

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL SONORO ADMISIBLE EN CENTROS EDUCATIVOS ESCOLARES SEGÚN LA NORMA NACIONAL Y DE OTROS III PAÍSES: CHILE, AUSTRALIA Y REINO UNIDO.**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORAS:**

Pacheco Chirinos, Paola Nikoll

Cornejo Mamani, Sharon Gabriela

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**

Escobar Guevara, Alvaro

Mayta Soria, Juan Daniel

Chávez Briceño, Ángel Iván Alejandro

**ASESORA:**

Ramírez Valdivia, Victoria Emperatriz

Lima, diciembre, 2020

## Resumen

El presente trabajo de investigación realiza un estudio comparativo de 5 normas sobre la calidad acústica en centros educativos. Los países de análisis incluyen: Perú, Chile, Australia y Reino Unido. Para ello se inicia con una reflexión sobre la importancia de controlar el ruido y evitar sus efectos nocivos en la salud, luego, se describe la situación actual de las normas en cada país y también algunos conceptos básicos de diseño acústico. Finalmente, se analiza y contrasta la información obtenida y se brindan recomendaciones para lograr aislamiento acústico en centros educativos.



## Tabla de contenidos

1. Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Justificación .....	2
1.4. Alcance .....	2
1.5. Metodología.....	3
2. Revisión de la literatura .....	4
2.1. Ruido y aprendizaje .....	4
2.2. Indicadores de confort acústico en espacios educativos.....	5
2.2.1. Nivel de Ruido $L_{eqAS}$ .....	5
2.2.2. Tiempo de Reverberación RT o TR .....	6
2.2.3. Inteligibilidad de la Palabra.....	7
2.2.4. Relación Señal-Ruido SNR.....	7
2.2.5. Aislamiento de ruido .....	8
2.3. Normativa de control de la contaminación sonora .....	8
2.3.1. Perú.....	8
2.3.2. Chile .....	10
2.3.3. Australia .....	12
2.3.4. Reino Unido .....	14
2.3.5. Estándares internacionales (OMS).....	16
2.4. Acústica arquitectónica.....	16
2.5. Materiales de aislamiento acústico .....	18
3. Análisis comparativo .....	20
3.1. Análisis y comparación de normas .....	20

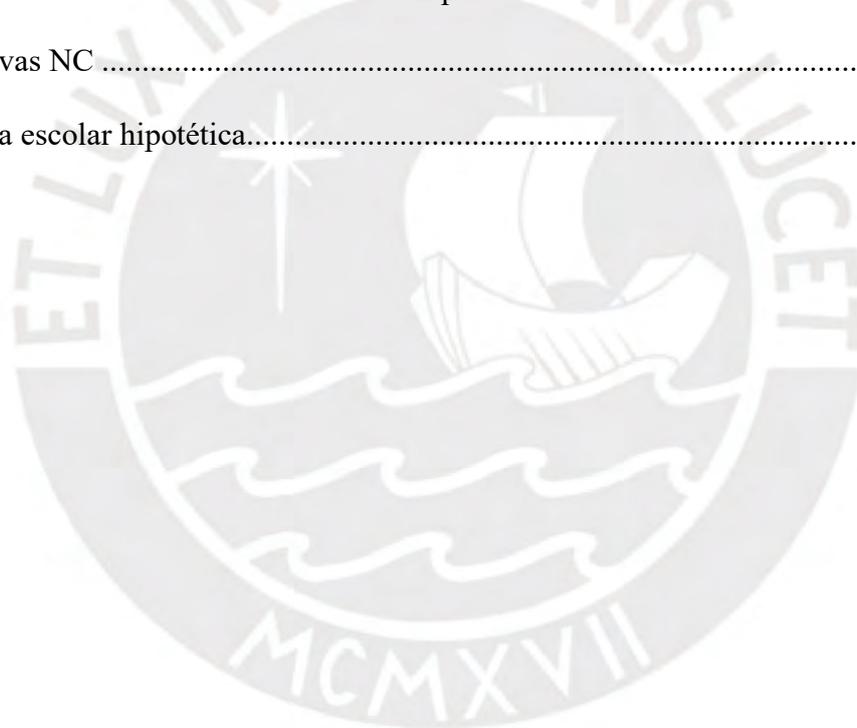
3.1.1.	Nivel equivalente diurno (NED dB).....	22
3.1.2.	Nivel de presión sonora equivalente con ponderación A (LAeq dB).....	22
3.1.3.	Aislamiento de ruido aéreo entre ambientes .....	23
3.1.4.	Nivel de presión de ruido de impacto estandarizada ponderada ( $L'_{nTw}$ db) .....	26
3.1.5.	Tiempo de reverberación (RT s) .....	27
3.1.6.	Inteligibilidad de la palabra.....	28
3.2.	Casos de estudio en diferentes países .....	28
3.2.1.	Perú.....	28
3.2.2.	Chile .....	31
3.2.3.	Australia .....	34
3.2.4.	Reino Unido .....	36
3.3.	Propuestas de diseño y construcción .....	38
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	42
5.	Bibliografía .....	44
6.	Anexos .....	51
6.1.	Anexo A: BB93 .....	51
6.2.	Anexo B: AAAC .....	58

## Índice de tablas

Tabla 1: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido .....	10
Tabla 2: Parámetro de confort acústico en aulas .....	12
Tabla 3: Resumen de normas citadas de diferentes países referentes al diseño acústico.....	20
Tabla 4: Resumen de criterios incluidos en diferentes normativas. ....	21
Tabla 5: Resumen de niveles de presión sonora admisibles para diferentes ambientes en centros educativos según el BB93 y la AAAC.....	22
Tabla 6: Clasificación de ambientes. Escala del emisor: bajo, promedio, alto y muy alto. Escala del receptor: bajo, medio y alto.....	24
Tabla 7: Valor mínimo de diferencia de nivel para salones de clase. ....	24
Tabla 8: Clasificación de ambientes. Escala del emisor: bajo, promedio, alto y muy alto. Escala del receptor: muy bajo, bajo, medio y alto.....	25
Tabla 9: Valor mínimo de diferencia de nivel para salones de clase. ....	25
Tabla 10: Nivel de presión de ruido de impacto admisible según BB93 .....	26
Tabla 11: Clasificación de ambientes. Escala del emisor: bajo, medio y alto. Escala del receptor: muy bajo, bajo, medio y alto.....	26
Tabla 12: Valor máximo de presión sonora por impacto medida en el ambiente receptor. ....	27
Tabla 13: Resumen de tiempo de reverberación máximos en segundos, según ambiente y norma.....	27
Tabla 14: Valores promedio de indicadores acústicos en 185 ambientes desocupados, organizados de acuerdo al uso. Las mediciones duraron entre 3 y 5 minutos. ....	36
Tabla 15: Valores promedio del nivel de ruido (LAeq en dB) durante clases, organizados por materia en 274 clases dictadas. Las mediciones duraron una hora lectiva completa (43 minutos en promedio).....	37

## Índice de figuras

Figura 1: Resumen de metodología empleada. ....	3
Figura 2: Diagrama de tiempo de reverberación.....	6
Figura 3: Reflexión de ondas sonoras en superficies. ....	17
Figura 4: Panel absorbente acústico modular.....	19
Figura 5: Esquema de montaje de paneles.....	19
Figura 6: Área de investigación.....	29
Figura 7: Resultados de medidas para el nivel sonoro equivalente y tiempo de reverberación. Límites de la norma AS/NZ2107 en líneas punteadas. ....	35
Figura 8: Curvas NC.....	39
Figura 9: Aula escolar hipotética.....	41



## Glosario

dB: Décima parte de un Belio. Logaritmo de la razón entre dos cantidades, presión o voltaje.

$L_{Aeq}$ : Nivel de presión sonora equivalente con ponderación A en un ambiente.

TR: Tiempo de reverberación

STI: Inteligibilidad de la palabra

$D_{nTw}$ : Nivel de diferencia de presión sonora estandarizada ponderada

$R_w$ : Índice de reducción de ruido ponderado.



## 1. Generalidades

### 1.1. Introducción

En años recientes se ha comprobado que el exceso de ruido en las clases es perjudicial para los alumnos. Un salón con altos niveles sonoros interferirá con el proceso de aprendizaje ya que el principal canal de transmisión de la información es el habla, y la efectividad de este depende que el ruido de fondo sea bajo (Figuroa et al, 2012). Una investigación (James, Stead, Clifton-brown, y Scott, 2012) señala que aquellos alumnos que cuentan con un nivel sonoro adecuado en sus clases desarrollan mejor sus competencias lingüísticas y numéricas, lo cual incluso puede impactar en el salario que recibirán a futuro con respecto de aquellos que no tienen buenas condiciones acústicas.

Es por este motivo que diferentes gobiernos y organizaciones alrededor del mundo han propuesto, en los últimos años, regulaciones que ayuden a mejorar el diseño de ambientes tan importantes como los centros educativos (Rasmussen, 2019). En ese sentido, este trabajo busca recopilar parte de dicha información trabajada en años recientes, en países como Perú, Chile, Reino Unido y Australia para efectuar un análisis crítico-comparativo de la misma y proponer soluciones acústicas para los salones de clase.

### 1.2. Objetivos

Este trabajo de tesis tiene como objetivo general analizar la normativa actual sobre el confort acústico en centros educativos para proponer alternativas para lograr control de ruido. Para cumplir dicho objetivo general, se han propuestos los siguientes objetivos específicos:

- Describir las principales consecuencias de la contaminación acústica en el aprendizaje de los niños menores.

- Realizar una revisión bibliográfica detallada de estándares y normas nacionales e internacionales de regulación acústica en centros de educación de nivel primaria y secundaria.
- Comparar los parámetros como el nivel de ruido de fondo equivalente con ponderación A ( $L_{Aeq}$ ), el tiempo de reverberación (TR), índice de inteligibilidad de la palabra (STI), diferencia de nivel de ruido estandarizada ponderada ( $D_{nTw}$ ) etc, que se puedan encontrar en la norma peruana con otras normas y estándares de calidad a nivel internacional.
- Proponer criterios de diseño para reducir el nivel sonoro o mejorar la calidad del mismo en centros educativos de nivel primaria y secundaria.

### **1.3. Justificación**

El ruido tiene incidencia directa en el bienestar de las personas, influye en su estado de ánimo, concentración y disposición para la comunicación (Oficina Parlamentaria de Ciencia y Tecnología, 2009). Debido a su potencial para alterar el comportamiento de las personas, es necesario regular el ruido por debajo de los niveles que garantizan la salud (Passchier-Vermeer et al, 2000). Esto cobra mayor importancia en ambientes de educación escolar, donde los niños pasan la tercera parte de su día por lo que un exceso de ruido podría degenerar en problemas más graves. Es por ello que resulta importante informarse sobre los niveles adecuados de ruido en este tipo de ambientes según estándares de diferentes países (Rasmussen, 2019).

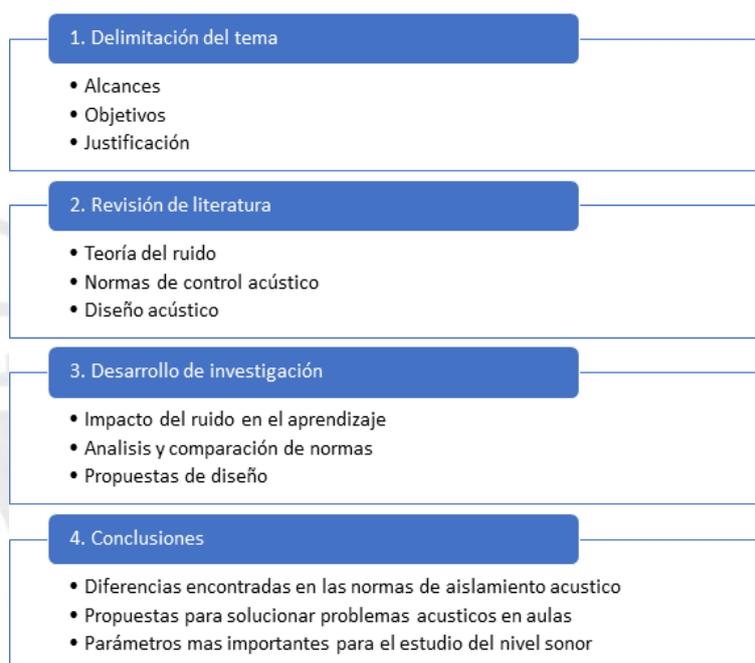
### **1.4. Alcance**

La presente investigación busca estudiar los principales criterios de diseño acústico en centros educativos con incidencia en nivel escolar. Para ello, se deberá realizar una exhaustiva revisión de los estándares y normativa del Perú y 3 países, entre los que se encuentran: Chile,

Reino Unido y Australia, con la intención abarcar diferentes continentes. Con la información recopilada, se plantean soluciones frente a la contaminación acústica en centros educativos, de tal forma que se pueda minimizar el daño físico y psicológico en los estudiantes y profesores que comparten las aulas.

### 1.5. Metodología

La presente investigación es de tipo documental y tendrá un enfoque transversal. Las diferentes etapas que se desarrollaran se presentan resumidas en el cuadro a continuación:



*Figura 1: Resumen de metodología empleada.*

## 2. Revisión de la literatura

### 2.1. Ruido y aprendizaje

En muchos casos, determinar el impacto del ruido en la salud de las personas es una tarea complicada, debido a que es, prácticamente, imposible aislar la exposición al ruido de otros factores como el estilo de vida, predisposición genética, entre otros (OSMAN,2009). A pesar de ello, existe suficiente evidencia científica que prueba que la exposición al ruido constituye un riesgo (Passchier-Vermeer y Passchier, 2000).

