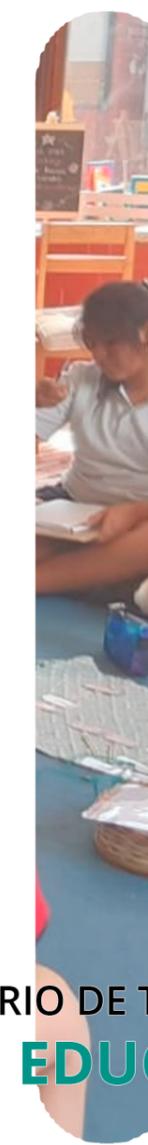
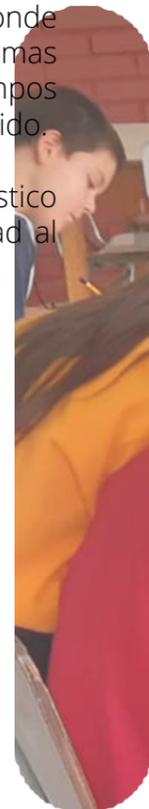


## RESUMEN:

La investigación abordó el impacto que tiene el método Montessori en la acústica interior de las salas y se basó en las diferencias que existen entre ésta y el método tradicional al momento de enseñar, ya que para llevar a cabo las clases disponen de un tipo de mobiliario y organización espacial distintas entre sí, y se entiende que la acústica depende de lo que ocurra en el interior de ésta, sin embargo, pareciera que las normativas o documentos de investigación no ahondan en tales diferencias, por lo que el acondicionamiento acústico de las salas de clases depende finalmente de terceros y no principalmente desde la arquitectura.

Por esta razón en este documento se analizaron las salas Montessori definiendo áreas y materiales comunes en la forma de enseñar, donde, posteriormente se simuló la acústica de las salas mediante programas de simulaciones de sonido y se caracterizaron mediante sus tiempos de reverberación, inteligibilidad de la palabra y distribución del sonido.

Todo lo anterior con el objetivo de definir el comportamiento acústico de las salas Montessori y entender la influencia de la materialidad al momento de enseñar.



# SEMINARIO DE TECNOLOGÍA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y EDUCACIÓN:

## LA INFLUENCIA DE LOS MATERIALES MONTESSORI EN LA ACÚSTICA DE LAS SALAS DE CLASES

*“La vista aísla mientras que el sonido incluye(...) Oír estructura y articula la experiencia y la comprensión del espacio.(...) El silencio de la arquitectura es un silencio receptivo, centra nuestra atención en nuestra propia experiencia.”(Pallasmaa J (1993) p.59-63)*

# INDICE

## INTRODUCCIÓN AL TEMA DE INVESTIGACIÓN 1

I.I.	Planteamiento del problema	2
I.II.	Preguntas de Investigación	5
I.III.	Hipótesis	5
I.IV.	Metodología de Investigación	6

## MARCO TEÓRICO 7

II.I.	Nuevas metodologías de educación	8
II.II.	Educación y Arquitectura	10
II.III.	Comportamiento acústico	13
II.IV.	Características del Locutor	17
II.V.	Diseño acústico	19
II.VI.	Acondicionamiento acústico	21

## DESARROLLO DE OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN 25

III.I.	Caracterización de los salones Montessori	27
	Procedimiento	28
III.I.I.	Levantamiento de la sala de taller 5 y 6	29
	Levantamiento de la sala de taller 3 y 4	31
	Levantamiento de la sala de taller 1 y 2	33
	Levantamiento del Mobiliario	35
III.I.II.	Análisis de la sala de taller 5 y 6	37
	Análisis de la sala de taller 3 y 4	39
	Análisis de la sala de taller 1 y 2	41

43

Conclusiones III.I.II.

45

**Análisis acústico de los salones Montessori III.II.**

45

Consideraciones

47

Procedimiento

53

Tiempo de reverberación salas vacías

57

Tiempo de reverberación salas con mobiliario

61

Tiempo de reverberación salas con personas

65

Inteligibilidad de la palabra de las salas vacías

67

Inteligibilidad de la palabra salas con mobiliario

71

Distribución de la voz en salas vacías

73

Distribución de la voz en salas con mobiliario

77

Conclusiones

79

**Comparaciones acústicas entre metodologías III.III.**

79

Consideraciones

80

Procedimiento

83

Tiempo de reverberación sala taller 1 y 2

85

Tiempo de reverberación sala taller 3 y 4

87

Tiempo de reverberación sala taller 5 y 6

89

Inteligibilidad de la palabra salas tradicionales

93

Distribución de la voz en salastradicionales

97

Conclusiones

99

## CONCLUSIONES FINALES

101

**¿Como es el comportamiento acústico de la metodología Montessori? IV.I.**

102

**¿Es diferente al comportamiento acústico de una sala Tradicional? IV.II.**

# I. INTRODUCCIÓN AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

En el siguiente capítulo se presenta el tema de la presente investigación, con el objetivo de entender el enfoque del tema, por lo que se planteará un resumen del estudio, sumado a la pregunta de investigación que se propone y su respectiva hipótesis. Luego se mostraran los Objetivos que se pretenden realizar y como se abordaron cada uno de estos.

## I.I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo del tiempo, la educación ha sufrido cambios en la forma de enseñar, específicamente en el siglo XVIII, en el contexto de la ilustración, las ideas de igualdad y libertad entran en terreno pedagógico y se empieza a plantear una nueva escuela. La escuela tradicional se basaba en el protagonismo del profesor quien transmitía el aprendizaje a sus alumnos. En contraposición al método anterior nacen escuelas en las que se concibe que "el niño tiene la capacidad de educarse a sí mismo; por ello, la escuela nueva privilegia la experimentación, el taller, la actividad espontánea; el maestro es apenas un mediador en el proceso pedagógico" (Jiménez, 2009, p.106). Estas nuevas metodologías tienen un gran impacto en la organización espacial de las aulas. Una escuela nueva requiere de un ambiente que se adapte a los intereses de los niños, que les permita descubrir sus capacidades y sus limitaciones a través de la acción.

Una de las metodologías que nace de esta base es el Método Montessori, que consiste en tres principios: libertad del niño, actividad libre del educando e individualidad e independencia. Con el objetivo de llevar a la práctica educativa estos tres principios, el método necesita de unos materiales didácticos propios, un ambiente especial y unos procedimientos específicos. (Lázaro L, 2015, p.1). Respecto al ambiente espacial de la sala de clases, Montessori se propone "un ambiente estimulador y estructurado para que la actividad autónoma de los niños pueda desarrollarse (...) un ambiente de aprendizaje seguro, estructurado y organizado basado en un profundo respeto por los niños" (Riera, Ferrer y Ribas, 2014, p.23).

Con esta premisa, se ha hecho evidente el rol que cumple el ambiente espacial o espacio arquitectónico, el cual pasa de entenderse como un mero contenedor a ser denominado como "el tercer maestro de los centros educativos, después de las familias y los profesores" (Benítez M, 2019) cumpliendo finalmente un rol formativo en la educación. Dicho rol se logra mediante las variables de habitabilidad del espacio arquitectónico, de las cuales destacan la iluminación, ventilación y la acústica. Las que han debido adaptarse a las nuevas metodologías o han tenido que ir mejorando su acondicionamiento.

Sin embargo, el área de la acústica ha tratado estos espacios de la misma manera a lo largo del tiempo, al definir las salas de clases como un recinto cerrado destinado a la palabra, En esta categoría es importante regular la inteligibilidad de la palabra, la cual se ve comprometida por dos factores: el ruido de fondo y la reverberación. (Ipinza C, 2015)

La reverberación es el fenómeno acústico en el cual el sonido realizado por una fuente persiste en el espacio incluso después de haberse emitido, provocando un solapamiento de las vocales y las consonantes, haciendo que el mensaje sea difuso. Por lo tanto, el tiempo de reverberación va a determinar el grado de inteligibilidad de la palabra y por consecuencia el destino del recinto, visto de otra forma el uso que se le va a dar a la sala va a determinar su acondicionamiento acústico. En consecuencia, para controlar estos tiempos se acondicionan superficies, materiales y mobiliario al interior de las salas para lograr un óptimo tiempo de reverberación. En las salas destinadas a la palabra se estima un tiempo de reverberación para 60 dB (T60) el cual corresponde a la intensidad de la voz humana, la cual presenta ciertas características como lo son su intensidad, tono de voz, duración y directividad. Dichas características van a cambiar dependiendo de quién las emita debido a factores biológicos y anatómicos, sin embargo, se han estandarizado dichas características definiendo la fuente como un hombre adulto, por lo que se estima una intensidad de 60dB y una directividad de 140 grados. (Department of education and Skills, 2012)

Por lo mencionado anteriormente nace un vacío en el área de la acústica, la cual se ha estandarizado a la metodología educativa tradicional, la cual cuenta con un esquema clásico en el cual un profesor, por lo general una persona adulta con una intensidad de voz de 60 dB, realiza sus clases a los alumnos que se encuentran en fila hasta el fondo de la sala, las cuales, en palabras de Saad, E (2014) "se trata de cajas duras con muros paralelos de materiales resistentes a los alumnos, pero no se consideran las características del espacio para la mejor transmisión del conocimiento. Todos lo hemos vivido: desde el kínder nuestras aulas han sido pésima" (p.48)

A pesar de que las normativas e investigaciones, referentes a la acústica, se han ido adecuando con el fin de conseguir una buena inteligibilidad de la palabra, ejemplo de esto es la Norma ANSI S12.60-2002 en Estados Unidos, a cuál logra regular los distintos parámetros acústicos para conseguir altos estándares de calidad acústica dentro de las salas de clases. En España se crea el documento básico DB HR Protección frente al ruido el cual logra limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios, y en particular se especifican valores y criterios máximos de acondicionamiento acústico para salas de clases. Ya en el contexto nacional, la Norma Chilena NCh 352 Of.61 Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios, especifica vagamente para salas de clases un nivel máximo de ruido de fondo. (Acevedo V. 2009)

Tales normativas se siguen rigiendo bajo la sala de clases tradicional, que, como ya se mencionó responde a un recinto cerrado destinado a la palabra, y además, algunas de estas presentan otros problemas referidos a su calidad, en palabras de Camacho Prats, A, (2016) "en la actualidad los centros deben ajustarse a los mínimos establecidos en una normativa estatal(...) Sin embargo, esta norma y otras de menor rango que se establecen a nivel autonómico, son solamente el marco sobre el cual se deben ajustar diversos mínimos"(p.53)

En el análisis de Durá, A, (2002) al revisar la materialidad y mobiliario de los recintos educativos en España menciona que "los criterios, si los hubo fueron de durabilidad, resistencia y economía. En ningún caso parece que haya habido una reflexión sobre la indudable importancia que tienen estos recintos en la comunicación y por supuesto en el proceso de enseñanza." (Durá A. Vera J. Yerba M. Y, 2002 p.58) Lo que ocurre es que en la educación tradicional el mobiliario y materialidad no toma relevancia en el aprendizaje, por lo que el acondicionamiento se centra en otros aspectos mencionados por el autor.

Todo lo indicado anteriormente puede generar un problema en el diseño o en el acondicionamiento acústico para las salas de metodologías experimentales, de las que se hablaba anteriormente, por ejemplo, el método Montessori el cual plantea una independencia del niño mediante un ambiente preparado, el cual cuenta con materiales y objetos dentro de la sala que son distintos a los que se encuentran en una sala tradicional, al igual que su distribución espacial. Sumado a esto, el profesor debe adecuarse a la voz de los niños con el objetivo de generar un ambiente estimulante.

Del vacío que se genera en torno a la acústica para espacios de aprendizaje, y el problema que podría significar en el desarrollo de nuevas metodologías de educación, se plantean las siguientes preguntas que guiarán la investigación.

## I.II. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cómo es el comportamiento acústico de la metodología Montessori? ¿Es diferente al comportamiento acústico de una sala tradicional?

## I.III. HIPÓTESIS

Según lo que se ha estudiado hasta la fecha, se tiene que el tiempo de reverberación de un recinto depende directamente del uso que se le va a dar, y que para poder controlar dicho tiempo se necesita de geometrías, materialidades y tamaños diferentes. Si se sabe que las metodologías de educación como Montessori usa objetos y materiales distintos al método tradicional, entonces el comportamiento acústico en las salas Montessori (y otras de carácter experimental) es diferente a la acústica de una sala tradicional, la cual se guía por un esquema correspondiente a recintos cerrados destinados a la palabra. Por lo tanto, el comportamiento acústico en un salón con metodología Montessori, va a estar condicionado por:

1. Las características de la fuente, las cuales corresponden a la voz de un niño.
2. Los nuevos materiales que usa esta metodología y la distribución espacial de las fuentes y mobiliario (o de los materiales mencionados).



**Imagen 1:** Esquema en corte del método Montessori. Elaboración propia.

## I.IV. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Con el objetivo de corroborar la hipótesis, la investigación buscó definir el comportamiento acústico de las salas de clases con metodología Montessori. Se espera que la investigación de inicio a la discusión sobre el diseño acústico en base a las necesidades específicas del usuario, en este caso, sobre cómo una metodología de educación puede cambiar el diseño de una sala de clases en base al comportamiento acústico. La investigación puede dar paso a que otras investigaciones se definan el comportamiento acústico de diferentes metodologías educativas, para diferenciarlas del recinto cerrado tradicional.

Para cumplir el objetivo general de la investigación, se realizaron tres objetivos específicos, el primero se enfocará en caracterizar las salas de clases con metodologías Montessori con el fin de establecer una diferencia espacial entre dicha metodología y la tradicional que se considera en la acústica.

Con la información obtenida hasta este punto, se hicieron simulaciones acústicas del salón con metodología Montessori, mediante software de simulación EASE Focus para entender la acústica Montessori.

Por último, se realizaron comparaciones con las características de la metodología tradicional, de la cual ya existe suficiente información. Se realizó cambiando parámetros como la materialidad o la fuente o distribución, con el fin de comprobar si existe diferencia entre la acústica de la metodología Montessori y la tradicional.

**Tabla 1:** Tabla metodológica

OBJETIVO	METODOLOGÍA	FUENTE	RESULTADO
Caracterizar el salón de clases Montessori	Visita a terreno: fotografías, mediciones. Entrevistas	Trabajo en conjunto a guías Montessori y visita a salas de clases "Rayen Mahuida"	Analizar el comportamiento acústico en el salón Montessori
Analizar el comportamiento acústico en el salón Montessori	Simulación acústica EASE 4.3	Simulación de la acústica mediante software EASE 4.3 usando los datos obtenidos	Esquemas del comportamiento acústico (plantas cortes)
Comparar la acústica Montessori con la acústica tradicional.	Simulación acústica EASE 4.3	Simulación de la acústica mediante software EASE 4.3 usando los datos obtenidos	Gráficas y datos que diferencien la acústica según la metodología

## II. MARCO TEÓRICO

Para desarrollar una base bibliográfica se revisó en primera instancia, la principal característica de las metodologías de educación experimental, como se diferencian de la tradicional, usando de ejemplo la metodología Montessori, por lo que se hará referencia a investigaciones realizadas por pedagogos. Luego se dio paso a la discusión sobre la relación que tiene la arquitectura con la educación, con el objetivo de poder ver si el espacio arquitectónico cumple algún rol en la educación. Además, se analizarán las variables de un espacio físico en el entorno educativo como pueden ser: la iluminación, el confort térmico o la acústica, determinando si alguna de estas presenta mayor relevancia para la educación. Para esto se estudiaron documentos e investigaciones realizadas tanto por arquitectos como por profesores. Y finalmente se revisaron las características de la acústica en el espacio de aprendizaje, revisando documentos de ingeniería y arquitectura que se adentran en la variable.

### II.I. NUEVAS METODOLOGÍAS DE EDUCACIÓN

En el contexto de la revolución francesa y la Ilustración, las ideas de igualdad y libertad entran en el terreno pedagógico y se empieza a plantear una nueva forma de enseñar, donde el niño que deja de ser visto como un adulto en miniatura al que hay que perfeccionar para pasar a ser una persona completa en sí misma. (Jiménez, 2009). En contraposición a la escuela tradicional, que se basaba en el protagonismo del profesor, nace una escuela en la que “se concibe que el niño tiene la capacidad de educarse a sí mismo; por ello, la escuela nueva privilegia la experimentación, el taller, la actividad espontánea; el maestro es apenas un mediador en el proceso pedagógico”. (Jiménez, 2009, p.106)

Todas estas nuevas consideraciones pedagógicas tienen, por supuesto, un gran impacto en la organización espacial de las aulas. Una escuela nueva requiere de un ambiente que se adapte a los intereses de los niños, que les permita descubrir sus capacidades y sus limitaciones a través de la acción. Un ambiente atractivo “en el que los adultos no ejercen ningún tipo de presión” y que “le posibilita seguir su propio ritmo” (Wild, 2002, p.44). Ejemplo de lo anterior es el caso de María Montessori, ya que su método se basa en tres principios: libertad del niño, actividad libre del educando e individualidad e independencia. Para llevar a la práctica educativa estos tres principios, el método necesita de unos materiales didácticos propios, unos procedimientos específicos y un ambiente preparado.

**Imagen 2:** Fotografía del método de enseñanza Tradicional. Fuente: iO. Maristas (s.f) página web.



Entre las diferencias del método tradicional y el Método Montessori, se afirma que en el sistema tradicional no existe la libertad, los niños están sentados en su puesto haciendo las actividades que se les han dicho (imagen 2), mientras que en el método Montessori al basarse en la libertad el niño, este puede decidir qué actividad realizar, y el profesor actúa como guía adecuándose a las necesidades del alumno. En el método tradicional el maestro es el protagonista de la sala. Otra diferencia clara son la calidad de los materiales Montessori y su ambiente (imagen 3). (Merina E, 2015)

La principal característica de los materiales de Montessori es que son sensoriales y auto correctores, ya que se afirma que el niño "a través de su actividad, se crea a sí mismo" (Wild, 2002, p.53) sustentándose en la técnica del ensayo-error. Estamos ante la idea de un niño que es capaz de aprender por sí mismo y que es responsable de su propio desarrollo. En cuanto al ambiente que debe presidir el aula, Montessori se propone "un ambiente estimulador y estructurado para que la actividad autónoma de los niños pueda desarrollarse (...) un ambiente de aprendizaje seguro, estructurado y organizado basado en un profundo respeto por los niños" (Riera, Ferrer y Ribas, 2014, p.23).



**Imagen 3:** Fotografía del método de enseñanza Montessori. Fuente: Rayen Mahuida (2018) página web.

## II.II. EDUCACIÓN Y ARQUITECTURA

En las nuevas metodologías educativas como la Montessori, se habla sobre el rol del espacio arquitectónico, el cual debe ser un ambiente estimulante y estructurado para el óptimo desarrollo de las actividades, es decir, que el espacio educativo es entendido como un elemento más del aprendizaje, deja de ser visto como un contenedor, y pasa a tener cierta influencia en la educación.

La influencia o rol que cumple el espacio arquitectónico en la educación ha sido abordada por Arenas V, (2019) en el artículo: La poderosa influencia de la arquitectura en la educación y la convivencia. Donde se menciona que la influencia que produce la arquitectura en los estudiantes es inevitable; es un factor asociado a la calidad formativa. El bienestar que supone tanto para los profesores y alumnos genera un sentimiento de pertenencia a una institución sólida con valores que ya de por sí emanan del entorno. (Arenas V, 2019). En el mismo artículo se entrevista a Benítez M, quien añade "la edificación es el tercer maestro de los centros educativos, después de las familias y los profesores" (Benítez M, 2019, p.1). Los espacios inspiran y motivan a los alumnos, al mismo tiempo que impulsa y desarrolla su creatividad (Benítez M, 2019, p.1)

Por otro lado, Guillermina Ré se refiere al espacio arquitectónico el cual juega un papel importante en el logro de los objetivos educativos y que además son relevantes para garantizar el bienestar general de los estudiantes y profesores (Ré G, 2017). En definitiva, se entiende que la importancia que cumple la arquitectura deriva en su carácter formativo tanto como en sus condiciones de bienestar o confort. Respecto a dichas características que otorga el espacio arquitectónico en la educación se ha hablado del rol que cumple las variables de habitabilidad de un espacio y como aportan a la educación.

Sobre las condiciones de bienestar y confort, Guillermina Ré estudia las variables higrotérmicas, como son la ventilación y la calefacción, en espacios de aprendizaje concluyendo que el confort térmico se encuentra condicionado por los parámetros ambientales o físicos de un espacio habitable, y por factores personales del usuario que influyen sobre la apreciación que éste tiene de dicho espacio. Refiriéndose a que mientras mejor sea el confort higrotérmico en la sala de clases, tanto alumnos como profesores generarán un compromiso con el aula, lo que mejora su rendimiento académico. (Ré G, 2017)

En la misma línea de bienestar y confort que cumple la arquitectura, ACUSTEC aborda la variable acústica mencionando las consecuencias

del ruido en las salas de clases, entre estas se encuentra: la fatiga auditiva, que es el descenso transitorio de la capacidad auditiva provocada por exposición al ruido. Que en exceso puede provocar la sordera en quien está expuesto. La otra consecuencia se refiere a las alteraciones psíquicas producidas por el ruido. En éstas se cuentan la irritabilidad, la susceptibilidad exagerada, la agresividad, alteraciones de carácter, las alteraciones de la personalidad y trastornos mentales. (ACUSTEC, s.f.)

Por parte del carácter formativo de la arquitectura, tanto la iluminación como la acústica juegan un papel importante para que se concrete este carácter. La variable lumínica no solo debe ser entendida por su utilidad para maximizar la visibilidad, sino también la relación que establece entre la visibilidad y el desempeño de los alumnos en el espacio educativo. La importancia de la iluminación natural en el interior de un aula radica en el ambiente visual y su incidencia en el desempeño cognitivo del estudiante. Estudios sobre la iluminación en escuelas sugieren que la luz natural mejora la atención. (Monteoliva J, 2017).

Dicho carácter formativo es profundizado por Villarroel M, quien analiza el paisaje sonoro como forma de transmitir el aprendizaje, menciona que, a través del sonido interpretado desde la experiencia misma de los estudiantes, el proceso dialógico enseñanza-aprendizaje se despliega, facilitando el aprendizaje, al ser los sonidos un elemento cercano, vinculante a la propia realidad de cada uno de los estudiantes. (Villarroel M, 2013). Lo que tiene relación con lo planteado por Pallasma J, (1993) "La vista aísla mientras que el sonido incluye(...) Oír estructura y articula la experiencia y la comprensión del espacio. (...) El silencio de la arquitectura es un silencio receptivo, centra nuestra atención en nuestra propia experiencia" (p.59-63)

En general, el carácter formativo de la acústica radica en que lo que ocurre en un aula a diario es la transmisión de un mensaje, en su mayor parte verbal, un acto acústico continuado de dirección múltiple alumno-profesor, alumno-alumno. Si este mensaje sufre distorsiones en su canalización, no podría ser correctamente interpretado por el receptor, perdiendo entonces, todo el sentido que pueda tener la existencia del aula como lugar propio para la comunicación, ya que el aula en sí, aparte de contenedor, es también, primordialmente, canal de transmisión. (Durá A. Vera J. Yerba M. Y, 2002)

Respecto a lo anterior, la ASA complementa con lo que denomina buenas calidades acústicas las que permiten que el aprendizaje sea más fácil, más sostenido y menos estresante.

Donde pueda haber más interacción verbal y menos repeticiones entre el profesor y el alumno. (Acoustical Society of America, 2002)

Sin embargo, para salas destinadas a la palabra, González (2010) afirma que "el criterio más importante para determinar si ésta posee o no buena acústica y que a su vez depende de los parámetros anteriores es la inteligibilidad de la palabra. Por medio de este parámetro se puede cuantificar, en términos porcentuales, la cantidad del mensaje oral que es correctamente recibido por el receptor" (p.7). El grado de inteligibilidad de la palabra está estrechamente relacionado con la correcta percepción de las altas frecuencias. Son las consonantes las que determinan la comprensión del mensaje oral, a diferencia de las vocales, las cuales presentan una diferencia en su frecuencia sonora, significando en una mala inteligibilidad de la palabra, es decir, un enmascaramiento de las consonantes por parte de las vocales. (Silva F. 2006.)

