

Evaluación Teórica del Tiempo de Reverberación en una Aula de Enseñanza

Theoretical Evaluation of Reverberation Time in a Teaching Classroom

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.5.1.2023.16>

Fecha de recepción: 15/05/2023. Fecha de Publicación: 06/06/2023

Antonio Pacheco-Molina
Corporación Universitaria Americana
pachecoantonio@coruniamericana.edu.co

York Casalins-Maza
Corporación Universitaria Americana
ycasalins@coruniamericana.edu.co

Alexander Troncoso-Palacio
Universidad de la Costa Barranquilla, Colombia
atroncos1@cuc.edu.co

Resumen

Con el diagnóstico de los primeros casos del virus COVID-19 en diferentes ciudades de Colombia, se decretó un periodo de aislamiento social que cambió la manera de comunicarse y relacionarse con los demás. Considerando que las universidades permiten la concentración de gran parte de población, se replanteó la forma de continuar con el proceso de enseñanza sin que éste representara un riesgo para la salud física y emocional de los educandos. En el caso de la universidad donde se realiza este estudio, la institución con la intención de ofrecer a los docentes un espacio académico adecuado para llevar a cabo su actividad en las aulas de clases. Pero se encuentra con la dificultad de que las aulas al estar vacías presentaban el fenómeno de reverberación que impide que los estudiantes en sus casas escuchen de manera clara el mensaje enviado por los docentes, impactando en la calidad del entorno académico, presentando deficiencias, aunque desde el punto de vista tecnológico se tengan las condiciones óptimas, impactando negativamente en el confort y la percepción de bienestar de los estudiantes y profesores, así como en su salud, razón por la cual se realizó este estudio. De los hallazgos encontrados se concluye que los valores de la inteligibilidad disminuyen al aumentar el tiempo de reverberación, el mismo que se puede mejorar con la aplicación de materiales de absorción acústica con lo cual se puede llegar a mejorar la reverberación entre mínimo un 31 y hasta un 100%.

Palabras claves: Ambientes de aprendizaje, Calidad acústica, Escucha en clases remotas, Reverberación en Aula de Clases.

Abstract

The diagnosis of the first cases of the COVID-19 virus in different cities of Colombia, a period of social isolation was decreed that changed the way of communicating and relating to others. Considering that universities allow the concentration of a large part of the population, the way to continue with the teaching process was reconsidered without it posing a risk to the physical and emotional health of the students. In the case of the university where this study is carried out, the institution with the intention of offering teachers an adequate academic space to carry out their activity in the classroom. But he finds himself with the difficulty that, being empty, the classrooms presented the phenomenon of reverberation that prevents the students at home from hearing clearly the message sent by the teachers, impacting the quality of the academic environment, presenting deficiencies, although from a technological point of view, optimal conditions are had, negatively impacting the comfort and perception of well-being of students and teachers, as well as their health, which is why this study was carried out. From the findings found, it is concluded that the intelligibility values decrease as the reverberation time increases, which can be improved with the application of acoustic absorption materials, with which reverberation can be improved by at least 31 and up to 100%.

Keywords: Acoustic quality, Learning environments, Listening in remote class, Reverberation in the Classroom.

1. Introducción

En el mes de marzo de 2020 la población mundial se vio forzada al confinamiento a causa de la pandemia generada por el Covid-19, por tanto, las actividades educativas que se desarrollaban de manera presencial se vieron afectadas por las cuarentenas generalizadas en diferentes países. Inmersos en esa situación se establecieron políticas de emergencia gubernamentales que propendían que las universidades y colegios pudiesen ofrecer medios accesibles de formación, a través de herramientas virtuales, que permitieron continuar, aunque con limitaciones, los procesos educativos de enseñanza.

Para América Latina, el cierre de las instituciones educativas ha producido un mayor impacto debido que un alto porcentaje de los estudiantes no tiene acceso a medios virtuales. De acuerdo con el informe de [1], antes de la pandemia, en 2016, tomando el promedio de 14 países de América Latina, cerca de un 42% de las personas que viven en áreas urbanas tenían acceso a Internet en el hogar, en comparación con un 14% de aquellas que viven en áreas rurales.

