

2.4. Estrategias de Diseño Acústico

2.4.1. Importancia del confort acústico en el aprendizaje

A diferencia de otros aspectos de confortabilidad ya revisados, las estrategias de diseño para el mejoramiento del desempeño acústico de las aulas de enseñanza son transversales a cualquier contexto climático, razón por la cual el presente capítulo tiene por objetivo profundizar sobre las distintas estrategias de diseño acústico aplicables a aulas escolares.

La importancia de dicho factor de confortabilidad en los procesos de enseñanza y aprendizaje ha sido reconocida en manuales como el Marco para la Buena Enseñanza (MINEDUC, año 2003). Dicho manual propone un "ciclo total" del proceso educativo, el cual se sintetiza en cuatro dominios, donde cada uno hace referencia a un aspecto distinto de la enseñanza.



Figura 2.79: Ciclo del proceso Enseñanza-Aprendizaje

Para los efectos de esta guía de diseño, el Dominio C Enseñanza para el aprendizaje de todos los estudiantes, entre sus criterios de ejercicio profesional docente, contiene los criterios que se describen a continuación:

- C1.** Comunica en forma clara y precisa los objetivos de aprendizaje.
- C3.** El contenido de la clase es tratado con rigurosidad conceptual y es comprensible para los estudiantes.

Debido a esto, es realmente importante que el mensaje emitido sea recepcionado de manera óptima, donde la comprensión de la palabra hablada cobra protagonismo, traduciéndose en el concepto de inteligibilidad, que corresponde al criterio socio-acústico más importante en el diseño de salas destinadas a transmitir la voz hablada (aulas y auditorios).

A la pérdida asociada a la percepción de las consonantes se le denomina % de Pérdida de Articulación de Consonantes, %ALCons ("Articulation Loss of Consonants"), la cual da cuenta

de la pérdida asociada a una percepción incorrecta de las consonantes, y con esto, del mensaje emitido por un orador.

Otro parámetro acústico que cuantifica la inteligibilidad de

la Palabra corresponde al STI (Speech Transmission Index), cuyos valores oscilan entre 0 (nula inteligibilidad) y 1 (total inteligibilidad).

Tabla 2.15 Valoración subjetiva de los grados de Inteligibilidad de la Palabra.

%ALCons	STI/RASTI	VALORACIÓN SUBJETIVA
1,4% - 0%	0,88 - 1	Excelente
4,8% - 1,6%	0,66 - 0,86	Buena
11,4% - 5,3%	0,5 - 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 - 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 - 0,34	Mala

En efecto, que el estudiante inserto en un ambiente con mala inteligibilidad de la palabra utilizará más recursos físicos y mentales para descifrar un mensaje hablado, lo que acusa agotamiento y distracción durante el transcurso de la jornada escolar. Estos efectos se acrecientan aún más en las clases de idiomas.

Estudios realizados en Santiago (Bravo y Vásquez, 2004) concluyen que dentro de un aula escolar, una zona correspondiente al 60% de ésta posee buena inteligibilidad, pero a lo menos un 40% de los alumnos se ubica en zonas con inteligibilidad regular o mala. En adición a lo anterior, un estudio realizado sobre las condiciones acústicas en ambientes académicos en la comuna de Valparaíso concluye que el ruido al interior del aula escolar es el principal agente que atenta sobre la calidad de la enseñanza.

Los principales factores acústicos que intervienen en la

inteligibilidad de la palabra en el aula son:

- Ruido de Fondo y razón señal/ruido (S/R), y
- Tiempo de Reverberación.

2.4.2. Ruido de Fondo y Razón Señal/Ruido (S/R)

El ruido puede definirse simplemente como un sonido no deseado, y al conjunto de procedimientos y técnicas utilizadas para obtener niveles sonoros que no impacten negativamente en el confort ambiental de un receptor se le denomina control de ruido.

La inteligibilidad de la palabra mejora cuando aumenta la razón de nivel entre la señal receptionada y el ruido ambiente presente en el aula (razón señal/ruido (S/R)).

Esta relación se incrementa en la práctica cuando los docentes, en el intento de “competir” con el ruido ambiente, elevan el nivel de su voz, lo que a mediano plazo genera cuadros de estrés y afonías.

