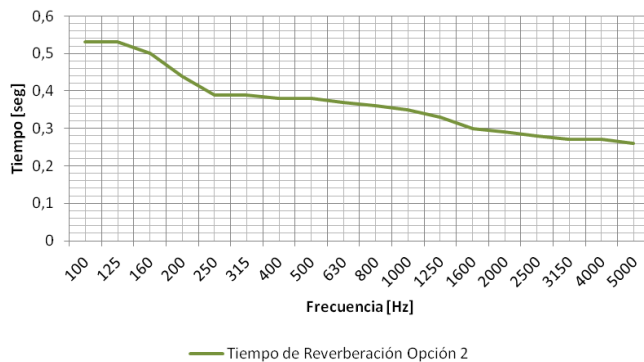
Opción 2

THERMATEx Thermofon. Sistema diseñado para instalaciones en cielorraso de lana mineral, acabado con un revestimiento acústico liso y de color blanco. Espesor de 15mm.



Figura 4. Imagen de Thermatex Thermofon

Con base en las características acústicas de este material, se ha realizado una simulación en el modelo plantilla configurado anteriormente. Los resultados se muestran a continuación.



Gráfica 9. Tabla de resultados del tiempo de reverberación con sistema de acondicionamiento opción 2.

Como se puede observar con el material propuesto en la opción 2, instalado en el 100% del cielorraso, también se logran los tiempos de reverberación recomendados para aulas de

clase. La inteligibilidad que se obtendrá al realizar la instalación de la opción 2 en el 100% del cielorraso, será clasificada entre buena/excelente ya que ésta está mostrando valores superiores a 78%.

5. Diseño de aislamiento acústico en las aulas de clase

5.1 Diseño de la cubierta

Uno de los principales problemas que se evidenció, fue la baja calidad de la cubierta, ya que el material con el cual está diseñada no posee las características ideales para reducir el ruido que proviene de entes externos.

• Especificación propuesta

Se propone la instalación de la cubierta Sandwich Deck compuesta por dos tejas de aluminio, aluzinc o acero de calibre 26 prepintadas + Cavity de Aire + Relleno en Lana de Roca o Fibra de Vidrio + Membrana acústica + Cielorraso de Acondicionamiento.

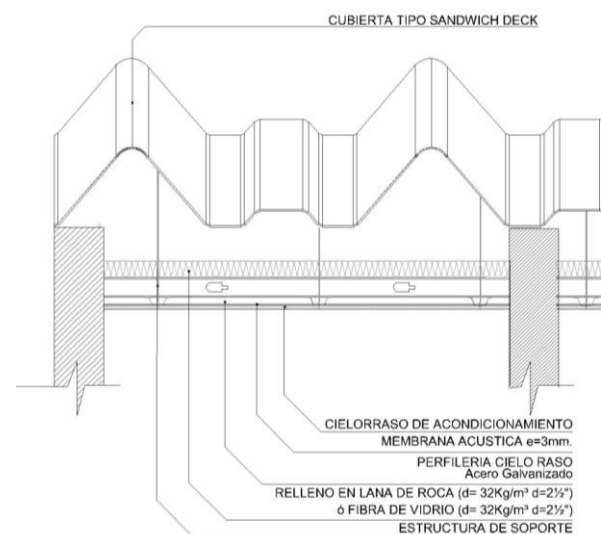


Figura 5. Detalle cubierta propuesta.

Características de la cubierta tipo Sandwich Deck:

- **Material:** Aluminio.
- **Pintura:** Poliéster horneable.
- **Acabo de tejas:** Lisas.