En este aspecto cobra mucha importancia el papel del docente durante el ejercicio de sus actividades, alineadas para adaptar y facilitar el proceso de formación y aprendizaje de los estudiantes, como esboza [2], teniendo en cuenta las inequidades tecnológicas, se puede plantear que la mayor problemática didáctica a sortear por el docente está dada por los medios a emplear y el diseño de los contenidos a transmitir a partir de la diversidad recursos.

Y es en esos medios donde nos encontramos con otro aspecto importante a tener en cuenta para el desarrollo eficiente de las actividades remotas de los docentes, como es la calidad acústica de las aulas de clase, para que el mensaje transmitido a través de audio y video a los estudiantes sean óptimos. En ese sentido [3], plantea que diferentes variables como la acústica, iluminación, la temperatura y el aire interior son claves para definir la calidad ambiental interior, así mismo [4], divide las variables en cuatro categorías: calidad del aire interior, confort acústico, confort térmico y confort visual, planteando que son estas las que permiten identificar condiciones para el establecimiento de controles y como deben ser tomados en cuenta por los diseñadores.

La calidad acústica en las aulas se evalúa a partir de tres parámetros: el tiempo de reverberación, que se refiere al tiempo que tarde la intensidad del sonido en caer a 60 dBA, la inteligibilidad de la palabra, que puede definirse como el nivel de claridad del mensaje y el ruido de fondo que puede definirse como el sonido del medio que afecta la acústica.

Las revisiones de trabajos encontrados demuestran que los valores de la inteligibilidad disminuyen al aumentar el tiempo de reverberación, y uno de los controles que se puede aplicar para mejorar la acústica

en un aula, dice [5], es la implementación de soluciones con la instalación de materiales de absorción. Según [6], en nuestro país, de forma general, no se consideran criterios acústicos para las aulas en el momento de su diseño y construcción, lo que produce ambientes de enseñanza no aptos para el proceso de aprendizaje.

En el caso de la universidad de este artículo, la institución con la intención de ofrecer a los docentes un ambiente de aprendizaje adecuado para llevar a cabo su actividad académica remota desde las aulas de clase, como lo es el contar con conexión de internet con buen ancho de banda, condiciones de iluminación adecuadas, equipos informáticos capaces de sostener la conexión simultánea de hasta cuarenta equipos informáticos, transmisión de video en tiempo real desde el aula hacia los estudiantes con cámaras de alta definición, se encontró con la dificultad que al estar vacías se presentaba el fenómeno de reverberación que impedía que los estudiantes en sus casas escucharan de manera clara el mensaje enviado por los docentes, impactando en la calidad del entorno académico presentando deficiencias, aunque desde el punto de vista tecnológico se creen las condiciones óptimas, por tanto impactan sobre el confort y la percepción de bienestar de los estudiantes y profesores, así como en su salud, razón por la cual se realizó el estudio de evaluación teórica de la reverberación en las aulas que se preveían adaptar para las actividades académicas remotas, se contrastaron con los requerimientos normativos colombianos de la Norma Técnica Colombia NTC 45951, que para los tiempos de reverberación es de 0,6 segundos en recintos con volumen encerrado inferior a 283m³, con el fin de formular propuestas destinadas a establecer criterios de diseño y calidad acústica de recintos. Se realizó este estudio teórico en siete aulas de la institución universitaria, y se plantearon estrategias de acondicionamiento acústico.