El ruido ambiente presente en aulas tiene origen:

- a) Externo, a causa de un mal aislamiento a ruido aéreo de la fachada (al estar inserto el recinto educacional en una zona con altos niveles de ruido), salas contiguas o áreas comunes.

En este caso las estrategias de mejora apuntan al emplazamiento del aula y al aislamiento acústico de ésta.

- b) Interno, sistema de climatización, equipo multimedia y otras instalaciones dentro de la sala de clases.

En este caso las estrategias de mejora apuntan al control de ruido y acondicionamiento acústico interior del aula.

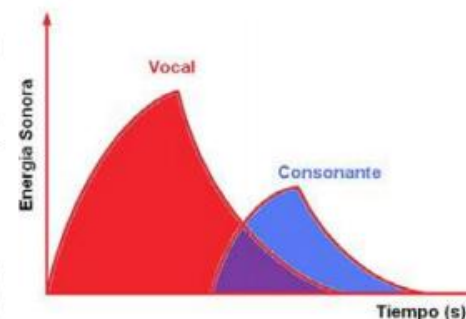
2.4.3. Tiempo de reverberación.

El Tiempo de Reverberación (T) es el tiempo, expresado en segundos, que tarda el nivel de presión sonora (ruido) en decaer 60 dB una vez cesada la emisión de la fuente sonora excitadora (equivalente a la disminución de la energía sonora a la millonésima parte). El tiempo de reverberación de un recinto es función de:

- El volumen del aula (directamente proporcional)
- La absorción total del revestimiento interior del aula (inversamente proporcional)

El docente, al momento de emitir un mensaje vía oral, la duración de las vocales y su correspondiente nivel de presión sonora es mayor que el de las consonantes. A esto se suma la mayor abundancia del contenido energético de las vocales en las frecuencias bajas. Por otro lado, las consonantes presentan un mayor contenido energético en las frecuencias altas.

En un aula con un tiempo de reverberación alto, el decaimiento energético de una vocal emitida es apreciablemente más lento que su decaimiento si ésta es emitida en el espacio libre). Tal hecho, junto con la mayor duración y cantidad de energía concentrada en las frecuencias bajas, provoca un solapamiento temporal de la vocal con la consonante emitida inmediatamente después (Figura 2.80).



Fuente [Carrión, 2001]

Figura 2.80: Evolución temporal de la energía sonora correspondiente a la emisión de una vocal seguida de una consonante en un recinto cerrado (según Kurtovic)

[Fuente: Carrión, 2001]

En un aula, un alto tiempo de reverberación, más un elevado nivel de ruido ambiente generan efectos aditivos que perjudican de mayor manera la inteligibilidad de la palabra, y por ende, a la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje.

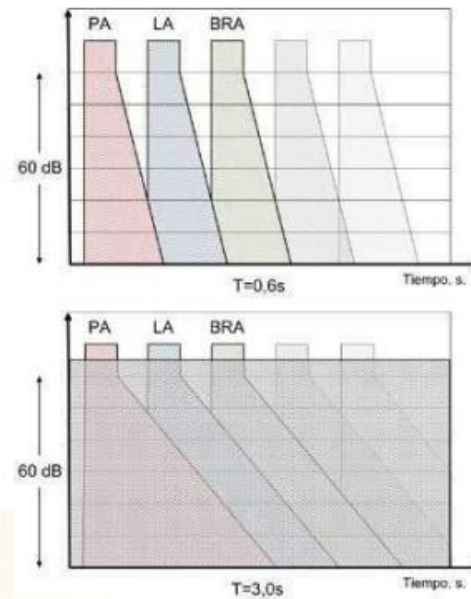


Figura 2.81: Enmascaramiento de la señal sonora a causa de los efectos de la reverberación y ruido de fondo presentes en un aula.

2.4.4. Estrategias de diseño referentes al aislamiento y acondicionamiento acústico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en el artículo 4.1.5, clasifica a las escuelas en el grupo 1, las que deberán someterse a las exigencias establecidas en las Normas Oficiales sobre condiciones acústicas de los locales (NCh354, Of61: Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios).