Dicho fenómeno de enmascaramiento además puede ocurrir si junto a un sonido se presenta otro de mayor intensidad. En condiciones normales esta condición del oído humano es bastante útil, puesto que permite liberar al cerebro de gran cantidad de información irrelevante. Sin embargo, cuando los sonidos enmascarados corresponden a la voz hablada, el resultado puede ser la pérdida de la inteligibilidad de la palabra (Torres R., 2008).

En resumen, uno de los mayores problemas que puede ocurrir en una sala de clases, respecto a la acústica, es contar con una mala inteligibilidad de la palabra, que interfiera en la comprensión del mensaje hablado provocando que no se logre el aprendizaje de los alumnos. Según lo investigado por Acevedo V. (2009) la transmisión del mensaje puede estar afectada por dos factores acústicos: "el ruido de fondo y las reflexiones sonoras no deseadas en los paramentos interiores del aula (reverberación); estos dos factores negativos disminuyen la inteligibilidad de la palabra. Para obtener un porcentaje de inteligibilidad óptimo en el aula, debe existir un tiempo de reverberación adecuado para una buena transmisión de la palabra." (p.14)

## II.III. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO

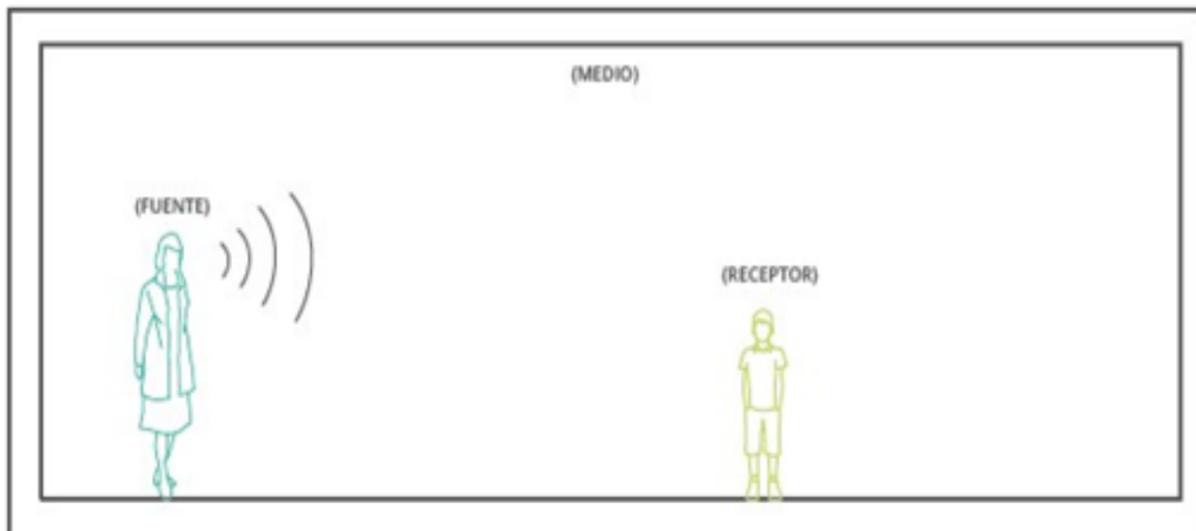
Los factores acústicos que afectan a la inteligibilidad de la palabra son fenómenos que se observan al analizar el comportamiento acústico en recintos cerrados, que en el ámbito educativo se refiere a las salas de clases.

Es necesario aclarar que cuando se habla de acústica se habla de sonido, que es la forma de energía producida por la vibración de las moléculas de un cuerpo a determinada intensidad. La onda acústica tiene su origen en las vibraciones mecánicas de las moléculas de un medio cualquiera, sólido, líquido o gaseoso y la velocidad será mayor mientras más denso sea el medio. La acústica es la rama de la Física que estudia el comportamiento del sonido, el cual es una vibración de moléculas que se emiten desde una fuente o locutor y se transmite por un medio (físico), finalmente estas vibraciones son percibidas por un receptor el cual traduce estas vibraciones en un mensaje.

En general, el proceso de transmisión del sonido consta de tres partes: una fuente sonora que se encarga de la emisión del sonido, un medio por el cual se propaga y un receptor. En el caso específico de una sala de clases, la fuente corresponde al profesor que dicta la clase, el medio se conforma con el volumen de aire encerrado en el interior de la sala y los receptores los constituyen los oyentes (alumnos) distribuidos en ella. (Imágen 4) (González C. 2010)

El sonido emitido por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente ubicado en un punto dentro del mismo se reparte de dos

**Imágen 4:** Componentes de la acústica de una sala de clases. Elaboración propia.

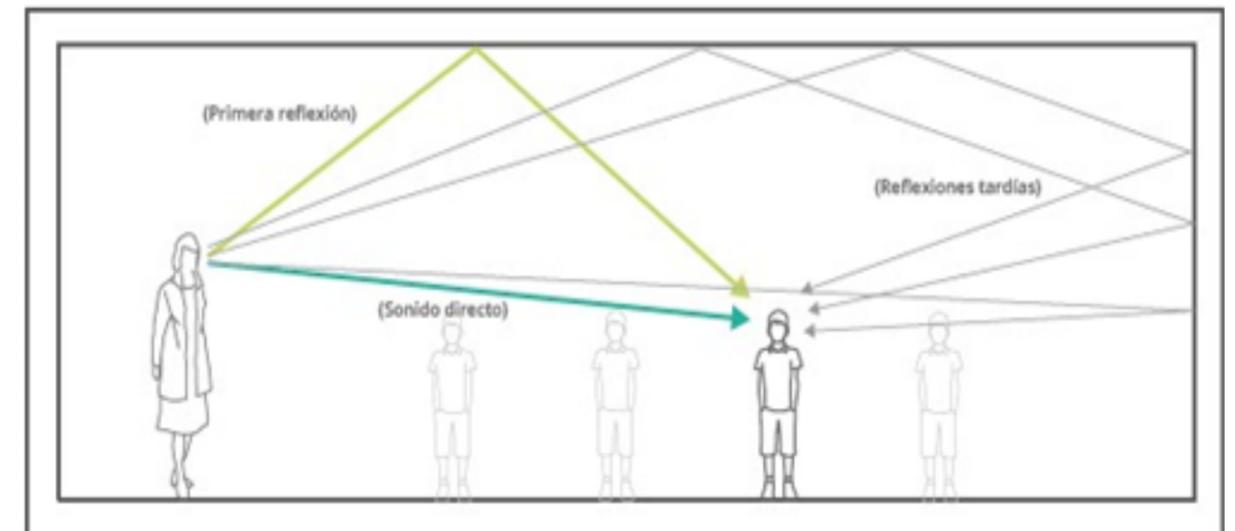


formas: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si la fuente y el receptor estuviesen frente a frente, mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (Imágen 5). (Carrión A.,1998). Sobre esta forma indirecta en la que se transmite el sonido, Silva F. (2006) explica que cuando una onda sonora que se propaga a través de un medio encuentra una superficie de separación con otro medio, se origina una onda reflejada en el primer medio y una transmitida. Generalmente una onda sonora experimentará una reflexión siempre que exista una discontinuidad o un cambio en el medio a través del cual se propaga. Finalmente, esta onda indirecta es percibida como un eco. (Silva F. 2006)

Al analizar el comportamiento temporal de las reflexiones, se pueden detectar dos zonas; las primeras reflexiones (llegan inmediatamente después del sonido directo) y las reflexiones tardías (cola reverberante). (Acero L. Bustos C. 2011). Sumado a lo anterior el límite temporal de las reflexiones va a depender de la forma y el volumen que presenta el recinto (Acero L. Bustos C, 2011). Sin embargo, para que se produzcan estas reflexiones la onda necesita de elementos en los cuales reflejarse que no necesariamente pueden ser las superficies de la sala, sino que también pueden ser objetos dentro de esta. "Las primeras reflexiones presentan mayor nivel energético que las tardías y son estas quien junto al sonido directo, determinan las características propias del recinto"

**Imágen 5:** Comportamiento del sonido dentro de una sala de clases. Elaboración propia

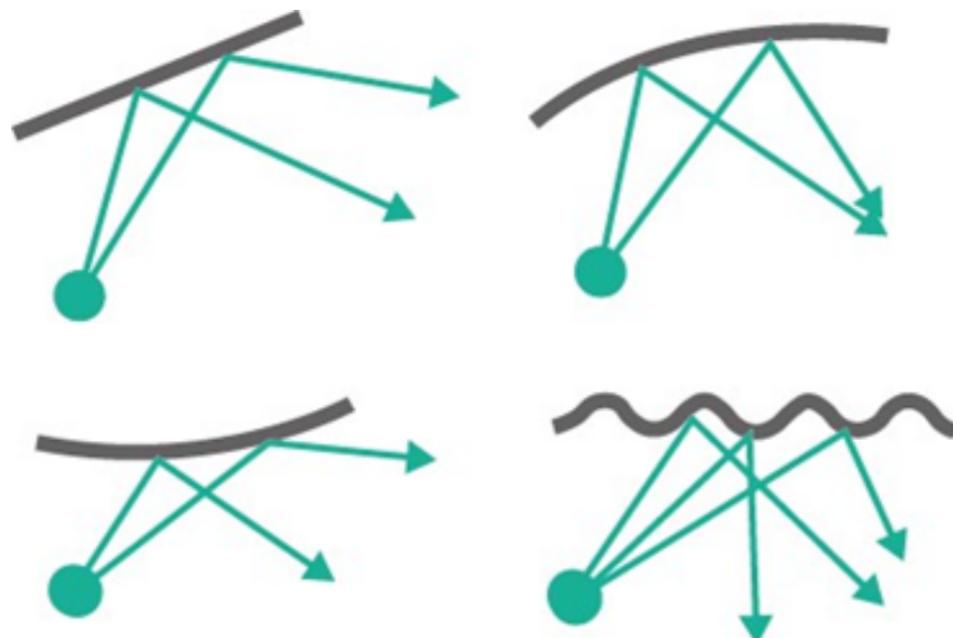
Según Acevedo V. (2009) "El sonido indirecto es el resultado de las múltiples reflexiones, difracciones y absorciones que las paredes, techo, suelo y distintos objetos presentes en el recinto le producen al sonido directo." (p.10)



Por lo visto anteriormente el sonido emitido por un locutor llega al receptor de diferentes maneras, de forma directa, una primera reflexión la cual se produce cuando la onda sonora rebota en una superficie la cual puede ser el contenedor o superficies dentro del recinto, que en el caso de una sala de clases pueden ser las mesas, pizarras u otros. El tiempo de estas reflexiones pueden variar según la forma o el volumen de la sala de clases, como también del tipo de objetos al interior de ésta. El tiempo mencionado anteriormente es un parámetro denominado por expertos en la materia como: tiempo de reverberación y se refiere al tiempo en el que persisten las reflexiones tardías antes de ser absorbidas.

El físico americano Wallace Clement Sabine reconoció y probó que la reverberación, una magnitud de carácter estadístico, es muy adecuada para caracterizar un recinto, desde entonces, la reverberación es un fenómeno que juega un papel muy importante en el análisis de acústica de locales y se mantiene como un criterio de valoración de las cualidades acústicas del mismo. Además, definió el tiempo de reverberación como el tiempo necesario para que, una vez silenciada la fuente, la energía sonora descienda a su millonésima parte, es decir, que su nivel de presión descienda 60 dB a partir de su nivel inicial (Recuero M., 2001).

La reverberación es la persistencia en el ambiente (dentro de un recinto cerrado), de la energía sonora una vez que la fuente que la genera ha dejado de emitir. Esta característica se potencia en espacios con grandes volúmenes y materiales con una mínima capacidad de absorción sonora. Una forma de cuantificar esta característica es por



**Imagen 6:** Tipo de reflexiones según forma de la superficie. Elaboración propia.

medio del tiempo de reverberación (T60) y que se define como “el tiempo necesario en que la energía sonora decae 60 dB”. Cuanto más reflectora o reverberante sea el recinto, mayor será el tiempo que le lleve al sonido decrecer 60 dB. (Acevedo V. 2009 p.12)

Las investigaciones más recientes se han enfocado en definir que el valor óptimo del tiempo de reverberación depende del uso que tenga la sala. Según Silva F. (2006) “Si el tiempo de reverberación es largo, todos los sonidos individuales sonarán simultáneamente (...). En salas utilizadas para conferencias, la claridad es primordial, y deben situarse suficientes elementos absorbentes para disminuir el tiempo de reverberación lo más posible” (p.28). El arquitecto mejicano Eduardo Saad Eljure ejemplifica lo anterior “En el baño tenemos más brillantez, a la gente le gusta cantar donde hay más reflejos; en cambio no canta en lugares alfombrados. Cada actividad requiere de un nivel de reverberación diferente” (Saad E. 2010, p.43)

Se entiende finalmente que el tiempo de reverberación, el cual es definido como el tiempo que tarda un sonido en bajar 60 dB, depende de la actividad que se vaya a realizar en un recinto cerrado, en el caso de las salas de clases se estima un tiempo de reverberación de 0,6 segundos, por lo que se debe acondicionar un salón de clases para este tiempo, esto se logra controlando la reverberación del recinto (controlar las colas reverberantes) mediante el volumen del recinto y los materiales de las superficies que lo conforman, esto puede ser revestimientos, mobiliario, alfombras; según lo requiera la clase. (Ipinza C. 2014)

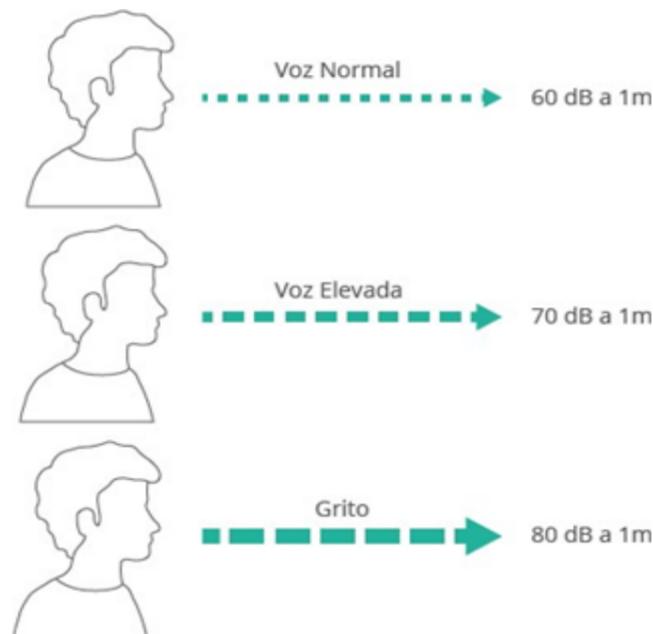
Por otro lado, otro factor que influye en la inteligibilidad de la palabra es el ruido de fondo, el cual corresponde a cualquier sonido no deseado proveniente del exterior o interior del edificio y que interfiere con la habilidad de las personas para entender el lenguaje hablado. Se mide generalmente en dB compensados con la escala A, dB(A). (Acevedo V. 2009.) Dicho ruido puede ser generado por factores internos como el aire acondicionado (Ipinza C. 2014) o puede provenir del exterior, según OMS (1999) “Las fuentes principales del ruido urbano son el tránsito automotor, ferroviario y aéreo, la construcción y obras públicas y el vecindario. Las principales fuentes de ruido en interiores son los sistemas de ventilación, máquinas de oficina, artefactos domésticos y vecinos.” (p.3)

## II.IV.CARACTERÍSTICAS DEL LOCUTOR

Lo que se ha discutido anteriormente corresponde al comportamiento acústico al interior de una sala y los factores que condicionan la inteligibilidad de la palabra. Sin embargo, existe otro factor que se ha considerado para determinar un acondicionamiento acústico dentro de una sala, el cual se refiere a la fuente o emisor del sonido

Cuando se habla de locutor o fuente, específicamente en el ámbito educativo se refiere, principalmente, a los profesores que están transmitiendo el aprendizaje a sus alumnos. Cuando se emite un mensaje, se emplea un tiempo mayor en la emisión de las vocales que en la de las consonantes. La duración en promedio de una vocal es del orden de 90 ms, reduciéndose a 20 ms en el caso de las consonantes (Carrión A., 1998).

Hasta la fecha lo que se ha investigado sobre una fuente sonora revela que la voz humana presenta ciertas características, entre las cuales se distinguen tonalidad, intensidad, duración y directividad. La tonalidad de la voz depende de varios factores, entre otros del tamaño y la masa de las cuerdas vocales, de la tensión que se les aplique y de la velocidad de flujo del aire proveniente de los pulmones. A mayor tamaño, menor frecuencia de vibración, lo cual explica por qué en los varones, cuya glotis es en promedio mayor que la de las mujeres, la voz es en general más grave (Miyara F, s.f.). Respecto a las diferencias en la voz, Casado y Perrez (2009) afirman que niños tienen una frecuencia similar de 240 Hz. En la pubertad los varones presentan un descenso hasta los 110 Hz, mientras que las mujeres se mantienen



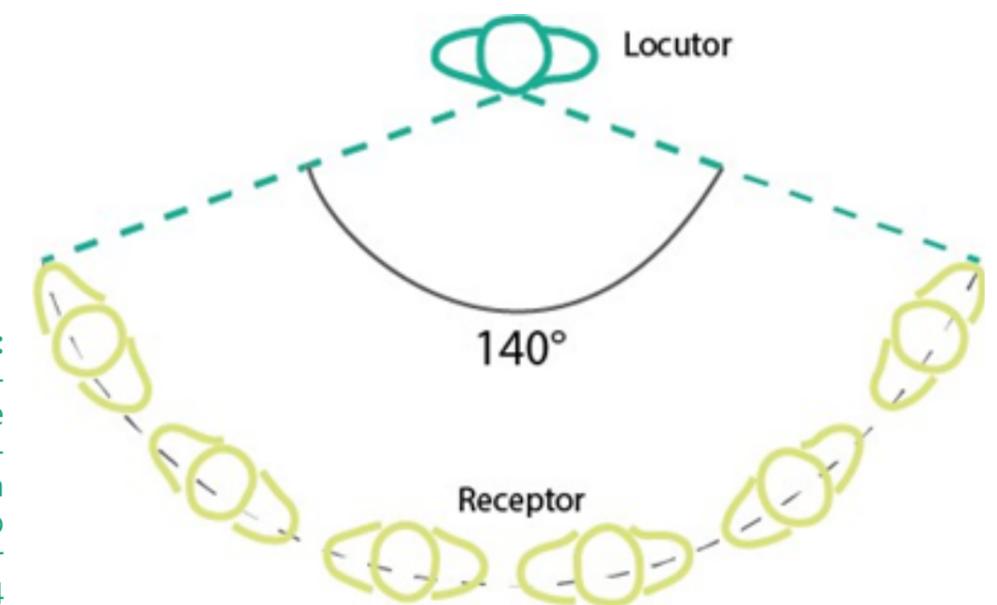
**Imágen 7:** Niveles de intensidad de la voz en dB. Elaboración propia según lo planteado por Department of education and skills, 2012.

en los 210 Hz, finalmente en la tercera edad los varones tienen un aumento de la frecuencia hasta 140, mientras que en las mujeres desciende hasta 190 Hz.

La intensidad sonora generada por la voz humana a 1 metro en una posición frontal al hablante es de 60 dB a un nivel de conversación normal. Éste puede llegar a 70 dB en la misma posición cuando el hablante eleva la voz tan alto como es posible sin forzar las cuerdas vocales. De forma extrema el nivel de presión sonora generado por un grito puede elevarse hasta los 80 dB a un metro en la posición frontal (imágen 7) (Department of education and Skills, 2012).

Según lo planteado por la OMS la intensidad de la voz es de 60 dB la cual corresponde a la intensidad de un hombre a un metro de distancia (OMS, 1999) otros estudios como los realizados por Farías (2010) postulan una intensidad promedio habitual de 63,46 dB. Este promedio de 60dB es el normalmente utilizado para calcular el tiempo de reverberación de un recinto cerrado(T60). Sin embargo, también existe diferencia acerca del promedio de la intensidad de voz, como los 75 a 80 dB que proponen Casado y Pérez (2009) o los 54,8 dB en hombres y 51 dB en mujeres según Colton, Casper y Leonard (2011).

Siguiendo con las diferencias que se produce en la voz según la persona quien la emite, la voz humana presenta unas características de directividad que vienen determinadas por el sistema de fonación y la forma de la cabeza, siendo la dirección frontal la de mayor directividad. (Carrión A., 1998). En general, cualquier fuente sonora emite más potencia acústica en unas direcciones que en otras y, por lo tanto, presenta una cierta directividad que depende de la frecuencia y aumenta con la misma. (González C, 2010)



**Imágen 8:** Ángulo de directividad de la voz Humana. Elaboración propia según lo planteado por Ipinza. C, 2014

## II.V. DISEÑO ACÚSTICO

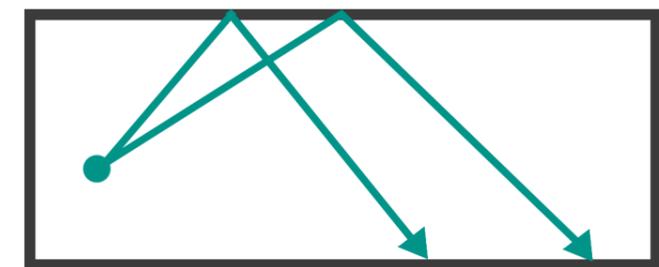
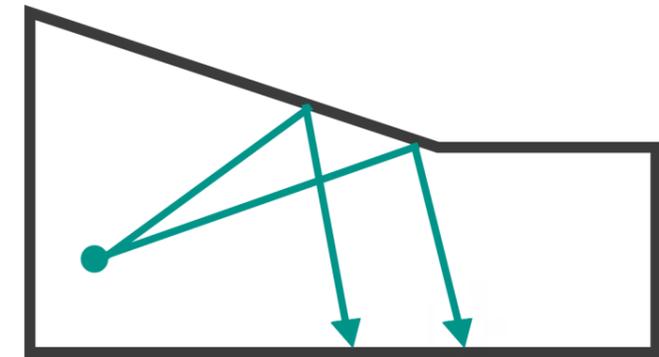
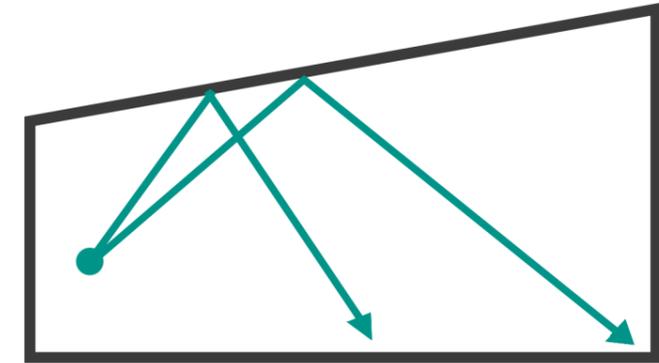
Es importante tener en consideración que todos los parámetros anteriormente mencionados pueden presentar notables diferencias en función del diseño de la misma sala, la claridad la reverberación, la sonoridad de una sala son parámetros subjetivos que tienen una baja correlación entre ellos cuando se miden en distintos puntos dentro del recinto.

Específicamente sobre la geometría, lo que se tiene registro es acerca de los teatros, donde la geometría escogida de la sala es clave para guiar el sonido eficientemente, con el objetivo de que todos los espectadores puedan oír de manera uniforme, por lo que se debe aprovechar las primeras reflexiones de las paredes y el techo, sino es posible que se produzcan focalizaciones o ecos (Mañó, F. 2010)

La forma irregular de las paredes laterales evita el paralelismo entre ellas, por lo que disminuye el riesgo de que se generen reflexiones fuertes mejorando la eficiencia lateral y la sonoridad del recinto, evitando focalizaciones y ecos.