2. Metodología

Este artículo se enmarca dentro de la investigación cuantitativa, desde el enfoque del diseño experimental verdadero, debido que manipulamos una variable, como lo es el coeficiente de absorción para controlar el comportamiento del tiempo de reverberación, es decir establecimos la relación causa efecto en el comportamiento acústico de los ambientes de aprendizaje. Para el estudio se calculó el tiempo de reverberación, utilizando la fórmula Sabine, la cual es función del volumen de la sala y de los coeficientes de absorción de las superficies. En su fórmula Sabine parte del supuesto que existe un reparto homogéneo de absorbentes. [7], define el tiempo de reverberación T , como el tiempo que transcurre desde el momento en que se interrumpe una señal sonora hasta que queda reducido en 60 dB. Este tiempo relaciona el área equivalente A del recinto en Sabines, o su área total S en m² y el coeficiente medio de absorción α en Sabines/m², mediante la expresión de Sabine que incluye al volumen V del recinto en m³. La fórmula de Sabine es un método calculado de forma empírica a partir del cual es posible calcular el tiempo que tarda el sonido en bajar 60 decibelios, expresado en segundos, lo que también se conoce como RT-60. Igualmente es un método comúnmente utilizado para el cálculo del tiempo de reverberación de los recintos. En las aulas se encuentran factores que aumentan la absorción del sonido, como son los muebles, ropa, personas, útiles escolares, es por esto que el RT-60 es calculado, generalmente, en aulas desocupadas. El estudio se llevará a cabo en siete aulas de una institución universitaria en la ciudad de Barranquilla Colombia en junio de 2020.

3. Desarrollo. Evaluación de los tiempos de reverberación de las aulas

En este aspecto, se tuvo en cuenta que para el cálculo de los tiempos de reverberación se hace necesario identificar las variables que permitan conocerlo, por tanto, se tomaron las dimensiones de las aulas para poder determinar el volumen, también se calcularon las superficies del suelo, paredes, puertas, ventanas,

techo y el tipo y número de sillas en cada una de ellas. Se identificaron los materiales constructivos de cada una de las superficies para poder determinar su coeficiente de absorción. En la tabla 1, se puede evidenciar los valores de las variables dimensionales y volumétricas.

Tabla 1. Variables dimensionales y volumétricas de las aulas

Aula	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m3)
201	6,65	5,20	2,60	89,91
202	7,95	5,20	2,60	89,91
203	6,42	5,20	2,60	86,80
204	8,67	5,20	2,60	117,22
205	7,53	3,98	2,40	71,93
206	7,62	5,56	2,40	101,68
207	8,67	5,20	2,40	108,20

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se pueden ver las variables de superficie, materiales constructivos y coeficiente medio de absorción.

Tabla 2. Variables de superficie, materiales constructivos y coeficientes medio de absorción, por aula

Aula	Espacio / Material Constructivo / Coeficiente Medio de absorción											
	Suelo	αm	Paredes	αm	Puertas	αm	Ventanas	αm	Techo	αm	Mobiliario	αm
201	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260
202	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260
203	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260
204	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260
205	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260
206	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260
207	Cerámica	0,020	Revocada	0,020	Madera	0,090	Vidrio	0,110	Hormigón	0,060	Plástico/Textil	0,260

Fuente: Elaboración propia

Contraste de los resultados de la evaluación contra los requerimientos normativos sobre tiempos de reverberación de las aulas. Según [8], los ambientes pedagógicos y complementarios deben alcanzar, con media ocupación, los tiempos de reverberación representados en la tabla 3.

Tabla 3. Requisitos normativos sobre tiempos de reverberación

Ambientes	Máxima reverberación permitida en 500hz, 1000hz, 2000hz (s)
Ambientes pedagógicos básicos con un volumen encerrado menor o igual a 283 m3	0,6
Ambientes pedagógicos básicos con un volumen encerrado mayor a 283 m3 y menor o igual a 566 m3	0,7

NOTA: Adaptado de la norma ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1.

Fuente: NTC 495: 2020

Una vez obtenida la evaluación del tiempo de reverberación actual de las aulas, procedimos a contrastar estos resultados con los requerimientos normativos para poder validar si necesitan intervención de mejora acústica o si las condiciones actuales garantizan la calidad del mensaje de los docentes hacia los estudiantes. Se procede a la Revisión de posibilidades de acondicionamiento acústico. Para lo cual se valida, el planteamiento como superficies con posibilidad de intervención a las ventanas, a través de la instalación de cortinas acústicas, las paredes del fondo con la instalación de paneles absorbentes decorativos y en el techo en la zona de influencia en donde el docente estará realizando sus actividades académicas.