La Organización Mundial de la Salud (1999) en su informe “Guías para el ruido urbano” presenta los principales daños a la salud ocasionados por la exposición continua a altas intensidades y frecuencias de sonido: efectos auditivos, perturbación del sueño, respuestas hormonales (hormonas de estrés), efectos cardiovasculares, menor rendimiento en el trabajo y en la escuela, y molestia.

En particular, la afectación del ruido en la ejecución de tareas cognitivas es un tema que ha sido bien estudiado (OSMAN,2010); sin embargo, la interferencia del ruido en el aprendizaje de los niños y jóvenes en las escuelas y universidades es un aspecto que recién se ha considerado en los últimos años (Burneo, 2007).

Existen numerosos factores que determinan el fracaso en el aprendizaje escolar y se pueden dividir en tres grandes grupos: orgánicos, medio ambientales y mixtos (Burneo, 2007). El ruido se encuentra dentro de los factores medio ambientales y su efecto es especialmente dañino para los niños y adolescentes, dado que, en estas etapas tempranas, el sentido del oído, aún, se encuentra en desarrollo (Arévalo, 2019).

Además del efecto distractor que genera la exposición a sonidos en un espacio físico destinado al estudio, existen otros efectos cognitivos afectados, como la lectura, la atención, la

solución de problemas, la memorización y la adquisición del lenguaje verbal, base del lenguaje escrito (OMS, 1999; Burneo, 2007). El estudio “Revisiting Speech Interference in Classrooms” de Prichard y Bradley (2001) demostró que arriba de niveles de ruido de fondo de 40 dBA, la mayoría de los adolescentes (12+) presenta problemas con el reconocimiento de voz, mientras que, los niños en edad escolar 6-7, tienen dificultades con valores por encima de 28,5 dBA (Armijo, Whitman y Casals, 2011).

Diversas investigaciones realizadas en países latinoamericanos (Chile, Colombia, México), demuestran que los alumnos de colegios con mayor exposición a la contaminación sonora (cerca de aeropuertos o a avenidas con alto flujo vehicular) presentaban dificultad en las tareas de concentración, manejo de información, además de presentar problemas de sueño, hipoacusia y síntomas neuropsicológicos (Figuerola et al. , 2012; Quiroz-Arcetales et al., 2013). En el desarrollo de la presente investigación, se mostrarán casos de estudio que detallarán lo expuesto en este párrafo.

## **2.2. Indicadores de confort acústico en espacios educativos**

Para poder describir acústicamente un ambiente de estudio y evaluar su el nivel de confort acústico se utilizan distintos indicadores: el nivel del ruido de fondo, el tiempo de reverberación, la inteligibilidad de la palabra, la relación palabra-ruido, la distancia profesor-alumno, el aislamiento de fachada, el aislamiento al ruido aéreo de los muros, y el aislamiento al ruido de impacto de los pisos (Aguilar, 2018). En base a estos se establecen parámetros que definen sus valores máximos recomendados o permitidos de acuerdo a las normas y estándares internacionales.

### **2.2.1. Nivel de Ruido $L_{eqAS}$**

El nivel sonoro continuo equivalente,  $L_{eq}$ , es un parámetro que representa el nivel que tendría una señal constante en un intervalo de tiempo determinado equivalente a la señal real

variable. En otras palabras, es el ruido continuo que tendría el mismo contenido en energía acústica que el ruido real variable en el mismo intervalo de tiempo (Avilés y Perera, 2017)

Para referirnos específicamente a los establecimientos educativos se ha establecido el indicador Nivel de ruido en un aula,  $L_{eqAS}$ , medido en dBA. Este es la composición de fuentes de ruido tanto fuera como dentro del salón y fuera del colegio (Flagg- Williams et al. 2011).

### 2.2.2. Tiempo de Reverberación RT o TR

La reverberación corresponde a la secuencia de múltiples y sucesivas reflexiones de las ondas sonoras en las superficies interiores de la sala, es decir la persistencia del sonido dentro de un ambiente interior aún después de interrumpida la fuente (Sánchez y Fernández, 2014).

El tiempo de reverberación RT es una medida estandarizada de la duración de la reverberación de un recinto y se expresa en segundos (Aguilar, 2019), el cual es definido por el tiempo que tarda el nivel de presión acústica reducirse 60 dB respecto a su nivel inicial y depende de la forma del espacio y la presencia de superficies absorbentes en el ambiente (Bella, 2015). A continuación, se muestra un gráfico que esquematiza el tiempo de reverberación versus el nivel sonoro medido en dB:

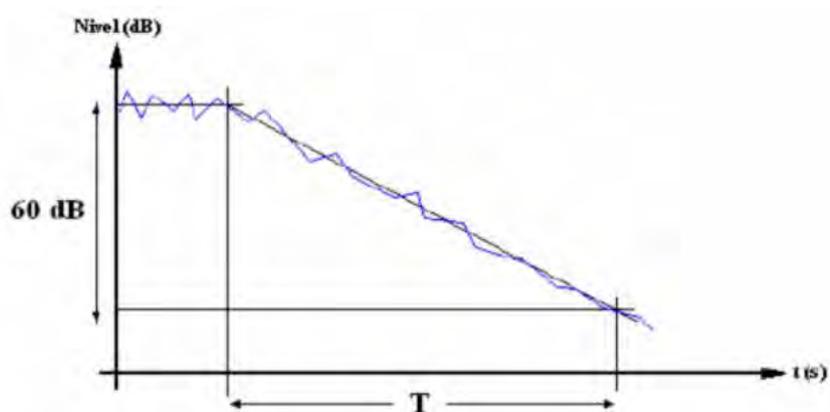


Figura 2: Diagrama de tiempo de reverberación

Nota: Tomado de estudio de la calidad del aula 008, Bella, 2015

De acuerdo a Arau (2008), el parámetro TR puede obtenerse empleando valores conocidos del recinto, y una de las formas de hacerlo es por medio de la fórmula de Sabine, la cual se muestra a continuación:

$$TR = 0.161 * \frac{V}{A_{tot}}$$

En donde V es el volumen del recinto en m<sup>3</sup> y Atot es la absorción total del recinto, la cual se puede calcular sumando el aporte de absorción de cada superficie presente en el recinto  $\alpha * S$ , en donde S es el área de dicha superficie y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción del material (Sabine, 1932).

### **2.2.3. Inteligibilidad de la Palabra**

La inteligibilidad de la palabra dependerá del ruido ambiental, de la reverberación, de la distancia profesor-alumno y de las características de la voz del profesor. Existen diversos descriptores de la inteligibilidad de la palabra, pero es el Speech Transmission Index (STI) el más utilizado en acústica de espacios educativos (Aguilar, 2019); este parámetro es complejo de medir y puede tomar valores entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima) (Torres, 2008)

### **2.2.4. Relación Señal-Ruido SNR**

Este parámetro mide, en Db, la diferencia entre el nivel sonoro de la voz del profesor y el nivel sonoro del ruido existente en la sala de clases. Este tiene una relación directamente proporcional con la inteligibilidad de la voz del instructor y una relación inversa a la distancia profesor-alumno. Las normas internacionales recomiendan una relación palabra-ruido mínima de +15 dB SNR dentro de las aulas (Aguilar, 2019).

### **2.2.5. Aislamiento de ruido**

Los aislamientos sonoros de los elementos constructivos que delimitan un aula también son utilizados para describir el desempeño acústico. En esta categoría se encuentran el aislamiento de la fachada, aislamiento al ruido aéreo de los muros y aislamiento al ruido de impacto en los pisos (Aguilar, 2019).

El aislamiento de fachada utiliza como indicador la “Diferencia de niveles”,  $D_{2m}$ , que indica la diferencia sonora en dB entre niveles a 2 metros de la fachada. También se utiliza la diferencia de niveles estandarizada  $D_{2m, nT}$ , que considera una corrección logarítmica de  $10 \log(T/T_0)$  (Menéndez, 2008).

### **2.3. Normativa de control de la contaminación sonora**

La contaminación acústica como problema, no es un término actual. El ruido ha existido y se ha evitado, desde la edad antigua. Tal como menciona Tolosa (2003), en la ciudad griega Sibaris ya se daban los primeros indicios de legislación para el control del ruido, con la restricción de herrerías, criaderos de aves y otros negocios y actividades sonoras fuera de la ciudad. Sin embargo, es a partir de la Revolución industrial, con la proliferación de máquinas, autos y el crecimiento de las grandes ciudades que nace la necesidad de limitar las emisiones de ruido (Chávez, 2006).

#### **2.3.1. Perú**

Con el fin de proteger la salud de la población peruana, se aprobó el Decreto Supremo N° 085-2003-PCM- Reglamento de Estándares nacionales de Calidad Ambiental para Ruido y los lineamientos para no excederlos. En dicho documento se define a los estándares de calidad ambiental del ruido como un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación sonora sobre la base de una estrategia destinada a

proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible. (D.S. N° 085-2003-PCM). Los ECA y los límites máximos permisibles se propusieron bajo la coordinación de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud y la participación de 18 instituciones públicas y privadas (D. S. N°085-2003-PCM)

El Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido consta de 5 títulos, 25 artículos, 11 disposiciones complementarias, 2 disposiciones transitorias y 1 anexo. Su principal objetivo es proteger la salud, mejorar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo sostenible. Se tomó en cuenta las disposiciones y principios de la Constitución Política del Perú, del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y la Ley General de Salud, con especial énfasis en los principios precautorio, de prevención y de contaminador-pagador. Los Estándares Primarios de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido establecen los niveles máximos de ruido en el ambiente que no deben excederse para proteger la salud humana, estos consideran como parámetro el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A ( $L_{AqT}$ ) y toman en cuenta las zonas de aplicación y horarios, que se establecen en la tabla 1.

De las zonas de aplicación se especifican las siguientes: Zona Residencial, Zona Comercial, Zona Industrial, Zona Mixta y Zona de protección especial. Esta última se identifica en coordinación de las municipalidades provinciales y distritales con el fin de priorizar las acciones o medidas necesarias para cumplir con los ECA establecidos. De no poder cumplir con estos estándares, se procederá a adoptar un Plan de Acción para la Prevención y Control de la Contaminación Sonora en un plazo máximo de 24 meses, a partir de la publicación de dicha norma, para zonas de protección especial. Estos planes deberán estar de acuerdo con los lineamientos que apruebe el Consejo Nacional del Ambiente.

Las municipalidades provinciales deberán utilizar los valores de ECA (ver tabla 1) con el fin de establecer normas que permitan identificar a los responsables de la contaminación sonora, así mismo aplicar sanciones según el nivel de contaminación y dentro del marco establecido por el Decreto Legislativo N° 613-Código del Ambiente y Recursos Naturales. Por último, podrán establecer disposiciones especiales para controlar los ruidos que puedan originar daños a la salud o tranquilidad de la población, aun si estos no superen los ECA.

*Tabla 1: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido*

Zonas de aplicación	Valores expresados en laeqt (decibeles)	
	Horario diurno	Horario nocturno
Zona de protección especial	50	40
Zona residencial	60	50
Zona comercial	70	60
Zona industrial	80	70

*Nota: Tomado de DS N°85 – 2003, Ministerio del medio ambiente, 2003*

Para el monitoreo y medición están involucradas varias entidades e instituciones tanto a nivel distrital, como provincial y nacional. La principal es el Ministerio del Ambiente que está a cargo de aprobar los ECA Ruido y supervisar el cumplimiento de políticas ambientales sectoriales con el fin de alcanzar los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido. (OEFA, 2016). La OEFA examina que los gobiernos locales cumplan con la fiscalización que realizan las entidades encargadas de fiscalización ambiental (EFA) y ofrece asistencia técnica para el uso de sonómetros.

### **2.3.2. Chile**

En la normativa chilena, la ley N°19.300, Ley de Bases del Medio Ambiente, artículo 2c, se define la contaminación como la presencia de sustancias, elementos, energía o combinación

de ellos en el ambiente, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, de acuerdo a lo establecido en la legislación vigente (Bustos, 2011). Bajo esta definición, se ha puesto atención en la contaminación sonora estableciendo parámetros de control del sonido ambiental y dentro de las diferentes infraestructuras.

Así, como parte de la normativa referida al ruido se encuentran:

DS N° 38, 2011, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (Minsegres), que establece los niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos para la emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas, tales como las actividades industriales, comerciales, recreacionales, artísticas u otras (MMA, 2012).

DS N° 129, 2001, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que es la Norma activa que regula la emisión de ruido para buses de Locomoción colectiva urbana y rural (MTT, 2017).

DS N°7, 2015, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la norma de emisión de ruido para vehículos livianos, medianos y motocicletas (MMA, 2019).

La norma NCH 352 que *“establece los requisitos mínimos de aislación acústica que deben cumplir las construcciones de uso habitacional, para permitir a sus habitantes el descanso frente a ruidos provenientes de otras viviendas, y ruidos provenientes de las instalaciones externas a la vivienda”* (ACUSONIC, 2000 pág. 1).

