

Análisis de las condiciones acústicas en unidades de aprendizaje de instituciones de educación superior

An analysis of acoustic conditions in classrooms of higher education institutions

Eduardo José Robles Algarin 

José Martín Munive Álvarez 

Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional, Colombia

OPEN  ACCESS

Recibido: 13/06/2023

Aceptado: 18/08/2023

Publicado: 02/11/2023

Correspondencia de autores:

eduardojoseroblesalgarin@hotmail.com



Copyright 2020
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Determinar las condiciones acústicas en las unidades de aprendizaje del Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional de Ciénaga, Magdalena. **Metodología:** es un estudio descriptivo para tal fin se tomaron 6 unidades de aprendizaje con mayor exposición a ruido interior y exterior, en las cuales se utilizó un sonómetro tipo I para tomar 3 mediciones en cada unidad durante las tres jornadas en que se desarrollan las actividades académicas. **Resultados:** Se determinaron parámetros acústicos como el ruido de fondo, nivel de sonido equivalente (Leq), tiempo de reverberación como consecuencia se determinó que el 100% de las unidades analizadas presentan tiempos de reverberación y ruidos de fondo por encima de los valores permitidos. **Conclusiones:** Se determinó que existen malas condiciones acústicas y confortabilidad sonora en las unidades de aprendizaje, debido a que presentan altas reverberaciones, niveles altos de ruido de fondo y bajo aislamiento acústico en sus particiones.

Palabras clave: Acústica, Ruido de fondo, Tiempo de Reverberación, Nivel Sonoro Continuo Equivalente, Coeficiente de Absorción Sonora.

Abstract

Objective: to determine the acoustic conditions in the learning units of the National Institute of Professional Technical Training of Ciénaga, Magdalena. **Methodology:** it is a descriptive study for this purpose, 6 learning units were taken with greater exposure to interior and exterior noise, in which a type I sound level meter was used to take 3 measurements in each unit during the three days in which the activities are carried out. academic. **Results:** acoustic parameters such as background noise, equivalent sound level (Leq), reverberation time, as a consequence, it was determined that 100% of the analyzed units present reverberation times and background noises above the allowed values. **Conclusions:** It was determined that there are poor acoustic conditions and sound comfort in the units of learning, because they present high reverberations, high levels of background noise and low acoustic insulation in their partitions.

Keywords: Acoustics, Background noise, Reverberation Time, Equivalent Continuous Sound Level, Sound Absorption Coefficient.

Introducción

En la actualidad el tema de ruido es uno de los componentes de la higiene que genera gran interés dentro del contexto de la seguridad y salud en el trabajo, debido a que afecta en forma directa la salud física y mental de los trabajadores, poniendo en riesgo el desempeño laboral [1]; por lo que es indispensable realizar estudios que logren obtener datos representativos que permitan tener un diagnóstico de las condiciones acústicas dentro del contexto laboral [2, 3].

Las instituciones educativas no son ajenas a este factor de riesgo, debido a que el proceso de enseñanza – aprendizaje requiere de condiciones acústicas que garanticen la captación de los mensajes y el buen desempeño de la actividad docente [4]. En Colombia la resolución 0627 del 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece que los centros educativos deben tener un nivel máximo permisible de ruido de 65 dB en el día y 55 dB en la noche [5], lo que indica que se tienen que implementar mecanismos de control que garanticen la confortabilidad sonora en las aulas de clase y por ende se creen las condiciones necesarias para cumplir con estos criterios.

Lo anterior se puede fundamentar con un estudio realizado por investigadores de Portugal [6], en el cual se hizo una evaluación subjetiva de la percepción de estudiantes y docentes con respecto al ruido presente en las aulas. Como resultado, el 38,8% manifestó que las actividades que más se veían afectadas por el ruido era cuando hacían pruebas o ejercicios, mientras que para el 34% fue durante las lecciones de los maestros, solo un 8,3 % no se sentía perturbado por el ruido durante la clase. Para el caso de los docentes se mantuvo la misma percepción de los estudiantes, debido a que el 95% manifestó que los ruidos que causan mayor interferencia dentro de las clases son los provenientes de la parte interior de la escuela.