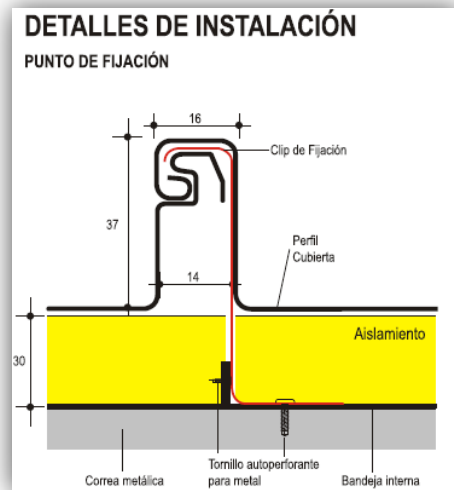
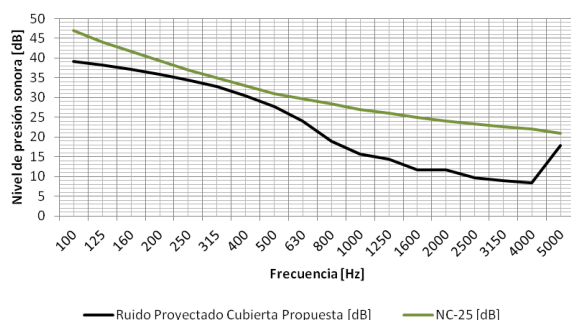


Figura 6. Detalle de instalación cubierta Sandwich Deck.

A continuación se presenta el resultado de la simulación para la cubierta propuesta evaluando los mismos casos críticos que se evaluaron anteriormente.

- **Aislamiento de la cubierta propuesta a ruido de lluvia:**

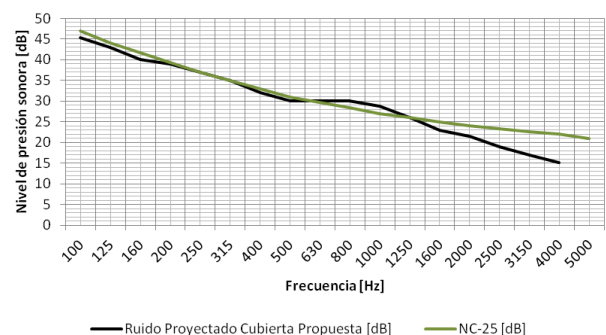


Gráfica 10. Comparación del nivel de ruido proyectado de la cubierta propuesta (ruido de lluvia) con curva NC 25.

Como se puede observar en la grafica y en la grafica anterior, la cubierta propuesta cumple con los criterios de confort para aulas de clase ya que se proyectan 40 dB(A) al interior de las aulas.

- **Aislamiento de la cubierta propuesta a ruido de tráfico aéreo y vehicular.**

A continuación se muestran la grafica de aislamiento de la cubierta propuesta:



Gráfica 11. Comparación del nivel de ruido proyectado de la cubierta propuesta (ruido de tráfico) con curva NC 25.

5.2 Ventanería

Las ventanas tienen un papel muy importante en los salones, ya que al tener un área considerable (al ser comparada con el área de los demás materiales de construcción) tiene un importante aporte tanto para el tiempo de reverberación como para el aislamiento e insonorización.

Debido a que el aislamiento de la fachada **NO CUMPLE** con los criterios de confort para aulas de clase (NC 25-30) se hace necesario el rediseño de la ventanería que se encuentra en dichas fachadas.

Ya que hay diferentes tipos de Ventanería, ya sea las que dan al patio de juego o las que dan hacia el exterior de la institución, es necesario entonces realizar diferentes análisis, pues están expuestos a ruidos diferentes.

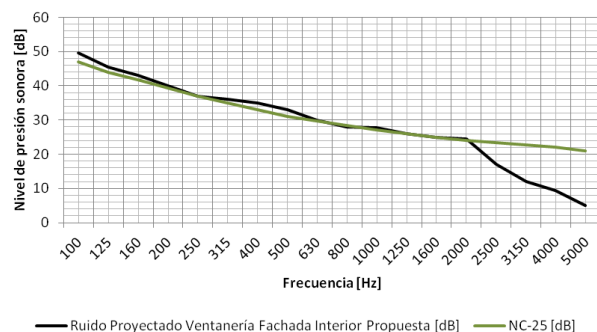
5.3 Ventanería Fachada Interior

La siguiente tabla describe la ventana propuesta:

Especificación técnica de la partición	STC	Ruido Proyectado en dB(A)
Cristal Tipo 1 – ventanearía fachada interna.	44	39,44

Tabla 5. Especificación ventana acústica para fachada interior.

A continuación los resultados de la simulación comparados con normas internacionales:



Gráfica 12. Comparación ruido proyectado ventanería propuesta fachada interna con curva NC 25.