Refiriéndose específicamente a los centros educativos, el Ministerio de Educación (MINEDUC) estableció por primera vez, en 2015, los criterios de diseño acústico en las estructuras escolares. Dado que el concepto de confort acústico no había sido abordado en las guías de diseño de espacios educativos de 1997 (Aguilar, 2019). Se establecen en el punto 3.8.4 los parámetros que se resumen en el cuadro presentado a continuación:

Tabla 2: Parámetro de confort acústico en aulas

País	Estándar	Aula Audición Normal						
		$L_{eqAS}$	RT(s)	STI	SNR	$D_{2m,nT,w}$	$R'_w$	$L'_{nT,w}$
Chile	MINEDUC	-	0.6 <sup>(a)</sup> , 0.7 <sup>(b)</sup> , 0.9-1 <sup>(c)</sup>	0.6	-	30 dB (a)	50 dB (a)	-

(a) Volumen del aula  $V \leq 283 \text{ m}^3$  (b) Volumen del aula  $566 \text{ m}^3 > V > 283 \text{ m}^3$  (c) Volumen del aula  $V > 566 \text{ m}^3$

Fuente: Adaptado de Aguilar, 2018 y “Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos” MINEDUC, 2010

### 2.3.3. Australia

En Australia, la norma técnica para acústica tuvo su primera versión 1977 bajo el nombre AS2107-1977 y se actualizó en el año 1987. Recién a partir del año 2000, se juntaron el comité australiano con el neozelandés, para formar una norma regional “AS/NZS 2107:2000-Niveles recomendados de sonido y tiempo de reverberación para interiores de edificios”. Por último, en el año 2016 se realizó otra actualización, en la cual se hicieron ajustes en los niveles sonoros aceptables y se modificaron algunos ambientes de acuerdo a arquitecturas más modernas. El propósito de este estándar (Hannah, Page, & McLaren, 2016) es proveer una guía para crear espacios saludables, cómodos y productivos para quienes trabajan en él.

Esto da la idea que, si bien la norma tiene 40 años de creada, ha sufrido ajustes que buscan mejorar la calidad acústica en edificios. Aun existiendo este estándar, un estudio (Mealings, 2016) especifica que la norma está limitada a la evaluación del nivel de ruido en ambientes desocupados, e indica valores promedio entre los 35 y 40 dB y tiempos de reverberación entre 0.35-0.40s, sin embargo, no hay mayor detalle para la condición de ambiente ocupado.

Otra publicación de la revista “New Zealand Acoustics” sigue la misma idea e indica que la AS/NZS 2107-2016 se enfoca en el nivel de ruido adecuado cuando los ambientes están

desocupados y brinda métodos para la medición del nivel de ruido de fondo ( $L_{Aeq,t}$ ) y tiempo de reverberación. Añade que, los tipos de ruido estudiados incluyen principalmente los continuos, dejando de lado los ruidos variables o temporales (ruido de avión o trenes) y que la norma gira en torno a 2 conceptos clave como son: el tiempo de reverberación y nivel de sonido de diseño. (Hannah, Page, & McLaren, 2016).

Una de las principales diferencias entre la norma del 2000 y la norma del 2016, es que antes los niveles de sonido de diseño se especificaban mediante valores límite llamados “satisfactorio” y “máximo”, mientras que en la última versión, se utilizan rangos. Esto debido a que hay ambientes que requieren un nivel mínimo de sonido, con lo que se obtiene mejor privacidad en el discurso (speech privacy) y tapa el sonido no deseado mediante el enmascaramiento de ruido (masking sound). En otros casos, como el de un garaje a cielo abierto, dicho límite inferior no es necesario. (Burgess & Gabriels, 2015)

Otro documento de referencia importante para la acústica en edificaciones y construcción en Australia es el “Building Code of Australia” (BCA), el cual está dividido en 3 volúmenes y cada uno desarrolla estándares para diferentes tipos de edificación. Las edificaciones se clasifican del 1 al 10 y los colegios se clasifican como edificaciones tipo 9b.

Hasta el año 2016, en la sección F “health and amenity”, acápite F5 “Sound insulation and transmission” (Australian Building Codes Board, 2016) se especifica que las paredes y pisos de las edificaciones tipos deben aislar el ruido transmitido por aire y por impacto y también detalla valores límites para cumplir estos objetivos. Sin embargo, el mismo documento declara que estos límites sólo son aplicables a edificaciones tipo 2, 3 y 9c, lo cual deja excluido a los centros educativos.

Los miembros de la “Association of Australasian Acoustical Consultants” (AAAC), indican su preocupación por la falta de regulaciones acústicas para centros educativos en BCA,

ya que esto ha llevado a que cada región implemente normas que muchas veces no son cumplidas o han caído en desuso (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018). Es por ello que, dicha organización, propone una guía para el diseño acústico de centros educativos.

La asociación AAAC, en la segunda versión de su “guía de diseño acústico para instalaciones educativas”, describe los criterios que debe seguir un centro educativo para lograr buen desempeño acústico. Asimismo brinda tablas con los siguientes valores: rango de diseño de ruido de fondo ( $L_{Aeq}$ ), tiempos de reverberación según tipo y uso de ambiente ( $T_{60}$ ), nivel de inteligibilidad del discurso (STI), aislamiento de ruido aéreo entre ambientes ( $D_{nT,w}$ ) y transmisión de ruido por impacto ( $L'_{n,T,w}$ ). Dichas tablas se encuentran traducidas al final de este documento en el anexo B.

En general, también menciona diferentes consideraciones para lograr un mejor diseño acústico. Por ejemplo, para el índice de transmisión del discurso, indica que, en el caso de los salones de clase estándar, con volúmenes inferiores a los  $400m^3$ , es posible lograr claridad en el sonido controlando simplemente el tiempo de reverberación, límites de ruido y aplicando tratamientos a las paredes o techos. Por otra parte, en el caso de salones abiertos, auditorios, gimnasios o espacios de mayor volumen, se debe seguir un diseño especial, y prestar mayor atención a otros parámetros como el índice de transmisión de discurso (STI) (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018)

#### **2.3.4. Reino Unido**

De acuerdo al Requerimiento E4 del Apéndice 1 de las Regulaciones de Construcción del Reino Unido (2010), cada ambiente y espacio en un edificio escolar debe ser diseñado y construido de tal manera que tenga las condiciones acústicas y de aislamiento del ruido apropiadas para el uso previsto, esto es aplicable para escuelas nuevas y existentes.

De acuerdo al Boletín de Construcción 93, desarrollado por el Departamento de Educación de Reino Unido, el requerimiento E4 de las Regulaciones de Construcción cubre áreas de enseñanza y aprendizaje de los edificios escolares; áreas administrativas, de mantenimiento y demás no están obligadas a cumplir estos estándares, a menos que afecten a espacios de enseñanza o aprendizaje cercanos (*Education Funding Agency, 2015*).

Además, se menciona que, por el derecho a la igualdad y la no discriminación, es importante la claridad del habla para personas con discapacidad o cuya lengua materna no sea el de la escuela. En casos más complejos, como sordera o autismo, todas las escuelas deben ser capaces de implementar estrategias de accesibilidad eficaces para integrar a sus alumnos y/o evitar ruidos molestos (EFA, 2015).

Para satisfacer los requerimientos mencionados, el Boletín de Construcción 93 establece valores para aislamiento del ruido, tiempo de reverberación y ruido ambiental interior en su Sección 1. Los valores varían en todas las tablas (Ver anexo A) dependiendo de si la escuela es nueva o remodelada.

- En la primera tabla se indica el límite máximo para el ruido ambiental admisible al interior de los ambientes cuando éstos se encuentran desocupados. Los límites son distintos dependiendo del tipo de ambiente y qué tan ruidoso se considera. Estos valores varían entre 30 dB (estudio de grabación) hasta 55 dB (piscina).
- En la segunda tabla, se indican los límites de ruido al interior de los ambientes con la inclusión del sistema de ventilación. En general, son los mismos valores que para la tabla 1 o con una tolerancia de 5 dB extras.
- En la tercera tabla se indican los estándares de aislamiento acústico aéreo entre ambientes. Estos valores dependen de qué tan ruidoso se considera al ambiente según la tabla 1.

- En la cuarta tabla se indica el aislamiento acústico aéreo que proveen los muros para espacios de circulación con y sin ventilador en el muro.
- En la quinta tabla se indica el nivel de presión sonora máximo por impacto para espacios de diferente tipo y uso.
- En la sexta tabla se indican los valores máximos esperados para el tiempo de reverberación. Estos valores son más estrictos para espacios de enseñanza a niños más de menor edad, y valores más permisibles para espacios de actividades como deportes y circulación.

### **2.3.5. Estándares internacionales (OMS)**

La organización mundial de la salud publicó en 1999, tras una conferencia de expertos en Londres, una actualización de su guía para el ruido comunitario. En dicha guía se detallan que el nivel admisible de presión sonora en ambiente como salones escolares no debería exceder de 35 dB. De lo contrario, esto podría generar problemas con la inteligibilidad de la palabra y la transmisión de mensajes a los alumnos. Por otra parte, también recomienda no exceder los 55 dB en los patios durante el recreo ya que esto sería una fuente importante de ruido para otros ambientes. (OMS, 1999).

## **2.4. Acústica arquitectónica**

El primer paso para identificar una variable que influya en el comportamiento acústico de una edificación es buscar los focos de ruido en la ruta de acceso al lugar. Ejemplos típicos de focos de ruidos intrusivos son las avenidas, ferrocarriles o aeropuertos cercanos a esta zona. (Audiotec, 2020). Para este efecto, la acústica arquitectónica busca estudiar los fenómenos que se relacionen con una adecuada propagación del sonido dentro de un recinto. La solución planteada para esta problemática es la acústica geométrica de los ambientes, así como también

la aplicación del criterio de ruido de fondo LAeq para evaluar la mejor solución al problema de la acústica de los ambientes del colegio (Bella, 2015).

Existen dentro de los ambientes las denominadas reflexiones que dependen directamente de las formas geométricas de la sala, por lo que está condiciona las características acústicas propias del ambiente. Respecto al estudio del fenómeno de reflexión, este solo es una aproximación a la realidad, y para acercarlo a lo real es necesario que se cumplan ciertas condiciones como que el ambiente sea mucho más grande que la onda de sonido emitida y que la superficie del ambiente en donde se refleja la onda del sonido sea lisa (Bella, 2015).



*Figura 3: Reflexión de ondas sonoras en superficies.*

*Nota: Tomado de estudio de la calidad del aula 008, Bella, 2015*

La principal característica geométrica que afecta la manera en que se comporta el sonido dentro de un recinto es su forma, para lo cual las más óptimas y eficientes son las cóncavas (Sendra, 1992). Para la mayoría de ambientes, en especial ambientes para aulas de colegios de nivel primaria y secundaria, se emplean formas rectangulares, debido a que el tiempo de reverberación en ambientes de estas dimensiones es corto, ideal para estos casos de recintos, por lo que no es necesario tener un aula con forma que mitigue el tiempo de reverberación (Bella, 2015). Existe además una forma óptima de entre las formas rectangulares para minimizar el tiempo de reverberación de un ambiente y esa es la cuadrada, debido a que

maximiza la relación de área entre volumen del recinto. Esto se puede comprobar si se toma en cuenta que el tiempo de reverberación se calcula mediante la fórmula de Sabine.

## 2.5. Materiales de aislamiento acústico

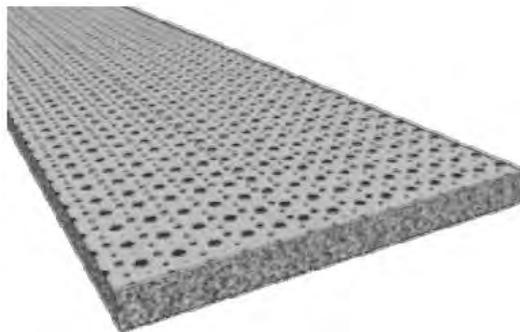
Existen cuatro tipos de materiales de acondicionamiento acústico: absorbentes, resonadores, reflectores y difusores.

Los materiales de aislamiento acústico califican dentro de la categoría de materiales absorbentes por lo que permiten optimizar el tiempo de la reverberación en ambientes muy ruidosos, previniendo los ecos (Bella, C). Se caracterizan por ser porosos y su mecanismo se basa en reflejar parte de la emisión del sonido en la superficie lisa del material, mientras se absorbe parte de este dentro de los poros por medio del flujo de aire en estos. Un ejemplo de este tipo de materiales es el yeso, el cual se emplea en la mayoría de acabados en ambientes como yeso laminado convencional (Bertó, 2015).

Un parámetro característico de estos materiales es la capacidad de absorción  $\alpha$ , la cual se obtiene del cociente entre la energía absorbida y energía incidente (Bella, 2015). Se ha comprobado que mientras más alta es la frecuencia del sonido emitido, el valor de la capacidad de absorción aumenta ya que se absorbe mayor cantidad de sonido por el tamaño de la onda (Bertó, 2015). Este parámetro ayuda a posteriormente determinar, empleando la fórmula de Sabine, el tiempo de reverberación que genera en el ambiente.

Otros factores que influyen en la capacidad de absorción del material absorbente son su espesor, densidad y grado de porosidad.

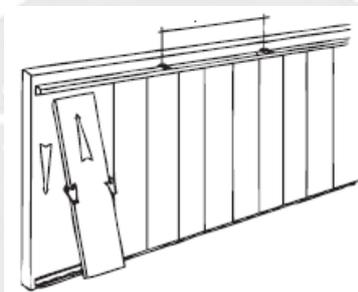
Como ejemplo tomado del catálogo de INERCO Acústica (INERCO, 2020) se muestra a continuación un modelo de un panel absorbente acústico modular, diseñado para absorber todo el rango de frecuencias auditivas, combinando características de materiales absorbentes y resonadores.