Un aspecto relevante que influye en las condiciones acústicas de las unidades de aprendizaje son sus condiciones de diseño [7]. En un estudio realizado en Curitiba Brasil determinaron que los tres tipos de arquitecturas estudiadas tienen errores de construcción referente a su diseño y acabado, citando un caso en particular las ranuras entre aulas que permiten que el ruido de un aula afecte a la otra [8]. Así mismo, evidenciaron que los tiempos de reverberación de las aulas antiguas ofrecen mejores condiciones acústicas que las modernas, por lo tanto, los autores lograron demostrar que la comprensión del habla se ve afectada por los efectos combinados de ruido excesivo y reverberación en las aulas, afectando con esto el proceso de aprendizaje.

En la confortabilidad sonora de las unidades de aprendizaje influyen factores como la dimensión del aula, los materiales de construcción, las características de los mobiliarios y otros que se relacionan directamente con el factor de riesgo como lo son el nivel de presión sonora, el tiempo de reverberación y la relación señal sonido [9, 10, 11]. Estos factores sumados al número de personas que se encuentran dentro un escenario educativo contribuyen de manera directa en las condiciones acústicas de las unidades de aprendizaje [12].

Otro problema relevante que es influenciado por las condiciones acústicas es la inteligibilidad de la palabra [13, 14], que muchas veces se ve afectada por la presencia de ruidos durante el desarrollo de la clase magistral. En la investigación realizada en la Universidad Nacional de Colombia determinaron que esta variable es muy pobre en las tres facultades que participaron en el estudio, con tiempos de reverberación muy malos y con el 63,63% de los salones de una de las facultades con muy mala acústica, por lo que los autores sugieren continuar con las investigaciones dentro este mismo escenario [15].

Así mismo, los investigadores en [16] demostraron los efectos del ruido en la percepción del habla y la comprensión de las palabras realizando un cuadro comparativo entre niños y adultos. Referente al cuadro

comparativo de las 2 aulas, en el aula favorable se presentó un deterioro del 6% en las voces de los niños y del 2% en adultos, pero en el aula con ruido la diferencia fue más marcada de tal forma que el deterioro en las voces fue del 22% para niños de primer grado, 24% para tercer grado y 12 % para adultos, concluyendo con esto que en los niños se presentó un impacto negativo mayor que en adultos.

Otro aspecto para resaltar dentro de este contexto es lo referente a las alteraciones en la salud que se originan como consecuencia a la exposición de este factor de riesgo. En la investigación realizada en [17] encontraron que, en las consultas de medicina laboral de una IPS de la ciudad de Bogotá, existían 262 historias clínicas de docentes diagnosticados con disfonía entre el año 2009 y 2012. Los resultados también mostraron que 67 docentes tenían nódulos, observándose mayor proporción en mujeres e individuos con edades entre 45 y 54 años, adicionalmente a esto se suma que el 75% presentaba 90 días de incapacidad laboral.

En el trabajo realizado en [18] se determinó que por exposición continua a ruido se pueden generar enfermedades como sordera, alteraciones a nivel circulatorio, respiratorio, gastrointestinal, neurológico y psíquico. Adicional a esto se suma la afectación en la comunicación debido a que el ruido intenso provoca el enmascaramiento de la voz, lo cual afecta el entendimiento del mensaje y en algunos casos esto es causal de que se presenten los accidentes de trabajo [19].

La investigación presentada en [20], demostró que 36,5 % de la población española percibe ruido en su puesto de trabajo, afectando con esto su calidad de vida. En cuanto a la morbilidad por exposición a este factor de riesgo, se lograron identificar algunas alteraciones que afectan la salud física y mental de los trabajadores, como lo es la sensación continua de cansancio, dormir mal y dolores de cabeza.

Según lo anterior, es de vital importancia que las instituciones de educación establezcan procedimientos claros para cumplir con las directrices planteadas por la normativa actual vigente, con respecto a este factor de riesgo, por lo tanto, resulta necesario realizar mediciones de ruido que permitan conocer en que niveles se encuentran dentro del entorno laboral y establecer las recomendaciones necesarias según los resultados obtenidos.