Después de decidir las superficies que pueden ser objeto de intervención, se realiza la búsqueda de proveedores locales o nacionales que suministren productos acústicos con las características necesarias para lograr el acondicionamiento acústico de las aulas y se utilizó su coeficiente de absorción medio α_m .

Para las cortinas acústicas, después de revisar diversos productos, se seleccionó una cortina de dos (2) capas, modelo Molton 500g. Esta cortina presenta buenos niveles de aislamiento acústico, poseen también propiedades de absorción del sonido, cumplen con estándares internacionales UNE-EN ISO 354 y UNE-EN ISO 10140-5 para certificar sus propiedades acústicas, poseen un coeficiente de absorción mayor a 0.4 y niveles de aislamiento acústico superiores a 12dB, se tomó como referencia un coeficiente de absorción medio de 0.55.

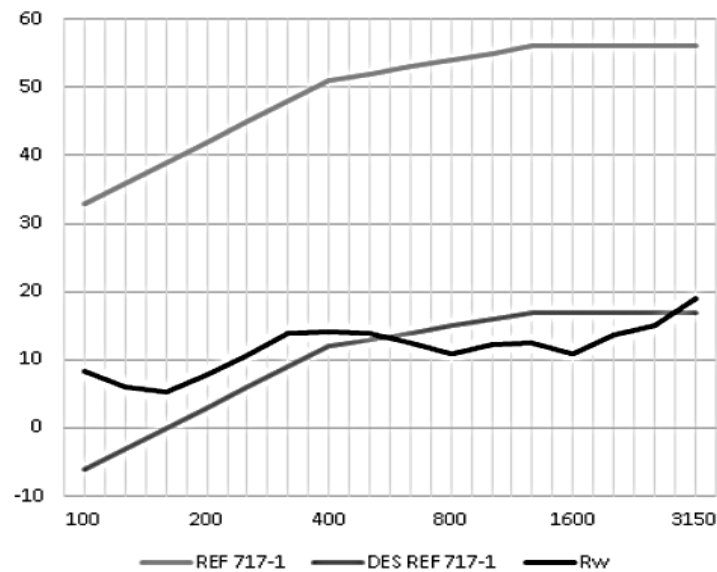


Figura 1. Características técnicas cortinas doble capa

Así mismo, en el caso del material absorbente para ser utilizado en el techo, después de realizar la revisión de varios proveedores, se seleccionó la placa de yeso con perforaciones circulares de borde rebajado R15/30 N1, las cuales están revestidas en su cara posterior con un velo de fibra de vidrio que reduce la reverberación y crea una barrera contra el polvo y las partículas, poseen un coeficiente de absorción mayor a 0.5, se tomó como referencia un coeficiente de absorción medio de 0.73.