En cuanto a las salas de clases, un diseño adecuado de la geometría de la sala es esencial para un buen acondicionamiento acústico. La inclinación del techo la disposición de los oyentes respecto a la fuente y el volumen de la sala son determinantes para conseguir unas condiciones acústicas adecuadas. La elección de una forma determinada en el caso de las aulas dependerá si esta permite que todos los alumnos disfruten de una buena inteligibilidad de la palabra, sin ecos ni focalizaciones, tampoco deben existir zonas de sombra. (Gómez. L, 2019)

Observamos que los rayos de menor longitud (menor retardo) corresponden a la sala b, siendo los de la sala a, los de mayor longitud (mayor retardo). Por tanto, como las reflexiones útiles (integradas con el sonido directo) son las recibidas dentro de los primeros 50 ms, la sala que mejor cumple este requisito es la sala b. Además, en esta sala, el nivel de las primeras reflexiones en la zona posterior es alto, debido a la proximidad del techo. Esto mejora notablemente la claridad de voz y la inteligibilidad de la palabra en dicha zona (imagen 9).



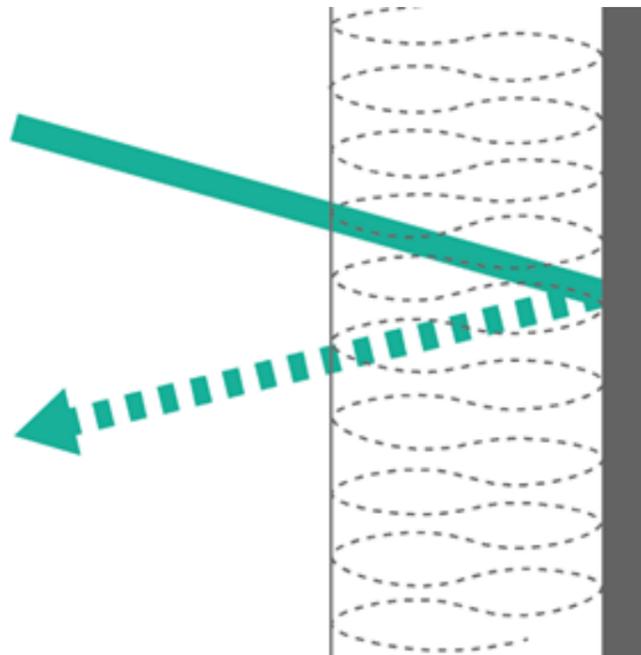
**Imagen 9:** Comportamiento del sonido según la forma de la sala. Gómez. L, 2019.

## II.VI. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Habiendo entendido cómo se comportan las ondas sonoras dentro de un recinto, sabiendo sus dimensiones y geometría, entendiendo los componentes de la transmisión del mensaje y sabiendo las características que posee el locutor, en este caso específico, la voz humana, es posible dar paso al acondicionamiento acústico de estos recintos, enfocado a definir un óptimo tiempo de reverberación.

El acondicionamiento acústico engloba todas aquellas técnicas destinadas a corregir y adecuar el campo sonoro en el interior de una sala, por esto es necesario conocer su comportamiento sonoro así mediante programas de simulación es posible analizar el efecto de distintos materiales de construcción y seleccionar cuales son los óptimos. (Gómez. L, 2019). Entre las técnicas que mencionan anteriormente, Acevedo. V (2009) dice: “una vez fijado su volumen y definidas sus formas, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos de este con el objetivo de obtener un óptimo tiempo de reverberación.” (p.25)

Dentro de los recintos cerrados, es fundamental conseguir un equilibrio adecuado entre el sonido directo y el campo sonoro reverberante. Por ello, un adecuado acondicionamiento acústico implica que las ondas reflejadas sean las menos posibles, por lo que desempeña un papel la capacidad de absorción de los materiales absorbentes que minimizaran la reverberaciones indeseadas o ecos que pueden dificultar la ininteligibilidad de la comunicación sonora. (Almendros. J, 2012)



**Imagen 10:** Proceso de disipación del sonido dentro de un material poroso frente a un muro. Elaboración propia.

Desde la perspectiva acústica lograr un mejoramiento de la inteligibilidad en las salas pasa principalmente por disminuir su excesivo tiempo de reverberación. Para ello, es necesario aumentar la absorción al interior del recinto disminuyendo así, el nivel del sonido reverberante al interior de las salas. (González. C, 2010)

Según Gómez. L, (2019) “Todos los materiales tienen asociada una determinada capacidad de absorción, pero se determinan materiales absorbentes a aquellos usados específicamente como revestimiento de interior de un recinto con al menos uno de los siguientes objetivos” (p.58):

- reducir el campo reverberante en ambientes ruidosos
- optimizar el tiempo de reverberación
- eliminar y prevenir ecos

Los materiales absorbentes generalmente corresponden a materiales porosos, siempre y cuando estos poros sean accesibles desde el exterior. Entre los factores que afectan el grado de absorción del material se encuentra: el espesor, la porosidad y la densidad del material, a medida que van aumentando estos 3 factores el grado de absorción es mayor. (Acevedo, V. 2009)

**Imagen 11:** Ejemplo de materiales reflectantes dentro de las salas de clase. Google Imágenes.

Para entender el mecanismo de acción de las absorciones, Almendros. J, (2012) explica que “Cuando la onda sonora incide sobre estos materiales, una parte de la energía es reflejada y el resto penetra en su interior, a través de sus poros. Este flujo de aire interno es el responsable de la disipación de la energía sonora en forma de calor. (p.28)



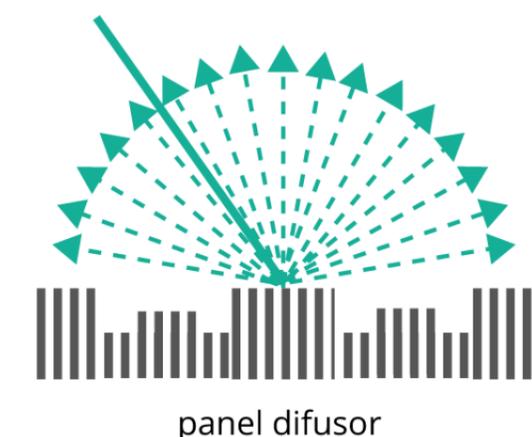
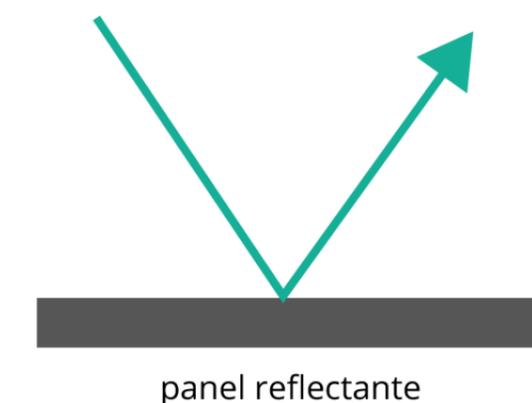
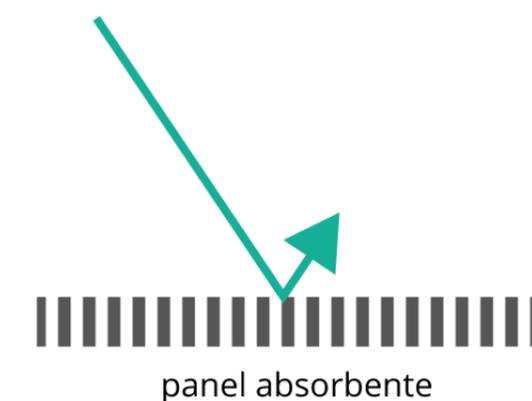
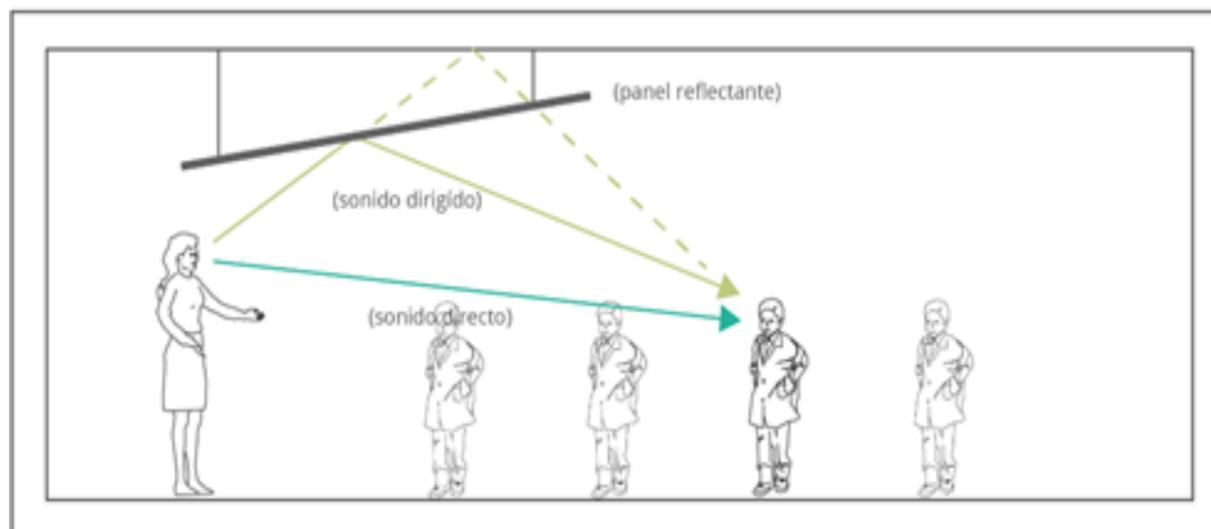
La capacidad de absorción de estos materiales porosos se calcula por medio del denominado coeficiente de absorción, que mide la relación entre la energía absorbida y la energía incidente. (imagen 10)

Generalmente al momento de acondicionar una sala de clases, las paredes representan un porcentaje muy elevado de la superficie del aula, pero no se acostumbra a tratar acústicamente las paredes, sino que se suele concentrar toda la absorción necesaria en el techo, siendo suficiente para llegar al T60 adecuado. Por otro lado, el piso también representa una superficie importante, existen distintos tipos de cubrepisos y alfombras que cumplen una función absorbente. Sin embargo, en las salas de clases existen elementos capaces de reflejar el sonido como lo son los pizarrones, enchapes de madera (mesas) y en general todas las superficies lisas. (Acevedo, V. 2009)

Se denominan materiales reflectores a aquellos elementos específicamente diseñados para generar reflexiones útiles orientadas hacia las zonas del público que necesitan ser reforzadas. Se caracterizan por ser lisos, rígidos y no porosos, de modo que su coeficiente de absorción es mínimo. Entendemos por reflexiones útiles aquellas primeras reflexiones que llegan después del sonido directo y que son integradas con el mismo por el oído. (Almendros, J. 2012)

Para recintos destinados a la palabra como salas de conferencia y aulas, el uso de reflexiones útiles es de vital importancia, pues al ser integradas con el oído humano logran una mejora en la inteligibilidad de la palabra y pueden incrementar su sonoridad en algún punto deseado, estas reflexiones son las que llegan al receptor en los primeros 50 ms después de la llegada del sonido directo. (Acero, L. Bustos, C. 2011)

**Imagen 12:** Uso de paneles reflectantes para direccionar primeras reflexiones. Elaboración propia.



**Imagen 13:** Efectos en la onda sonora según el tipo de panel que enfrenta. Elaboración propia.

### III. DESARROLLO DE OBJETIVOS

En el siguiente capítulo se explica el desarrollo de los objetivos de la investigación, los cuales se desarrollaron en torno a la metodología Montessori aplicada en el colegio Rayen Mahuida, la cual se adecúa a los planes de estudio planteados por el Ministerio de Educación, por lo que se debe considerar dicho factor al momento de llevar esta investigación fuera del contexto nacional chileno.

#### RECAPITULACIÓN

En el primer objetivo se lleva a cabo el levantamiento de las salas a estudiar, cuya elección estuvo basada en las dimensiones y materialidad del contenedor, con el objetivo de centrarse más en el interior, es decir, en la metodología. Sumado a lo anterior se desarrollaron observaciones acústicas primarias, a modo de hipótesis para corroborar en los siguientes objetivos. Los resultados de este objetivo permitieron detectar una constante en el método Montessori, tal como el mobiliario y organización.

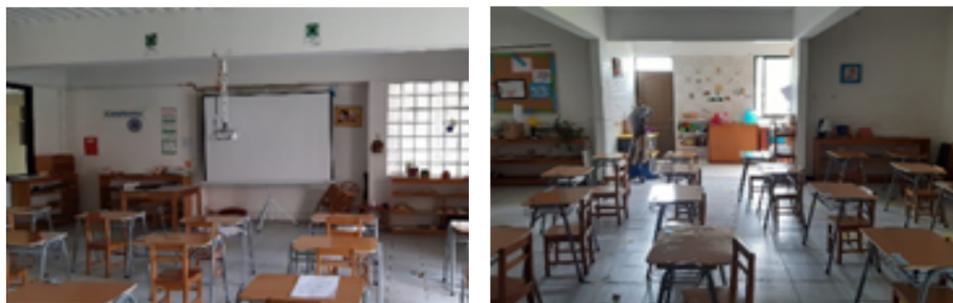
El objetivo número dos, parte de los resultados y observaciones realizadas en el objetivo anterior, éste consistió en el desarrollo de simulaciones acústicas mediante el software EASE 4.3, el cual permitió observar en gráficos, basados en modelos de rayos, el comportamiento del sonido al interior de las salas, de lo cual se demostró la influencia del método Montessori en la acústica de las salas. Los resultados obtenidos en este objetivo sirvieron en primera instancia para responder la primera pregunta de investigación, al mostrar cómo es la acústica dentro de una sala Montessori, y en segunda instancia, los resultados fueron útiles para realizar comparaciones con la acústica de la metodología de educación tradicional, de lo cual trató el objetivo 3.

Como se mencionó anteriormente, en el objetivo 3 se comparó el comportamiento acústico de los salones Montessori con la acústica de las salas de metodología tradicional. Dichas comparaciones se realizaron comparando los gráficos obtenidos en el objetivo anterior con los gráficos resultantes de cambiar el mobiliario al interior de las mismas salas levantadas, lo que simulaba el ordenamiento de las salas con metodología tradicional de educación. Con este objetivo se logró diferenciar la acústica entre ambas formas de educación y permitió definir el comportamiento acústico Montessori.

## CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

El primer objetivo de la investigación consiste en armar los salones Montessori para poder crear tipologías de salas de clases, esto se realizó mediante el levantamiento planimétrico de las salas del colegio Montessori Rayen Mahuida, ubicado en la comuna de Colina, región Metropolitana con el objetivo de crear fichas de cada sala. Sin embargo, las caracterizaciones se realizaron mediante fotografías de las aulas otorgadas por las guías del mismo establecimiento, debido a que actualmente los salones presentan una organización espacial característico de las salas de clase tradicional, esto, por motivos sanitarios relacionados con la pandemia covid-19.

Para poder determinar qué factores pueden caracterizar el tiempo de reverberación dentro de las salas, se utilizaron de base las investigaciones acústicas de ingeniería. Según Acevedo. V, (2009) "es posible caracterizar un recinto, y en este caso, una sala de clases, según la ubicación, geometría y también según la ubicación de algunos materiales, ya sean reflectantes o absorbentes, de acuerdo con esto, podemos describir las posibles anomalías que tendrá la sala de clases" (p.59). Por su parte, Silva. F, (2008) "La elección del mobiliario se realizó de manera tal de contar con los muebles más frecuentes de las salas de la facultad" (p.41)



**Imágen 14:** Fotografías de salas del colegio Rayen Mahuida Montessori. Sobarzo.K,2021.

## PROCEDIMIENTO

Con el objetivo de caracterizar las salas, fue necesario realizar el levantamiento planimétrico manual de las salas del establecimiento, por lo cual se realizaron visitas a terreno donde se midieron y analizaron las salas, haciendo un registro de su materialidad dimensiones y ubicación. Las salas registradas fueron escogidas según el registro fotográfico existente, de las cuales se levantaron 3 salas diferentes en forma y materialidades. Los levantamientos fueron realizados en programas de modelado 3d específicamente Archicad 23 y V-ray para la visualización de los materiales.

Posterior al levantamiento, fue necesario la participación de las guías Montessori a cargo de sus respectivas salas para el análisis de la metodología educativa y su influencia en el espacio. Dicha información sirvió para entender el uso y distribución que tiene el mobiliario y determinar principales fuentes de sonido y receptores dentro de la sala. Lo anterior se traduce en diagramas de uso de la sala y fichas de materiales.

Finalmente fue posible caracterizar un recinto, y en este caso, una sala de clases, según la ubicación, geometría y también según la ubicación de algunos materiales, ya sean reflectantes o absorbentes. Y así poder definir ciertos fenómenos que ocurren dentro de la sala.



**Imágen 15:** Fotografías de salas del colegio Rayen Mahuida Montessori. Sobarzo. K, 2019-2021.

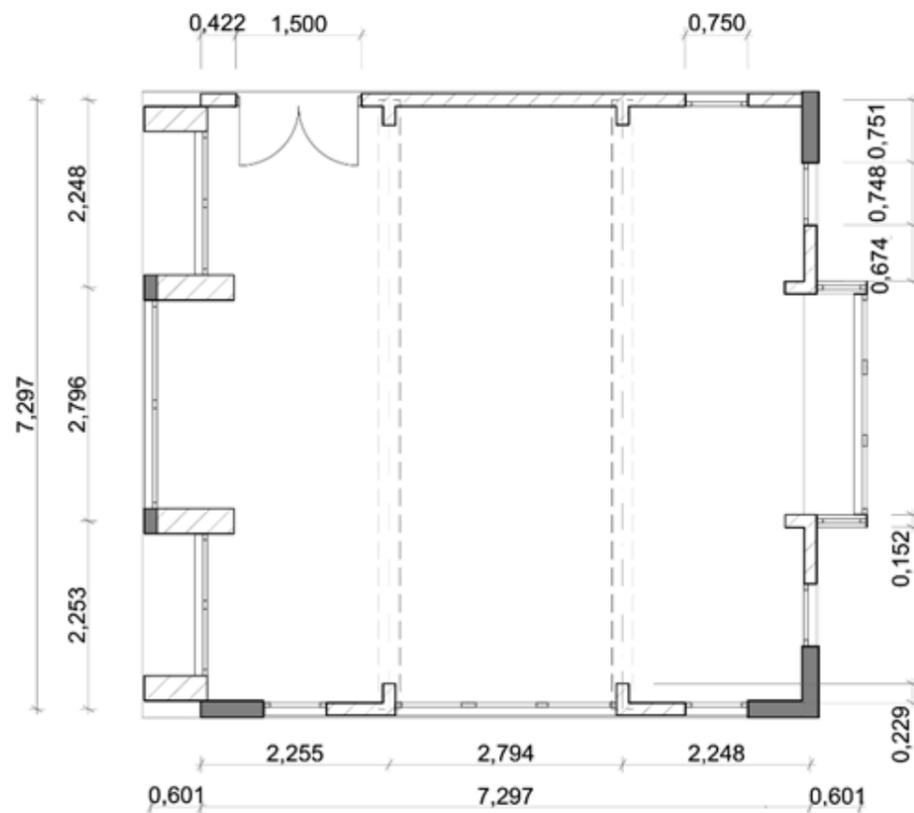
### III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

#### III.I.I. LEVANTAMIENTO SALA DE TALLER 5 Y 6

El salón se ubica en el primer piso del establecimiento y se encuentra en la esquina del edificio junto a otra sala del mismo tamaño, corresponde actualmente a las asignaturas de Lenguaje e Historia para taller 5 y 6.

La geometría que presenta la sala corresponde a una de forma cuadrada en planta con dos pilares en cada muro donde uno de estos dispone de un "bow window" entre pilares, la mayoría de las murallas presentan ventanas con la misma superficie.

La estructura de los muros corresponde a albañilería confinada, por lo que la mayor parte de la sala deja ver los ladrillos y las estructuras de hormigón, estas últimas están pintadas con pintura blanca.



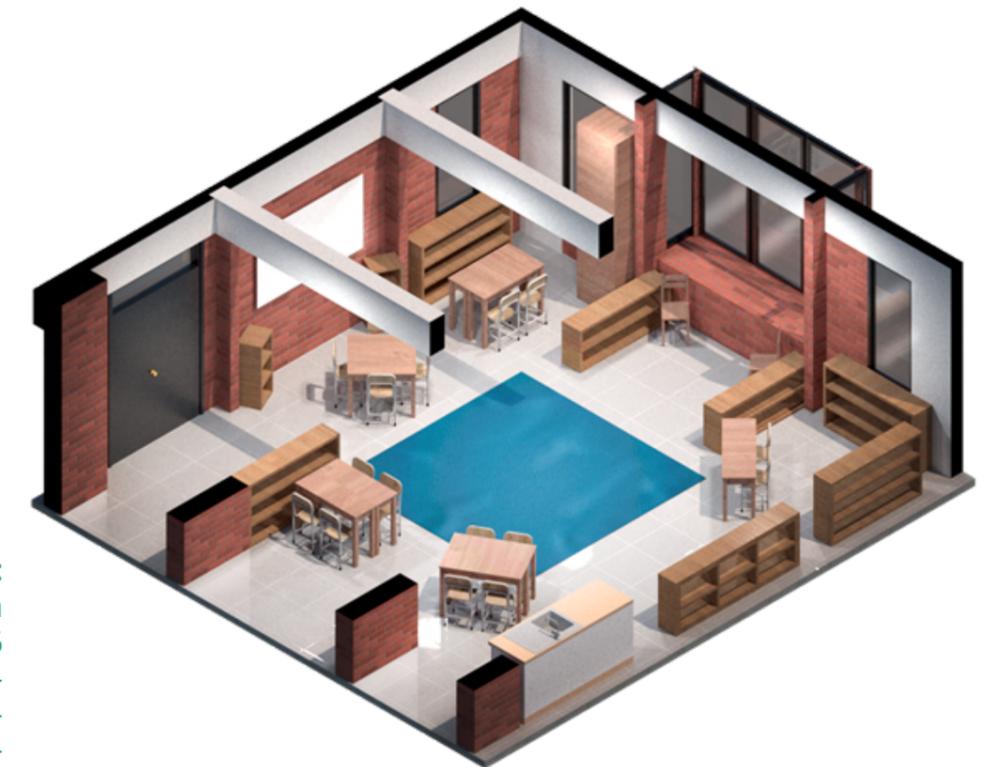
**Imagen 16:** Planta sala de taller 5 y 6 vacía. Escala 1:100. Elaboración propia.

Respecto a la organización espacial de la sala, ésta presenta un esquema radial donde en el centro se ubica la alfombra grupal y los extremos están ordenados según una lógica de áreas destinadas a diferentes programas, entre los que se encuentran:

- Área de lectura
- Área de Gramática
- Área de ortografía

Estas áreas están delimitadas por repisas de madera, en las cuales se almacena el material de trabajo, además se les complementa con mesas en las cuales poder realizar las actividades.

En la sala se distribuyen 20 niños y 2 guías Montessori, por lo que se organizan en grupos de 4 niños, quienes luego de entender el contenido en el centro del salón se desplazan al área que corresponda con la actividad a realizar.