*Figura 4: Panel absorbente acústico modular*

*Nota: Tomado de INERCO, 2020*

Este producto es aplicado de acuerdo a la distribución mostrada a continuación:



*Figura 5: Esquema de montaje de paneles*

*Nota: Tomado de INERCO, 2020*

### 3. Análisis comparativo

#### 3.1. Análisis y comparación de normas

Se ha recogido información de las diferentes normas que existen en cada país, que incluyen regulaciones y propuestas de diseño acústico, tanto a nivel general como para centros educativos específicamente. A continuación, se muestra, según el país de origen, un resumen de las normas citadas y la organización que las publica.

*Tabla 3: Resumen de normas citadas de diferentes países referentes al diseño acústico.*

País	Norma	Institución
Perú	Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido (DS N°085-2003-PCM)	Ministerio del ambiente (MINAM)
Chile	Ley de bases generales del medio ambiente	Ministerio Secretaria General de la presidencia de la república
	Norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas	
	Nch532-Aislación acústica: Construcciones de uso habitacional	Ministerio de vivienda
	Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos	Ministerio de educación (MINEDUC)
Australia	AS/NZS2107:2000-Niveles recomendados de sonido y tiempo de reverberación para interiores de edificios	Standards Australia/Standards New Zeland
	Building Code of Australia	Australian Building Codes Board
	Guideline for Educational Facilities Acoustics	Association of Australasian Acoustical Consultants (AAAC)
Reino Unido	Regulaciones de construcción del Reino Unido	Ministerio de Vivienda, Comunidades y Gobierno local

	Boletín de Construcción 93 (BB93)	Departamento de Educación
--	-----------------------------------	---------------------------

Nota: Elaboración propia.

En general, las normas presentadas incluyen decretos gubernamentales para control de calidad en el medio ambiente, normas de construcción, estándares internacionales y guías de diseño. Sin embargo, estas normas tienen diferente alcance, siendo algunas de aplicación muy general y otros documentos elaborados específicamente para centros educativos.

La comparación incluirá aquellas normas que están orientadas directamente al desempeño acústico en centros educativos en cada, a excepción del Perú, para el que se considerará el único decreto a nivel nacional existente. Los criterios a comparar incluirán: Nivel equivalente diurno (NED), nivel de presión sonora equivalente con ponderación A ( $L_{Aeq}$ ), tiempo de reverberación (RT), inteligibilidad de la palabra (STI), aislamiento de ruido aéreo ( $D_{nTw}$ ), por impacto ( $L'_{nTw}$ ) e índice de reducción de ruido ponderado ( $R_w$ ).

Tabla 4: Resumen de criterios incluidos en diferentes normativas.

Criterio/País	Perú	Chile	Australia	Reino Unido
NED	x	x		
$L_{Aeq}$			x	x
$D_{nTw}$		x	x	x
$R_w$		x		x
$L'_{nTw}$			x	x
RT		x	x	x
STI		x	x	x

Nota: Elaboración propia

### 3.1.1. Nivel equivalente diurno (NED dB)

Las normas del MINAM y MINEDUC en Perú y Chile respectivamente, establecen límites para el nivel equivalente diurno admisible. En el caso peruano (DS N°085, 2003), este parámetro ronda entre los 50-80 para zonas de protección especial e industriales respectivamente, aunque esta clasificación de zonas no incluye necesariamente centros educativos. Por otra parte, la norma chilena (MINEDUC, 2015) indica un NED máximo de 65 dB para escuelas. Otras normas no se refieren específicamente a este parámetro.

### 3.1.2. Nivel de presión sonora equivalente con ponderación A (LAeq dB)

En este caso, ni la norma peruana ni la chilena especifican valores de ruido máximo en centros educativos. Por otra parte, las normas del Reino Unido y Australia sí lo desarrollan. Inclusive se especifican valores según el tipo de ambiente. Según el BB93 (Education Funding Agency, 2015), el nivel admisible de ruido en un salón de clases de primaria es de 35 dB; salones de estudio o biblioteca, 40 dB y en el caso de ambiente de piscina u otras actividades deportivas, 50 dB.

Por su parte, la de la AAAC (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018), en lugar de valores pico de ruido, especifica rangos. Por ejemplo, para salones de clase indica 35-40 dB. En el caso de bibliotecas distingue entre zonas generales y zonas de lectura con rangos de 40-50 dB y 40-45 dB respectivamente. También indica que para zona de piscina el nivel de ruido debe estar entre 50-60 dB.

*Tabla 5: Resumen de niveles de presión sonora admisibles para diferentes ambientes en centros educativos según el BB93 y la AAAC.*

Ambiente		BB93	AAAC
Salones de clase	Nido	35	35-40
	Primaria		

	Secundaria		
Biblioteca	General	40	40-50
	Sala de lectura		40-45
Piscina		50	50-60

Nota: Tomado de Building Bulletin 93, por Department of education, 2015 & Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Una característica del BB93 (Education Funding Agency, 2015) es que indica los valores admisibles no solo para nuevas edificaciones sino también para los casos de remodelaciones. Estos valores son más flexibles y se puede hallar fácilmente incrementando los valores para edificaciones nuevas en 5 dB. Esta característica no la presenta la norma australiana.

### 3.1.3. Aislamiento de ruido aéreo entre ambientes

#### *Diferencia de nivel estandarizada ponderada ( $D_{nTw}$ dB)*

Para evitar que el ruido se transmita horizontalmente a través de las paredes, todas las normas estudiadas, a excepción de la peruana, indican valores de aislamiento acústico para ruido aéreo. En el caso del BB93 y de la AAAC, se refieren especialmente a la diferencia de nivel estandarizada  $D_{nTw}$ , cuyo valor dependerá tanto del ambiente emisor como del ambiente receptor.

Para lograr este objetivo, estas normas clasifican los diferentes ambientes según su capacidad para generar ruido y para soportar ruido. A mayor emisión de ruido y menor capacidad para soportarlo, se exigirá mayor aislamiento o mayor valor de  $D_{nTw}$ . A continuación, se mostrará el nivel mínimo exigido de aislamiento acústico para salones de clase según el ambiente con el que interactúen:

Diferencia de nivel estandarizada ponderada según BB93 (Education Funding Agency, 2015):

*Tabla 6: Clasificación de ambientes. Escala del emisor: bajo, promedio, alto y muy alto. Escala del receptor: bajo, medio y alto.*

Ambiente	Fuente de ruido aéreo	Tolerancia al ruido
Salón de clases	Promedio	Medio
Comedor	Alto	Alto
Salón de música	Muy alto	Bajo
Piscina	Alto	Alto

Nota: Tomado de Building Bulletin 93, por Department of education, 2015

*Tabla 7: Valor mínimo de diferencia de nivel para salones de clase.*

Ambiente A	Ambiente B	Aislamiento mínimo (db)
Salón de clases	Salón de clases	45
	Comedor	50
	Salón de música	55
	Piscina	55

Nota: Tomado de Building Bulletin 93, por Department of education, 2015

Diferencia de nivel estandarizada ponderada según AAAC (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018):

Tabla 8: Clasificación de ambientes. Escala del emisor: bajo, promedio, alto y muy alto. Escala del receptor: muy bajo, bajo, medio y alto.

Ambiente	Fuente de ruido aéreo	Tolerancia al ruido
Salon de clases	Promedio	Bajo
Comedor	Muy alto	Alto
Salón de música	Muy alto	Muy bajo
Piscina	Alto	Alto

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Tabla 9: Valor mínimo de diferencia de nivel para salones de clase.

Ambiente A	Ambiente B	Aislamiento mínimo (db)
Salón de clases	Salón de clases	45
	Comedor	55
	Salón de música	55
	Piscina	50

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Se puede observar que los valores indicados por ambas normas son muy similares. Esto a pesar que la norma australiana clasifica a los salones de clase como un ambiente con baja tolerancia al ruido a diferencia de la norma británica. Sin embargo, no se puede afirmar que una norma es más exigente que la otra dado que las escalas de tolerancia al ruido varían.

La norma chilena (MINEDUC, 2015) brinda un valor específico de aislamiento acústico de la fachada que se conoce como  $D_{2m,nt,w}$ . Indica que este parámetro no debe ser menor a 30db si el NED es superior a los 65 dB. También, especifica que el aislamiento acústico entre recintos debe ser al menos de 50 dB, sin entrar en mayor detalle sobre el uso de estos espacios o su interacción con otros ambientes.

### ***Índice de reducción de ruido ponderado ( $R_w$ db)***

Este parámetro se encuentra únicamente en la norma BB93 y especifica el nivel de reducción de ruido teórico que deben tener las componentes de un tabique en promedio. Por un lado, indica valores entre 40-45 dB para paredes que contienen ventanas y un valor de 30-35 dB para las puertas (Education Funding Agency, 2015). Estos valores dependen del ambiente que se está aislando, siendo mayor para aquellos en los que se genera más ruido.

### **3.1.4. Nivel de presión de ruido de impacto estandarizada ponderada ( $L'_{nTw}$ db)**

El nivel de presión sonora por impacto  $L'_{nTw}$  está definido en las normas BB93 y de la AAAC. En el primer caso se fijan valores en función al ambiente receptor mas no del ambiente emisor.

*Tabla 10: Nivel de presión de ruido de impacto admisible según BB93*

Ambiente	Nivel de presión sonora (dB)
Salón de clases	60
Salón de música	55

Nota: Tomado de Building Bulletin 93, por Department of education, 2015

Por otro lado, la AAAC plantea un esquema similar al aislamiento de ruido aéreo, y propone valores que dependen de ambos ambientes, emisor y receptor.

*Tabla 11: Clasificación de ambientes. Escala del emisor: bajo, medio y alto. Escala del receptor: muy bajo, bajo, medio y alto.*

Ambiente	Fuente de ruido por impacto	Tolerancia al ruido
Salón de clases	Bajo	Bajo
Comedor	Alto	Alto
Salón de música	Bajo	Muy bajo
Piscina	Medio	Alto

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Tabla 12: Valor máximo de presión sonora por impacto medida en el ambiente receptor.

Ambiente A	Ambiente B	Nivel de presión sonora (dB)
Salón de clases	Salón de clases	60
	Comedor	50
	Salón de música	60
	Piscina	55

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

### 3.1.5. Tiempo de reverberación (RT s)

Este parámetro es presentado por la norma chilena, inglesa y australiana. En este caso, la norma del MINEDUC presenta valores según el volumen del recinto analizado, mas no, según su uso. En el caso del BB93 y la AAAC, los tiempos de reverberación sí dependen del uso del ambiente y en algunos casos se indica que se debe buscar asesoramiento.

Tabla 13: Resumen de tiempo de reverberación máximos en segundos, según ambiente y norma.

Ambiente	BB93	AAAC
Salón de clases-primaria	0.60	0.60
Salón de clases-secundaria	0.80	0.60
Comedor	1.00	1.00
Salón de música	1.00	-
Piscina	1.50-2.00*	2.00

Nota: Tomado de Building Bulletin 93, por Department of education, 2015 & Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

El BB93 (Education Funding Agency, 2015) indica para el caso de algunos ambientes, como el de piscina, que el tiempo de reverberación dependerá del volumen del recinto. Dicho volumen puede ser menor a 280m<sup>3</sup>, mayor a 530m<sup>3</sup> o un intermedio. En el caso de Australia, no se fija

un valor de RT para los salones de música ya que se aconseja un estudio más detallado en estos casos.

Por otra parte, en el caso de la norma chilena, ocurre algo similar a los ambientes de piscina según el BB93. Se fijan valores de acuerdo al volumen del ambiente. Por ejemplo, para recintos de menos de 283m<sup>3</sup> se propone  $RT < 0.60s$ , entre 283 y 566m<sup>3</sup>,  $RT < 0.70s$  y para volúmenes mayores, RT entre 0.90 y 1.00s (MINEDUC, 2015). Sin embargo, no especifica los valores de RT según el tipo de ambiente.

### **3.1.6. Inteligibilidad de la palabra**

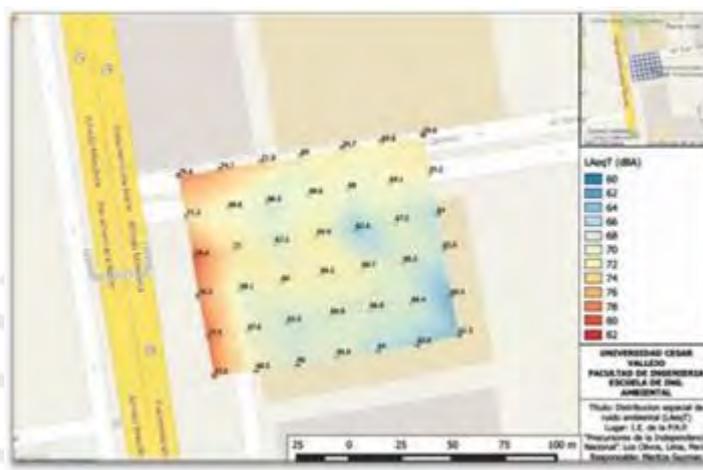
La norma chilena (MINEDUC, 2015) indica que para salones y auditorios el STI debe ser mayor a 0.60 y no da mayor especificación. Por otra parte, las normas BB93 (Education Funding Agency, 2015) y de la AAAC (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018) se refieren a los salones de aprendizaje abierto e indican que el STI debe ser superior a 0.60 y 0.70 respectivamente.