Aislamiento acústico a ruido aéreo

La ley de masa predice que la pérdida por transmisión aumenta 6 dB por cada duplicación de la masa de la superficie divisoria. Tasa de cambio: 6 dB por cada duplicación en la frecuencia del sonido incidente.

Las estrategias de aislamiento acústico a ruido aéreo vienen dadas con la correcta elección y montaje de los elementos divisorios tales como tabiques, losas, muros de albañilería, y la inclusión de los elementos débiles acústicamente, tal como puertas de acceso y ventanas (exteriores e interiores).



Criterio de aislamiento en ventanas

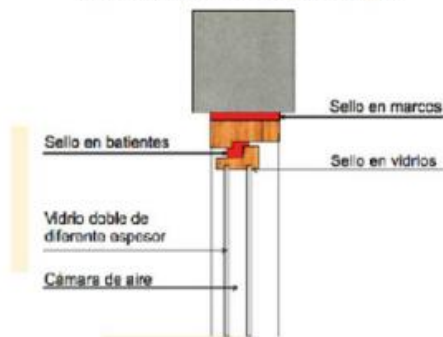


Figura 2.82: Aislamiento acústico de puertas y ventanas

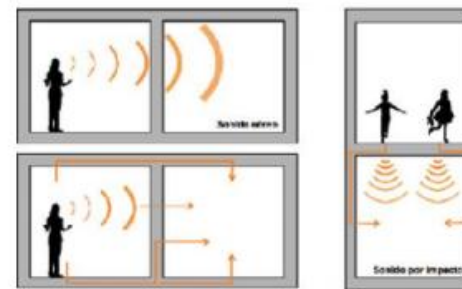


Figura 2.83: Aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto en aulas

Las soluciones de fachada y cerramiento exterior conviene planificarse en la etapa de proyecto, donde el emplazamiento del aula, relativo a las principales fuentes de ruido existentes en el barrio, puede tener criterios de distancias mínimas a grandes vías de circulación vehicular, actividades comerciales y de industria.

Una herramienta importante consisten los mapas de ruido (Figura 2.84) iniciados por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), en la actualidad gestionados por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

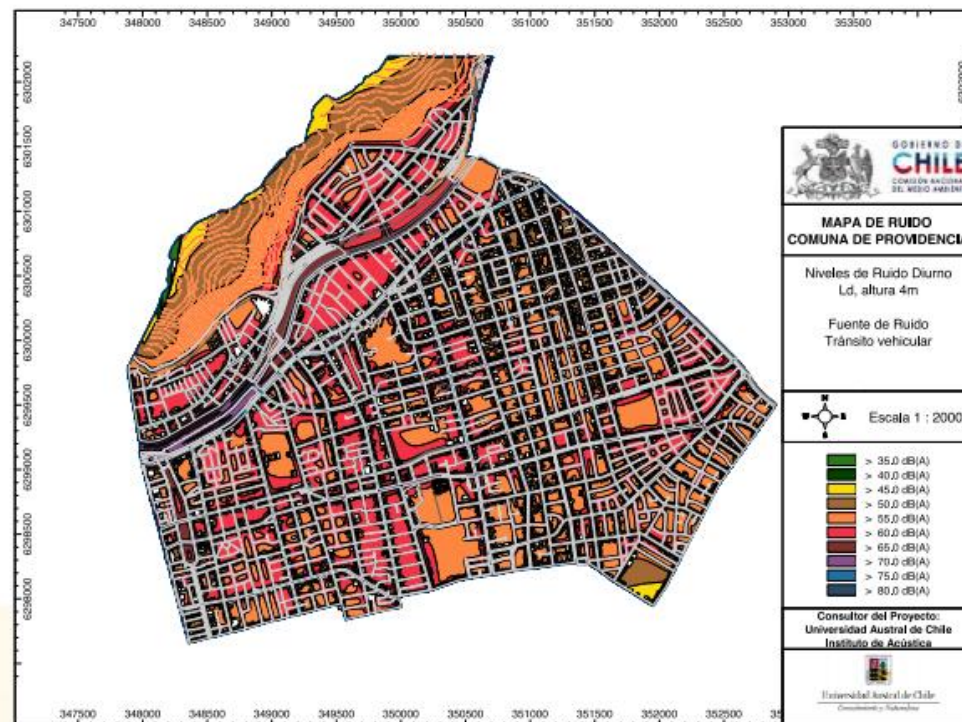


Figura 2.84: Mapa de Ruido Comuna de Providencia. [Fuente: Instituto de Acústica, UACH, 2010]