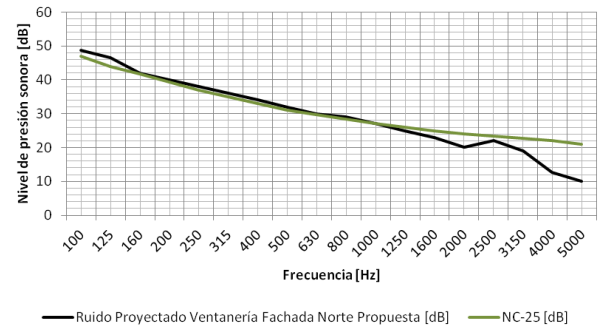
5.4 Ventanería Fachada Norte

El mejor resultado acorde a las simulaciones, es usando la misma especificación de ventanería interior, la cual se muestra a continuación:

Especificación técnica de la partición	STC	Ruido Proyectado en dB(A)
Cristal Tipo 1 – ventanearía fachada norte.	44	38,91

Tabla 6. Especificación ventana acústica para fachada norte.

A continuación los resultados de la simulación comparados con normas internacionales:



Gráfica 13. Comparación ruido proyectado ventanería propuesta fachada norte con curva NC 25.

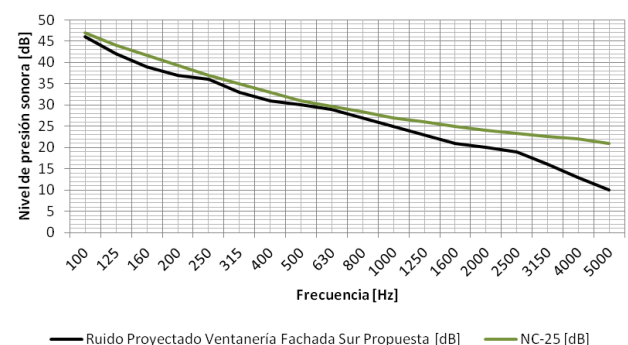
5.5 Ventanería Fachada Sur

A pesar de que el vidrio denotado a continuación es exitoso (como se mostrará más adelante), también se pueden usar los vidrios especificados para Ventanería interior y exterior norte.

Especificación técnica de la partición	STC	Ruido Proyectado en dB(A)
Cristal Tipo 2 – ventanearía fachada sur	43	39,6

Tabla 7. Especificación ventana acústica para fachada sur.

A continuación la comparación del ruido proyectado comparado con las recomendaciones internacionales:



Gráfica 14. Comparación ruido proyectado ventanería propuesta fachada sur con curva NC 25.

Algunas de las características que se deberán tener en cuenta para la selección adecuada de la perfilería en la que se instale el acristalamiento especificado son los herrajes, sistemas de cierres utilizados, sellamientos, empaques, el contratista y la calidad de la instalación, ya que se convierten en variables que alterarán el resultado final de aislamiento global del sistema, por lo cual la pérdida de transmisión sonora ofrecida por la ventana no dependerá únicamente del cristal, sino también del perfil y forma de montaje sobre el cual éste se instale.

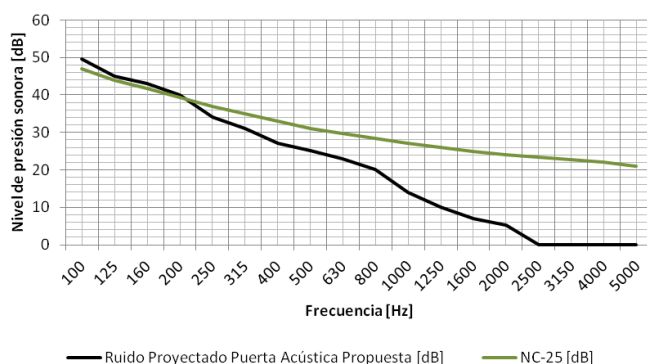
6. Diseño de puertas

De acuerdo a las simulaciones realizadas a las puertas, ninguna de ellas cumple las recomendaciones por lo cual se presentan a continuación propuestas de estas mismas.