**Imagen 17:** Isométrica sala de taller 5 y 6 con mobiliario y materiales. Elaboración propia.

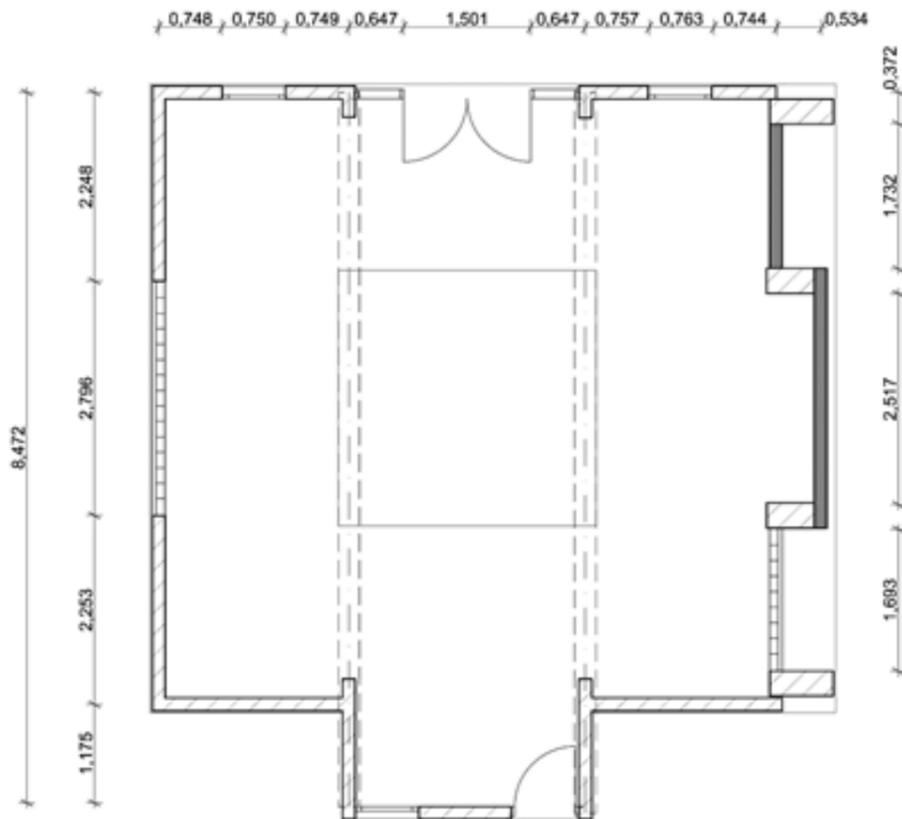
### III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

#### III.I.I. LEVANTAMIENTO SALA DE TALLER 3 Y 4

El salón se encuentra en el primer piso del colegio, y se encuentra rodeada por dos pasillos y una sala de dimensiones similares, la reconstrucción de la sala representa a la asignatura de Historia

La geometría que presenta la sala corresponde a una de forma cuadrada similar a la sala de lenguaje presentada anteriormente, su diferencia radica en la ausencia de los pilares de ladrillo y un menor porcentaje de superficie vidriada, por lo que las superficies de este salón son en su mayoría planas y lisas.

La estructura de la sala cambia en este sector del establecimiento, en este caso los muros son de hormigón armado pintado de blanco, exceptuando los pilares de albañilería de la sala de al lado, además presenta un envigado de hormigón en el techo de ésta. La superficie del suelo esta totalmente constituida por baldosas de cerámica.



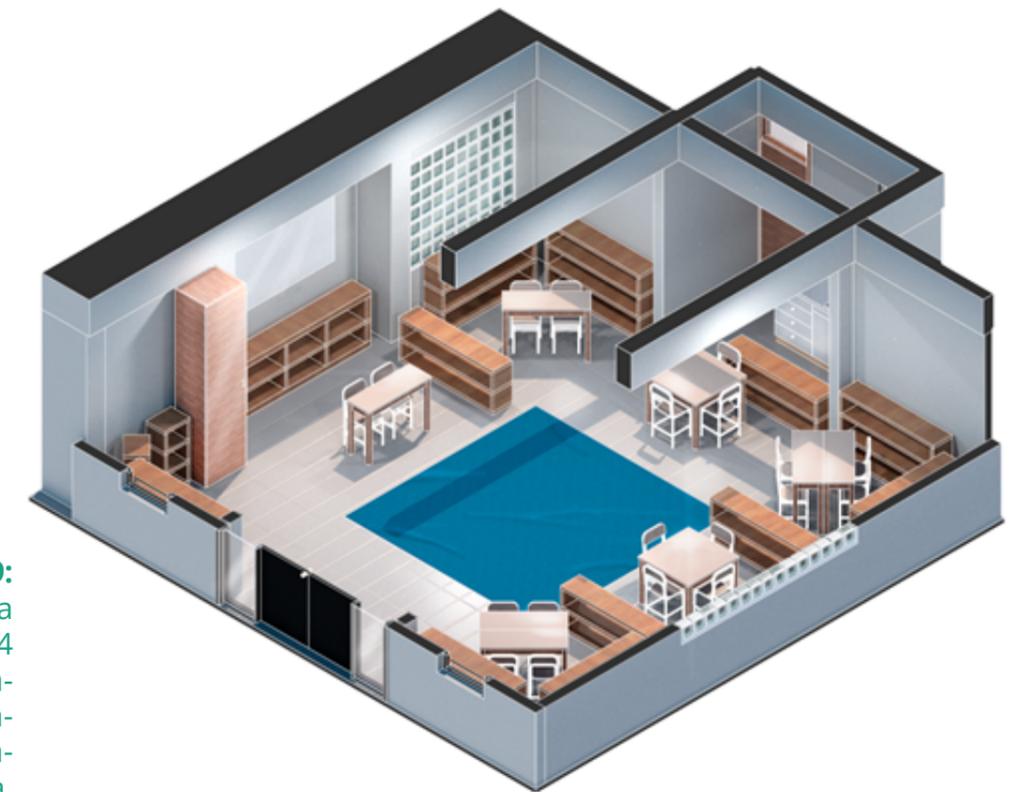
**Imagen 18:** Planta sala de taller 3 y 4 vacía. Escala 1:100. Elaboración propia.

En cuanto a la organización de la sala, esta se ordena siguiendo el modelo Montessori, en el cual se dispone de un área central delimitada por una alfombra, en el cual se crean instancias grupales. A los extremos de la sala se crean áreas de trabajo de menores dimensiones, en este caso, dichas áreas se presentan de dos maneras, áreas individuales como las mesas de trabajo, y áreas grupales en las cuales se identifica:

- Área de Material común
- Área de Geografía

Cada una de estas zonas están delimitadas por estanterías en donde se almacena el material de trabajo y estan acompañados por mesas de trabajo de a 4 personas.

En la sala se distribuyen 20 niños y 2 guías Montessori, por lo que se organizan en grupos de 4 niños, quienes luego de entender el contenido en el centro del salón se desplazan al área que corresponda con la actividad a realizar.



**Imagen 19:** Isométrica sala de taller 3 y 4 con mobiliario y materiales. Elaboración propia.

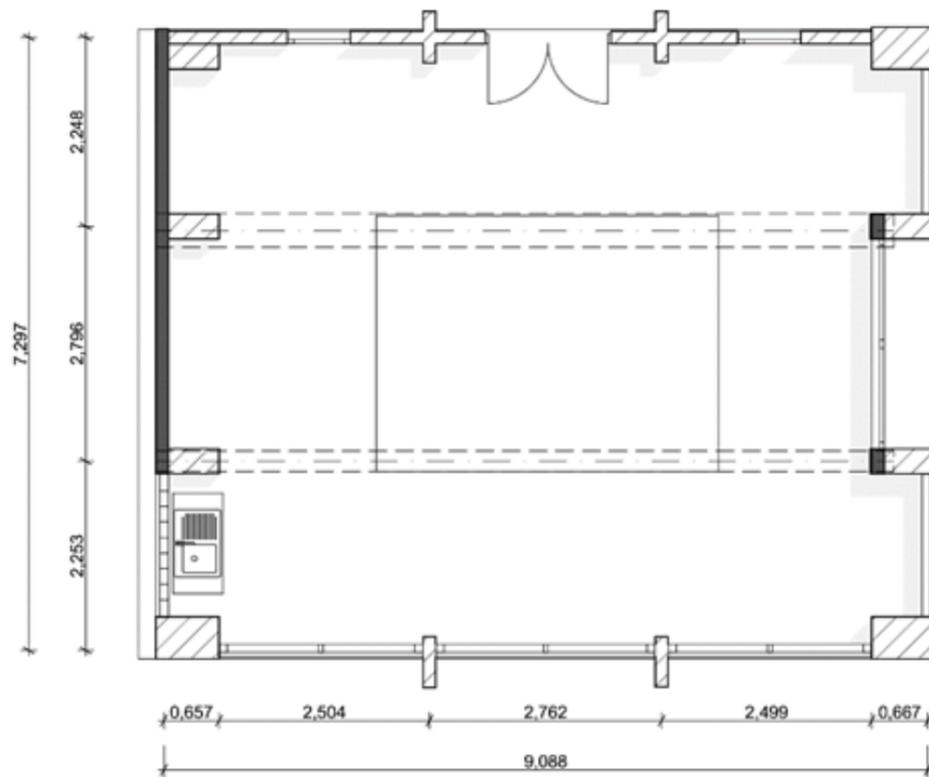
### III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

#### III.I.I. LEVANTAMIENTO SALA DE TALLER 1 Y 2

Esta sala se ubica en el primer piso del colegio, entre dos salas similares al salón de taller 5 y 6, la puerta del aula lleva al pasillo del establecimiento y las ventanas miran hacia el patio del colegio, corresponde actualmente a la sala de taller 1 y 2.

El salón tiene una forma rectangular, por lo que el volumen del aula es ligeramente más grande a las anteriormente presentadas, por lo que es usada para niños de menor edad por las necesidades y espacio que estos requieren.

Al estar en el mismo edificio, la estructura es de albañilería confinada al igual que la sala de lenguaje, por lo que presenta pilares en los muros y el envigado a la vista, asimismo, la superficie del suelo está recubierta por losas de cerámica.

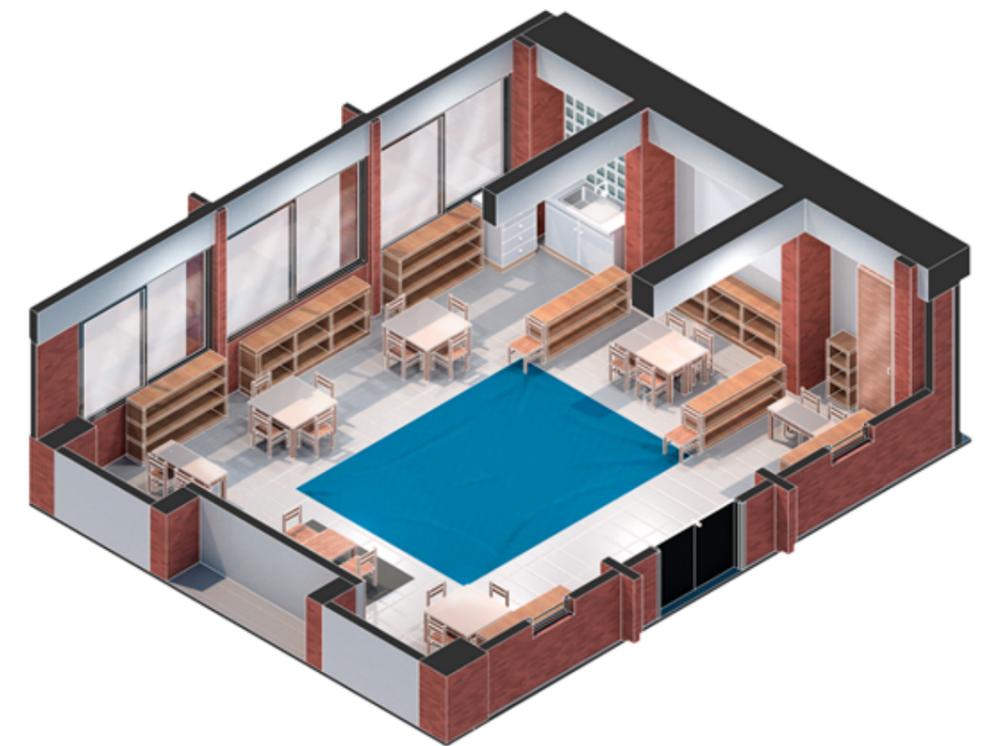


**Imagen 20:** Planta sala de taller 1 y 2 vacía. Escala 1:100. Elaboración propia.

El interior de la sala se distribuye liberando el centro del salón, lugar donde se realizan las tareas grupales y donde las Guías Montessori presentan las actividades, a los laterales se encuentran las mesas de trabajo acompañados de repisas donde se guardan los materiales.

Respecto a la sectorización, se define el área de material común, zona de lectura, área de gramática y ortografía. A lo anterior se le suma la mesa de la paz, destinada a que los niños que presenten conductas conflictivas resuelvan sus problemas en una mesa con un ambiente calmo.

A diferencia de las salas anteriores, el mobiliario no es usado como delimitantes de espacio, por la necesidad de movimiento que tienen los niños, lo que hace que el centro del salón sea más grande.



**Imagen 21:** Isométrica sala de taller 1 y 2 con mobiliario y materiales. Elaboración propia.

## III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

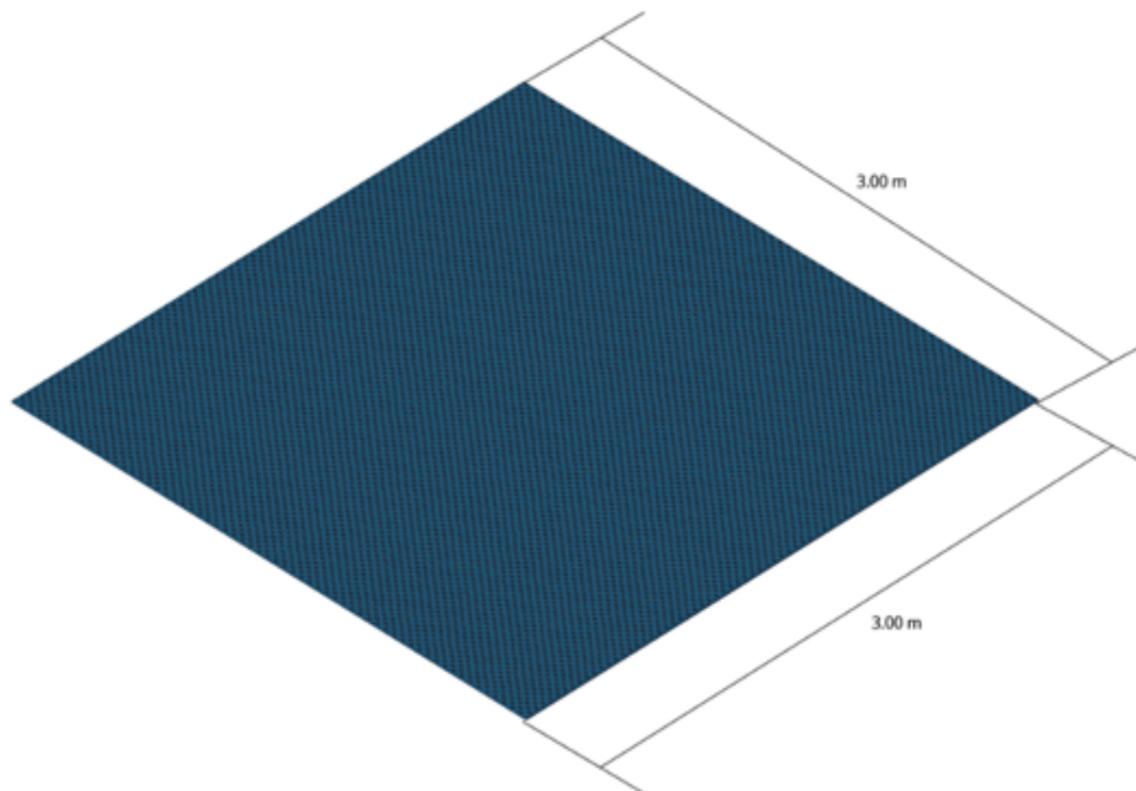
### III.I.I. LEVANTAMIENTO DEL MOBILIARIO

A lo largo del levantamiento de las salas de clases se pudo ver como el mobiliario cumple un rol fundamental, no solo para almacenar material educativo, sino que además se usa para delimitar las áreas e instancias que se crean con el objetivo de poder desarrollar el método Montessori, el cual como se mencionó en el marco teórico, busca la paz y la libertad del niño dentro del espacio. Se pudo identificar durante el análisis el mobiliario más usado para estas tareas, los cuales se categorizan en: alfombras, estanterías y mesas de trabajo.

#### ALFOMBRAS

La alfombra es el espacio principal de la sala, y por ende el más grande, está destinada a actividades grupales y donde se entrega el aprendizaje. Corresponde a una alfombra de un espesor fino de 0.5cm y un tejido de fieltro.

**Imágen 22:** Alfombra tipo y medidas. Elaboración propia.



#### ESTANTERÍAS

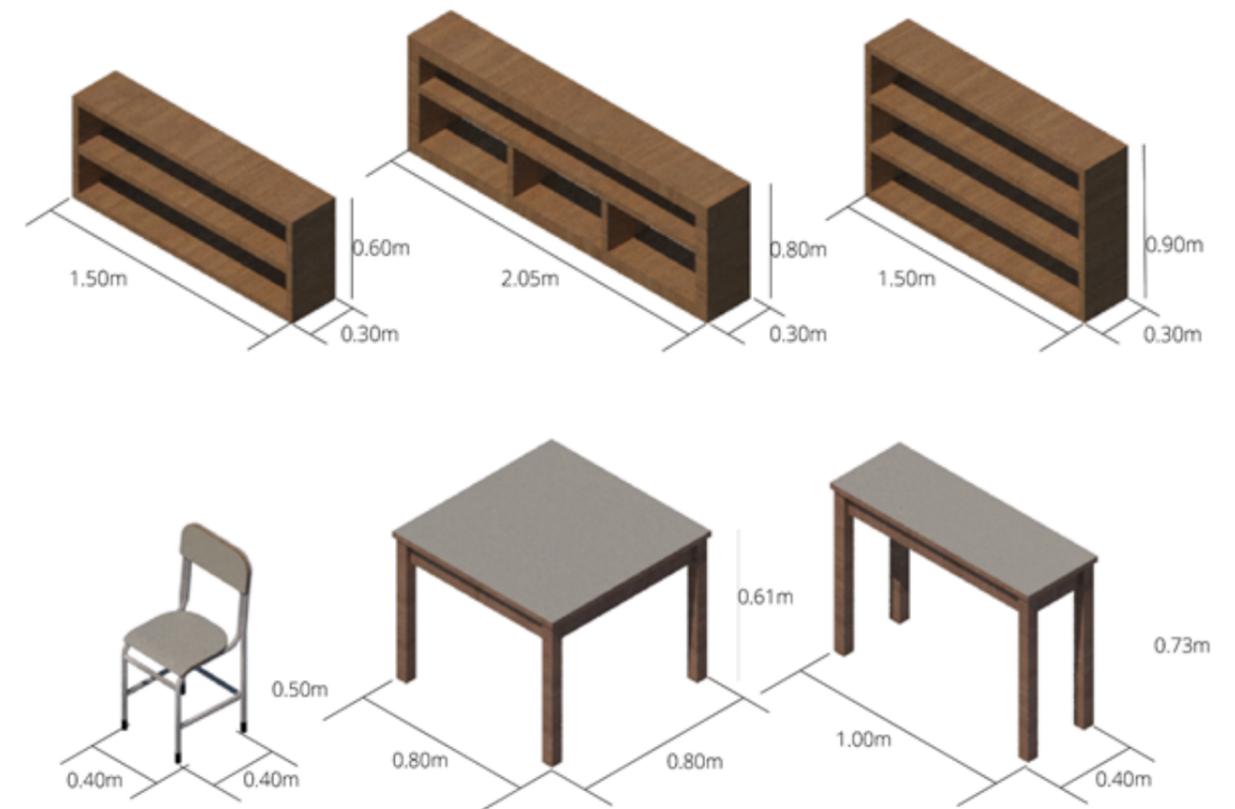
Las estanterías cumplen el rol de delimitar los espacios más pequeños, como lo son el área de lectura, gramática y ortografía, además en estos se guarda el material de aprendizaje para luego ser usados. Sus dimensiones se adaptan a la escala de los niños, por lo que tienen entre 3 a 4 niveles, donde los más altos se ubican en las paredes y los más bajos como separadores, todos de un tipo de madera contrachapada y en algunos casos barnizada.

**Imágen 23:** Estanterías tipo y medidas. Elaboración propia.

#### MESAS Y SILLAS

Al igual que en la educación tradicional, las mesas y sillas son usadas por los alumnos para realizar las clases, lo que diferencia al método Montessori es la distribución de estas en la sala, suelen ubicarse dentro de las áreas y se agrupan de forma que puedan trabajar 4 alumnos por actividad. Si bien su materialidad de Madera, esta presenta un enchapado de melamina en las superficies útiles.

**Imágen 24:** Mesas y sillas tipo, con medidas. Elaboración propia.



### III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

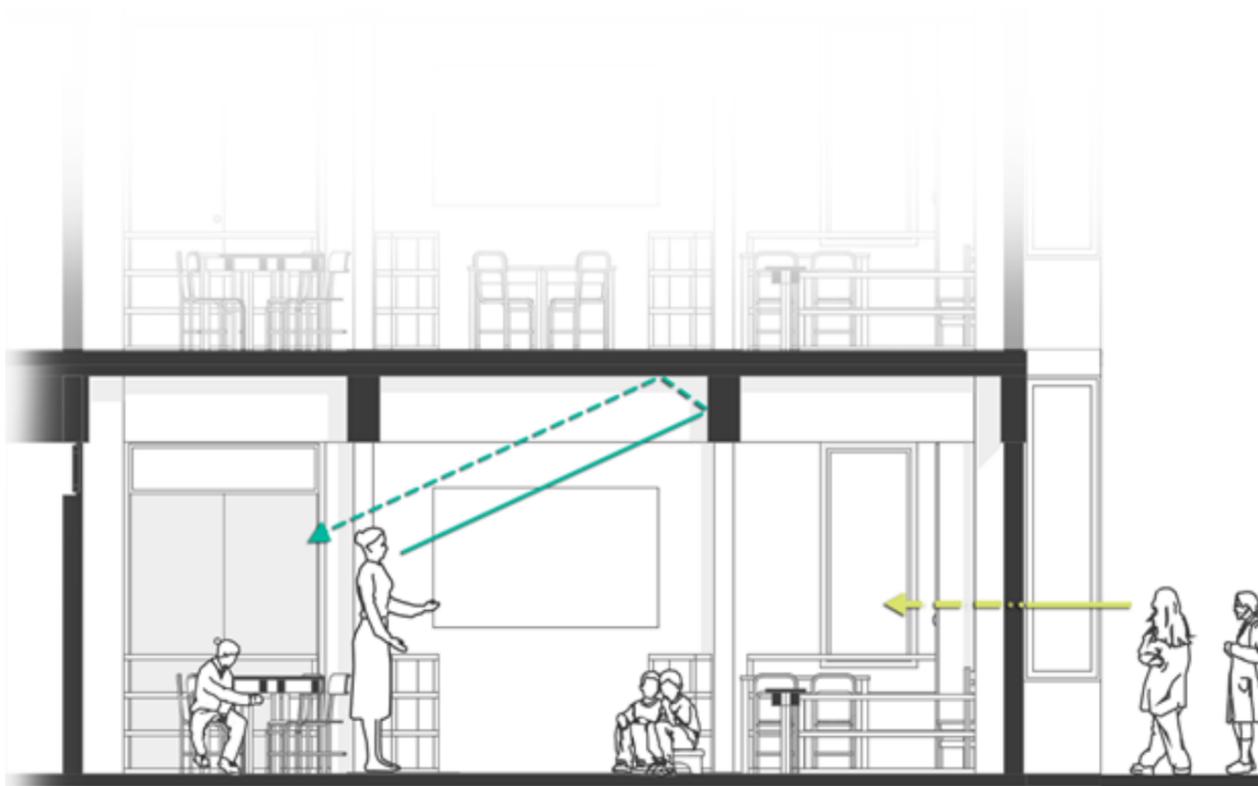
#### III.I.II. ANÁLISIS SALA DE TALLER 5 Y 6

De acuerdo con su ubicación las fuentes de ruido externas que pueden afectar esta sala son las provenientes del patio donde es posible escuchar a niños conversando y jugando, dicho ruido puede llegar a una intensidad de 80dB, la cual corresponde a gritos según lo investigado acerca de la intensidad de voz en el marco teórico.

La forma cuadrada de la sala puede contribuir a una transmisión del sonido de manera más equitativa, sin embargo, las salientes correspondientes a pilares y vigas podrían provocar primeras reflexiones no deseadas que aumente el tiempo de reverberación de la sala, el cual debería ser inferior a 0.60s.

En cuanto a las superficies, la mayor parte de los muros presentan una textura escalonada perteneciente a los ladrillos, sin embargo, estos se encuentran recubiertos por pintura, la cual representa materiales reflectantes, al igual que el hormigón y las ventanas que corresponden a más del 50% de los muros. El piso está conformado por losas de cerámica que también se encuentra en la categoría de materiales reflectantes planteado en el marco teórico.