En ese sentido, este trabajo de investigación se centró en estudiar las condiciones acústicas de las aulas de clase en diferentes horarios en el Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional de Ciénaga Magdalena (INFOTEP), para lo cual se realizaron mediciones ambientales de ruido que permitieron establecer un cuadro comparativo con la normativa actual vigente. Es de resaltar que este es el primer estudio de esta naturaleza que se realiza en la institución, por lo que con los resultados obtenidos se podrán establecer medidas de intervención específicas que logren reducir los niveles de ruido y por ende mejorar el microclima laboral que garantice el proceso de enseñanza – aprendizaje y la prevención de alteraciones de la salud de la comunidad que participa en el campo educativo.

Metodología

Durante el primer semestre del 2022 se realizó un estudio descriptivo con el propósito de evaluar y analizar las variables que influyen en las condiciones acústicas de las unidades de aprendizaje del Instituto Nacional de Formación Técnica Profesional ubicado en el municipio de Ciénaga Magdalena. Se tomó una muestra de 6 unidades de aprendizaje, tres en la sede académica y tres en la sede administrativa con mayor exposición al ruido interior y exterior. Luego se procedió a medir las unidades de aprendizaje y los materiales de las estructuras presentes, como ventanas, techos, paredes, pisos y tableros. También, se calculó el área de cada superficie y el volumen general de la unidad de aprendizaje y de esta forma tener los datos para calcular el tiempo de reverberación con la ecuación de Sabine (Ver Ec. 1)

$$Tr = \frac{0,161 \times V}{\Sigma \text{Superficie} \times \alpha} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde V es el volumen del recinto en m³ y α es el coeficiente de absorción de cada material.

Posteriormente, se procedió a realizar las mediciones de ruido con el sonómetro analizador de frecuencia EXTECH 407790. Inicialmente se midió el ruido de fondo para lo cual se puso el sonómetro en un trípode a una altura de 1,5 metros con una programación de un tiempo de 5 minutos y de esta forma conocer los valores del Leq en las diferentes bandas de frecuencias. Este procedimiento se realizó en tres puntos de cada unidad de aprendizaje en las diferentes jornadas de trabajo (mañana, tarde y noche).

El mismo procedimiento se realizó durante el desarrollo de las clases magistrales con el sonómetro a un metro de distancia del docente. Al terminar las mediciones, se revisó la memoria del sonómetro para anotar los datos obtenidos en las diferentes mediciones y registrarlos en tablas de Excel para su posterior procesamiento y comparación con las normativas o estándares nacionales e internacionales.

Resultados

Con la realización de las mediciones y cálculos en las unidades de aprendizaje de la sede académica y administrativa del INFOTEP se obtuvieron resultados de ruido de fondo, ruido en clases y tiempos de reverberación. En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los resultados para el ruido de fondo en las unidades de aprendizaje para la sede académica y la administrativa.

Tabla 1. Ruido de fondo promedio en las unidades de aprendizaje de la sede académica

Unidades de aprendizaje por jornadas	Frecuencia (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq
	Ruido de fondo promedio (dB) – Sede académica									
202 (mañana)	23,97	34,87	47,83	54,9	58,57	57,93	56,03	54	49,3	63,93
202 (tarde)	21,53	35,2	46,73	55,07	62,73	63,97	60,53	55,33	46,02	67,73
202 (noche)	21,1	34,05	45,05	53,15	61,47	60,67	57,53	52,83	46,17	65,53
203 (mañana)	24	40,13	47,9	52	59,23	60,93	57,7	57,93	46,2	65,67
203 (tarde)	22,17	37,57	46,8	53,5	60,3	60,67	59,33	53,23	44,83	65,47
203 (noche)	23,1	39,07	48,57	53,73	61,3	61,3	58,97	55,33	46,83	66,07
206 (mañana)	23,97	37,02	49,4	58,07	66,83	66,97	64,57	59,53	50,87	71,4
206 (tarde)	21,83	32,47	45,47	56,33	64,7	66,53	65,5	59,4	47,13	70,6
206 (noche)	20,33	34,3	45,27	51,6	58,27	56,67	54,43	52,57	42,83	62,43

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se evidencia que el ruido de fondo de las unidades de aprendizaje 202, 203 y 206 de la sede académica no cumplen con los criterios establecidos en las normativas nacionales e internacionales, principalmente en la unidad 206 que presenta unos valores de Leq de 71,4 dB y 70,6 dB en las jornadas de la mañana y tarde. De igual forma, se determinó que los promedios de ruido de fondo obtenidos con la realización de las mediciones en todas las jornadas sobrepasan los 60 dB.