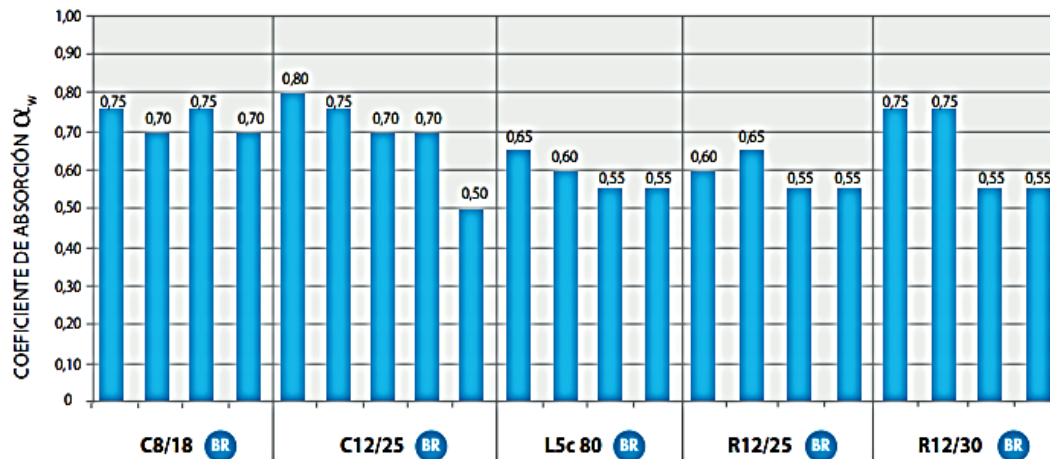


Figura 2. Características técnicas placas de yeso con perforaciones

Para el caso del acondicionamiento acústico de las paredes, se validó la instalación de paneles absorbentes decorativos; después de revisar varios productos, se seleccionó el panel fonoabsorbente textil Accentus de una (1) pulgada, los cuales permiten una solución flexible para espacios que requieren una apropiada calidad acústica y estética tales como auditorios, salas de práctica musical, salones de clase, salas de reunión y oficinas, se tomó como referencia un coeficiente de absorción medio de 0.80.

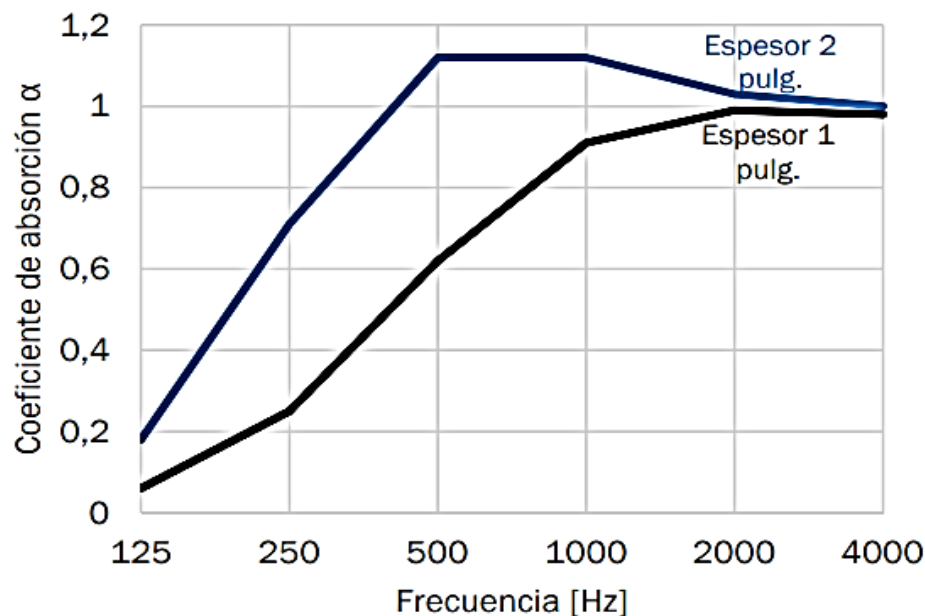


Figura 3. Características técnicas paneles fonoabsorbentes

Cálculo del tiempo de reverberación esperado después del acondicionamiento acústico. Con la información técnica de los productos previstos para el acondicionamiento acústico, se realizan nuevos cálculos para validar su impacto en los ambientes de aprendizaje, para de esa manera tomar decisiones de inversión.

4. Resultados y Discusión

Se realizaron los cálculos de los tiempos de reverberación en las aulas en la condición actual, sin ningún acondicionamiento acústico y sin presencia de estudiantes, que es el escenario que se encuentra el docente en el proceso de enseñanza remoto como contingencia a la pandemia producida por el COVID – 19. En la tabla 4 y la figura 4, podemos verificar los resultados del cálculo de los tiempos de reverberación en la condición inicial.