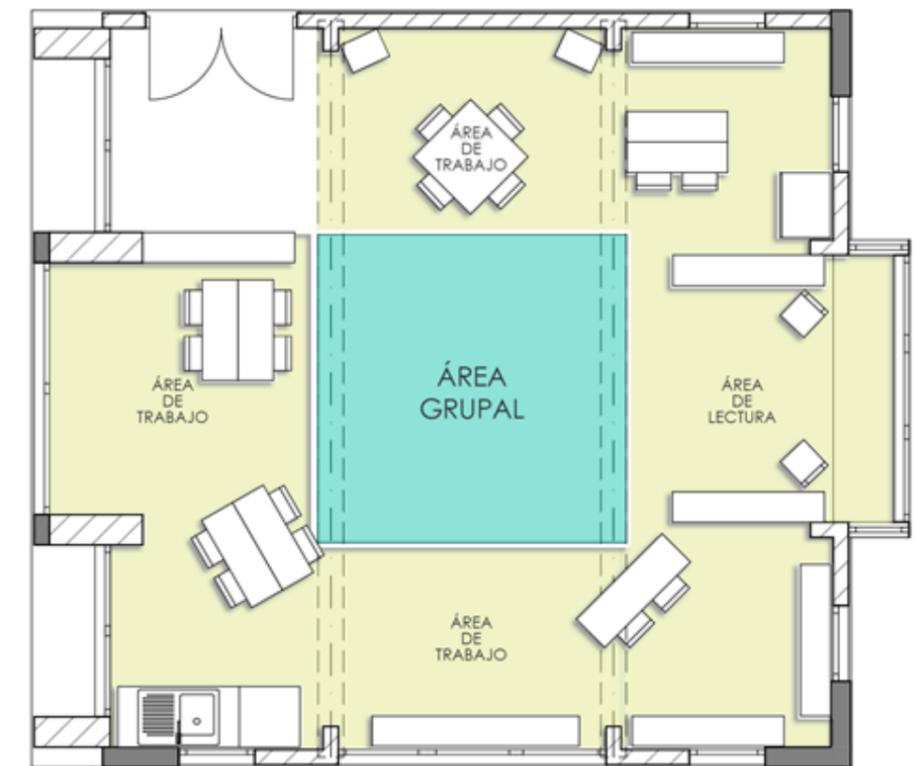
**Imagen 25:** Esquema de comportamiento del sonido en la sala de taller 5 y 6. Elaboración Propia



En cuanto al mobiliario, la mayoría de las superficies corresponden a materiales absorbentes como son la alfombra y las repisas, debido a su porosidad, las cuales ayudan a reducir las superficies reflectantes del piso y los muros respectivamente, no obstante, las superficies de las mesas, y la pizarra son materiales reflectantes.

Finalmente, la metodología Montessori presente en la sala permite determinar que existen áreas grupales en las cuales se produce más ruido, y es donde se produce la principal fuente sonora; y también existen áreas más silenciosas como lo son las áreas de actividades, que están enfocadas en la concentración. Lo anterior se ve reflejado en la organización del mobiliario que encapsula dichas áreas silenciosas. (imagen 26)

Además de la fuente de sonido descrita anteriormente, se presenta una nueva fuente que busca crear un ambiente calmo para las actividades, la cual es un reproductor de música que está presente en todas las actividades.



**Imagen 26:** Esquema de zonas acústicas, silenciosas y ruidosas. Elaboración propia.

### III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

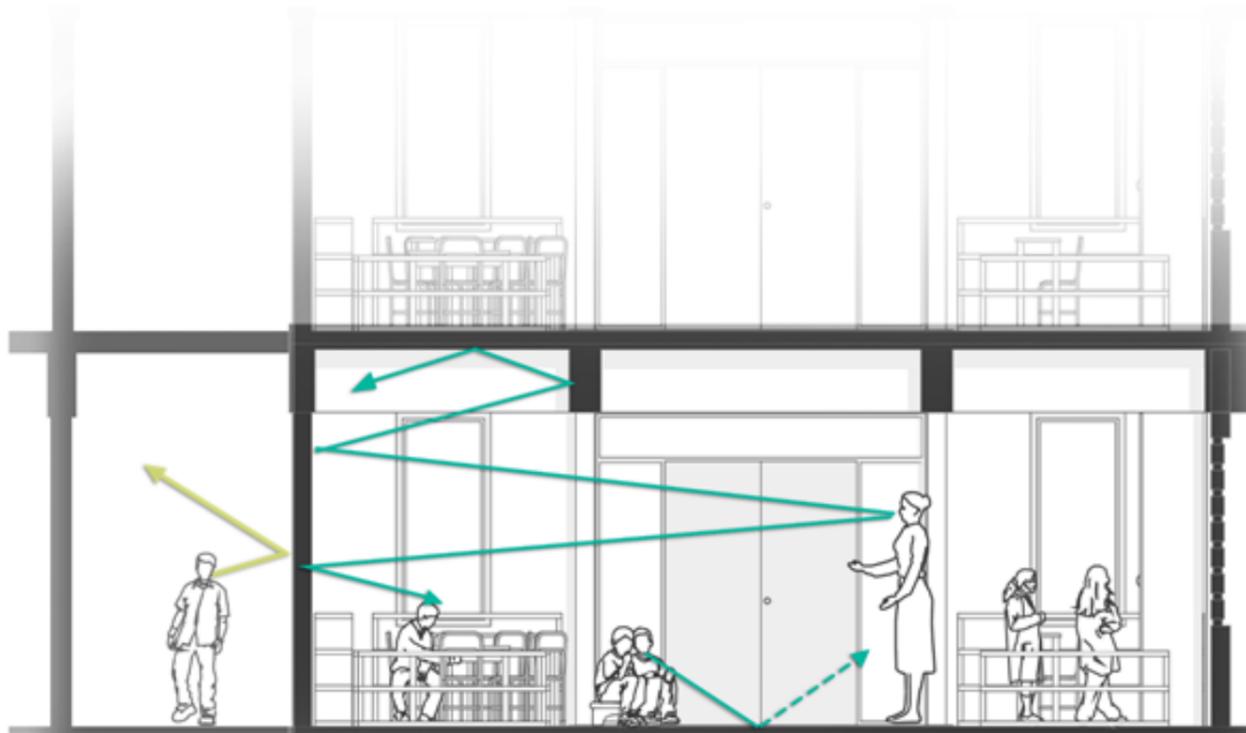
#### III.I.II. ANÁLISIS SALA DE TALLER 3 Y 4

Las fuentes externas que pueden interrumpir en el proceso de transmisión del aprendizaje, en este caso provienen principalmente desde el patio al cual enfrenta la sala, sin embargo, debido a la falta de ventanas en dicho muro el ruido que ingrese a la sala perderá intensidad gracias al bajo coeficiente de absorción del material en este caso, hormigón pintado.

Al igual que la sala de lenguaje, la forma cuadrada de la sala puede contribuir a una transmisión del sonido más equitativa, sumado a esto al presentar muros planos puede existir un mejor control de las reflexiones de sonido por parte de los muros, no obstante, el envigado del techo si presentará reflexiones que pueden o no interrumpir la acústica de la sala.

Si bien esta sala presenta menor superficie vidriada, el cual se presenta como un material reflectante, el material de hormigón pintado presenta un coeficiente de absorción bajo, el cual permitirá más reflexiones al interior del salón, aumentando así el tiempo de reverberación de la sala, al igual que las losas de cerámica presentes en el suelo.

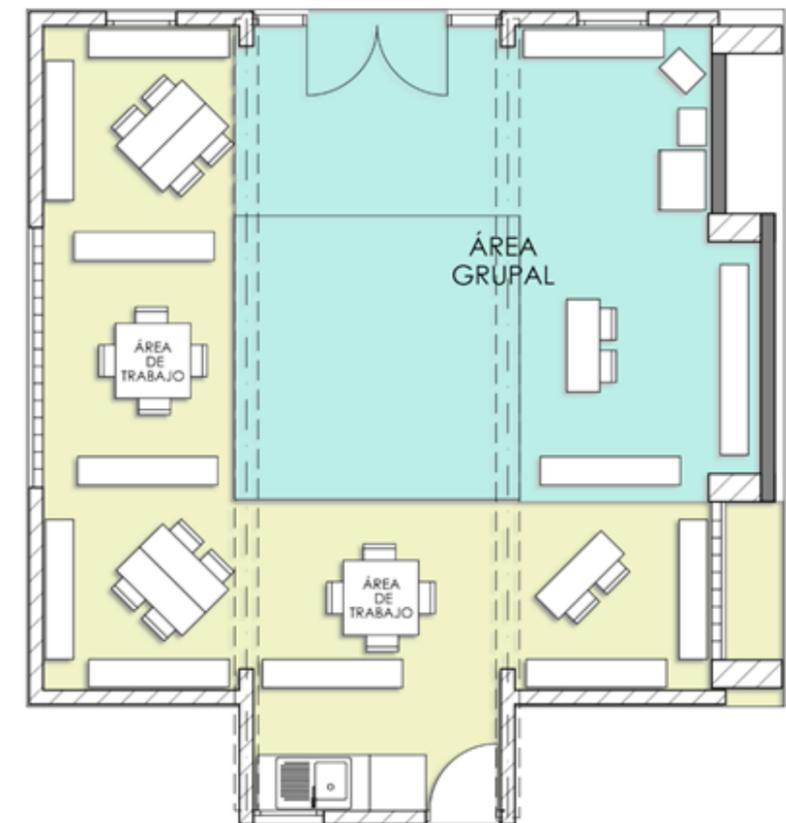
**Imagen 27:** Esquema de comportamiento del sonido en la sala de taller 3y 4 . Elaboración Propia



En cuanto al mobiliario, la mayoría de las superficies corresponden a materiales absorbentes como son la alfombra y las repisas, debido a su porosidad, las cuales ayudan a reducir las superficies reflectantes del piso y los muros respectivamente, no obstante, las superficies de las mesas, y la pizarra son materiales reflectantes.

La organización espacial, según la metodología de la sala deja entender que existen áreas grupales y áreas individuales, las cuales para la acústica se traducen en áreas de transmisión de la palabra y áreas de silencio respectivamente, Específicamente en esta sala se observa el área silenciosa como una "L" en la esquina inferior izquierda y el área grupal es un área cuadrada en donde se encuentra la alfombra, el material común y el acceso. (imagen 28)

**Imagen 28:** Esquema de zonas acústicas, silenciosas y ruidosas. Elaboración propia.



### III.I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SALAS MONTESSORI

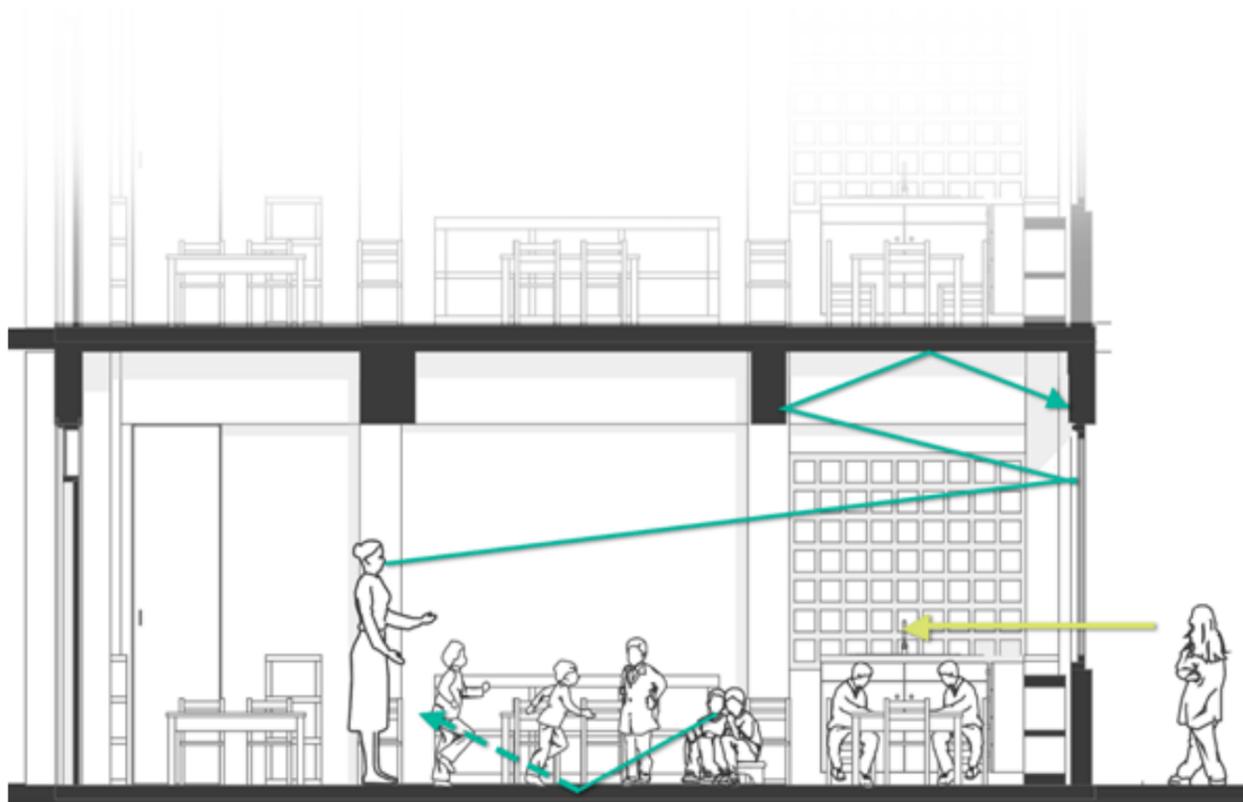
#### III.I.II. ANÁLISIS SALA DE TALLER 1 Y 2

El ruido emitido por los salones adyacentes puede no presentar molestia alguna en la esta sala, debido a la baja intensidad de voz de este método y el material los muros que colindan con dichas salas, por otra parte, el ruido que se produzca en el patio sigue siendo la principal fuente de sonido que puede afectar el proceso de aprendizaje.

La forma que presenta la sala es óptima para las necesidades motrices de los niños, sin embargo, el paralelismo de los muros, y específicamente de elementos reflectantes como los ventanales, esto puede aumentar el tiempo de reverberación de la actividad y afectar el aprendizaje.

Como ya se mencionó, las superficies reflectantes están dispuestas de forma paralela en esta sala, sumado a eso, corresponden a un gran porcentaje de la superficie de los muros, al igual que la cerámica presente en el suelo.

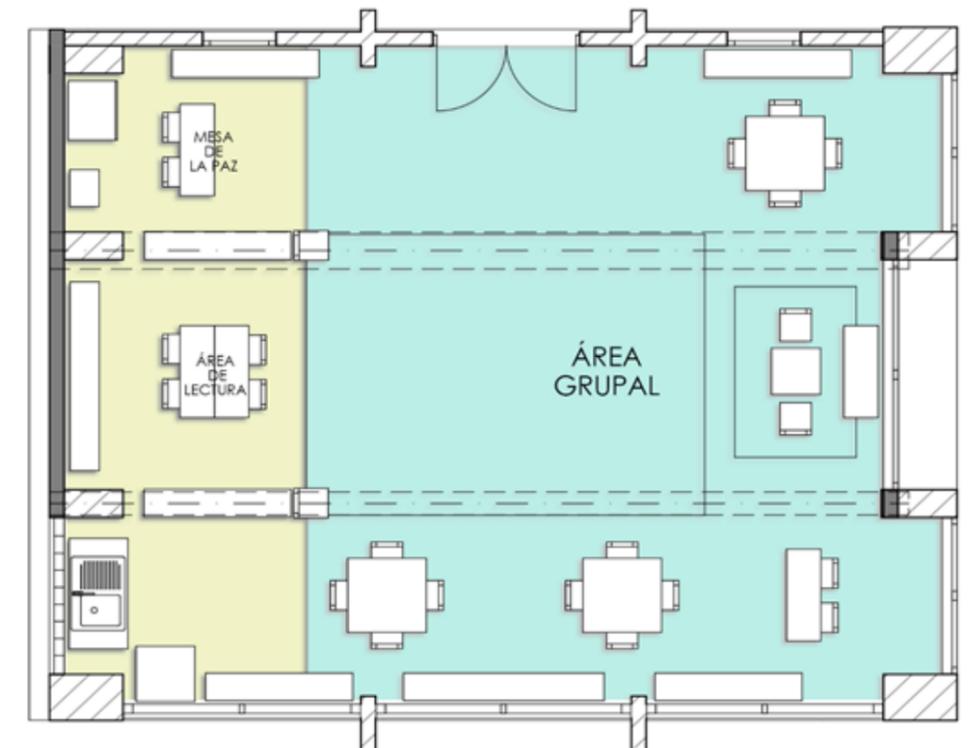
**Imagen 29:** Esquema de comportamiento del sonido en la sala de taller 1 y 2. Elaboración Propia



En cuanto al mobiliario, la mayoría de las superficies corresponden a materiales absorbentes como son la alfombra y las repisas, debido a su porosidad, las cuales ayudan a reducir las superficies reflectantes del piso y los muros respectivamente, no obstante, las superficies de las mesas, y la pizarra son materiales reflectantes.

La organización que tiene esta sala presenta un esquema donde la zona grupal toma la mayor parte del salón, saliendo incluso de la alfombra, por lo que puede denominarse ese sector como la principal fuente de sonido. Los únicos sectores más silenciosos se encuentran del lado izquierdo del salón, los que están delimitados por estantes y corresponden a la mesa de la paz y la zona de lectura. (imagen 30)

**Imagen 30:** Esquema de zonas acústicas, silenciosas y ruidosas. Elaboración propia.



### III.I.III. CONCLUSIONES

El levantamiento de las salas y su respectivo análisis permitieron observar el como la Metodología Montessori organiza el espacio para el aprendizaje, alejándose de un esquema tradicional presente en la mayoría de las escuelas. Además, permitió realizar observaciones preliminares respecto a la acústica presente en las salas.

De las caracterizaciones realizadas se puede entender el Método Montessori como una constante en el espacio, el cual tiende a un ambiente más silencioso en los extremos y más ruidoso en el centro. Lo anterior se debe a que las actividades grupales e inicio de las actividades se realizan en la alfombra colectiva que se encuentra en el centro del salón. Posterior a eso los niños continúan sus actividades en pequeños grupos de a cuatro, los cuales se ubican en las mesas de trabajo puestas cerca de los muros de las salas, delimitados por repisas y estanterías donde se almacena el material. Sin embargo, existen variaciones en la organización dependiendo del rol de la sala, como por ejemplo las zonas de lectura en las salas de lenguaje, la mesa de la paz en el caso de las salas de taller 1 y 2. Pero, por lo general, las salas siguen el esquema mencionado anteriormente, zonas silenciosas y zonas grupales.

Además, esta metodología de educación tiene asociado un mobiliario específico que moldea la organización de la sala, pero también puede moldear la acústica de la sala. Finalmente es importante destacar que a medida que los alumnos crecen los valores como el respeto y el orden se van asimilando, resultando en que sea más fácil crear instancias donde mantener el silencio son posibles. Lo anterior se ve reflejado en los esquemas de las salas principalmente en taller 5 y 6 donde las áreas silenciosas toman mayor porcentaje de la sala, en comparación de las de taller 1 y 2.

Sin embargo, factores como la materialidad del contenedor y factores externos como el ruido de fondo varían y no son condicionantes para el proceso de aprendizaje de esta metodología, ya que además puede variar según ubicación. Por dicha razón, el factor ruido de fondo no será una condicionante al momento de realizar las simulaciones acústicas realizadas en el siguiente objetivo.

En resumen, los resultados obtenidos en este objetivo a modo de hipótesis serán analizadas y corroboradas en el objetivo siguiente, que tendrá como resultados gráficos que demuestren la acústica de los salones Montessori.

Este segundo objetivo consistió en analizar el comportamiento acústico de los salones Montessori anteriormente levantados, análisis el cual se separó en 2 etapas, siendo su primera etapa la caracterización teórica del tiempo de reverberación de las salas vacías y la segunda etapa el análisis del tiempo de reverberación con el método Montessori inserto en las salas, es decir con el mobiliario y organización correspondiente. Lo anterior se hace con el objetivo de comprender cómo afecta la metodología Montessori a la acústica de las salas.

**CONSIDERACIONES**

Existen diferentes formas para poder calcular el tiempo de reverberación de un recinto, se pueden realizar una serie de pruebas en una sala con instrumentos de medición adecuados. La otra forma consiste en una ley matemática que, a partir del conocimiento de una serie de parámetros acústicos como el coeficiente de absorción de los materiales presentes en el recinto y el volumen del mismo, esto permite conocer un tiempo de reverberación teórico. Es esta última forma de calcular el tiempo de reverberación fue la que se utilizó para conocer dicho parámetro.

El tiempo de reverberación, T, de un recinto se calcula mediante la expresión:

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A} [s]$$

Siendo:

V: volumen del recinto, [m3 ].

A: absorción acústica total del recinto, [m2 ].

La absorción acústica, A, se calculará a partir de la expresión:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^n A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$$

**Fórmula 1:**  
Cálculo del tiempo de reverberación de Sabine.

**Fórmula 2:**  
Cálculo de absorción total de los materiales.

Donde:

$\alpha_{m,i}$  : coeficiente de absorción acústica de cada paramento, para las bandas de tercio de octava.

$S_i$  : área del paramento cuyo coeficiente de absorción es  $\alpha_i$  , [m2 ].

$A_{om,j}$ : área de absorción acústica equivalente media de cada mueble absorbente [m3 ].

V : Volumen del recinto.

mm : Coeficiente de absorción acústica medio en el aire .

El término  $4 \text{ mm } V$  es despreciable en los recintos de volumen menor que 250 m3 .

Respecto a los coeficientes de absorción de los materiales presentes en las salas, en el objetivo anterior se levantaron las salas donde se definió la materialidad de los muros, piso, techo y mobiliario; de los cuales existen tablas con el coeficiente de absorción disponibles y otorgadas por investigaciones o proveedores de materiales acústicos, los cuales se presentan en la tabla x.

Cabe aclarar que, para un análisis enfocado a la voz humana, y más específicamente a las frecuencias de voz de niños y mujeres, las octavas de banda que se deben revisar son entre 125Hz a 250Hz, esto según lo revisado en las características del locutor en el marco teórico.

**Tabla 2:**

Tabla de tiempo de reverberación adecuado para salas de clases según la OMS. Fuente: Acevedo, V. (2009) p.23.

Para el posterior análisis de los resultados obtenidos, se recurrirá a la siguiente tabla para comparar los tiempos de reverberación:

Ambiente	Efectos en la salud	Ruido de Fondo [dBA ]	Tiempo de reverberación [s]
Salas de clases	Interferencia en la comunicación, perturbación en la extracción de información, inteligibilidad del mensaje.	35	0,6

Y los siguientes porcentajes para el análisis de los grados de inteligibilidad de la palabra hablada:

**Tabla 3:**

Tabla de porcentaje de pérdida de la inteligibilidad de la palabra y su respectiva valoración. Fuente: Silva, F.(2008) p.29.

%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%	0,50 - 0,64	Aceptable
24,2% - 12%	0,36 - 0,49	Pobre
46,5% - 27%	0,24 - 0,34	Mala

### III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

#### PROCEDIMIENTO

El presente objetivo se dividió en dos etapas de desarrollo, una primera fase de cálculo, donde se computó el tiempo de reverberación de las tres salas previamente levantadas. Esto se realizó usando la fórmula de Sabine, la cual fue inscrita en una tabla de Excel junto a los coeficientes de absorción de los materiales detectados en la sala. Luego se definieron los casos en los que se calcularon los tiempos, dichos casos son los mismos para cada sala, los cuales son:

- Sala vacía: corresponde al cálculo de las salas considerando solamente la materialidad de los muros, cielos, pisos, ventanas y puertas.
- Sala con mobiliario: corresponde a las salas acondicionadas con el mobiliario correspondiente, tal como se levantaron en el objetivo 1.
- Sala con personas: corresponde a la instancia de clases donde la principal fuente de sonido viene del centro mientras las mesas de los bordes están siendo ocupadas, con un total de 20 alumnos y 2 guías.

De estos casos se obtuvieron tablas y gráficos para cada sala, donde fue posible observar la incidencia de la metodología Montessori dentro de las salas. Los datos obtenidos además fueron útiles para el desarrollo de la siguiente etapa del objetivo que complementa la información dada por los gráficos.