Aislamiento acústico a ruido de impacto

Los impactos de objetos sólidos en suelos y paredes producen un tipo particular de emisión sonora llamado "ruido de impacto". La energía se propaga principalmente por vía sólida, radiando sonido a través de las superficies que se encuentran en contacto con el aire.

La técnica natural de mejorar el aislamiento acústico a ruido de impacto es aumentar el espesor de losas, con sus ventajas y desventajas (principalmente el sobredimensionamiento que implica nuevos cálculos estructurales y costos asociados a incrementar los materiales de construcción), losas flotantes y la incorporación de recubrimiento que absorba la energía que se genera al impactar un cuerpo sobre la superficie del suelo.

Tabla 2.16: Mejoras en el aislamiento acústico a ruido de impacto aplicando recubrimiento.

Cubierta	
Linóleo	3 a 7 dB
Linóleo sobre corcho de 2 mm	15 dB
Piso de PVC con fieltro de 3 mm	15 a 19 dB
Alfombra gruesa	25 a 35 dB
Piso flotante de cemento	
Sobre cartón corrugado	18 dB
Sobre placas de espuma dura	18 dB
Sobre placas de espuma blanda	25 dB
Sobre placas de lana mineral	27 a 33 dB

[Fuente: Mösser & Barros, 2009]

Estrategias de diseño referentes al acondicionamiento acústico

El acondicionamiento acústico de un recinto puede entenderse como la técnica empleada para controlar el tiempo de reverberación al interior de éste, eliminar las reflexiones molestas y dirigir las que son de carácter útil.

En el caso de las aulas, la estrategia se centra en la distribución del sonido en la zona ocupada por los estudiantes de manera equitativa (equipotencialidad sonora), por lo que se hace necesario utilizar las reflexiones útiles (las que se sumadas al sonido directo, con un adecuado intervalo inicial temporal de arribo, potencian la energía de la señal sonora incidente sobre las posiciones de interés) y controlar las molestas (generadas principalmente por superficies paralelas, con un alto intervalo inicial temporal de arribo, las que producen eco fluctuante).

Para lograr una distribución uniforme del sonido directo en la sala, debido a la direccionalidad de la voz humana, se recomienda que la audiencia se sitúe en un ángulo de 140° con el vértice de la fuente (Figura 2.84).

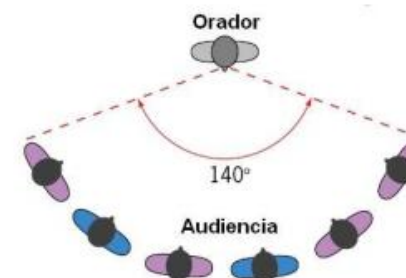


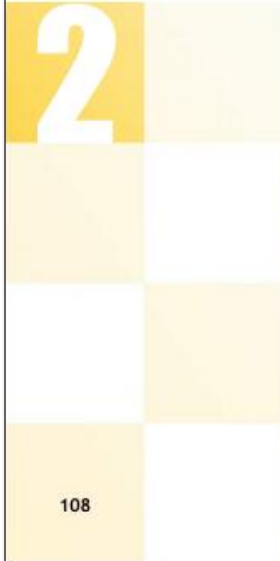
Figura 2.85: Ángulo de cubrimiento orador. [Fuente BRE Acoustics, 2003].

38

Acústica:
Objetivos del acondicionamiento acústico de un recinto:

Controlar el tiempo de reverberación al interior de éste.
Eliminar las reflexiones de sonido molestas
Dirigir el sonido de carácter útil.