Tabla 2. Ruido de fondo promedio en las unidades de aprendizaje de la sede administrativa

Unidades de aprendizaje por jornadas	Frecuencia (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq
	Ruido de fondo promedio (dB) – Sede administrativa									
207 (mañana)	25,3	38,08	51,3	56,33	63,9	64,13	60,9	56,63	45,73	68,43
207 (tarde)	20,23	34,73	46,57	52,73	60,77	61,83	59,27	55	43,47	66,03
207 (noche)	20,1	34,13	44,43	50,53	57,07	55,67	54,53	52,77	43,47	61,73
212 (mañana)	24,87	35,3	43,13	50,2	55,67	55,3	52,73	51,03	41,17	60,93
212 (tarde)	24,37	34,1	40,37	48	52,2	51,67	49,17	50,8	41,67	57,67
212 (noche)	25,83	30,53	35,37	44,47	50,47	49,5	46,47	43,97	36,17	55,7
214 (mañana)	21,07	40,57	47,6	51,3	55,17	54,93	53,4	53,63	45,17	61,1
214 (tarde)	26,3	39,9	45,27	52,8	55,37	56,43	58,03	56,87	48,33	63,3
214 (noche)	17,43	36,97	44,03	50,27	53,13	52,53	51,07	48,97	42,5	58,73

Fuente: Elaboración propia

En relación con los resultados de ruido de fondo de las unidades de aprendizaje 207, 212 y 214 de la sede administrativa, en la Tabla 2 se observa que ninguno de los resultados de medición del Leq cumple con los estándares normativos nacionales e internacionales, sin embargo, el promedio de los valores de las mediciones es menor en esta sede, con excepción de la unidad 207 en la jornada de la mañana.

En la Tabla 3 y Tabla 4 se muestran los resultados para el ruido de clases promedio para las unidades de aprendizaje ubicadas en las sedes académica y administrativa.

Tabla 3. Ruido de clase promedio en las unidades de aprendizaje de la sede académica

Unidades de aprendizaje por jornadas	Frecuencia (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq
	Ruido de clase promedio (dB) – Sede académica									
202 (mañana)	22,9	33,8	48,6	63	75,6	75	74,1	69,7	58,1	79,8
202 (tarde)	19,1	38,4	53	64,3	74,7	77,4	75,5	70,70	60,6	80,5
202 (noche)	20,9	35,4	50,4	63,9	76,9	76,80	74,9	69,6	59	80,8
203 (mañana)	18,9	35,3	48	58,7	68,8	67,6	64,9	61	55,1	72,5
203 (tarde)	20,4	36,7	49,9	60,5	67,9	63,8	62,7	58,4	51,5	70,4
203 (noche)	19,7	38,4	49,5	61	70,4	73	72,6	68,4	57,9	76,9
206 (mañana)	19,7	35	49,3	62,5	75,1	75,7	74,1	69	57,3	79,5
206 (tarde)	21,2	36,6	50,6	62,5	74,1	75,2	74,2	68,4	57,2	79,2
206 (noche)	16,9	34,1	49,1	61,4	73,1	71	67,5	61,6	53,5	75,5

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados de medición durante la realización de clases magistrales en la sede académica, se logró evidenciar que el 100 % de los salones no cumple con los valores establecidos en la resolución 0627 del 2006 en la que se establece que el valor del Leq en el día es de 65 dB y en la noche de 55 dB, lo cual puede afectar la salud auditiva y vocal de los docentes que laboran en esta institución, principalmente en la unidad de aprendizaje 202 que presentó niveles de ruido continuo equivalente (Leq) mayor a 80 dB en las jornadas de la tarde y noche (Ver Tabla 3).