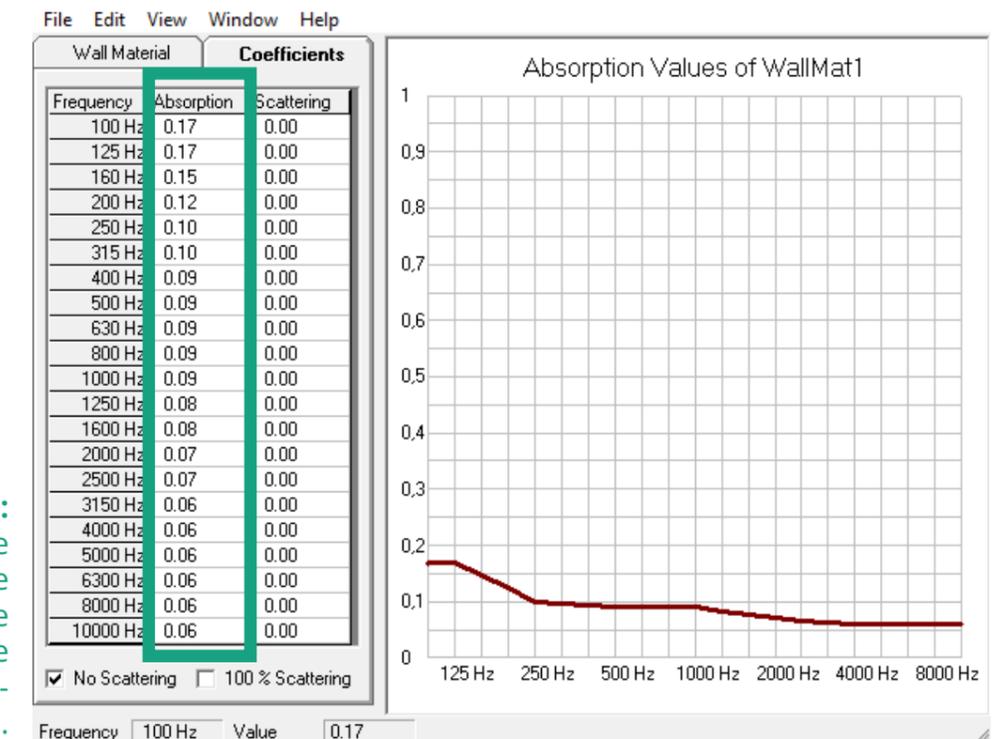
**Tabla 4:** Tabla de materiales usados en las simulaciones con sus respectivos índices de absorción.

Objeto	MATERIAL	125	250	500	1000	2000	4000
Muros	Hormigón pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
	Ladrillo pintado	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Pisos	Cerámica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Cielos	panel de yeso c/ fibra de vidrio	0,17	0,1	0,09	0,09	0,07	0,08
	panel de yeso c/espacio de aire	0,14	0,1	0,09	0,03	0,02	0,02
Ventanas	Vidrio común 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
	Vidrio común 6mm	0,1	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02
Puertas	Puertas	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05
Mobiliario	Alfombra sobre fieltro	0,04	0,04	0,15	0,3	0,5	0,6
	Alfombra de fieltro	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,25
	Madera barnizada	0,05		0,03		0,03	
	Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
	Enchapado de plástico	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3
	Usuario	Escolar sentado	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33
	Escolar de pie	0,18	0,2	0,27	0,3	0,36	0,36
	Adulto	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42

La segunda etapa del objetivo consistió en realizar simulaciones acústicas de las salas dentro del software EASE 4.3, el cual permitió observar mediante modelos 3D el comportamiento de la acústica al interior de las salas, específicamente se simuló el porcentaje de pérdida de la inteligibilidad de la palabra y la distribución del sonido, que permitieron entender el rol de la materialidad y organización del mobiliario. Para esto fue necesario seguir los siguientes pasos

1. El programa trabaja con aproximaciones en cuanto a medidas se refiere, por lo tanto, fue necesario simplificar los modelos de las salas (levantados en el objetivo 1), específicamente las medidas del mobiliario. Los modelos de los salones fueron exportados desde SketchUp, separando cada material por capas.
2. Al ser un programa de origen europeo, los coeficientes de absorción de los materiales estaban en la fórmula Eyring, sin embargo, el software permite el cambio a Sabine. Entonces se realizó un traspaso de la lista de materiales definidos en la etapa de cálculo mediante una función que presenta el programa donde se pueden crear materiales conociendo sus coeficientes de absorción por octava de banda (Imagen 31).

**Imagen 31:** Traspaso de los índices de absorción de paneles de Yeso al programa EASE 4.3.

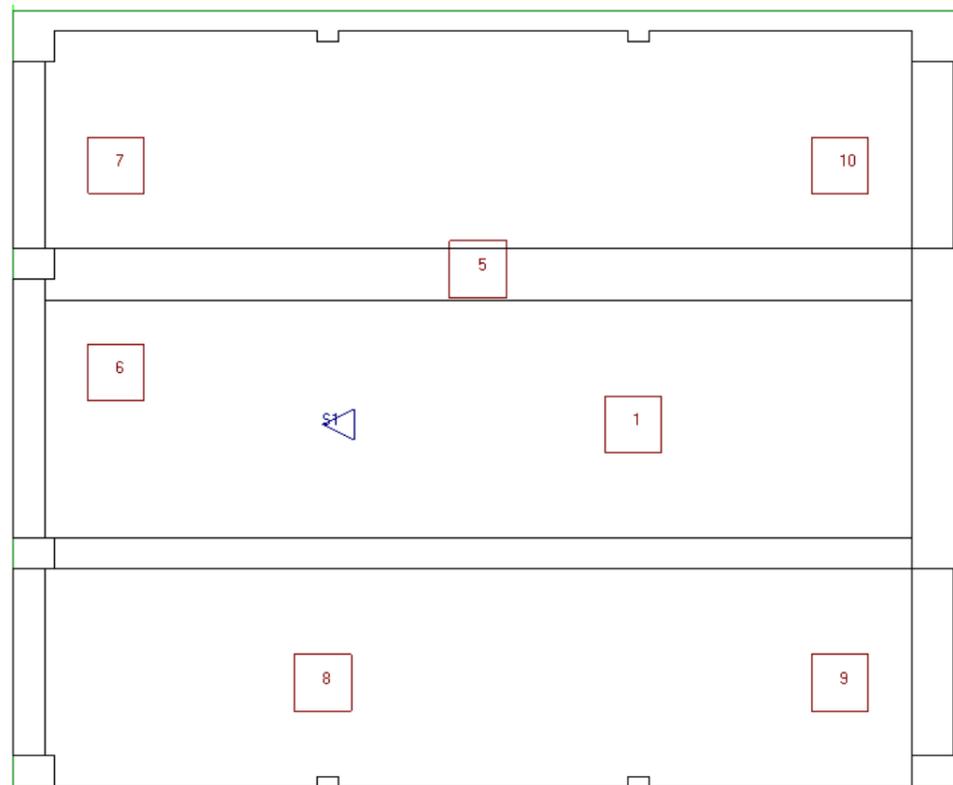


### III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

3. El paso siguiente fue asignar cada material a los muros, cielos, ventanas, etc, presentes en las salas, así como también fue necesario digitar su volumen y tiempos de reverberación obtenidos en la fase de cálculo, además de definir el ruido exterior, el cual, por motivos de analizar específicamente el método Montessori, dicho ruido se definió como 0dB.

4. Pasando al interior de la sala, fue necesario definir la posición del locutor y los receptores, por lo que se usaron los mismos casos que en la fase anterior:

- Sala vacía: se simuló un locutor que se ubica en el centro de la sala a 0.70m de altura, a una intensidad de voz de 60dB correspondiente a la voz normal. Además, se definen 2 receptores ubicados en frente del locutor y el otro a un lado de éste, ambos a una altura de 0.40m correspondiente a la altura de los oídos de los niños sentados en el piso. (Imágen 31, 33 y 34)



**Imágen 31:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 1 y 2 vacía.

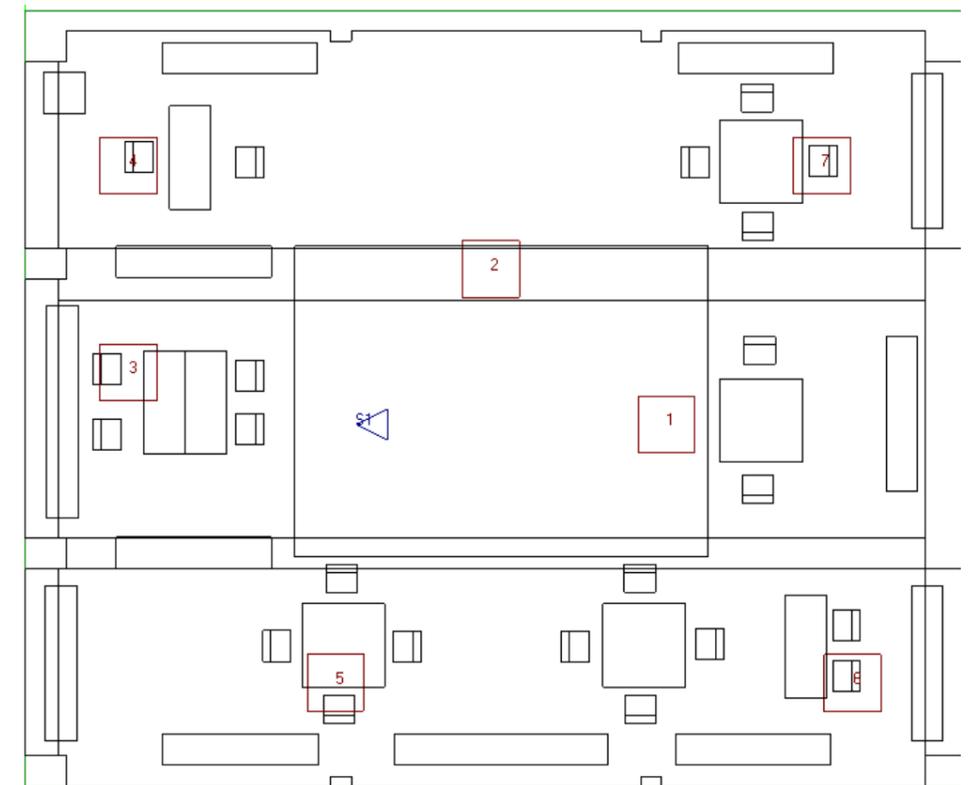
- Sala con mobiliario y personas: en este caso el locutor se posiciona dentro de la alfombra a una altura 0.70m a una intensidad de voz de 60dB correspondiente a la voz normal. Además, se definen 2 receptores ubicados en frente del locutor y el otro a un lado de éste, ambos a una altura de 0.40m correspondiente a la altura de los oídos de los niños sentados en la alfombra. (Imágen 32, 35 y 36)

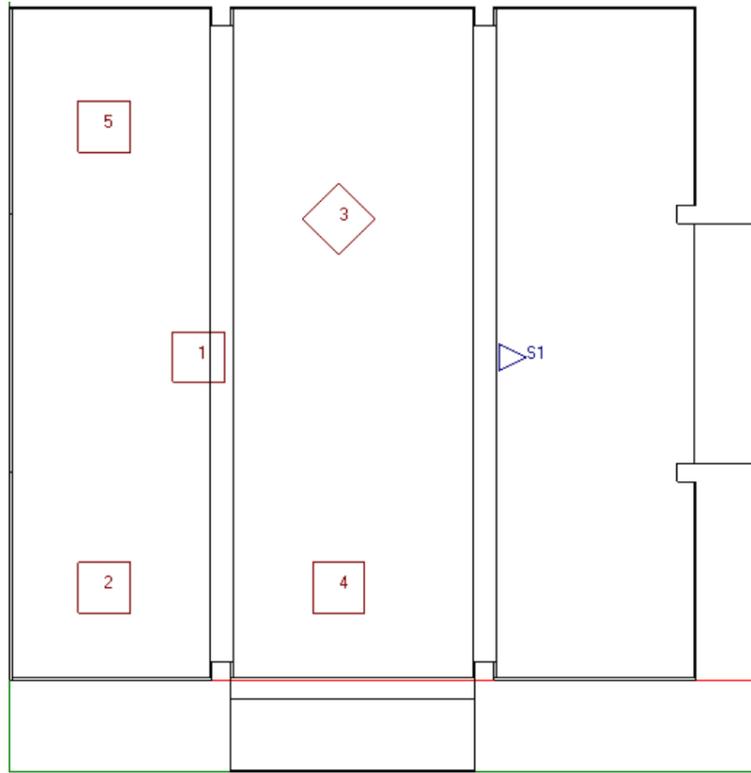
5. Posteriormente, para realizar las simulaciones se definió un total de 2000 rayos con un orden de 10 reflexiones que otorga un 60% de probabilidad de impacto al receptor, lo que se perderán un 40% del sonido por absorción o por filtraciones. El porcentaje anterior corresponde al promedio de rayos que llega a un receptor en este tipo de recintos.

6. Finalmente, se definieron los tipos de simulaciones que permiten un mejor análisis de la acústica, los cuales son:

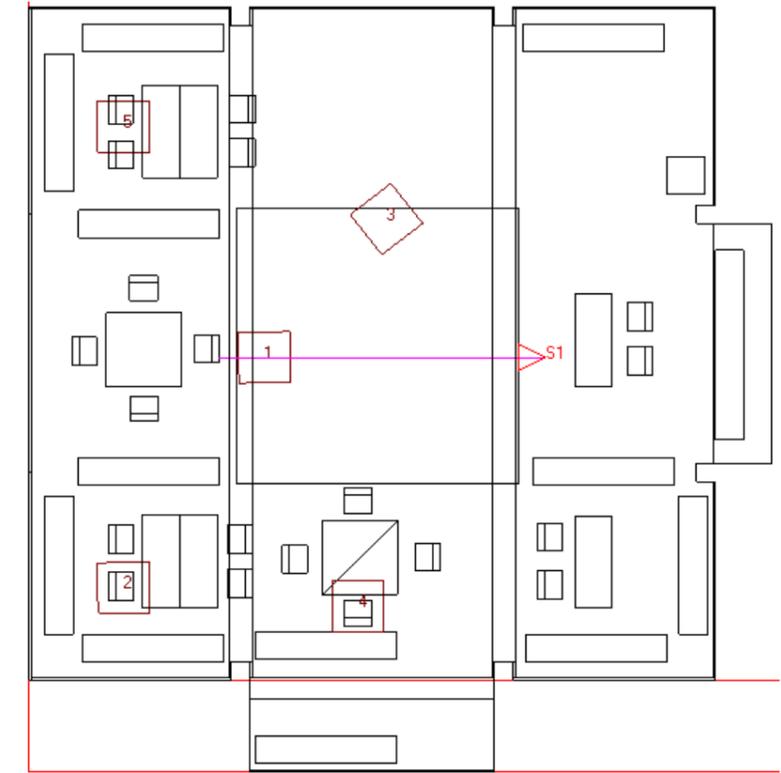
- Pérdida del grado de inteligibilidad de la palabra hablada.
- Distribución de un sonido de 60dB a los 250Hz en 0.1s

**Imágen 32:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 1 y 2 con mobiliario.

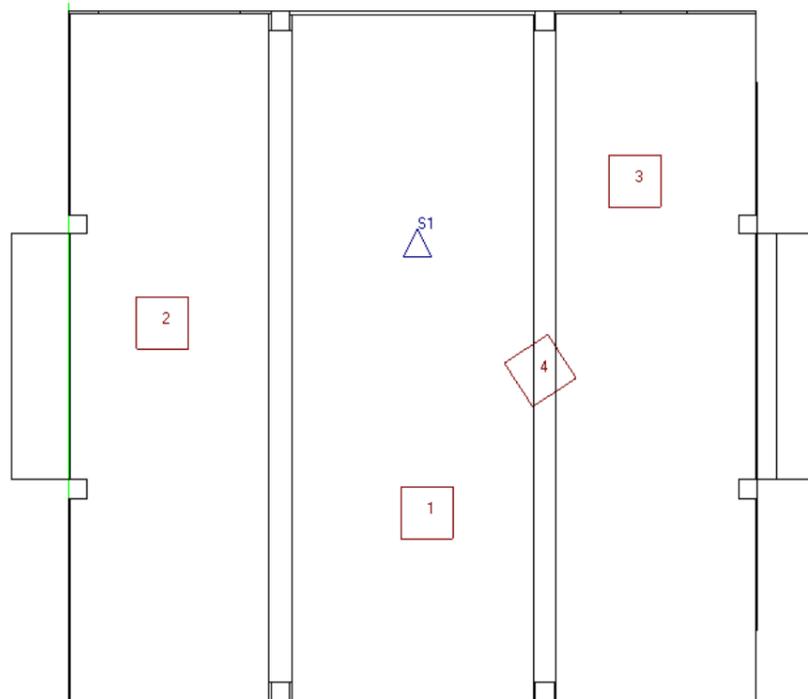




**Imágen 33:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 3 y 4 vacía.



**Imágen 35:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 3 y 4 con mobiliario.



**Imágen 34:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 5 y 6 vacía.



**Imágen 36:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 5 y 6 con mobiliario.

## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### III.II.I. TIEMPO DE REVERBERACIÓN SALAS VACÍAS

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a los tiempos de reverberación de las 3 salas estando vacías, con el objetivo de entender la situación acústica de los contenedores, es decir, sus dimensiones y materialidades.

Para esto se utilizaron los siguientes parámetros a la ecuación:

Sala	taller 1 y 2	taller 3 y 4	taller 5 y 6
Volumen(m <sup>3</sup> )	197,1	161,15	159,87

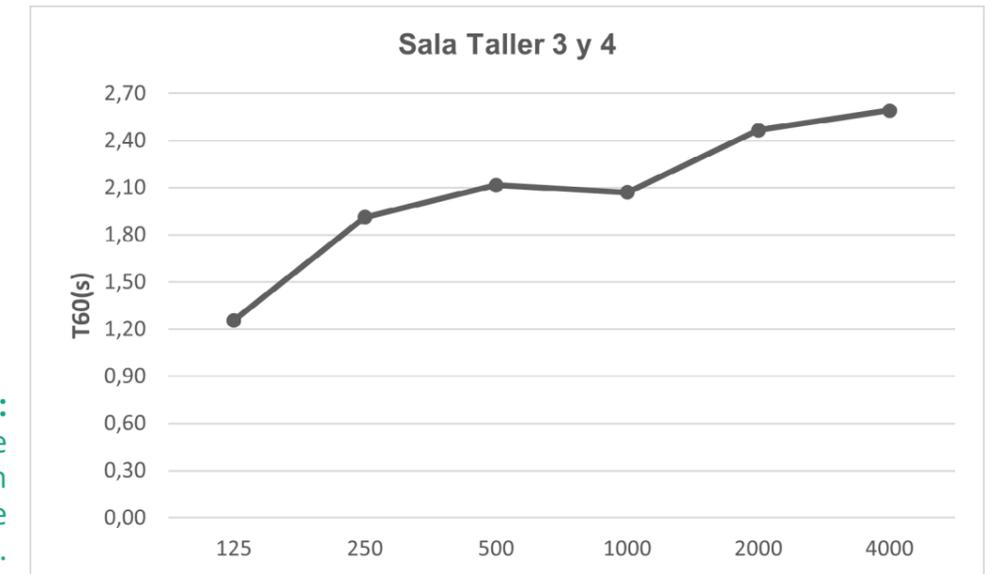
Objeto	MATERIAL	125	250	500	1000	2000	4000
Muros	Hormigón pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
	Ladrillo pintado	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Pisos	Cerámica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Cielos	panel de yeso c/ fibra de vidrio	0,17	0,1	0,09	0,09	0,07	0,06
	panel de yeso c/espacio de aire	0,14	0,1	0,09	0,03	0,02	0,02
Ventanas	Vidrio común 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
	Vidrio común 6mm	0,1	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02
Puertas	Puertas	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05

**Tablas 5 y 6:** tablas de volúmenes de salas y tabla de materiales añadidos al cálculo, respectivamente.



**Gráfico 1:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 1 y 2 vacía.

	Octavo		de	Banda		(Hz)	
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 prom
Tiempo de reverberación (s)	0,48	0,58	0,57	0,57	0,61	0,60	0,57



**Gráfico 2:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 3 y 4 vacía.

	Octavo		de	Banda		(Hz)	
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 prom
Tiempo de reverberación (s)	0,49	0,61	0,65	0,67	0,67	0,66	0,62



**Gráfico 3:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 5 y 6 vacía.

	Octavo		de	Banda		(Hz)	
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 mid
Tiempo de reverberación (s)	1,04	1,55	1,85	1,75	1,99	2,14	1,72

## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### OBSERVACIONES

A continuación, se analizaron los gráficos de tiempos de reverberación de las 3 salas estando vacías, con el objetivo de entender la situación acústica de los contenedores, es decir, sus dimensiones y materialidades.

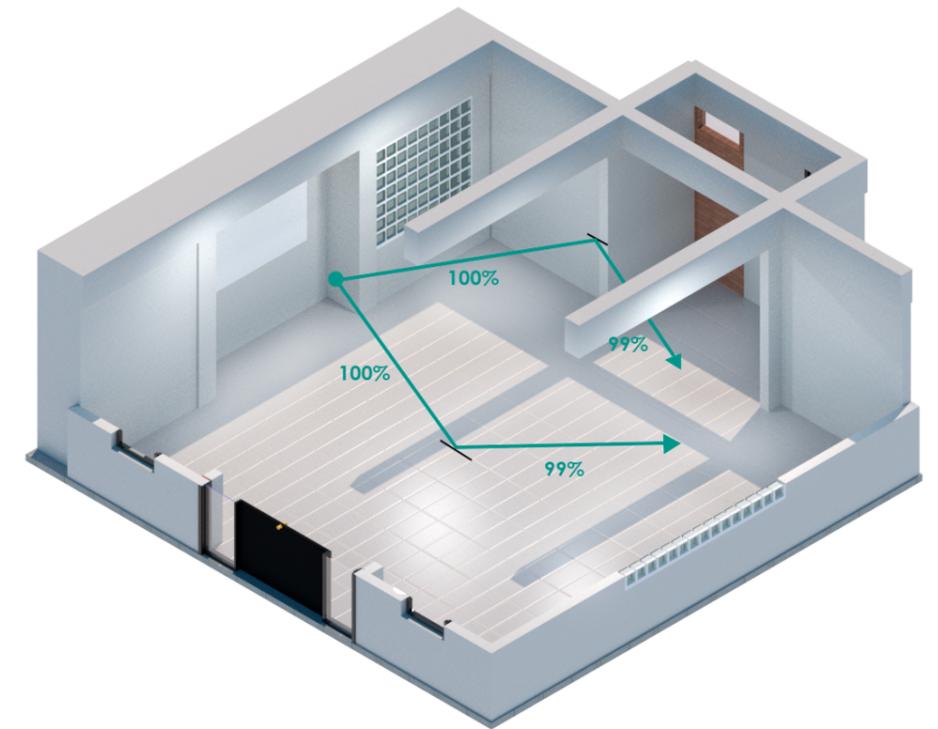
En los gráficos se aprecia un menor tiempo de reverberación en frecuencias bajas correspondientes a las de la voz, y se observa un aumento en las bandas altas, lo que se debe a los materiales con un coeficiente de absorción bajo, como lo son el hormigón y la cerámica.