## **3.2. Casos de estudio en diferentes países**

### **3.2.1. Perú**

El caso de estudio que se mostrará en este acápite fue extraído del artículo de investigación “*Evaluación del impacto sonoro para mitigar la contaminación sonora en una Institución Educativa, Lima*” (Guzmán, Valverde y Quijano, 2014). En este artículo se evaluó la ejecución de una medida mitigadora para la reducción del ruido en el interior de un aula de la Institución Educativa PNP Precursores de la Independencia Nacional, la cual se ubica en la intersección de la avenida Panamericana con la avenida San Genaro en el distrito Los Olivos.

Para tal propósito, se realizaron 84 mediciones con un sonómetro a una altura de 1.5 m del suelo. Las mediciones se realizaron en dos fechas, la primera en junio del 2014 y la segunda en noviembre del mismo año. En cada fecha se tomaron 42 mediciones, cada una ubicada en la intersección de una cuadrícula de 20 m de lado en toda el área de investigación (figura 6). Por último, el horario de muestreo se fijó entre las 7:30 am y 01:00 pm debido a que en este se presenta una mayor actividad peatonal y vehicular. (Guzmán, Valverde y Quijano,2014)



*Figura 6: Área de investigación*

*Nota: Evaluación del impacto sonoro para mitigar la contaminación sonora en una institución Educativa, Guzmán et al., 2014.*

La población que se utilizó para la investigación consta de 74 clases, 43 correspondientes al nivel de educación secundaria y 31 de educación primaria. El ambiente de estudio fue un salón de segundo grado de primaria, debido a que era el más afectado por el ruido externo. Por lo tanto, el tipo de muestreo utilizado en este estudio fue no probabilístico por conveniencia. Y los resultados obtenidos se evaluaron con la norma peruana D.S N°085-2003-PCM y con la guía internacional para el ruido urbano de la OMS.

Los resultados de campo obtenidos en la investigación mostraron que las fuentes principales de contaminación sonora son la avenida Panamericana y la avenida San Genaro,

esto concuerda con lo señalado por Yerko Damián Lucic Oliva el cual indica en su tesis “el ruido como problema en el aprendizaje”:

*De las fuentes de ruido urbano, los vehículos motorizados son responsables de aproximadamente el 70% del ruido presente en las ciudades, y de él, el mayor aporte lo representan los vehículos de mayor tamaño, entre ellos la locomoción colectiva. (Lucic, p. 11)*

Los niveles de presión sonora en el área del colegio oscilan entre 60.5 y 69.9 dBA, y en los alrededores oscilan entre 66.5 dBA y 78.4 dBA; por otro lado, en el interior de los salones se registró 65.3 dBA como máximo. Después de las mediciones se instalaron en el techo planchas de Tecnopor de 0.4x0.4 m forrados por fibras de poliuretano como medida mitigadora de ruido.

El resultado de este estudio fue que debido a la instalación de planchas de Tecnopor se registró una reducción del 14.1% de ruido en el aula más afectada, por ende, esta reducción ayudo, según el estudio, a cumplir con los estándares de calidad ambiental para una zona residencial (60 dBA como máximo en horario diurno) según el D.S N°085-2003-PCM. Sin embargo, esta reducción no logro cumplir con la norma de la OMS para aulas (35 dBA como máximo). Esto se debe a que en promedio la reducción fue de 10 dBA y el resultado final fue de aproximadamente 59 dBA.

Cabe resaltar que en este estudio los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para una zona residencial, pero debido a que es un colegio lo correcto sería corroborar las mediciones finales con los límites máximos permitidos para una zona de protección especial (50 dBA en horario diurno).

En conclusión, se observó que con la propuesta para mitigar el ruido hubo una reducción considerable, pero no la suficiente para cumplir con las normativas señaladas. Además, solo

hubo una comparación con el nivel de presión sonora equivalente señalado en el D.S N°085-2003-PCM y no se consideró ni se midió más criterios como el tiempo de reverberación (RT), inteligibilidad de la palabra (STI) o índice de reducción de ruido ponderado. Esto se debe quizás a que en el Perú solo se fijaron los niveles correspondientes a los valores de presión sonora continua equivalente con ponderación A.

### 3.2.2. Chile

Los resultados que se mostrarán en este acápite fueron extraídos del artículo “*Post-Occupancy Evaluation of State Schools in 5 Climatic Zones of Chile*” (Whitman, Armijo y Casals, 2011). Este estudio fue elaborado por tres especialistas de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Paisaje de la Universidad Central de Chile a pedido del Ministerio de Educación chileno (MINEDUC) y la UNESCO . Así, evalúa diferentes parámetros de confort (higrotérmico, visual, acústico) y calidad de aire en 14 aulas de 8 colegios estatales construidos bajo la “Reforma Educativa Chilena” de 1999 en cinco diferentes zonas climáticas del país.

Aunque el informe presenta parámetros de temperatura, aire, iluminación natural y artificial, niveles de oxígeno, entre otros; nos centraremos en los resultados referentes al confort acústico, los que resumen en la Tabla .....

Dentro de las principales conclusiones del estudio, se resalta que un problema común en todas las escuelas, a pesar de sus diferentes ubicaciones y diseños, es la contaminación acústica:

*“El problema más común, experimentado en diversos grados, en todas las escuelas estudiadas, es el de la contaminación acústica. En dos de las escuelas estudiadas, D y F, los profesores entrevistados describió el problema como tan extremo como para interferir en la comunicación entre profesor y alumno” (pág. 373)*

Tabla 1: Resumen de los principales resultados de confort acústico

Casos de estudio	Zona climática	Descripción	Nivel de ruido de fondo (dBA)	
			Externo	Escuela
A, Copiapó	Semidesierto	Situada en la carretera principal. El aula está en la planta baja. La construcción es de hormigón armado, de 250 mm de espesor total	75	75
B, Copiapó	Semidesierto	Ubicada dentro de sus propios terrenos. El aula está situada en la planta baja. La construcción está reforzada con hormigón, de 270 mm de espesor total.	65-78	60-65
C, Calderta	Desierto costero	Ocupa toda una manzana de la localidad central. El aula está situada en la planta baja. La construcción tiene un marco de acero sin aislamiento relleno de ladrillo de 90 mm	62	75
D, Santiago	Mediterráneo	Situada en el centro de la ciudad, ocupando la esquina de una cuadra de la ciudad. Se estudiaron dos aulas ubicadas frente a frente.	-	69-76
			-	62-74
E, Santiago	Mediterráneo	Situada en un barrio residencial tranquilo frente a una plaza. El aula está situada en la planta baja. La construcción es de ladrillo macizo, de 250 mm de espesor total.	-	45-66
F, Puerto Montt	Marítimo templado frío	Situada en una zona rural pero está adyacente al aeropuerto de la ciudad. La construcción es de madera	76-80	79-80

		enmarcada con revestimiento de panel de madera sin aislamiento		
G, Ancud	Subpolar oceánico	Situada cerca del paseo marítimo, cerca del centro de pueblo. El aula está situada en el segundo piso. La construcción es de hormigón armado	-	66-73
H, Chonchi	Subpolar oceánico	Está situada en un pueblo. El aula está ubicada en el primer piso. La construcción es de madera enmarcada con 100 mm de aislamiento.	-	63-67

*Fuente: Elaboración propia en base a los datos del informe "Post-Occupancy Evaluation of State Schools in 5 Climatic Zones of Chile" de Whitman, Armijo y Casals (2011).*

Como se observa en la tabla, se tiene en promedio para el nivel de ruido interno (71.63 dBA) y nivel de ruido externo (76.83 dBA), valores, considerablemente, mayores a lo recomendado por la OMS (65 dBA). Además, se puede ver que solo la escuela E cumple con los parámetros internacionales y no hay indicadores en la norma chilena para realizar una comparación respecto a este parámetro.

Otra observación que se puede hacer es que un entorno "ruidoso" influye más en los niveles de ruido en las aulas, que el nivel de desarrollo o demografía de la ciudad en que se encuentra. Así, se puede observar que las escuelas A y F, ubicadas cerca de una carretera y a un aeropuerto, respectivamente, son las que presentan los mayores valores y como se menciona en la cita textual de la página 35, es en estas aulas donde los maestros manifestaron mayor incomodidad.

Finalmente, es importante resaltar que este estudio fue elaborado para evaluar el resultado de la aplicación de los parámetros establecidos en la reforma de construcción de centros educativos en Chile de 1999, en la que se abordó de manera superficial el tema de confort acústico.

### 3.2.3. Australia

El estudio descrito a continuación se realizó en Brisbane, capital de unos de los seis estados de Australia. Según el estudio (Wilson et al., 2020), en la actualidad existen diferentes normas que protegen el nivel auditivo en aulas de clase y menciona la norma AS/NZ 2107. Sin embargo, indica que la información de campo sobre la calidad acústica en los salones de Brisbane es muy limitada, y la poca información que existe tiende a no cumplir los estándares.

Para el estudio (Wilson et al., 2020) se realizaron mediciones en 33 aulas distribuidas en 13 escuelas de Brisbane, las cuales eran representativas de los 3 sistemas de educación en Australia: Nacional, católico y privado. Las aulas variaban su volumen desde los 69m<sup>3</sup> hasta los 378m<sup>3</sup> y estaban hechas de materiales como hormigón, albañilería, yeso, madera y vidrio y la mayoría tenía piso de alfombra. Las mediciones efectuadas incluyeron: nivel sonoro equivalente con ponderación A en espacios desocupados y tiempo de reverberación. Adicionalmente, se eligieron 12 de los 33 salones para medir el nivel sonoro equivalente con ponderación A en espacios ocupados e inteligibilidad de la palabra (STI).

Los resultados para el nivel sonoro desocupado fueron 25.7-50.0db, mientras que el nivel sonoro ocupado vario entre 49.8-64.8db. El tiempo de reverberación, se midió para diferentes frecuencias y se obtuvieron rangos de 0.34-1.26 para 500hz, 0.32-1.22 para 1000hz y 0.31-0.93 para 2000hz, con ello, se obtiene un promedio para las 2 primeras frecuencias entre 0.34-1.24s. Por último, el STI se encontró desde 0.35-0.80 (Wilson et al., 2020). Las siguientes gráficas muestran los resultados del estudio en líneas continuas y los límites de la norma AS/NZ-2107 en línea discontinua. (Wilson et al., 2020)

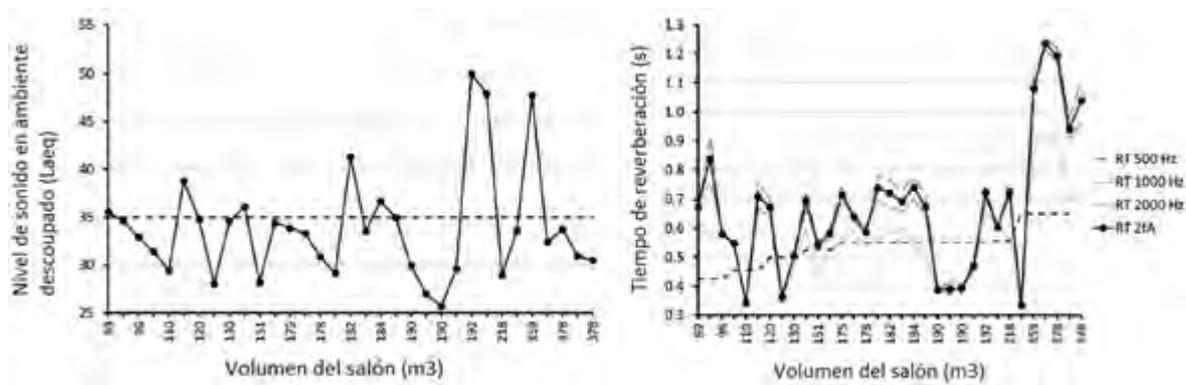


Figura 7: Resultados de medidas para el nivel sonoro equivalente y tiempo de reverberación. Límites de la norma AS/NZ2107 en líneas punteadas.

Nota: Tomado de "The acoustic health of primary school classrooms in Brisbane, Australia", por Wilson et al., 2020

En contraste, según la AAAC (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018) el nivel de ruido equivalente con ponderación A en ambientes desocupados para salones debe estar en el rango de, 35-40db. En ese sentido, de acuerdo con la gráfica de nivel sonoro del estudio, se puede observar que, de aplicar el criterio de la AAAC, un mayor número de salones de clase cumplirían con este criterio. Algo similar ocurre con el tiempo de reverberación, ya que la AAAC indica un valor de tiempo de reverberación igual a 0.6s (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018), para salones tanto de nivel primaria como secundaria.

Por otra parte, según el estudio (Wilson et al., 2020), los salones mostraron valores de inteligibilidad de la palabra (STI) entre 0.35-0.80. La AAAC (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018) propone un valor de 0.70 como mínimo para el caso de salones de aprendizaje abierto. Si se tomara de base esta regulación, dado que en el estudio solo 1 salón obtuvo más de 0.70 (Wilson et al., 2020), los otros 11 estarían fuera de rango.

Si bien este estudio (Wilson et al., 2020) presenta resultados para el nivel de sonido en ambiente ocupado (49.8-64.8db, no es posible establecer una comparación con la norma AAAC, ya no presenta ningún límite para este parámetro, lo cual se puede comprobar en el mismo documento

de la AAAC (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018). Incluso se dice (Mealings, 2016) que la norma AS/NZ2107 tampoco aborda este parámetro.