Especificación técnica de la partición	STC	Ruido Proyectado en dB(A)
Puerta	38	36,82

Tabla 8. Especificación Puertas Acústicas.

A continuación se muestra los resultados de las simulaciones comparados con normas internacionales:



Gráfica 15. Comparación ruido proyectado puerta acústica propuesta fachada sur con curva NC 25.

A pesar del pequeño valor que no se cumple en 125Hz, en general el diseño SÍ cumple con el nivel máximo permisible para aulas de clase

(40 dB(A)), que garantizan un ideal ambiente de educación.

7. Recomendaciones generales

A continuación se describen algunas recomendaciones generales para mejorar la calidad de ambiente educativo en términos de reducción y control de ruido.

• Recomendaciones generales para particiones separadoras:

Las particiones actuales de ladrillo SI cumplen con la normatividad internacional, por lo cual el rediseño de las mismas NO es necesario.

Este resultado puede parecer incorrecto, pues se ha mostrado anteriormente que las particiones no están lo suficientemente bien diseñadas para aislar el ruido en un aula de clase, pero de nuevo, hay que tener en cuenta que los resultados de las mediciones muestran el aislamiento acústico que ofrece todo el sistema (paredes, puertas, ventanas), no solamente el aislamiento que ofrece la superficie separadora que en este caso sería la pared de ladrillo.

Es por esto, que se puede deducir una importante conclusión, el ruido transmitido de un aula a la otra es o por vía sólida o por filtrado, y acorde a los reportes de las condiciones físicas de los salones, donde se señaló la alta cantidad de aberturas, orificios y ventanas en mal estado es muy posible que la mayor cantidad de ruido transmitido sea por filtraciones.

Es por esto, que a continuación se proponen unas recomendaciones que prometen solucionar el problema de transmisión por filtrado.

- Evitar a todo alcance vicios constructivos que debiliten el aislamiento acústico, por lo tanto debe hacerse un sellamiento minucioso de cualquier ranura o vano.

- Se debe sellar en su totalidad el perímetro de los cielorrasos aislantes con un producto como silicona o similar aprobado por el fabricante de las láminas, de igual manera deben ir selladas tomas eléctricas, comunicaciones, seguridad, etc., así como las salidas hidráulicas y sanitarias.
- Sistemas eléctricos, de voz y datos: Los pases de canaletas a través de muros y dinteles deberán sellarse perfectamente de tal manera que no queden luces. Las tomas eléctricas nunca deberán quedar enfrentas o en espejo dentro de un mismo muro de separación entre recintos. Estas tomas, deberán estar distanciadas 25cm como mínimo entre ellas y con respecto a sus ejes para evitar transmisiones directas de ruido entre la habitaciones.

- Recomendaciones generales:

A continuación se describen algunas recomendaciones generales para mejorar la calidad de ambiente educativo en términos de reducción y control de ruido.

- Las puertas, ventanas, pequeñas aberturas o rejillas pueden debilitar la efectividad de las paredes. Los vicios constructivos que se presentan entre paredes, piso y techo deben ser sellados con un material que asegure el sellamiento de dichos vicios.
- La localización de las puertas también debe ser tenida en cuenta en el momento de realizar un buen diseño acústico.

Ejemplo de mal y buen posicionamiento de puertas:

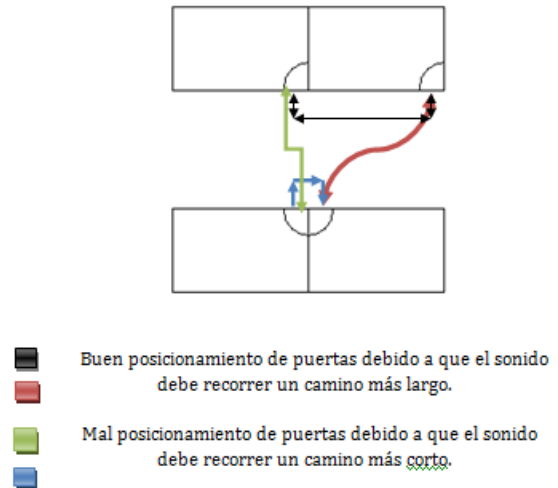


Figura 7. Recomendación de posicionamiento de puertas para aulas de clase.