En específico se observa cómo, en la sala de taller 5 y la sala de taller 3, a pesar de tener un volumen similar, los resultados difieren en sus tiempos de reverberación, presentando la sala de taller 3 los mayores tiempos. Lo anterior sucede por las diferencias en las materialidades de los muros, donde el ladrillo y las ventanas cumplen un rol importante al momento de absorber el sonido a bajas frecuencias, materiales que se presentan en menor porcentaje en la sala de taller 3. (Imágen 37 y 38)

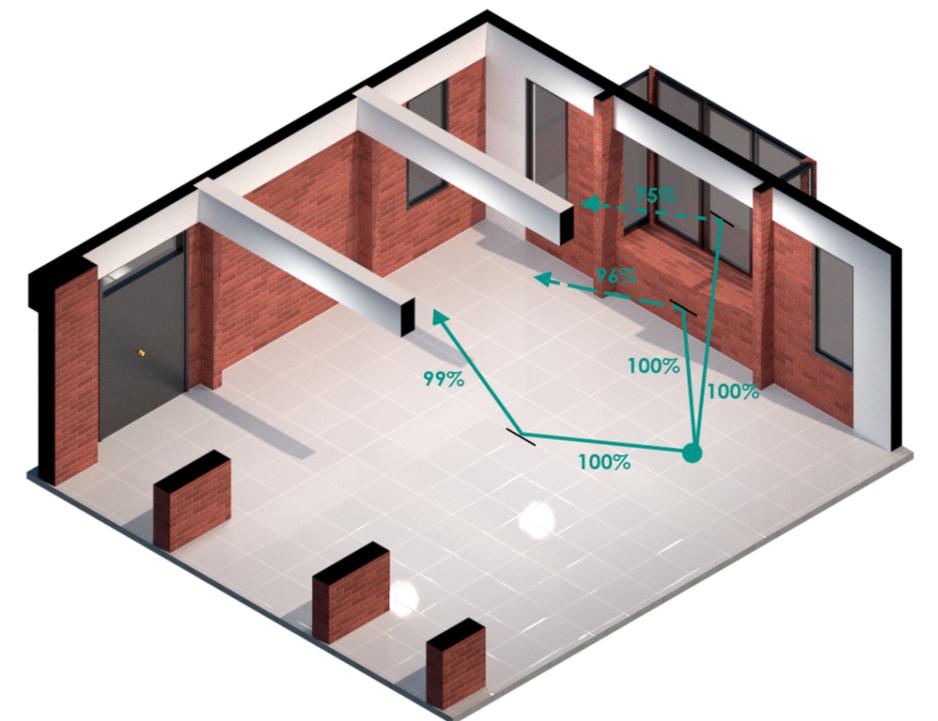
Para la sala de taller 1, los tiempos de reverberación se sitaron entre los valores de las salas de taller 5 y la sala de taller 3, siendo la diferencia de esta sala, las dimensiones que presenta, teniendo un mayor volumen que las anteriores, sin embargo, sus valores de tiempo de reverberación se situaron bajo la sala de taller 3, debido a un mayor porcentaje de materiales como el ladrillo y los vidrios de las ventanas.

De lo anterior se puede afirmar que, para este tipo de salas, de dimensiones inferiores a 200m<sup>3</sup>, los factores como el volumen y morfología no son componentes que afecten de manera considerable al tiempo de reverberación. Sin embargo, la materialidad del contenedor en este caso, fue un elemento que influyó notablemente en los tiempos obtenidos para cada sala.

Ahora bien, los tiempos de reverberación en cada una de las salas presentó un tiempo mayor a los 0.6s recomendados para salas de clases, lo que significa que, para la voz humana, se presentarán ecos que perjudicarán la inteligibilidad de la palabra.



**Imágen 37:** Absorción de los materiales de la sala de taller 3 y 4 vacía, en %.



**Imágen 38:** Absorción de los materiales de la sala de taller 5 y 6 vacía, en %.

## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### III.II.I. TIEMPO DE REVERBERACIÓN SALAS CON MOBILIARIO

Los siguientes gráficos corresponden a los tiempos de reverberación calculados para las 3 salas con el mobiliario correspondiente, de los cuales se analizará su impacto en la acústica interior de las salas.

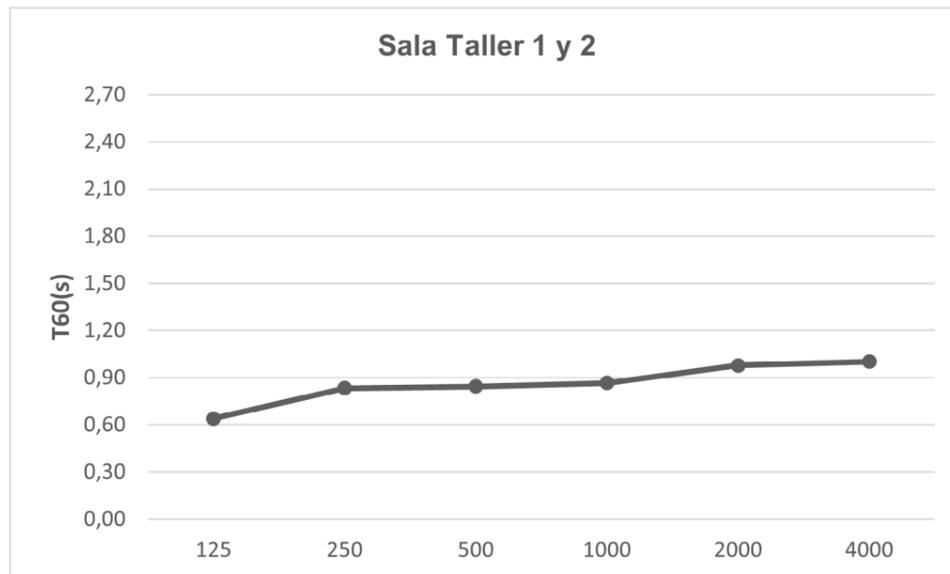
Para esto se usaron las siguientes dimensiones para las salas:

Sala	taller 1 y 2	taller 3 y 4	taller 5 y 6
Volumen(m <sup>3</sup> )	197,1	161,15	159,87

**Tablas 7 y 8:** tablas de volúmenes de salas y tabla de materiales añadidos al cálculo, respectivamente.

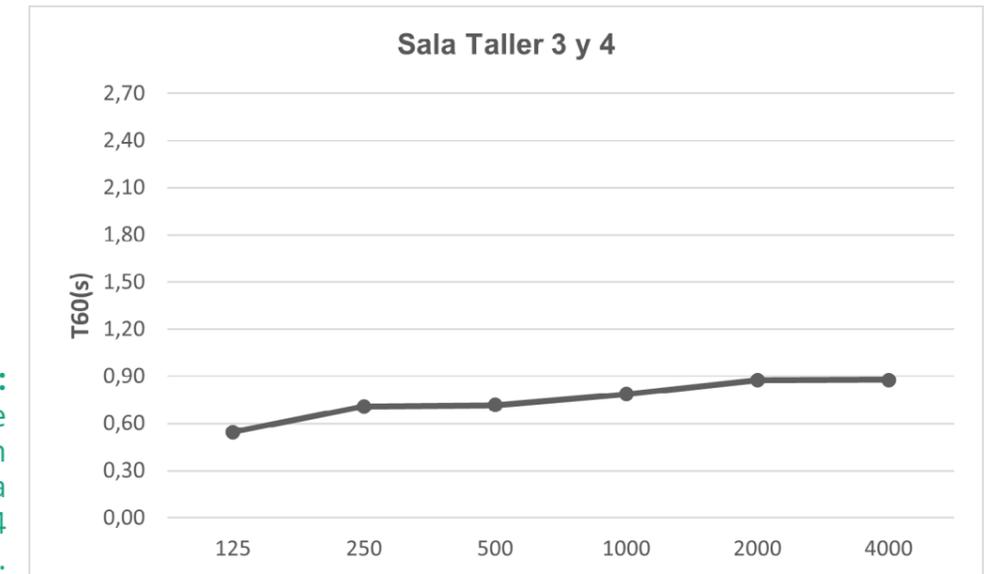
En cuanto a materiales, se añadieron los siguientes a la ecuación:

Mobiliario	Alfombra sobre fieltro	Alfombra de fieltro	Madera barnizada	Madera contrachapada	Enchapado de plástico
	0,04	0,11	0,05	0,28	0,2
	0,04	0,14	0,03	0,22	0,2
	0,15	0,37	0,03	0,17	0,25
	0,3	0,43	0,1	0,09	0,3
	0,5	0,27	0,03	0,1	0,3
	0,6	0,25	0,11	0,11	0,3



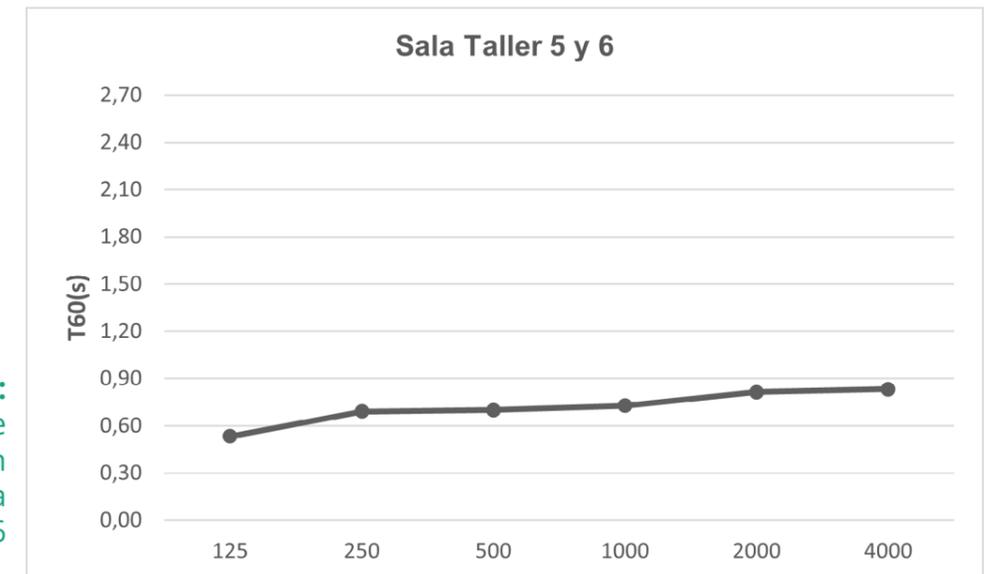
**Gráfico 4:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 1 y 2 con mobiliario.

	Octavo de Banda (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 mid
Tiempo de reverberación (s)	0,68	0,89	0,90	0,92	1,04	1,07	0,92



**Gráfico 5:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 3 y 4 con mobiliario.

	Octavo de Banda (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 mid
Tiempo de reverberación (s)	0,59	0,77	0,78	0,86	0,95	0,95	0,82



**Gráfico 6:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 5 y 6 con mobiliario.

	Octavo de Banda (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 mid
Tiempo de reverberación (s)	0,58	0,75	0,76	0,79	0,89	0,91	0,78

## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### OBSERVACIONES

Los gráficos anteriores corresponden a los tiempos de reverberación calculados para las 3 salas con el mobiliario incorporado, de los cuales se analizó su impacto en la acústica interior de las salas.

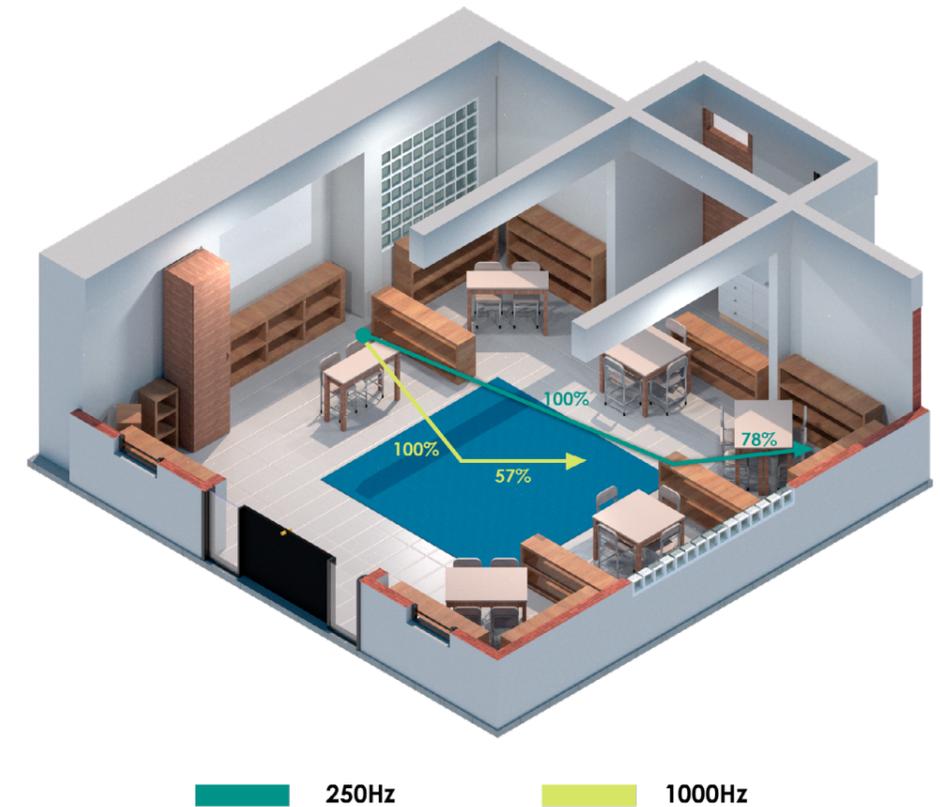
Fue posible observar una mejora en los tiempos de reverberación en comparación con los resultados para las salas vacías, lo que se debe a la implementación de materiales porosos como las repisas de madera las cuales son buenas en absorber frecuencias bajas, además existe una mejora considerable en los tiempos de reverberación de altas frecuencias gracias a materiales de poros más grandes como por ejemplo las alfombras de fieltro y la madera usada en las mesas. (Imágen 39 y 40)

De los 3 casos observados, la sala que obtuvo una mayor reducción de los tiempos de reverberación fue la sala de taller 3, la cual bajo 1.41s, a los 250Hz, respecto a su estado vacío. Esto se produjo debido a que es la sala con la mayor cantidad de mobiliario, es decir mayor superficie absorbente, en comparación con las otras dos salas.

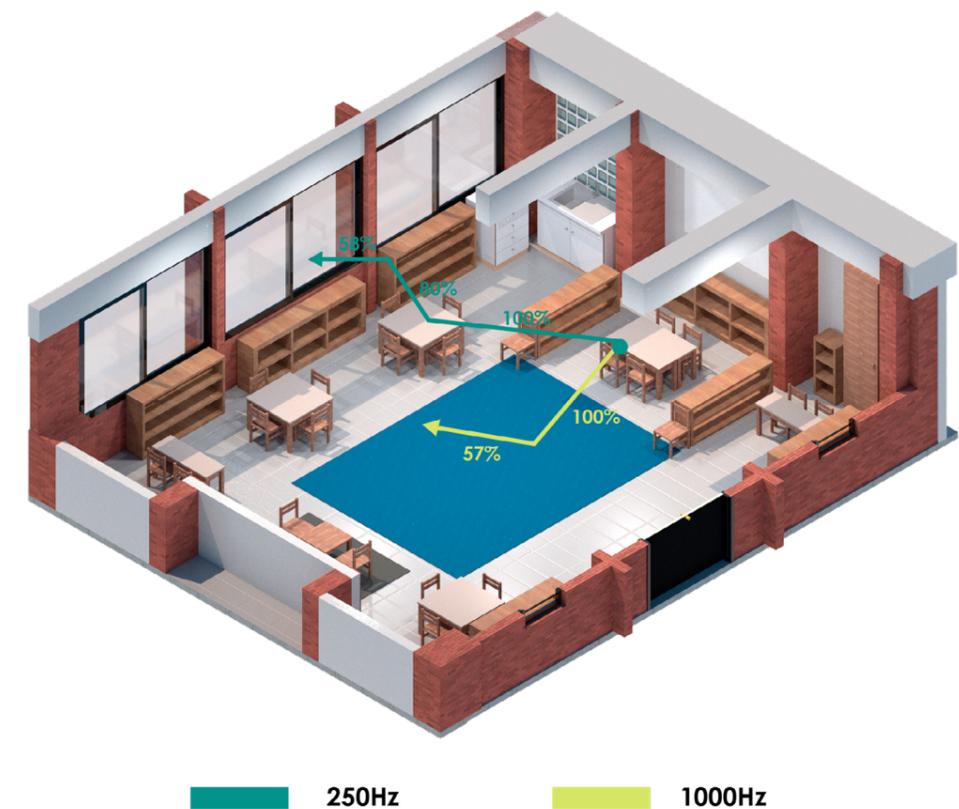
Sin embargo, la sala de taller 5 es la que presenta menores tiempos de reverberación en cada octava de banda. Al otro extremo, la sala de taller 1 es la que mostró los mayores tiempos de reverberación, siendo esta la que presenta la menor cantidad de mobiliario debido a la metodología y los requerimientos que requiere taller 1 y 2.

Con estas observaciones, es posible afirmar la importancia que tiene el mobiliario Montessori al momento de reducir los tiempos de reverberación, donde los materiales usados son buenos absorbentes tanto en bajas frecuencias como en altas frecuencias, ejemplo de esto son las alfombras que absorben frecuencias altas o la madera que absorbe frecuencias bajas.

Finalmente, los tiempos de reverberación entre los 125Hz y los 250Hz oscilan en los 0.6s, superando este límite las salas de taller 3 y taller 1, donde aún se producirían ecos para sonidos superiores a 60 dB.



**Imágen 39:** Absorción de los materiales de la sala de taller 3 y 4 con mobiliario, en %.



**Imágen 40:** Absorción de los materiales de la sala de taller 1 y 2 con mobiliario, en %.

## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### III.II.I. TIEMPO DE REVERBERACIÓN SALAS CON PERSONAS

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a los tiempos de reverberación de las 3 salas con mobiliario y personas, para entender el tiempo de reverberación de las salas estando en uso.

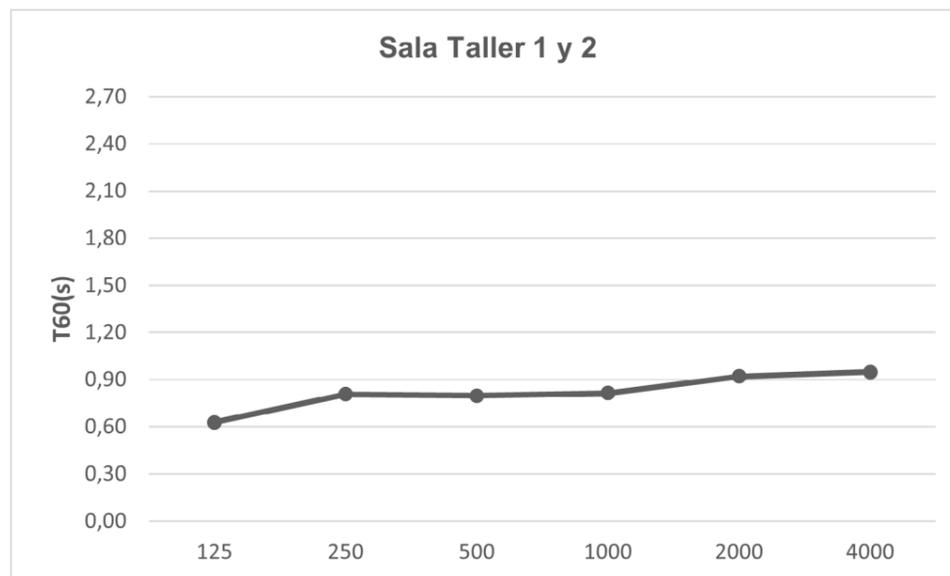
Para esto se usaron las siguientes dimensiones para las salas:

Sala	taller 1 y 2	taller 3 y 4	taller 5 y 6
Volumen(m <sup>3</sup> )	197,1	161,15	159,87

**Tablas 9 y 10:** tablas de volúmenes de salas y tabla de materiales añadidos al cálculo, respectivamente.

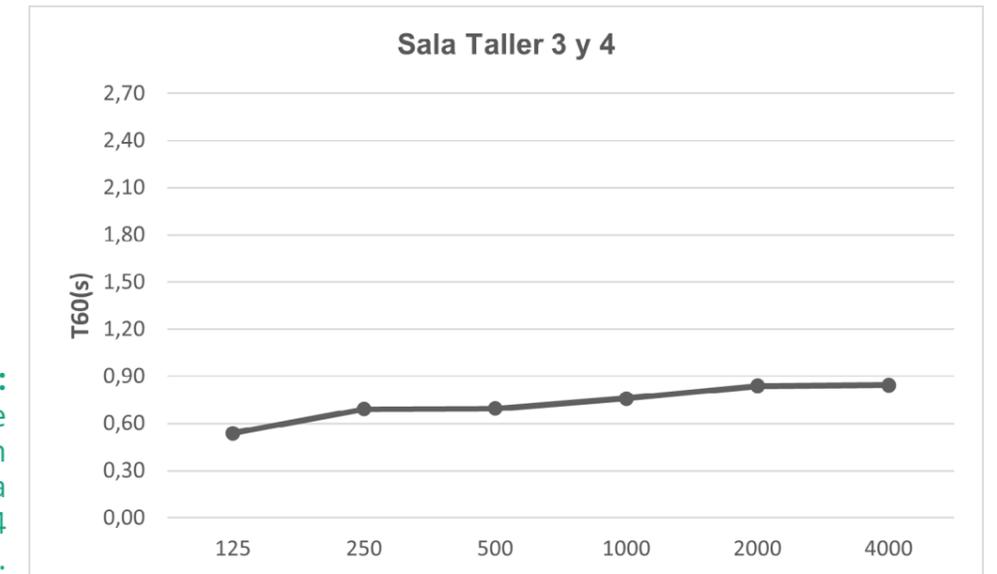
En cuanto a materiales, se añadieron los siguientes a la ecuación:

Escolar sentado	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37
Escolar de pie	0,18	0,2	0,27	0,3	0,36	0,36
Adulto	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42



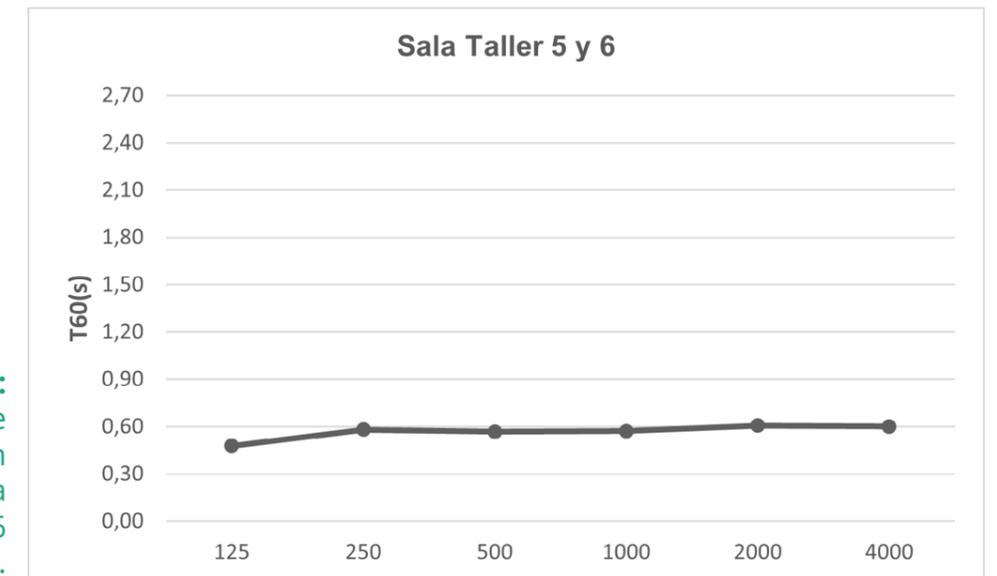
**Gráfico 7:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 1 y 2 con personas.