### 3.2.4. Reino Unido

El caso de estudio a continuación fue extraído del artículo “*A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary schools classrooms in England*”. Fue desarrollado en 2013-2014 por dos especialistas del Centro de investigación acústica de la Universidad de Salford (Manchester) en colaboración con dos miembros del Departamento de Psicología y Desarrollo humano del Instituto de Educación de Londres y dos especialistas del Grupo de Acústica del Departamento de Ingeniería Urbana de la Universidad del Banco del Sur de Londres.

Éste recoge los datos medidos en 185 ambientes desocupados de 13 escuelas, y 274 mediciones durante el dictado de clases, completando hasta 28 escuelas; todas las escuelas evaluadas son públicas. Las mediciones en espacios desocupados se hicieron con los espacios amoblados; se tuvo cuidado en poner los dispositivos de medición a una altura de 1.55 metros (representativa de la cabeza de un estudiante); se mantuvo una distancia de al menos 1 metro de separación con los muros en espacios cerrados y se midió valores en zonas más cercanas a la carretera en los espacios abiertos (Shield et. al, 2015).

Tabla 14: Valores promedio de indicadores acústicos en 185 ambientes desocupados, organizados de acuerdo al uso. Las mediciones duraron entre 3 y 5 minutos.

	Aulas cerradas	Talleres de tecnología	Gimnasia	Aulas de música	Salón de deportes	Lab. de ciencias	Sala de arte	Espacios abiertos
L <sub>Aeq</sub> (-≤)	35	40	40	35	40	40	40	40
L <sub>Aeq</sub> (dB)	33.6	38.4	38.5	36.8	36.1	36.2	36	35.4
TR (<)	0.8 s	0.8 s	1.5 s	1.0 s	1.5 s	0.8 s	0.8 s	0.8 s
TR (s)	0.64	0.72	<b>1.8</b>	0.51	<b>4.01</b>	0.75	0.63	0.53
STI	0.71	0.69	<b>0.57</b>	0.75	<b>0.51</b>	0.69	0.72	0.74

C50 (dB)	4.77	3.91	-0.01	5.95	-2.5	3.94	2.63	6.22
----------	------	------	-------	------	------	------	------	------

*Nota: Tomado de "A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary schools classrooms in England" por Shield, BM et. al (2015)*

*Tabla 15: Valores promedio del nivel de ruido (LAeq en dB) durante clases, organizados por materia en 274 clases dictadas. Las mediciones duraron una hora lectiva completa (43 minutos en promedio).*

	Matemática	Inglés	Ciencia	Lengua extranjera	Historia y Geografía	Todos
Nro. datos	71	72	88	19	24	274
Clase regular	63.6	63.3	<b>65.6</b>	64.5	63.11	64.2
Plenario	63.2	62.7	64.0	63.3	62.5	63.3
Trabajo individual	63.1	59.5	64.0	62.9	59.4	62.3
Trabajo grupal	<b>67.8</b>	<b>67.2</b>	<b>68.4</b>	<b>69.6</b>	<b>65.3</b>	<b>67.7</b>
Contenido multimedia	-	<b>66.0</b>	63.8	<b>65.5</b>	<b>65.6</b>	65.0

*Nota: Tomado de "A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary schools classrooms in England" por Shield, BM et. al (2015)*

Se observa que los niveles de ruido son, en promedio, menores a los límites máximos permisibles por el Boletín de la Construcción 93 para ambientes desocupados. Sin embargo, de manera particular, el 64% de los 185 ambientes cumple con el límite de ruido ambiental interior (LAeq) y 74% con el tiempo de reverberación (TR); solo el 52% de los ambientes cumplían con ambos requerimientos a la vez.

No obstante, es importante resaltar la efectividad de la norma impuesta por el Boletín de la Construcción 93 pues, de los ambientes construidos de manera previa a su publicación (en 2003) solo 44% cumple con ambas exigencias, y, de los construidos de manera posterior, el 87% (Shield et. al, 2015).

A partir de las mediciones en espacios desocupados, se hizo una regresión lineal entre el tiempo de reverberación (TR) y la altura del ambiente, debido a una dependencia evidente. Para

no superar un  $TR=0.8$  segundos, se sugiere mantener las alturas de piso a techo menores a 2.40 metros; sin embargo, si se tiene suficiente material que absorba el sonido, es posible tener alturas mayores sin que se exceda el valor de TR mencionado (Shield et. al, 2015).

$$TR = 0.278h + 0.142$$

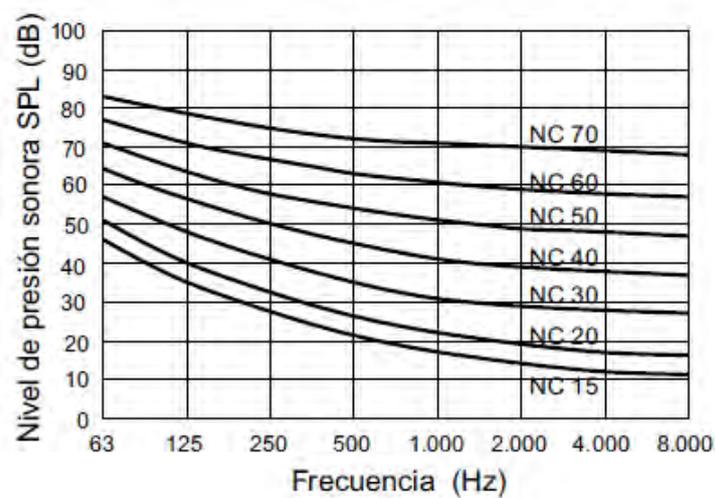
Debido a esto, los espacios deportivos tienen valores de TR notablemente mayores a los admisibles. Esto se ve reflejado en la baja inteligibilidad de la palabra y en los valores negativos en la claridad de la voz, dado que el STI es menor al 65% y C50 debería ser mayor a 2 dB.

Por otra parte, se observa que el valor promedio del nivel del ruido interior durante las clases (64.5 dB) es menor al valor máximo recomendado por la OMS (65 dB). Sin embargo, en actividades grupales y visualización de contenido multimedia los valores son mayores al admisible, entrando en la categoría de “ruidosos” (OMS, 1999). Asimismo, se observó que el nivel de ruido interior está relacionado de manera directa a la cantidad de alumnos por ambiente y de manera inversa a la edad de los mismos. Finalmente, se apreció que incluir techos de material absorbente es más efectivo que el material del tapiz (Shield et. al, 2015).

### **3.3. Propuestas de diseño y construcción**

La correcta construcción de un ambiente basado en un diseño acústico requiere del cumplimiento de reglamentos y normativas que rigen en la zona de la edificación en la que se encuentra. Los criterios a determinarse para su diseño dependen de la normativa del lugar y de la capacidad de ser corroborados, adquiriendo los equipos necesarios para realizar las mediciones correspondientes. Parámetros como el índice de inteligibilidad no se requieren verificar debido a que se usan, en la mayoría de casos, para ambientes con fines artísticos como las salas de teatro (Arau, 2008).

Según Bella (2015) uno de los criterios que se evalúa en el diseño acústico de un aula es el ruido de fondo, el cual se realiza teniendo la sala inactiva. Este criterio compara los niveles de presión sonora existente en un ambiente para una gama de frecuencias auditivas que van desde los 63 Hz hasta los 8000 Hz por medio de curvas de referencia NC (Noise Criteria). Dichas curvas determinan el valor máximo de ruido de fondo en dB que debe tener el ambiente, para lo cual cada curva le corresponden ciertos tipos de ambientes que obedecen el mismo valor límite (Bella, 2015).



*Figura 8: Curvas NC*

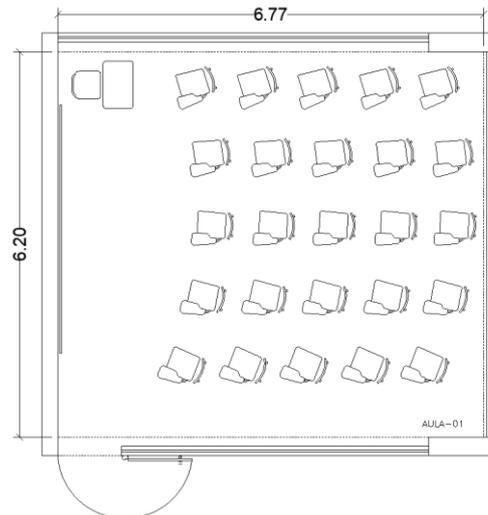
*Nota: Tomado de estudio de la calidad del aula 008, Bella, 2015*

En el caso de las aulas escolares, las curvas recomendadas son las curvas NC 20 y NC 30 (Bella, 2015). En el peor de los casos, se debe optar por emplear la curva NC 20, por lo que el valor máximo de ruido de fondo o nivel de presión sonora SPL del aula escolar debe ser de 51 dB para frecuencias bajas y 16 dB para frecuencias altas. Realizando un promedio para la gama de frecuencias se puede obtener el nivel de ruido de fondo LAeq en dBA. Finalmente, el LAeq debe cumplir con ser menor que lo establecido por la norma del lugar. Tomando como ejemplo la norma BB93 (Ver anexo A) de Reino Unido, esta medida debe ser menor que 35 dBA para cumplir el diseño acústico del aula (Building Bulletin 93, 1993).

Para efectos de control del parámetro del tiempo de reverberación, se necesita optar por un material aislante para aplicarlo en las distintas aulas del pabellón. Este material aislante debe ser capaz de mantener el tiempo de reverberación del aula dentro de los rangos que establecen ciertas normas. Se tomará como ejemplo, la norma AAAC de Australia (Véase Anexo B). De acuerdo a esta normativa, para todos los casos de diseño acústico de un ambiente de escuela se debe primero lograr que el tiempo de reverberación de este debe ser menor a 0.6 s, valor de TR límite indicado para aulas de clase tanto para nivel primaria como para secundaria (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2018).

Considerando que se empleará un panel trasdosado absorbente acústico modular modelo Inaphon, proporcionado por INERCO Acústica, descrito en el subcapítulo 2.6 de este documento, se tiene que su valor de coeficiente de absorción es de 0.85 sabines métricos, valor proporcionado por el distribuidor del producto.

Lo siguiente es determinar el área que ocupan los materiales a emplear, para lo cual se debe escoger el ambiente en el cual basar un diseño. Se sabe que el caso más desfavorable concerniente al tiempo de reverberación de un ambiente corresponde al de las aulas de mayor área, por lo que es necesario identificar este caso en cualquier diseño acústico de edificios. A continuación, se muestra un ejemplo de una vista en planta de un aula escolar.



*Figura 9: Aula escolar hipotética*

*Nota: Elaboración propia*

El área que ocupa el material absorbente es el perímetro interior del aula multiplicado por la altura del panel, la cual es 3 m, por lo que se obtiene un área superficial de 78.11 m<sup>2</sup>. Para efectos de cálculo, se despreciará el aporte de absorción de tanto las ventanas como del piso y techo, dando finalmente un aporte de absorción de  $A_{tot} = 0.85 * 78.11 = 66.39$  sabines.

Luego, el volumen total del aula es de 133.17 m<sup>3</sup> por lo que se tiene que finalmente el tiempo de reverberación es  $TR = 0.161 * 133.17 / 66.39 = 0.32$  s. Se verifica entonces que se cumple con el criterio de que el TR debe ser menor a 0.6 s para aulas.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

1. El nivel de desarrollo de normas que regulen la calidad acústica en centro educativos es muy superior en continentes como Europa y Oceanía respecto al que se observa en América del Sur, particularmente en el caso peruano. Esto se puede notar comparando no solo la cantidad de parámetros indicados en las normas sino el nivel de detalle de estos. En el caso de Chile, se abarca varios parámetros, pero no se profundiza en su aplicación, por ejemplo, según el tipo de ambiente, como en el caso de Australia o el Reino Unido.

2. En la mayoría de los países estudiados, existe actualmente un reglamento de construcción. Sin embargo, en ningún caso, este reglamento, es específico en cuanto a regulaciones acústicas o, en todo caso, de mencionarse, no aplica para centros educativos. Esto obliga a que diferentes entidades públicas o privadas asuman el rol de consultores y desarrollen sus propios estándares de libre aplicación.

3. En general, para el interior de un aula desocupada se observa que las diferentes normas, incluida la OMS, apuntan a un nivel de presión sonora equivalente estandarizado (LAeq) de 35 dB, un tiempo de reverberación entre 0.6 y 0.7s, una diferencia de nivel estandarizada de 45 dB con ambientes adyacentes y un nivel presión sonora por impacto, proveniente de los techos, máximo de 60 dB. Otros parámetros como el nivel equivalente diurno y el coeficiente de reducción de ruido ponderado sólo figuran en algunas normas.

4. En Australia el desarrollo de normas está bastante avanzado, ya que existen hasta 2 guías de diseño acústico en centros escolares, AS/NZS 2107 y la AAAC. Sin embargo, según un estudio en la ciudad de Brisbane, esto no es sinónimo de que se cumpla con estos requisitos,

por lo que se debe hacer énfasis también en mejorar los mecanismos de control para la aplicación de estas normas.

5. En el Perú, si bien se han desarrollado herramientas legales para la aplicación de normas de regulación ambiental, entre ellas el control acústico, hace falta publicar normas que sean más específicas con los requerimientos de diseño acústico. Tras realizar una revisión de los códigos existentes, una alternativa sería la adopción y/o adaptación del código del Reino Unido o Australiano.