Como se muestra anteriormente, se debe asegurar que las puertas estén lo más alejadas posibles unas de otras, reduciendo entonces la transmisión sonora debido a la filtración que puede existir a través de este camino. Si las puertas se encuentran acústicamente en una posición poco favorable, se recomienda que el canto inferior de las puertas cuente con un sistema de guardapolvos para reducir así la transmisión de ruido aéreo por este camino.

- Se recomienda que las aulas de clase donde se encontraran los alumnos desde el grado kínder hasta el grado quinto de primaria, estén lo más alejados de las fuentes principales de ruido, como lo es el patio y el ruido de tráfico. Para optimizar dicha situación, se deben utilizar los diseños de aislamiento propuestos para lograr así, que las actividades realizadas por los alumnos de bachillerato no afecten las clases de los alumnos de primaria.
- Se debe tener en cuenta que la biblioteca es uno de los espacios que mas silencio requiere, por lo cual se debe tener un gran cuidado ya que se ve afectado principalmente por el ruido producido en el patio.

- Para futuras planeaciones de construcción de colegios se deben tener en cuenta las posibles fuentes externas que pueden afectar el ambiente educativo, para evitar esto se recomienda que los espacios que requieren de menos ruido sean ubicados lo más lejos posible de dichas fuentes. Así mismo, se recomienda que los colegios estén ubicados por lo menos 15m alejados de fuentes de ruido producido por tráfico, aeropuertos o industrias.
- Se recomienda que no existan vacíos entre pisos debido a que existiría un área abierta entre cada uno de los niveles de la edificación permitiendo así el paso de energía sonora indeseada (Ruido en corredores) en los pisos superiores e inferiores que pueden llegar a interrumpir las actividades académicas de los alumnos y profesores.

8. Encuestas realizadas al cuerpo escolar

Con el fin de corroborar y ratificar que la comunidad escolar no está en condiciones ideales de trabajo, se realizó una encuesta a la comunidad escolar incluyendo profesores, administrativos y alumnos de todos los grados. De esta manera se tiene una prueba subjetiva de la necesidad de rediseñar y/o arreglar las aulas de clase del colegio distrital República de Costa Rica.

8.1 Encuestas realizadas a docentes

Las encuestas dan un resultado muy claro, en el cual se puede afirmar que los profesores no están a gusto con el ambiente en el cual están sometidos, y los factores que más han sido clasificados como molestos son todos los relacionados con ruido.

Los resultados arrojan que el valor más bajo (que hace referencia al más molesto 0 y no molesto del todo 5) es la característica Ruido en las aulas de clase y Ruido en las áreas comunitarias con un promedio aritmético de 1,7 y 1,4 respectivamente. Así mismo, el ruido

clasificado como más frecuente ha sido el producido por tráfico y camiones con un promedio aritmético de 4.84 (siendo 5 muy frecuente y 1 poco frecuente).

También cabe destacar, que uno de los problemas de salud más frecuentes (y quejas por parte de los docentes), es la pérdida de audición con casi un 80% de frecuencia. El cansancio y la ansiedad que pueden ser consecuencia de extrema exposición a altos niveles de ruido, también tuvo una repetición considerable, alrededor del 75% de los docentes presenta el problema.

Por último, los docentes están al tanto de los posibles nocivos efectos secundarios producidos por exposición prolongada a altos niveles de ruido (un 76%) pero no están al tanto de las normativas Colombianas que los protegen (un 15% conoce dicha normativa).

8.2 Encuestas realizadas a agentes administrativos

Los agentes administrativos no tienen quejas o reclamos referentes a la ubicación o espacio de la institución en general.

No obstante, hay una insatisfacción en los ítems relacionados con ruido, específicamente en ruido generado en las aulas, donde se ha presentado un 2,7 como valor promedio, el cual indica que es un ruido elevado, el cual posiblemente esté afectando la labor de los encuestados. El promedio de los otros dos ítems relacionados con ruido está alrededor de 3, lo cual también indica un descontento.