Tabla 4. Ruido de clase promedio en las unidades de aprendizaje de la sede administrativa

Unidades de aprendizaje por jornadas	Frecuencia (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Leq
	Ruido de clase promedio (dB) – Sede administrativa									
207 (mañana)	23,6	35,9	51,6	62,4	70,9	70,6	68,6	65,5	52,7	75,2
207 (tarde)	19,6	34,3	49,8	60,3	70,1	69	66,8	63	54,5	73,7
207 (noche)	14,2	31,2	48,9	59,8	70	68,9	68,9	65,7	53,6	74,1
212 (mañana)	27,7	32,1	51,3	60,7	68,2	66,1	64,5	61,4	52,8	71,8
212 (tarde)	23,1	39,4	53,5	63,9	72,2	71,3	68,7	64,2	55,20	75,7
212 (noche)	26	35,7	53,4	66,5	73,3	74,3	72,4	68,8	58,5	78,3
214 (mañana)	17,7	39,7	51,8	63,4	74,3	74,3	72,5	69,2	57,3	78,5
214 (tarde)	18,9	39,4	51,5	62	70,5	70,5	68,6	65	55,7	75,1
214 (noche)	20,6	41,8	51,6	63,9	77,6	77	75,5	70,6	59,9	81,7

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se evidencia que las unidades de aprendizaje 207, 212 y 214 no cumplen con niveles de ruido continuo equivalente en ninguna de las jornadas de clase, logrando con esto evidenciar que el 100% de estos espacios donde se desarrolla el proceso de enseñanza aprendizaje no presentan las condiciones acústicas adecuadas para garantizar un entorno de trabajo adecuado.

En la Tabla 5 se muestra de forma resumida el valor del Leq para cada unidad de aprendizaje en cada una de las jornadas. Los valores obtenidos son comparados con los valores de referencia establecidos en la Resolución 0627 del 2006, en la norma NTC 4595 del 2015 y en la ANSI S12.60 2010, con lo cual se logró establecer que en ningún caso se cumple con los valores mínimos establecidos en las normas nacionales e internacionales.

Tabla 5. Comparación del Leq promedio con valores de referencia nacionales e internacionales

Unidad de Aprendizaje	Promedio Leq mañana (dB)	Promedio Leq tarde (dB)	Promedio Leq noche (dB)	Res. 0627 del 2006. Leq día 65 dB Leq noche 55 dB	NTC 4595 del 2015. Leq 40 – 45 dB	ANSI S12.60 2010. Leq = 40 dB
202	63,93	67,73	65, 53	No cumple	No cumple	No cumple
203	65,67	65,47	66,07	No cumple	No cumple	No cumple
206	71,04	70,6	62,43	No cumple	No cumple	No cumple
207	68,43	66,03	61,73	No cumple	No cumple	No cumple
212	60,93	57,67	55,7	No cumple	No cumple	No cumple
214	61,1	63,3	58,73	No cumple	No cumple	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Con relación a los cálculos de los tiempos de reverberación se logró evidenciar que el 100% de las unidades de aprendizaje no cumplen con este parámetro acústico debido a que todos los resultados obtenidos estuvieron por encima de 1s, incumpliendo con esto con las normativas nacionales e internacionales (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Tiempos de reverberación en las unidades de aprendizaje

Unidad de Aprendizaje	Frecuencias Bandas de octavas (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
	Tiempo de Reverberación (s)					
202	3,25	3,88	3,69	4,14	4,53	3,59
203	3,26	3,89	3,66	4,11	4,48	3,52
206	3,34	3,99	3,80	4,26	4,67	3,72
207	3,67	4,31	3,98	4,37	4,43	3,67
212	4,88	5,33	3,61	4,17	3,86	3,01
214	4,94	5,42	3,73	3,92	3,99	3,18

Fuente: Elaboración propia

Discusión

Según los criterios establecidos por la resolución 0626 del 2006 en las universidades, colegios o escuelas, los niveles de ruido continuo equivalente deben estar en el día en 65 dB y la noche 55 dB, a nivel internacional la ANSI 1260 del 2010 es más exigente en el cumplimiento de la calidad acústica en las unidades de aprendizaje puesto que establece que en estos recintos se deben cumplir con un valor de 40 dB sin importar la jornada de trabajo.

En el desarrollo de este proceso investigativo se analizaron las condiciones acústicas de 6 unidades de aprendizaje, las cuales presentaron valores de Leq y de tiempo de reverberación por encima de los niveles permitidos por normativas nacionales e internacionales, esto resultados se asemejan a estudios realizados por diferentes autores que enfocaron su proceso investigativo a la valoración cualitativa y cuantitativa de unos parámetros acústicos relevantes para determinar si los entornos académicos cumplen con estándares para desarrollar el proceso de enseñanza – aprendizaje.