6. Tomando de base los casos estudiados en Perú y Chile, se puede concluir que aun existe un déficit importante en el desarrollo de normas que permitan la evaluación acústica completa en centros educativos

7. Como se vio en el caso de estudio de Reino Unido, las exigencias de la norma de regulación acústica establecidas por el Boletín de Construcción 93 impulsan a mejorar el desempeño acústico de los edificios escolares construidos, pues tras la implementación de la norma se duplicó la cantidad de escuelas que cumplen con los estándares de tiempo de reverberación y nivel de ruido interior. Sin embargo, esto depende también de la capacidad de control por parte del estado y el nivel de compromiso por parte de los contratistas para respetar las regulaciones.

8. Una selección adecuada de materiales al interior de un aula influenciará directamente en el tiempo de reverberación, lo cual ayudará a mejorar la comunicación e inteligibilidad de la palabra. Los ambientes deben tener la suficiente capacidad de absorción acústica (deben ser porosos), para lo cual se ha comprobado que la empresa INERCO acústica brinda opciones que satisfacen esta condición.

## 5. Bibliografía

1. Audiotec (2020). *Estudio de Impacto Acústico y de vibraciones de la modificación de alineaciones de la parcela H, en el sector Arteaga de Zamudio (Bizkaia)*. (IDI200032)
2. Arau, H (2008). ¿Es el criterio acústico el paradigma de la excelencia acústica en el diseño de aulas? *Acústica*. 118. 1-19
3. ACUSONIC (2000). *NORMA CHILENA NCH 352/1. OF 2000: Aislación acústica parte I: construcciones de uso habitacional-requisitos mínimos y ensayos*  
<http://www.acusonic.cl/documentos/NCH%20352.pdf>
4. Aguilar, J. R.. (2019). Una mirada a los criterios de diseño acústico de la infraestructura educacional en Chile. *Revista ingeniería de construcción*, 34(2), 115-123.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200115>
5. Bertó, L. (2015). *Nuevos materiales, modelos y técnicas de caracterización en la acústica de la edificación y acústica medioambiental*. (Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de Valencia). Recuperado de  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57953/Bert%F3%20-%20Nuevos%20materiales,%20modelos%20y%20t%20t%20E9cnicas%20de%20caracterizaci%F3n%20en%20ac%FAstica%20de%20la%20edificaci%F3n%20y%20....pdf?sequence=1>

6. Bustos, Fabricio. (2011). *Revisión y propuesta de modificación a la NCH 352.OF 61- Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios de uso no habitacional*  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcib982r/doc/bmfcib982r.pdf>
7. Bella, Carmen. (2015). *Estudio de la calidad acústica del aula 008*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Sevilla.
8. Carrillo-Mora, Paul, Ramírez-Peris, Jimena, & Magaña-Vázquez, Katia. (2013). Neurobiología del sueño y su importancia: antología para el estudiante universitario. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 56(4), 5-15. Recuperado en 08 de noviembre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422013000400002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422013000400002&lng=es&tlng=es).
9. OSMAN. (2009). *Ruido y Salud*.
10. CONSEJO DE MINISTROS (2003). Decreto Supremo N° 085-2003-PCM. Lima, 31 de enero. Consulta: 08 de Noviembre de 2020.  
<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Reglamento-calidad-ambiental-para-ruido.pdf>
11. ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL (2016) *La contaminación sonora en Lima y Callao*. Primera edición. Lima.
12. CEVECE (2010). *Efectos a la salud por ruido* Consulta: 08 de Noviembre de 2020  
<https://salud.edomex.gob.mx/cevece/>

13. PASSCHIER-VERMEER, W., y PASSCHIER, W. (2000). *Noise Exposure and Public Health Noise Exposure and Health Characterization of Noise Exposure Sound Pressure Level and Sound Level*. <http://ehpnetl.niehs.nih.gov/docs/2000/suppl-1/123-131passchier-vermeer/abstract.html>
14. Flagg, W.; Rubin, R. y Aquino, C. (2011). *Classroom soundscape*. *Educational and Child Psychology*
15. Association of Australasian Acoustical Consultants. (2018). *Guideline for Educational Facilities Acoustics*.
16. Australian Building Codes Board. (2016). *National Construction Code*. Canberra.
17. Burgess, M., & Gabriels, N. (2015). Overview of the revision of AS/NZS 2107. *Acoustics 2015 Hunter Valley*, 1-4.
18. Education Funding Agency & Department for Education (2015). *Acoustic design of schools: performance standards*. Building Bulletin 93. Reino Unido. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/400784/BB93\\_February\\_2015.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/400784/BB93_February_2015.pdf)
19. Hannah, L., Page, W., & McLaren, S. (2016). A review of AS / NZS 2107 : 2016 Acoustics – Recommended design sound levels & reverberation times for building interiors. *New Zealand Acoustics*, 30(2), 4-8.

20. Mealings, K. (2016). Classroom acoustic conditions: Understanding what is suitable through a review of national and international standards , recommendations , and live classroom measurements. *Acoustics 2016*, (November), 1-10. Brisbane.
21. MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA (1997) Decreto Supremo N° N° 146 . Chile, 24 de diciembre. Consulta: 08 de Noviembre de 2020. <http://www.asrm.cl/archivoContenidos/DS%20146-97%20del%20MINSEGPRES.pdf>
22. MINISTERIO DEL AMBIENTE (2012) Decreto Supremo N° 38 . Chile, 12 de junio. Consulta: 08 de Noviembre de 2020. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1040928>
23. MINEDUC (2010). “*Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos*” Consulta: 08 de Noviembre de 2020. [https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/4638/criterios\\_dise%cb1o\\_espacios\\_educativos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/4638/criterios_dise%cb1o_espacios_educativos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
24. World Health Organization. (1999). *Guidelines for community noise.pdf*. London.
25. James, D., Stead, M., Clifton-brown, D., & Scott, D. (2012). A cost benefit analysis of providing a ‘ sound ’ environment in educational facilities. *Proceedings of Acoustics*, 21-24. Freemantle.
26. INERCO Acústica (2013). *Catálogo de elementos de control pasivo del ruido*. Edición primavera 2013. Recuperado en 08 de noviembre de 2020, de <https://www.inasel.com>

27. Sabine, P. (1932). *Acoustics and architecture*. McGraw-Hill; Nueva York.
28. Sendra, J. (1992). Acústica gráfica: un instrumento eficaz para la acústica arquitectónica. *Teoría y técnicas de la construcción*, 11, 29-37, 10171/16482
29. González, Y y Fernández, Y. (2014). Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 402-410. Recuperado en 06 de diciembre de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032014000300012&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300012&lng=es&tlng=es).
30. Torres, Rodrigo. (2008). "ESTUDIO DE LA CALIDAD ACÚSTICA DE SALAS DE CLASES EN COLEGIOS DE VALDIVIA, UTILIZANDO STI". Universidad Austral de Chile. Recuperado el 06 de diciembre de 2020 de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcit6931e/sources/bmfcit6931e.pdf>
31. Menéndez, V. (2008) "Medidas de aislamiento acústico" EOI – MADRID
32. Avilés, R Y Perera, M. (2017). "MANUAL DE ACÚSTICA AMBIENTAL Y ARQUITECTÓNICA". Ediciones Paraninfo, SA.
33. Burneo, A. (2007) "Ruido y aprendizaje escolar". *Revista PUCE* No. 81 / 2007 / Quito / Centro de Publicaciones

34. Arévalo, C (2019) “Determinación de la influencia del ruido ambiental por el tránsito vehicular, en el aprendizaje de los estudiantes de las instituciones educativas del distrito de yarinacocha, ucayali, Perú”
35. Whitman, C; Armijo, G. y Casals, R. (2011) "Post-Occupancy evaluation of state schools in 5 climatic zones of Chile". *Gazi University Journal of Science* 24 (2) , pp. 365-374.
36. Figueroa, A; Orozco, M. y Preciado, N. (2012). Niveles de ruido y su relación con el aprendizaje y la percepción en escuelas primarias de Guadalajara, Jalisco, México .. *Ingeniería*, 16 (3), 175-181. [Fecha de Consulta 27 de Noviembre de 2020]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467/46725267001>
37. Quiroz-Arcenales, L., Hernández-Flórez, L. J., Corredor-Gutiérrez, J. C., Rico-Castañeda, V. A., Rugeles-Forero, C., y Medina-Palacios, K. (2013). The auditory and neuropsychological effects of school children’s exposure to environmental noise in a locality in Bogotá, 2010. En *Rev. salud pública* (Vol. 15, Número 1). Instituto de Salud Pública, Facultad de Medicina - Universidad Nacional de Colombia.
38. Wilson, W. J., Downing, C., Perrykkad, K., Armstrong, R., Arnott, W. L., Ashburner, J., & Harper-Hill, K. (2020). The ‘acoustic health’ of primary school classrooms in Brisbane, Australia. *Speech, Language and Hearing*, 23(3), 189-196. <https://doi.org/10.1080/2050571X.2019.1637042>
39. Guzman, M.; Valverde, J. y Quijano, J. (2014) “Evaluación del impacto sonoro para mitigar la contaminación sonora en una Institución Educativa, Lima”. Universidad Cesar

Vallejo. Lima. [Fecha de Consulta 08 de diciembre de 2020]

<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-SCIENTIA/article/view/814>

40. Lucic, Y (2009) “ El ruido como problema en el aprendizaje” Universidad de Chile.

Santiago de Chile. [Fecha de Consulta 08 de diciembre de 2020]

[http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-lucic\\_y/pdfAmont/aq-lucic\\_y.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-lucic_y/pdfAmont/aq-lucic_y.pdf)



## 6. Anexos

### 6.1. Anexo A: BB93

Tablas de la norma “Building Bulletin 93”

Tabla 1: Límites superiores para el ruido en ambientes interiores

Tipo de sala	Clasificación de la sala para aislamiento acústico aéreo en Tablas 3a y 3b		Límite superior para el nivel de ruido ambiental interior $L_{Aeq}$ dB	
	Ruido de actividad	Tolerancia al ruido del exterior	Construcción nueva	Remodelación
Enfermería Salones de clase en geral.	Promedio	Media	35	40
Oficinas abiertas Ambiente de receso	Promedio	Media	40	45
Salón de música de primaria	Alto	Media	35	40
Salón de música de secundaria y prácticas grupales	Muy alto	Baja	35	40
Estudio de grabación	Muy alto	Baja	30	35
Sala de control	Promedio	Media	35	40
Sala de lectura	Promedio	Media	35	40
Sala de enseñanza para estudiantes con necesidades especiales	Promedio	Baja	30	35
Sala de calma sensorial	Alto	Baja	35	35
Sala de estudio	Bajo	Media	40	45
Biblioteca: Sala de estudio silenciosa	Bajo	Media	40	45
Hemeroteca	Promedio	Media	40	45
Laboratorio de ciencias	Promedio	Media	40	45
Talleres de diseño y tecnología	Alto	Alto	40	45
Talleres de electrónica, textiles, comida, telecomunicaciones, arte	Promedio	Medio	40	45
Estudio de teatro, salón de presentaciones	Alto	Baja	35	40

Atrio	Promedio	Media	45	50
Piscina	Alto	Media	40	45
Salón de deportes, danza, gimnasia	Alto	Alta	50	55
Sala de reuniones y videoconferencias	Bajo	Media	40	45
Comedor	Alto	Alta	45	50
Cocina	Alto	Alta	50	55
Oficina, sala médica	Baja	Media	40	45
Corredor, escaleras, área de casilleros y abrigos	Promedio	Alta	45	55
Vestidores	Alta	Alta	50	55
Baño	Promedio	Alta	50	55

Tabla 2: Resumen de tipo de sistema y tolerancia al nivel de ruido ambiental interior según la condición de ventilación

Condición	Sistema de ventilación	Límite de nivel de ruido
Normal – ventilación para actividades de enseñanza y aprendizaje regulares	Mecánica	Valor de tabla 1
	Natural	Valor de tabla 1 + 5 dB
	Híbrida	Nivel de ruido del sistema mecánico: tabla 1 Nivel de ruido total: tabla 1 + 5 dB
Temporada de verano – ventilación bajo control local del profesor para prevenir sobrecalentamiento – permisible durante las 200 horas más calurosas del año	Mecánica	Valor de tabla 1 + 5 dB
	Natural o híbrida	$\leq 55$ dB
Impulso intermitente – ventilación bajo control local del profesor para expulsión de vapores durante actividades prácticas de ciencia, arte y tecnología	Mecánica	Valor de tabla 1 + 5 dB
	Natural	$\leq 55$ dB
Proceso – extracción por ventilación automática o	Mecánica y/o natural	Ver guía de IoA/ANC para nivel de ruido operacional

bajo control local del profesor		
---------------------------------	--	--

Tabla 3a: Aislamiento acústico aéreo entre ambientes para construcciones nuevas

Mínimo $D_{nT,w}$ (dB)		Ruido de actividad en sala emisora (ver tabla 1)			
		Bajo	Promedio	Alto	Muy alto
Tolerancia al ruido ajeno en sala que recibe (ver tabla 1)	Alta	No aplica	35	45	50
	Media	40	45	50	55
	Baja	45	50	55	55

Tabla 3b: Aislamiento acústico aéreo entre ambientes para remodelaciones

Mínimo $D_{nT,w}$ (dB)		Ruido de actividad en sala emisora (ver tabla 1)			
		Bajo	Promedio	Alto	Muy alto
Tolerancia al ruido ajeno en sala que recibe (ver tabla 1)	Alta	No aplica	30	35	45
	Media	30	40	45	45
	Baja	35	40	50	50