Respecto a las fuentes de ruido que más escuchan, el ruido proveniente de otras aulas y el ruido acumulado en clase han sido clasificadas como las dos fuentes más frecuentes. Sorpresivamente, no hay una frecuencia alta para todos los ruidos de transporte como carros, camionetas, buses, etc. ya que tiene un promedio de alrededor 3.33.

Por otro lado, los agentes administrativos están de acuerdo en que el ruido es definitivamente un

impedimento para el ejercicio de sus labores y que incluso es el posible causante de algunas molestias como cansancio, dolor de garganta, etc. Los agentes administrativos no presentan quejas en la comunicación en los salones.

Finalmente, los agentes administrativos presentan con mayor frecuencia los siguientes síntomas: estrés, cansancio, ansiedad, pérdida de audición y dolor de cabeza. Estos son los síntomas que más se presentan cuando un trabajador está sometido a altos niveles de ruido durante tiempos prolongados. Más del 50% están conscientes de las normativas nacionales que pueden protegerlos frente al ruido, pero así mismo más del 50% cree que el ministerio de educación no está haciendo nada para combatir éste problema.

8.3 Encuestas realizadas a estudiantes de 4 a 11

El promedio de las encuestas de los alumnos, muestra que el valor mínimo (que en preguntas de ruido será un ruido muy elevado) es el ruido general en el colegio con un promedio de 2.97 (donde 1 es ruido muy elevado) y el ruido en las áreas comunitarias con un promedio de 3.03 (donde 1 es ruido muy elevado). Éstas son las quejas más frecuentes de los alumnos, que indiscutiblemente están relacionadas con el mal acondicionamiento y aislamiento acústico de las instalaciones.

Respecto a que tan frecuente se escuchan los ruidos especificados en la entrevista, el mayor valor lo tiene el ruido generado en el patio con un valor de 4.18, el tráfico aéreo y el ruido acumulado en clase (para los anteriores 5 es ruido escuchado muy frecuente). Éste tipo de ruido también ha sido clasificado como el más frecuente para docentes y agentes administrativos.

Por otro lado, los alumnos están considerablemente de acuerdo en que el ruido interrumpe una clase y que afecta la concentración de los estudiantes, ya que el promedio está por encima de 4.5 (donde 5 es muy de acuerdo). Así mismo es claro ver también

que hay un descontento, no tan alto, por parte de los alumnos en cuanto al esfuerzo que se debe hacer para poder mantener comunicación dentro de las aulas de clase.

Finalmente, los alumnos en general no presentan algún síntoma predominantemente ya que no se alcanza a tener más del 55% de afirmaciones, para ítems relacionados con ruido como lo son el trastorno de sueño, estrés, cansancio y dolor de cabeza. Los alumnos tiene idea y están correctamente informados acerca de lo nocivo que el ruido puede ser, ya que alrededor del 70% ha respondido SI. Por otro lado, no son conscientes de las medidas que el Ministerio de Educación ha tomado, o debería tomar; más del 60% no está enterado.

8.4 Encuestas realizadas a estudiantes de 3 grado

La entrevista a los estudiantes de tercero de primaria, dice en una primera instancia que la mayor insatisfacción es en ¿cómo te parece el ruido en tu clase?, donde hay tendencia a tener más emoticones tristes ya que el promedio 2.6 (donde 1 es emoticón con carita triste).

Así mismo en ¿cómo te parece el ruido en el descanso? Ha presentado un resultado negativo alrededor de 2.2. El ruido es definitivamente una inconformidad para los alumnos de este grado.

Por otro lado, el ruido que más es detectado por los alumnos, con un promedio alrededor de 1 (donde 1 es emoticono con carita triste) es el ruido de niños en otros salones, con un promedio de 1.8 el producido por buses y también con un promedio de 1.8 el ruido producido en corredores y actividad comercial adyacente al colegio.

En todas las entrevistas realizadas tanto a docentes, agentes administrativos, alumnos de 4 a 11 o alumnos de 3, se ha visto que el ruido clasificado como más frecuente, es el ruido generado en otras aulas de clase. Interesantemente el ruido de carros no ha sido clasificado como tan molesto, como lo es el ruido generado por tráfico aéreo.

Por último, los alumnos tienen dolores de cabeza como el síntoma más frecuente y por el cual más se quejan.