Por ejemplo, al hacer una comparación del presente trabajo con los resultados de la investigación realizada en la Universidad Nacional [15], se puede establecer que en ambos estudios se obtuvieron tiempos de reverberación muy malos y malas condiciones acústicas, con la diferencia que los investigadores de la Universidad Nacional concluyeron que el 63,63% de las unidades de aprendizaje presentaron tiempos de reverberación muy superiores a los de la norma, en comparación con el 100% obtenido en esta investigación. También es posible comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos en [8], puesto que en este caso los investigadores demostraron que las edificaciones antiguas estudiadas tenían mejores condiciones acústicas que las modernas, lo que dista de los resultados obtenidos respecto a las unidades de aprendizaje del INFOTEP, las cuales se pueden considerar como edificaciones antiguas, pero con problemas evidentes de acústica. No obstante, es de aclarar que en el caso de esta investigación no se realizaron comparaciones entre unidades modernas y antiguas.

Finalmente, al realizar una comparación entre las 3 unidades de aprendizaje de la sede académica y las 3 de la sede administrativa se evidencia que un 72.3 % los valores de Leq en actividad de clases son mayores en la sede académica que en la administrativa.

Conclusiones

El desarrollo de esta investigación reflejó la importancia que tiene este factor de riesgo en un trabajo tan relevante como lo es el desempeño docente, debido a que unas condiciones inadecuadas de acústica en este tipo de recinto contribuyen en el desmejoramiento de la salud de los trabajadores puesto que tienen que esforzar la voz para poder superar los niveles de presión sonora que se presenta durante el desarrollo de las clases magistrales. En este caso en particular, la investigación se centró en determinar el nivel de ruido continuo equivalente en 6 unidades de aprendizaje, en las tres jornadas académicas mañana, tarde y noche, obteniendo mediante un proceso de medición los datos que permitieron demostrar que ninguna de las aulas cumple con los parámetros establecidos en normativas nacionales e internacionales.

La primera variable que se evaluó fue la de ruido de fondo, en la cual se determinó que no cumple con los valores establecidos en las normativas nacional e internacional, mostrándose con mayor vulnerabilidad la jornada de la mañana, luego la tarde y por último la noche. La razón de tener ruidos de fondo tan elevados se debe a que las unidades de aprendizaje tienen puertas y ventanas con aberturas que permiten el paso de las ondas sonoras emitidas por diferentes fuentes externas como lo es caso de los salones vecinos, el tráfico vehicular, las actividades extracurriculares y los locales comerciales, por consiguiente, no existe un aislamiento acústico.

Otro aspecto para resaltar es la correlación de las medias frecuencias en bandas de octavas con los niveles de ruido continuo equivalente, debido a que, en las frecuencias de 500, 1000, y 2000 Hz fue donde mayores valores se obtuvieron, situación preocupante debido a que en estos rangos es donde existe mayores sensibilidades auditivas.

Referente a los promedios de niveles de ruido continuo equivalente medidos sin jornada académica y el obtenido durante el desarrollo de la clase, se logra concluir que no existe ningún nivel de cumplimiento con las normas tomadas como referencia para hacer el cuadro comparativo (ANSI 1260 del 2010, NTC 4595 del 2015 y 0627 del 2006), por ende, es preciso afirmar que las unidades de aprendizaje en todas las jornadas académicas superan proporcionalmente los rangos establecidos, especialmente en los 2000 Hz.

Por último, se calcularon teóricamente los tiempos de reverberación en las unidades de aprendizaje con diferentes bandas de frecuencia y se compararon con los valores establecidos en la norma técnica colombiana

4595 del 2015, observando que todas las unidades de aprendizaje tienen tiempos en el rango de 3,01 segundos a 5,42 segundos, mientras que la norma establece que los valores deben oscilar entre 0,9 y 1 segundo.

En síntesis, la investigación desarrollada en las unidades de aprendizaje del INFOTEP reflejó la importancia de realizar una evaluación del riesgo físico (ruido), mediante la realización de las mediciones, puesto que estas emiten datos confiables que facilitan la escogencia de los métodos de control más acertado y de esta forma se evitan los sesgos que se originan cuando se evalúa con percepciones de los representantes de seguridad y salud en el trabajo.