Tabla 4. Resultados del cálculo de los tiempos de reverberación por aula

Aula	Volumen (m3)	Absorción media	Tiempo de Reverberación Inicial (s)
201	89,91	6,66	2,20
202	89,91	8,69	1,69
203	86,80	6,58	2,15
204	117,22	8,59	2,23
205	71,93	6,50	1,80
206	101,68	24,79	0,67
207	108,20	9,46	1,86

Fuente: Elaboración propia

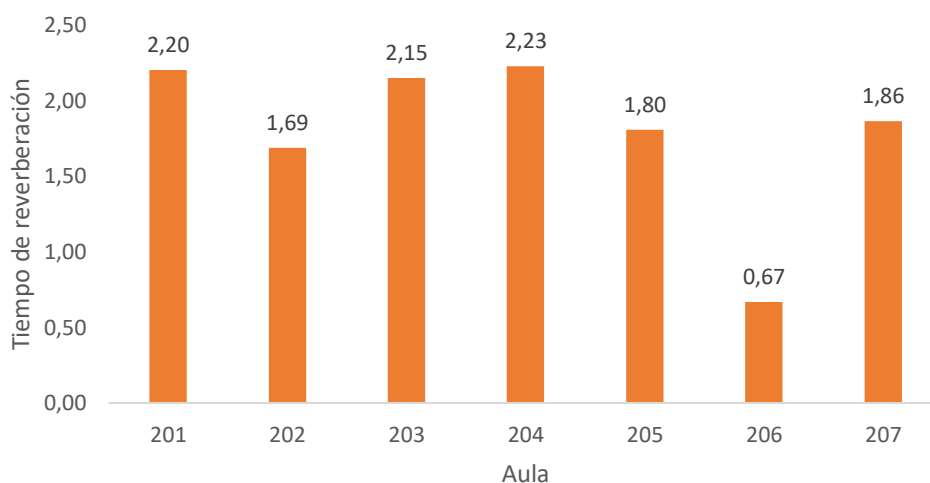


Figura 4. Resultados del cálculo de los tiempos de reverberación por aula

Se puede apreciar tanto en la tabla 4 como en la figura 4, como los resultados de la evaluación de los tiempos de reverberación en tres aulas, 201, 203, 204, están por encima de los 2 segundos; en tres aulas, 202, 205, 207, están entre los 1,5 y 2 segundos y en el aula 206, alcanza el valor de 0,67 segundos. El Contraste de los resultados de la evaluación contra los requerimientos normativos sobre tiempos de reverberación de las aulas. Se realizó la comparación de los resultados con lo requerido por normativa. En la tabla 5 y la figura 5, podemos verificar el contraste de los tiempos de reverberación contra los requisitos normativos.

Tabla 5. Resultados de la comparativa contra norma de los resultados del tiempo de reverberación

Aula	Tiempo de Reverberación Inicial (s)	Requisito normativo (s)
201	2,20	0,60
202	1,69	0,60
203	2,15	0,60
204	2,23	0,60
205	1,80	0,60
206	0,67	0,60
207	1,86	0,60