No se hicieron preguntas relevantes a normativas colombianas a los alumnos de 3 grado, ya que es muy posible que haya un total desconocimiento referente al tema.

Para mayor información acerca de las encuestas, se recomienda buscar en la tesis en la cual está basado el presente artículo.

9. Errores sistemáticos

- La perfilera de las ventanas en la mayoría de los salones estaba dañada, por lo que las mediciones de pérdida por transmisión pueden dar resultados que no son totalmente verídicos pues se tenía una vía directa de transmisión a través de las ventanas. Igualmente los resultados de tiempo de reverberación pueden ser diferentes debido a que se tenía un total de área de absorción mayor pues las ventanas abiertas poseen un coeficiente de absorción de 1 donde todo el sonido es absorbido.
- Debido a que las mediciones se realizaron los días sábados en las horas de la mañana, esos días se realizaban las labores de limpieza del colegio por lo que en dichas mediciones se tenía influencia de ruidos indeseados por la fricción de pupitres con el suelo o el uso de máquinas de limpieza.
- Las simulaciones son realizadas bajo condiciones absolutamente ideales, por lo cual hay un considerable margen de error con los datos reales, dicho margen se evidenciará con los niveles de ruido proyectado al realizar la implementación del diseño acústico propuesto.
- Debido a las incorrectas conexiones de polos a tierras en las tomas eléctricas

dentro de los dos bloques, se producía un indeseable ruido al generar la señal acústica para las mediciones. A pesar del problema haber sido solucionado usando baterías portátiles, en algunos momentos fue inevitable el filtrado de dicho ruido por lo cual se ha de considerar un posible margen de error dentro del rango de frecuencias del mismo.

10. Conclusiones

- La mejor forma de resolver los problemas acústicos dentro de las aulas de clase es prevenirlos en vez de corregirlos después de construidas las instituciones. Durante el proceso de diseño, pueden evitarse los problemas acústicos con un arreglo diferente utilizando los mismos materiales presupuestados para la construcción del colegio. La necesidad de renovar las aulas de clase debido a su pobre diseño acústico es costoso, pero aun así es no es comparada con el costo social que presenta el mal aprendizaje de millones de niños.
- Un diseño acústico preventivo puede eliminar el uso de particiones costosas teniendo en cuenta que los espacios más ruidosos como patio, aulas de música, cafeterías, corredores y baños, deben estar alejadas de las áreas que necesitan más protección acústica como aulas de clase, bibliotecas y oficinas.
- En el colegio “I.E.D República de Costa Rica” se presenta una mala ubicación de los espacios educativos debido a que uno de los lugares más ruidosos es el patio, el cual está en constante uso. Ya que éste está ubicado en el centro de los dos bloques de aulas de clase, interrumpe el óptimo aprendizaje de los alumnos debido al notable aumento de concentración de ruido en dichas aulas.
- El colegio “I.E.D República de Costa Rica” presenta 3 fuentes de ruido externas que intervienen en el óptimo aprendizaje de los alumnos, entre estas se encuentra el ruido de tráfico producido

principalmente en la carrera 100, el ruido producido por los aviones que despegan del aeropuerto el Dorado y los talleres de mecánica que se encuentran en la intersección entre la calle 23 y la carrera 101, debido a que dichas fuentes perturban el ambiente educativo se debe tener especial cuidado en aislar los salones de dichas fuentes teniendo en cuenta las recomendaciones de aislamiento acústico dadas dentro del proyecto.

- Se encontró que el nivel de ruido en el patio en un descanso es más alto que el ruido producido por fuentes externas, en este caso se recomienda la aplicación de los diseños acústicos propuestos debido a que mientras los estudiantes de bachillerato están en descanso (partidos de básquet o vóley, conversaciones, juegos, sistema amplificado) los de primaria están en clase y estos no deben ser perturbados por las actividades realizadas allí, aun así se recomienda que los alumnos de primaria se ubiquen en los salones más alejados del patio.
- Se debe tener en cuenta que en los diseños de acondicionamiento acústico mientras se mantenga el área de absorción propuesta y los coeficientes de absorción de los materiales, se tendrán resultados óptimos en las instalaciones, mayores áreas o coeficientes de absorción se traducen en menor tiempo de reverberación.
- Las encuestas realizadas a los docentes, muestran que no están a gusto con las condiciones acústicas en las cuales están trabajando y que el problema con más frecuencia ha sido el ruido en salones y áreas comunitarias. Así mismo, las encuestas muestran que el ruido más molesto para los docentes es el producido por el tráfico de buses y camiones.
- El cuerpo estudiantil encuestado, que comprende desde los 7 a los 18 años, han mostrado mayor insatisfacción y descontento en los problemas referentes a ruido tales como; acumulación de este