Referencias bibliográficas

1. R. Thompson, R. Smith, Y. Bou Karim, C. Shen, K. Drummond, C. Teng y M. Toledano, "Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence", *Environment International*, 158, 106905, 2022.
2. D. Flores, "Hearing Damage in workers from exposure to occupational noise", *Universidad y Sociedad*, 13(2),117-122, 2021.
3. N. Kapoor, A. Kumar, T. Alam, A. Kumar, K. Kulkarni y P. Blechich, "A review on indoor environment quality of indian school classrooms", *Sustainability*, 13(21), 11855, 2021.
4. M. Álvarez, K. Zambrano y M. Margarita, "Occupational risk factors affecting voice qualities in teachers at the University of Sucre", *Revista de Logopedia, Foniatria y Audiología*, 34(4), 149-156, 2014.
5. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006) Resolución 627 de 2006 [Internet], Colombia. Disponible desde: <<https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-627-de-2006.aspx>> [Acceso: 25 Enero de 2022].
6. L. Silva, I. Oliveira y J. Silva, "The impact of urban noise on primary schools. Perceptive evaluation and objective assessment", *Applied Acoustics*, 106, 2-9, 2016.
7. A. Klosak, (2019, July). From measurements, through computer modelling, design and construction, back to measurements: Acoustical modernization of 800 pupils primary school in warsaw, poland. Presentado en *The 26th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2019*. [En línea] Disponible: <http://toc.proceedings.com/50377webtoc.pdf>
8. P. Trombetta, E. Krüger y A. Dorigo, "Acoustic and Luminous Performance Evaluations in Classrooms in Curitiba, Brazil", *Indoor and Built Environment*, 17(3), 203-212, 2008.
9. C. Park y C. Haan, "Initial study on the reverberation time standard for the korean middle and high school classrooms using speech intelligibility tests", *Buildings*, 11(8), 354, 2021.
10. P. Nicola y V. Chiara, "A Slight Increase in Reverberation Time in the Classroom Affects Performance and Behavioral Listening Effort", *Ear and Hearing*, 43(2), 460-476, 2022.
11. J. Aguilar, "A review of acoustic design criteria for school infrastructure in chile", *Revista Ingenieria De Construccion*, 34(2), 115-123, 2019.
12. G. Minelli, G. Puglisi y A. Astolfi, "Acoustical parameters for learning in classroom: A review", *Building and Environment*, 208, 108582, 2022.
13. P. Bottalico, S. Murgia, G. Puglisi, A. Astolfi y K. Ishikawa, "Intelligibility of dysphonic speech in auralized classrooms", *Journal of the Acoustical Society of America*, 150(4), 2912-2920, 2021.
14. Y. Choi, "The intelligibility of speech in university classrooms during lectures", *Applied Acoustics*, 162, 107211, 2020.

15. L. Cantor y A. Muñoz, "Condiciones acústicas de las aulas universitarias en una Universidad pública en Bogotá", *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(216), 26-34, 2009.
16. M. Klatte, T. Lachmann y M. Meis, "Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting", *Speech perception and understanding*, 12(49), 270-282, 2010.
17. A. Alvarado, C. Eduardo, J. Tovar y A. Fajardo, "Prevalencia de nódulos vocales en un grupo de docentes con disfonía", *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 59(233), 375-382, 2013.
18. J. Ganime, L. Almeida da Silva, M. d. C. Robazzi, S. Valenzuela Sauzo y S. Faleiro, "El ruido como riesgo laboral: una revisión de la literatura", *Enfermería Global*, 19, 1-15, 2010.
19. Y. Redman, C. Vercelli, L. Cantor-Cutiva y P. Bottalico, "Work-related communicative profile of voice teachers: Effects of classroom noise on voice and hearing abilities", *Journal of Voice*, 36(2), 17-31, 2022.
20. E. Ordaz, J. Maqueda, A. Asúnsolo, A. Silva, M. Gamó, R. Cortés y E. Bermejo, "Efecto de la exposición a ruido en entornos laborales sobre la calidad de vida y rendimiento", *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(216), 35-45, 2009.