Fuente: Elaboración propia

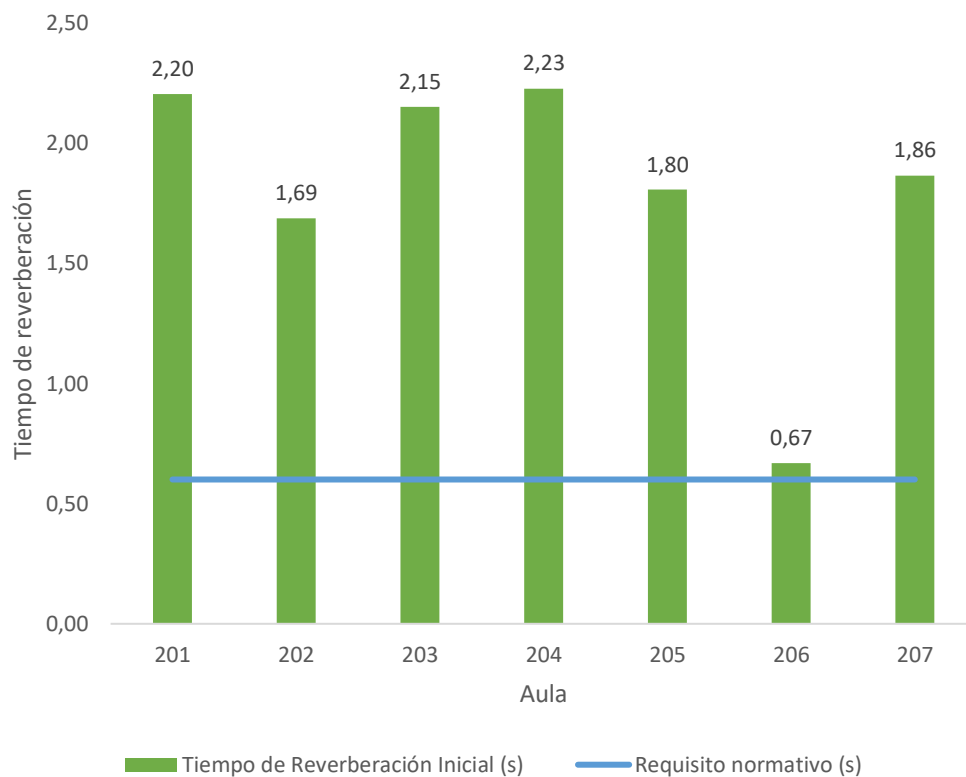


Figura 5. Resultados de la comparativa contra norma de los resultados del tiempo de reverberación

Se puede apreciar tanto en la tabla 5 como en la figura 5, como los resultados de la evaluación de los tiempos de reverberación en todas las aulas supera el valor referente de norma de 0.6 segundos, es decir que el 100% de los ambientes de aprendizaje no cumplen con el referente.

El Cálculo del tiempo de reverberación esperado después del acondicionamiento acústico previsto. Se realizó el nuevo cálculo con los datos de absorción acústica de la selección realizada de materiales y de las variables de superficie impactadas con el planteamiento de la solución. En la tabla 6 y la figura 6, podemos verificar los resultados obtenidos con el planteamiento de la solución de acondicionamiento acústico.

Tabla 6. Resultados del cálculo de los tiempos de reverberación por aula con planteamiento de solución acústica

Aula	Volumen (m3)	Absorción media	Tiempo de Reverberación Final (s)	Tiempo de Reverberación Inicial (s)
201	89,91	22,92	0,64	2,20
202	89,91	26,27	0,56	1,69
203	86,80	22,84	0,62	2,15
204	117,22	24,85	0,77	2,23
205	71,93	19,14	0,61	1,80
206	101,68	35,76	0,46	0,67
207	108,20	26,60	0,66	1,86