Tabla 4a: Estándares de desempeño del aislamiento acústico aéreo global entre espacios de circulación y otros ambientes usados por estudiantes, sin ventilador en los muros

Tipo de ambiente usado por estudiantes	Mínimo $R_w$ , dB		
	$R_w$ compuesto del muro y vidriería sin ventilador		Puertas
	Construcción nueva	Remodelación	
Sala de música de escuela secundaria Sala de control – grabación Sala de actuación Salón multiusos	45	40	35

Salón de enseñanza para estudiantes con necesidades especiales			
Sala de música de escuela primaria Cualquier otra sala para enseñanza o aprendizaje	40	35	30

Tabla 4b: Estándares de desempeño del aislamiento acústico aéreo global entre espacios de circulación y otros ambientes usados por estudiantes, con ventilador en los muros

Tipo de ambiente usado por estudiantes	Mínimo $R_w$ , dB			Alternativa al $R_w$ compuesto del muro, vidriería y ventiladores
	$R_w$ compuesto del muro y vidriería sin ventilador		Puertas	Mínimo $D_{n,e,w}$ 10 lg N dB para ventiladores
	Construcción nueva	Remodelación		
Sala de música de escuela secundaria Sala de control – grabación Sala de actuación Salón multiusos Salón de enseñanza para estudiantes con necesidades especiales	38	35	35	37
Sala de música de escuela primaria Cualquier otra sala para enseñanza o aprendizaje	33	30	30	32

Tabla 5: Estándares de desempeño para aislamiento de sonido de impacto de losas

Tipo de ambiente receptor	Nivel de presión de máximo sonido de impacto $L'_{nT,w}$ dB	
	Construcción nueva	Remodelación
Sala de música: Secundaria, grupo de práctica, recital, estudio de grabación	55	60
Guardería Aulas de enseñanza de primaria y secundaria en general Oficinas abiertas Hemeroteca Librería, sala de lectura Laboratorio de ciencias Sala de teatro Taller de diseño y tecnología Salón multiusos Salón de deportes, gimnasia, danza Sala de videoconferencia, entrevistas, reuniones, consejería Sala de calma	60	65
Atrio Espacios de circulación Piscina Comedor Cocina, oficinas Enfermería Corredores y escaleras Área de casilleros y abrigos Vestidores y baños	65	65

Tabla 6: Estándares de desempeño de tiempo de reverberación (TR o  $T_{mf}$ )

Tipo de ambiente	$T_{mf}$ en segundos	
	Construcción nueva	Remodelación
Guardería Escuela de primaria: salones de enseñanza en general, salones de calma	$\leq 0.6$	$\leq 0.8$
Escuela de secundaria: salones de enseñanza en general, consejería, sala de estudios Taller de diseño y tecnología	$\leq 0.8$	$\leq 1.0$
Enseñanza en espacios abiertos	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$
Área de descanso en espacios abiertos	$\leq 1.2$	$\leq 1.2$
Salón de música en primaria y secundaria	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$
Salones de práctica musical con volumen $\leq 30 \text{ m}^3$	$\leq 0.6$	$\leq 0.8$
Salones de práctica musical con volumen $\leq 30 \text{ m}^3$	$\leq 0.8$	$\leq 1.0$
Sala de aprendizaje conjunto	0.6 – 1.2	0.6 - 1.2
Sala de recitales	1.0 - 1.5	1.0 – 1.5
Sala de control, con o sin grabación	$\leq 0.5$	$\leq 0.6$
Sala de lectura (menos de 50 personas)	$\leq 0.8$	$\leq 1.0$
Sala de lectura (más de 50 personas)	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$
Espacio de enseñanza para estudiantes con necesidades especiales	$T \leq 0.4$ o $T \leq 0.6$ de acuerdo a la frecuencia del sonido	$\leq 0.4$
Biblioteca	$\leq 1.0$	$\leq 1.2$
Sala de teatro	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$
Atrio, salón de entrada, espacios de circulación sin uso pedagógico	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$
Salón de asamblea, salón multiusos	0.8 – 1.2	0.8 – 1.5
Salón de deportes, piscina	$\leq (1.5 - 2.0)$ dependiendo del tamaño del ambiente	$\leq 2.0$
Salón de gimnasia	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$
Salón de danza	$\leq 1.2$	$\leq 1.5$
Sala de reuniones, entrevistas, videoconferencias	$\leq 0.8$	$\leq 0.8$
Comedor	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$
Cocina	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$
Oficinas, enfermería, staff	$\leq 1.0$	$\leq 1.2$
Área de casilleros y abrigos, vestidores	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$
Baño	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$

Tabla 7: Estándares de desempeño para salones deportivos  $T_{mf}$  según el área de piso

Área de piso	Máximo $T_{mf}$ en segundos
$<280 \text{ m}^2$	1.5
$280\text{-}530 \text{ m}^2$	$2.0 - ((530 - (\text{Área de piso})) / 500)$
$>530 \text{ m}^2$	2.0

Tabla 8: Estándares de desempeño para inteligibilidad de la palabra y privacidad en espacios abiertos (STI)

Condición	STI
Instrucción o actividad de escucha crítica – dentro de un grupo	$\geq 0.60$
Entre grupos (durante actividades de escucha crítica)	$\leq 0.30$

## 6.2. Anexo B: AAAC

Tablas de la norma “Guía de la acústica en instalaciones educativas”

Tabla 1: Nivel de ruido interno en ambientes desocupados ( $L_{Aeq}$ ) y tiempo de reverberación (RT)

Ambiente	Rango de diseño para nivel de ruido interno en el ambiente ( $L_{Aeq}$ dB)	Tiempo máximo de reverberación, T60 (RT s)
Vestíbulo	40-50	$\leq 1.5$
Salón de Arte/artesanía	40-45	$\leq 0.8$
Sala de asamblea hasta 250 asientos	30-40	0.6-0.8
Sala de asamblea con más 250 asientos	30-35	*
Área audio-visuales	35-45	0.6-0.8
Cafeterías	45-50	$\leq 1.0$
Salas de cómputo-Enseñanza	40-45	0.4-0.6
Salas de cómputo-Laboratorios	45-50	0.4-0.6
Sala de conferencias	35-40	0.6-0.7
Corredores y salas de estar	$\leq 50$	$\leq 0.8$
Estudio de baile	35-40	*
Teatro	35-40	*
Taller de ingeniería -Enseñanza	$\leq 45$	**
Taller de ingeniería-Otros	$\leq 60$	**
Gimnasio, deportes bajo techo	$\leq 45$	*
Entrenamiento de peso, cuarto de ejercicios	$\leq 50$	$\leq 1.0$

Sala de entrevista	40-45	0.3-0.6
Laboratorios- Educación	35-45	0.5-0.8
Laboratorios- Trabajo	40-50	0.5-0.8
Sala de conferencia-Hasta 50 asientos	30-35	*
Sala de conferencia-sin refuerzo para discurso y más de 50 asientos.	30-35	*
Salas de conferencia-con refuerzo para discurso	30-40	*
Bibliotecas-Área general	40-50	< 0.6
Biblioteca-Área de lectura	40-45	< 0.6
Taller de artes manuales	≤ 45	*
Tópico de salud	40-45	0.5-0.6
Salón de música	35-45	*
Estudio de música	30-35	*
Guarderías/Pre colegio-Sala de juegos	35-40	≤ 0.6
Guarderías/Pre colegio-Sala de silencio	≤ 35	≤ 0.6
Zona de Oficinas	40-45	0.4-0.7
Oficinas profesionales y administrativas	35-40	0.6-0.8
Espacios de educación-Estilo abierto	≤ 40	≤ 0.6
Espacios de educación-Primaria	35-40	≤ 0.6
Espacios de educación-Secundaria	35-40	≤ 0.6

Espacios de educación-Habilidades diferentes	$\leq 30$	$\leq 0.4$
Salas comunes para staff	40-45	$\leq 0.6$
Estudio de staff	40-45	0.4-0.6
Cubículo sanitario, vestidores, duchas	$\leq 55$	-
Piscinas	50-60	$\leq 2.0$

\*El tiempo de reverberación adecuado será influenciado por el uso, volumen y geometría del espacio. Se recomienda buscar asesoría por parte de un ingeniero acústico

\*\*El tiempo de reverberación debe ser minimizado para el control del ruido.

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Tabla 2: Categorías para ambientes emisores y receptores de ruido.

Ambiente	Generación de impacto en ambiente fuente	Generación de ruido transmitido por aire en ambiente fuente	Tolerancia al ruido del ambiente receptor
Vestíbulo	Medio	Promedio	Alto
Salón de Arte/artesanía	Medio	Promedio	Medio
Sala de asamblea hasta 250 asientos	Alto	Muy alto	Bajo
Sala de asamblea con más 250 asientos	Alto	Muy alto	Bajo
Área audio-visuales	Bajo	Alto	Bajo
Cafeterías	Alto	Muy alto	Alto
Salas de cómputo-Enseñanza	Bajo	Promedio	Medio

Salas de cómputo-Laboratorios	Bajo	Promedio	Medio
Sala de conferencias	Bajo	Alto	Muy bajo
Corredores y salas de estar	Medio	Promedio	Alto
Teatro	Medio	Alto	Bajo
Estudio de baile	Alto	Muy alto	Medio
Taller de ingeniería - Enseñanza	Alto	Alto	Alto
Taller de ingeniería-Otros	Alto	Alto	Alto
Gimnasio, deportes bajo techo	Alto	Muy alto	Medio
Entrenamiento de peso, cuarto de ejercicios	Alto	Alto	Medio
Sala de entrevista	Bajo	Bajo	Medio
Laboratorios-Educación	Bajo	Promedio	Medio
Laboratorios- Trabajo	Bajo	Promedio	Medio
Sala de conferencia-Hasta 50 asientos	Bajo	Promedio	Medio
Sala de conferencia-sin refuerzo para discurso y más de 50 asientos.	Bajo	Promedio	Bajo
Salas de conferencia-con refuerzo para discurso	Bajo	Alto	Medio
Bibliotecas-Área general	Medio	Promedio	Medio

Biblioteca-Área de lectura	Bajo	Bajo	Bajo
Taller de artes manuales	Medio	Promedio	Medio
Tópico de salud	Bajo	Bajo	Medio
Salón de música	Bajo	Muy alto	Bajo
Estudio de música	Bajo	Muy alto	Muy bajo
Guarderías/Pre colegio-Sala de juegos	Medio	Promedio	Medio
Guarderías/Pre colegio-Sala de silencio	Bajo	Bajo	Bajo
Zona de Oficinas	Bajo	Promedio	Medio
Oficinas profesionales y administrativas	Bajo	Promedio	Medio
Espacios de educación-Estilo abierto	Bajo	Promedio	Bajo
Espacios de educación-Primaria	Bajo	Promedio	Bajo
Espacios de educación-Secundaria	Bajo	Promedio	Bajo
Espacios de educación-Habilidades diferentes	Bajo	Promedio	Bajo
Salas comunes para staff	Bajo	Bajo	Medio
Estudio de staff	Bajo	Bajo	Bajo
Cubículo sanitario, vestidores, duchas	Medio	Promedio	Alto
Piscinas	Medio	Alto	Alto

Cuarto de maquinas	Bajo	Alto	Alto
--------------------	------	------	------

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Tabla 3: Límite superior para el ruido por impacto ( $L'_{nTw}$ )

$L'_{nTw}$ (dB)		Generación de ruido de impacto en ambiente fuente		
		Bajo	Medio	Alto
Tolerancia al ruido en ambiente receptor	Alto	70	65	60
	Medio	65	60	55
	Bajo	60	55	50
	Muy bajo	55	50	45

\*Cuando se proyecten ambientes con alta generación de ruido por impacto sobre ambientes con poca tolerancia al ruido por impacto, se debe considerar reubicar alguno de los dos. Se recomienda buscar asesoría cuando actividades que generan gran volumen de impacto, como gimnasia, tengan lugar sobre ambientes con baja tolerancia al ruido.

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Tabla 4: Límite inferior para la diferencia de nivel de presión sonora estandarizada ponderada ( $D_{nTw}$ )

$D_{nTw}$ (dB)		Nivel de actividad ruidosa en ambiente fuente			
		Bajo	Promedio	Alto	Muy alto
Tolerancia al ruido en ambiente receptor	Alto	30	35	40	45
	Medio	35	40	45	50
	Bajo	40	45	50	55
	Muy bajo	45	50	55	60

\*Donde se consideren puertas entre ambientes, se debe prestar especial atención a la colocación y tratamiento de estas, ya que las puertas sin tratamiento acústico normalmente no superan un  $D_{nTw}$  de 20db, mientras que una puerta con núcleo sólido con sellos acústicos en todo el perímetro puede alcanzar un valor de  $D_{nTw}$  de hasta 30db.

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.

Tabla 5: Ratio mínimo de inteligibilidad de la palabra

Ambiente	Límite inferior de STI
Espacios de educación-Estilo abierto	0.7
Auditorio	0.65
Gimnasio	0.5
Salón multipropósito	0.6

\*Las medidas del STI deben incluir los efectos de reverberación y eco y el nivel total equivalente de ruido a causa de la actividad y ruido de ingreso medido como  $Leq$  en octavos de frecuencia de banda.

Nota: Tomado de Guideline for educational facilities acoustics, por AAAC, 2018.