2



Es de suma importancia en un aula que todas las posiciones ocupadas por los estudiantes mantengan siempre o permanentemente contacto visual con el docente (Figura 2.86), asegurando de este modo una propagación sonora entre fuente

sonora (docente) y receptor (estudiante) libre de obstáculos y apantallamiento (generado principalmente por la propia audiencia).

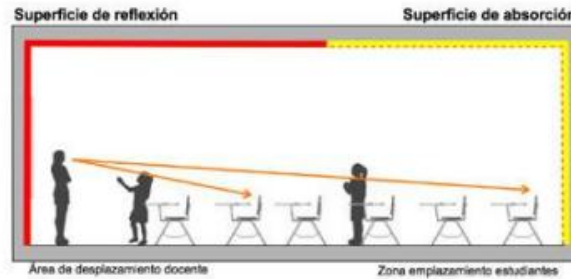


Figura 2.86: Importancia del contacto visual al momento de detectar obstáculos presentes entre fuente sonora (docente) y receptores (estudiantes).

Tal como muestra la Figura 2.87, el cielo de aula es la superficie más importante en la generación de reflexiones útiles, utilizándose principalmente el primer sector ésta, lo que

otorga la oportunidad para disminuir la reverberación interior si consideramos como alternativa la sección posterior con características absorbentes (aumento del área de absorción).

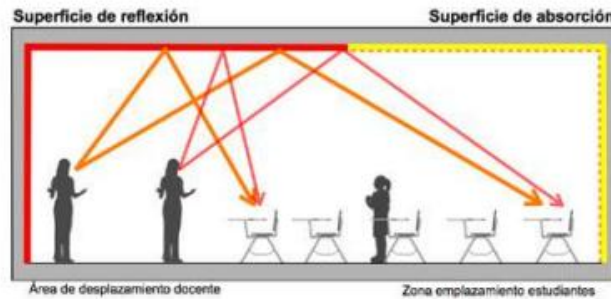


Figura 2.87: Cielo reflectante en aulas.

El mismo efecto con el cielo se logra con las paredes laterales del aula, esto es, primera sección con características reflectantes, y segunda sección a modo de alternativa para actuar como superficie de absorción.

La pared posterior al docente, al presentar un bajo intervalo inicial temporal de arribo a la posición de los estudiantes, potencia energéticamente la señal del sonido directo, por lo que la estrategia de diseño debe centrarse en mantener esa superficie con características reflectantes.

La pared posterior a la última fila genera reflexiones con un alto intervalo inicial temporal de arribo a la posición del docente y primeras filas, lo que se traducen en reflexiones molestas que interfieren con el sonido directo y reflexiones útiles. Esta superficie, al ser paralela con la posterior al docente, sumado a la distancia de separación (Figura 2.87), es la principal causa de generación de eco fluctuante al interior de aulas y grandes auditorios, lo que atenta significativamente en la definición del sonido y en la comprensión del mensaje hablado.

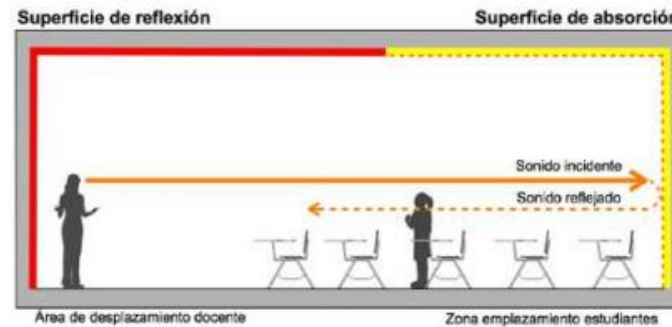


Figura 2.88: Generación de eco fluctuante a causa de poseer el aula una pared posterior con características reflectantes.

El eco fluctuante es consistente en una rápida sucesión de pequeños ecos producidos usualmente por superficies paralelas con características reflectantes.

En este caso, la estrategia de diseño debe centrarse en el recubrimiento total de esta superficie con paneles absorbentes, obteniendo así una disminución considerable en la energía sonora reflejada y devuelta hacia la zona del docente.



Figura 2.89: Muro de absorción acústica en aula, Colegio Almondale Lomas, Concepción.