Fuente: Elaboración propia

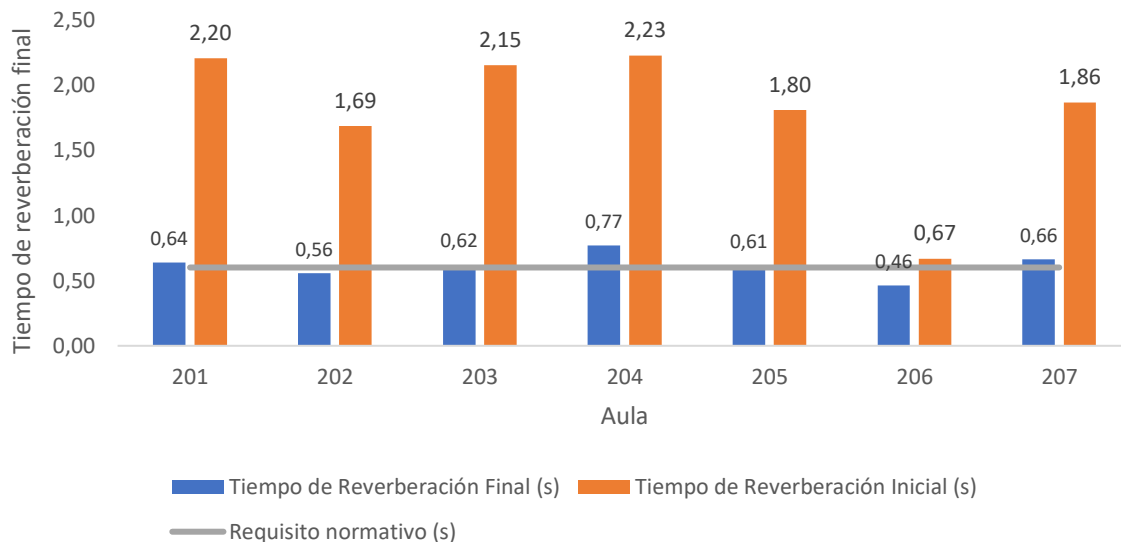


Figura 6. Resultados de la comparativa contra norma de los resultados del tiempo de reverberación

Se puede apreciar tanto en la tabla 6 como en la figura 6, como los resultados de la evaluación de los tiempos de reverberación teniendo en cuenta la solución acústica de acondicionamiento, muestra una reducción de los tiempos de reverberación hasta valores muy cercanos a lo requerido por norma, en dos (2) aulas el tiempo de reverberación que se obtiene arroja valores por debajo de lo requerido por la norma. En el aula 201, se logra disminuir el tiempo de reverberación en aproximadamente el 71%, en el aula 202, la reducción alcanza un porcentaje del 67%, en el aula 203 la reducción está en el 75%, en el aula 204 es del 65%, en la 205 del 66%, en la 206 se alcanza una reducción de 31% y finalmente en el aula 207 nos encontramos con reducciones del tiempo de reverberación de un 68%

5. Conclusiones

Nuestros resultados se alinean con la necesidad de concebir la calidad acústica de los ambientes de aprendizaje, desde su diseño y construcción, para impactar positivamente en el confort acústico de los estudiantes y garantizando el cumplimiento de la norma NTC 495:2020. Así mismo, los resultados son coherentes con las dificultades presentadas por los estudiantes, que consideran el factor como perturbador, en cuanto a la inteligibilidad del mensaje del docente,

durante su transmisión desde las aulas vacías de la institución universitaria. A partir de los resultados, se evidencia que las siete aulas objeto del estudio no cumplen el requisito de la norma NTC 495:2020 en cuanto al tiempo de reverberación. De igual forma, los resultados obtenidos después de la selección de materiales acústicos están acorde con las teorías sobre acondicionamiento acústico de espacios con materiales de absorción. Actualmente, se está planeando la realización del estudio, teniendo en cuenta mediciones del nivel de ruido de fondo y con media ocupación de estudiantes en las aulas, para verificar comportamiento de las soluciones planteadas.

Referencias

- [1] CEPAL, O., & UNESCO. (2020). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19 | Publicación | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Cepal.
- [2] Vialart, M. (2020). Estrategias didácticas para la virtualización del proceso de enseñanza aprendizaje en tiempos de COVID-19. *Educación Médica Superior*, 34(3).
- [3] Yang, D., & Mak, C. M. (2020). Relationships between indoor environmental quality and environmental factors in university classrooms. *Building and Environment*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107331>
- [4] Korsavi, S. S., Montazami, A., & Mumovic, D. (2020). The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach. *Building and Environment*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107309>
- [5] Shih, H. Y., Chou, Y. T., & Hsia, S. Y. (2016). Improvement on acoustic characteristics of a small space using material selection. *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, 33(6). <https://doi.org/10.1108/EC-07-2015-0193>
- [6] Ercoli, L., Azzurro, A. P., Méndez, A. M., & Stornini, A. J. (2001). Case study: The acoustical characteristics of typical argentinean classrooms. *Building Acoustics*, 8(4). <https://doi.org/10.1260/1351010011501867>
- [7] Giménez de Paz, J. C. (2013). *Ingeniería acústica para estudiantes y profesionales en higiene y seguridad: propiedades del ruido y su control..* Giménez de Paz Ediciones. <https://elibro.net/es/ereader/corsalud/184828?page=113>
- [8] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020). *Norma Técnica Colombiana Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares E: Planning and design of school environments and facilities*