en aulas de clase; filtrado de fuentes externas especialmente tráfico vehicular y aéreo; dificultad en la comunicación con docentes u otros estudiantes; y ruido emitido en el patio.

- De la misma manera, en el cuerpo estudiantil encuestado un significativo porcentaje está de acuerdo en que el ruido interrumpe las clases y así mismo afecta la concentración de la comunidad escolar en sus actividades académicas.
- La comunidad escolar está al tanto de los efectos nocivos que pueden padecer al exceso prolongado a altos niveles de ruido, pero no están al tanto de la normatividad Colombiana que los protege. Es importante que la comunidad esté enterada, pues el ruido es causante de graves problemas irreversibles, por lo cual tienen el derecho de exigir control sobre este problema. Así mismo, el Ministerio de Educación tiene el deber de escuchar y tomar medidas frente a esta problemática.
- Todos los alumnos, independientemente de la edad o los posibles problemas auditivos que tengan, necesitan de buena acústica en las aulas de clase.
- El pobre tratamiento acústico degrada el proceso educativo tanto para estudiantes como para maestros, el excesivo ruido de fondo y tiempo de reverberación son barreras en el aprendizaje.

11. Bibliografía

Acoustic Ergonomics of Schools. 19th International Congress on Acoustics Madrid, 2-7 September 2007.

ANSI S12.60-2010 *American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*. ASA.

CARRION ISBERT, Antoni. *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos*. Ediciones UPC, 1998.

Children, noise and health. Organización Mundial de la Salud (WHO). Documentos publicados en su página oficial www.who.int

¿De qué manera el ruido afecta al aprendizaje y la salud? Francisco Javier Cornejo Rivera. Técnico en Sonido. Artículo publicado por la agencia de protección ambiental (EPA) de los Estados Unidos.

Ministerio de Protección Social – Enfermedades profesionales

Miraya, Federico. Control de Ruido, 1999. Libro publicado en la web <http://www.ingenieroambiental.com>

No provincial building standards regarding classroom acoustics currently exists across Canada. CASLPA Director of Communications. Documentos publicados en la web www.caslpa.can

Problemas de la voz en docentes. Servicio de educación y riesgos laborales en Centro Educativos. Madrid, España.

Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Sector Docente. Dirección General de Personal. Cancillería de Educación de la Generalitat Valenciana.

IRAM 4063-4 *Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción, Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.*

Classroom Acoustics I, A Publication of the Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America.

Classroom Acoustics II, Acoustical Barriers to Learning, A Publication of the Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America.

Design of Child Care Centers and Effects of Noise on Young Children, Dr. Lorraine E. Maxwell & Sr. Gary Evans, Cornell University.

Good Classroom Acoustics is a Good Investment, David Lubman & Louis Sutherland, 17th International Commission for Acoustics, Rome, Italy, Sept. 2-7, 2001.

The Impact of Classroom Acoustics on Scholastic Achievement, David Lubman & Louis Sutherland, 17th International Commission for Acoustics, Rome, Italy, Sept. 2-7, 2001.

Can Noise Levels at School Gymnasias Cause Hearing Loss: A Case Study of Physical Education Teacher, Tao Jiang, Acoustical Society of America's 133rd Meeting.

Classroom Acoustics, Consultants in Acoustics, Campanella Associates.

Norma Técnica Colombiana NTC 4595, Ingeniería Civil y Arquitectura, Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes escolares.

Industrial Noise Control and Acoustics, Randall F. Barron.

Acoustic School Design, Dr. Joachim Kahlert, Mechthild Hagen, Ludowika Huber, Munchen, Alemania.