	Octavo	de	Banda	(Hz)			
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,63	0,81	0,80	0,81	0,92	0,95	
							T60 prom
							0,82



**Gráfico 8:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 3 y 4 con personas.

	Octavo	de	Banda	(Hz)			
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,54	0,69	0,70	0,76	0,84	0,84	
							T60 prom
							0,73



**Gráfico 9:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 5 y 6 con personas.

	Octavo	de	Banda	(Hz)			
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,48	0,58	0,57	0,57	0,61	0,60	
							T60 prom
							0,57

### III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

#### OBSERVACIONES

En los anteriores gráficos se presentaron los tiempos de reverberación de cada una de las salas con mobiliario y alumnos dentro de estas, de los cuales se realizaron las siguientes observaciones:

En los 3 casos se produjo una leve reducción de sus respectivos tiempos de reverberación, respecto a los resultados obtenidos en las salas con mobiliario. Dicha reducción fue más notable en las altas frecuencias entre los 1000Hz a los 4000Hz, lo que se debe al tipo de materialidad que presenta la ropa de los alumnos, que al igual que las alfombras de fieltro presentes en las salas, son buenas absorbiendo sonido a altas frecuencias. (Imágen 42)

En la sala de taller 5 y 6 se observaron unos tiempos de reverberación inferiores a 0.6s lo que indica que, para salas destinadas a la palabra, el eco no será un problema a ninguna frecuencia. (Imágen 41)

Sin embargo, la sala de taller 3 y la sala de taller 1 se mantienen sobre los 0.6s, superando esta última los 0.8s en altas frecuencias, mientras que los tiempos dentro del espectro de voz humana se encuentra en un rango de 0.6s a 0.9s, por lo que es probable que se escuchen ecos dentro de la sala. (Imágen 42)

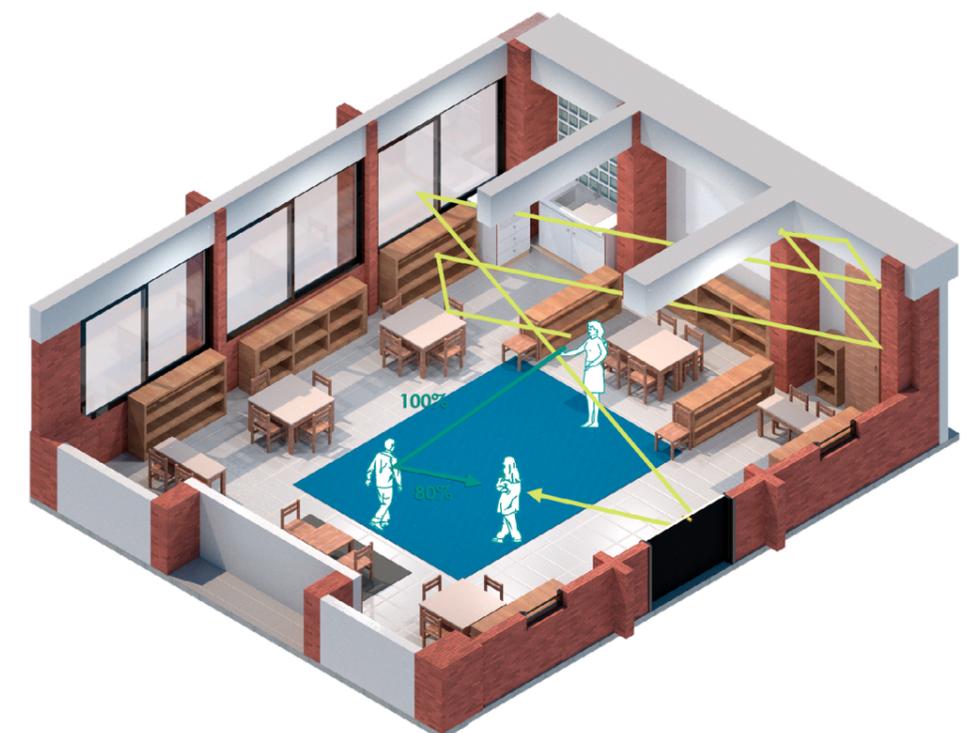
En la sala de taller 3 y 4 los tiempos de reverberación para la voz humana se encuentran en el límite de los 0.6s lo que cumple lo planteado por las normativas para este tipo de salas, sin embargo, para frecuencias altas será posible escuchar ecos.

En resumen, las 3 salas redujeron sus tiempos de reverberación al momento de ser acondicionadas con el mobiliario y los usuarios correspondientes a la metodología Montessori, al punto de cumplir en ciertos casos con los tiempos de reverberación máximos para salas de clases. Sin embargo, aún es posible encontrar ecos en algunas frecuencias en la etapa de cálculo, por este motivo, se realizaron las simulaciones en el software para observar si efectivamente la sala posee ecos que perjudiquen la inteligibilidad de la palabra.



**Imágen 41:** Absorción de los materiales de la sala de taller 5 y 6 con mobiliario, en %.

0.12s      0.58s



**Imágen 42:** Absorción de los materiales de la sala de taller 1 y 2 con mobiliario, en %.

0.14s      0.81s

### III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

#### III.II.II. PÉRDIDA DE INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA EN SALAS VACÍAS

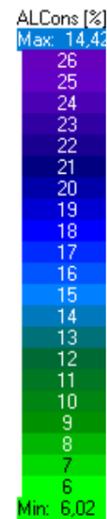
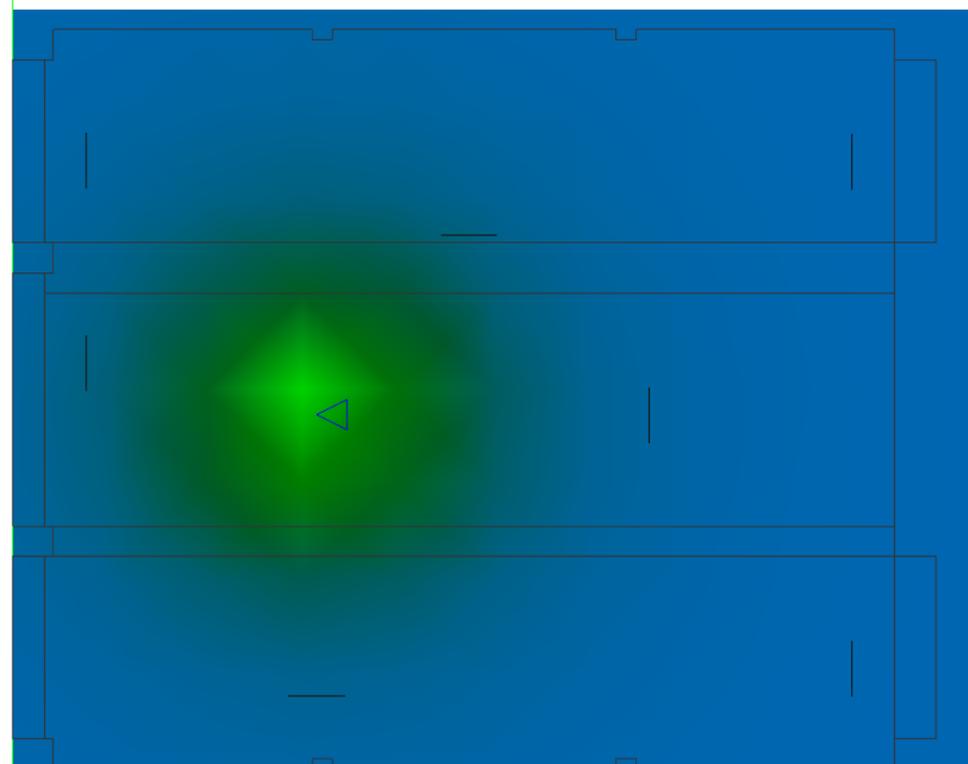
En las siguientes imágenes se muestran los resultados de las simulaciones para la inteligibilidad de la palabra estando la sala vacía, donde fue posible determinar el porcentaje de pérdida dadas las dimensiones:

Sala	taller 1 y 2	taller 3 y 4	taller 5 y 6
Volumen(m3)	197,1	161,15	159,87

Y los siguientes valores para los tiempos de reverberación:

Salas	Taller 1 y 2	Taller 3 y 4	Taller 5 y 6
Tr promedio (s)	1,95	2,07	1,72

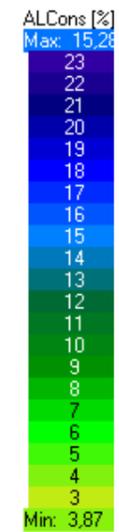
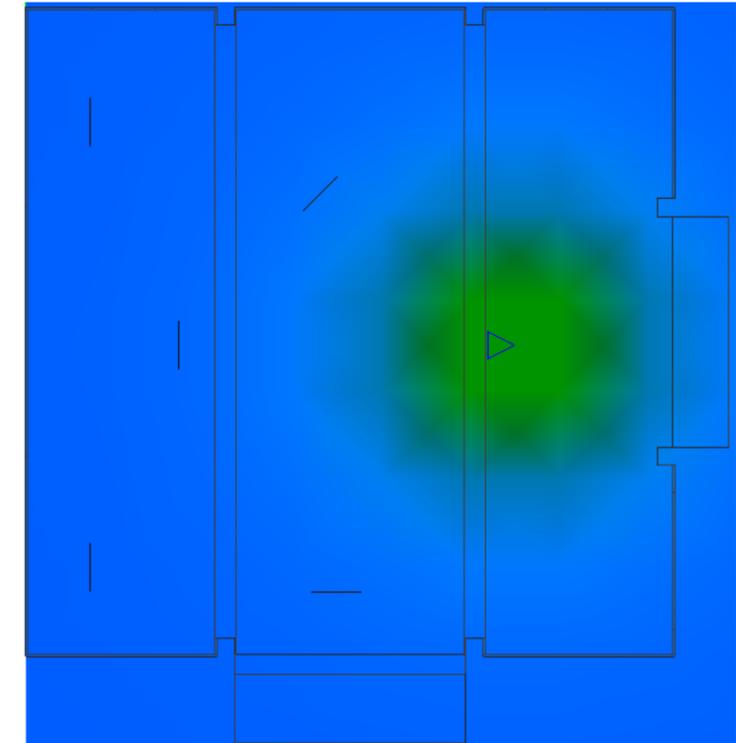
**Tablas 11 y 12:** Tablas de volúmenes de salas y tabla de tiempos de reverberación utilizados en la simulación, respectivamente.



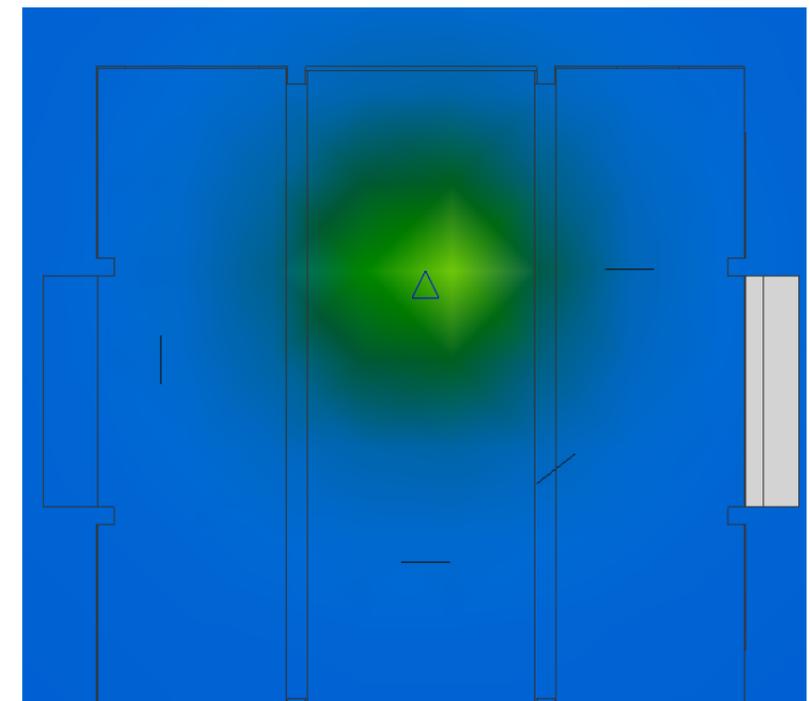
**Gráfico 10:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 1 y 2 vacía.



**Gráfico 11:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 3 y 4 vacía.



**Gráfico 12:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 5 y 6 vacía.



### III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

#### III.II.II. PÉRDIDA DE INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA EN SALAS CON MOBILIARIO

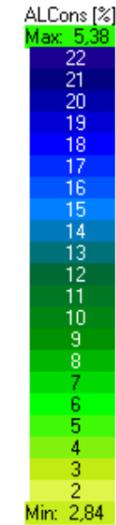
En las siguientes imágenes se muestran los resultados de las simulaciones para la inteligibilidad de la palabra para las salas con mobiliario, donde fue posible determinar el porcentaje de pérdida dadas las dimensiones :

Sala	taller 1 y 2	taller 3 y 4	taller 5 y 6
Volumen(m <sup>3</sup> )	197,1	161,15	159,87

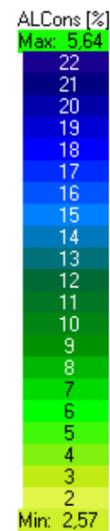
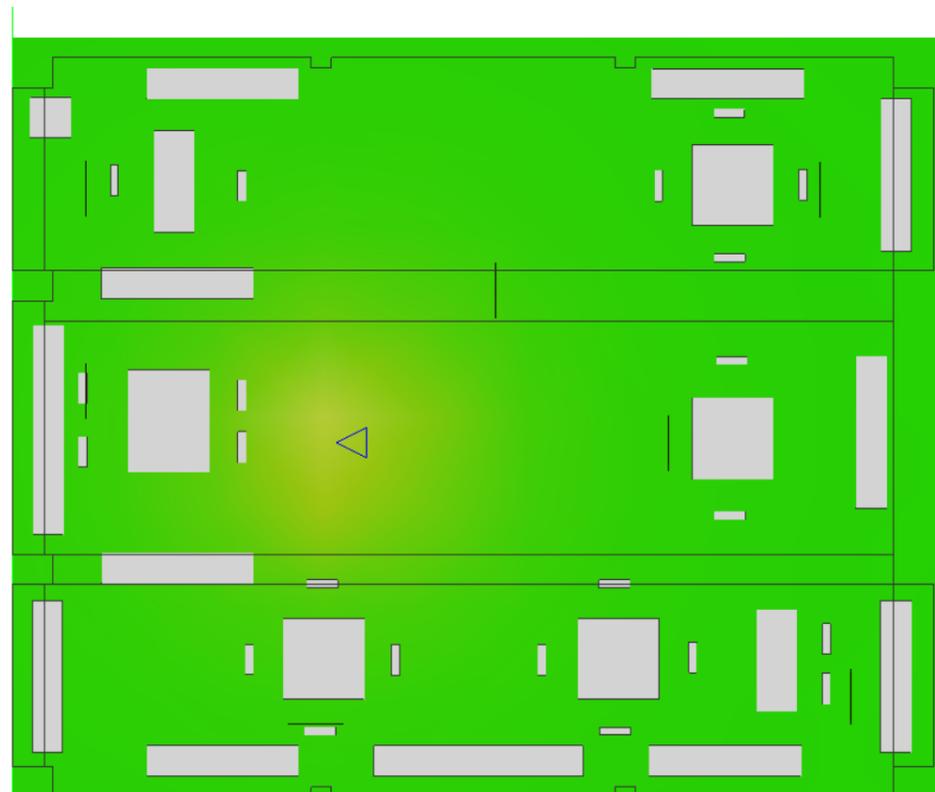
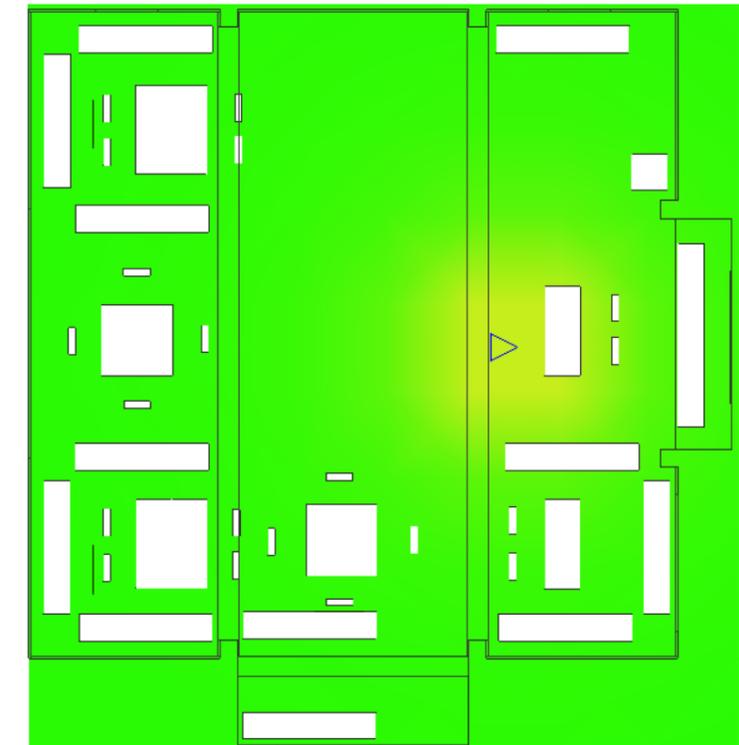
Y los siguientes valores para los tiempos de reverberación:

Salas	Taller 1 y 2	Taller 3 y 4	Taller 5 y 6
Tr promedio (s)	0,82	0,73	0,57

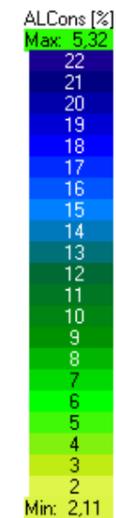
**Tablas 13 y 14:** Tablas de volúmenes de salas y tabla de tiempos de reverberación utilizados en la simulación, respectivamente.



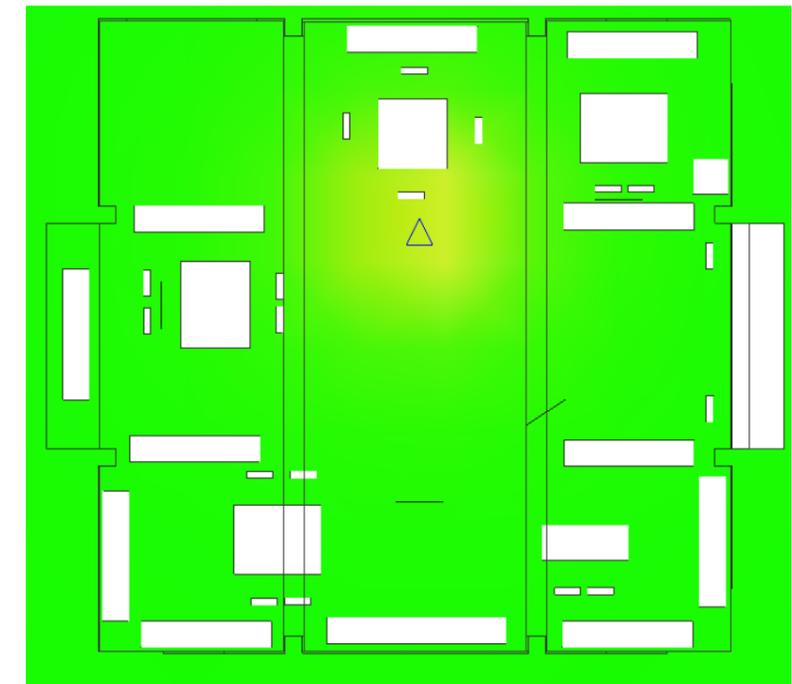
**Gráfico 14:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 3 y 4 con mobiliario.



**Gráfico 13:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 1 y 2 con mobiliario.



**Gráfico 15:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 5 y 6 con mobiliario.



### III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

#### OBSERVACIONES

Las imágenes anteriores mostraron los resultados de las simulaciones para el porcentaje de pérdida de la inteligibilidad de la palabra, tanto en las salas vacías como en las salas con mobiliario Montessori, de las cuales se realizaron las siguientes observaciones:

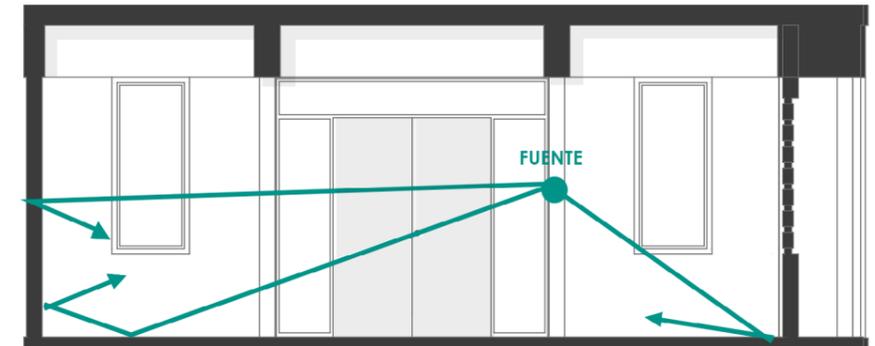
En los casos donde las salas estaban vacías fue posible observar un alto índice de pérdida de la inteligibilidad, alcanzado la categoría de "Pobre". Lo que se debe a que la inteligibilidad de la palabra está, en palabras de Silva. F (2008) "el grado de inteligibilidad de la palabra está estrechamente relacionado con la correcta percepción de las altas frecuencias" (p.29), y como se vio en el análisis de los tiempos de reverberación, las frecuencias altas son las que presentaban una mayor permanencia en el tiempo. (Gráfico 16)

Lo anterior se debe a que al no presentar materiales absorbentes a altas frecuencias el sonido persistirá por mayor tiempo, además se suma el factor de la distancia vacía entre muros, lo que provoca que el sonido no pueda ser disipado, presentándose como único elemento absorbente el aire que tiene un 0.004 de absorción a 4000Hz. (Imagen 43)

Luego, al momento de acondicionar las salas con el mobiliario Montessori estas pasaron de tener 15% de pérdida a un aproximado de 5% en cada una de las salas, donde mientras más cerca del locutor mejor es la inelegibilidad, entrando en el rango de "Aceptable". Lo que es producto de mejorar principalmente la absorción de las frecuencias altas evitando que se produzcan ecos en estas.

Sumado a lo anterior, con la implementación del mobiliario al interior, se reduce la distancia entre muros, lo que provoca que existan más reflexiones en materiales absorbentes como lo son la madera y el fieltro, lo que ayuda a reducir la intensidad del sonido y disminuir los tiempos de reverberación en todas las octavas de banda. (Imagen 44)

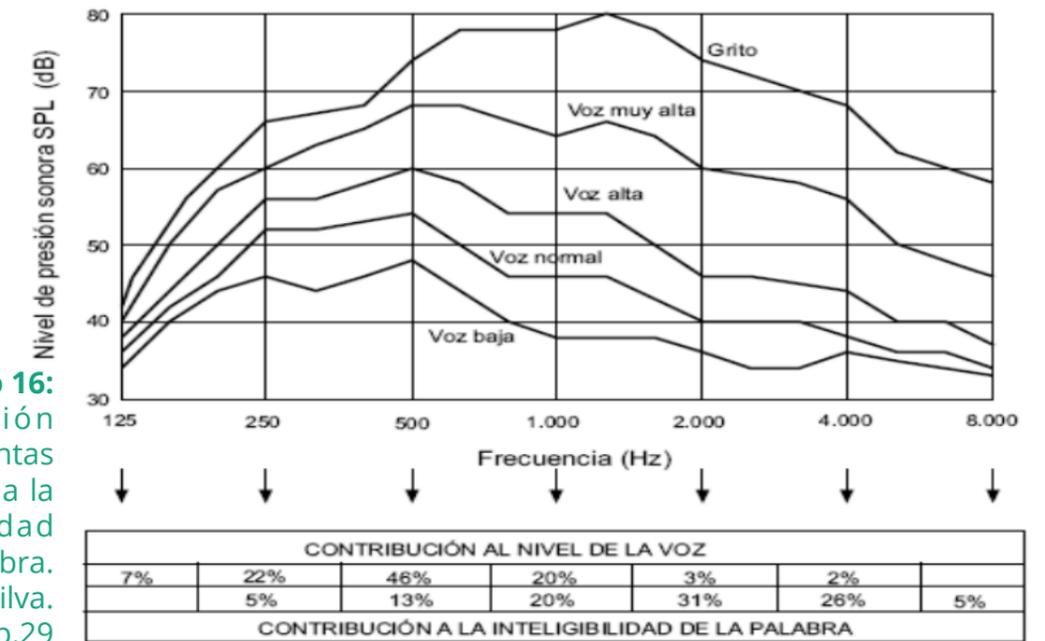
Por lo tanto, es posible que la organización espacial del mobiliario esté jugando un rol fundamental al momento de acondicionar la acústica de estas salas de clases. Por consiguiente, se realizaron simulaciones acústicas en torno a la distribución del sonido para observar el rol que cumple la organización del mobiliario Montessori al momento de emitirse un sonido.



**Imagen 43:** Distancia entre reflexiones en sala taller 3 y 4 vacía.



**Imagen 44:** Distancia entre reflexiones en sala taller 3 y 4 con mobiliario.

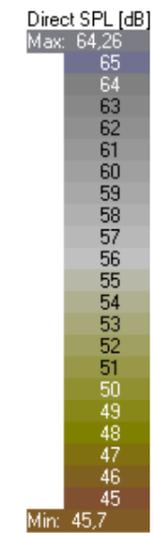
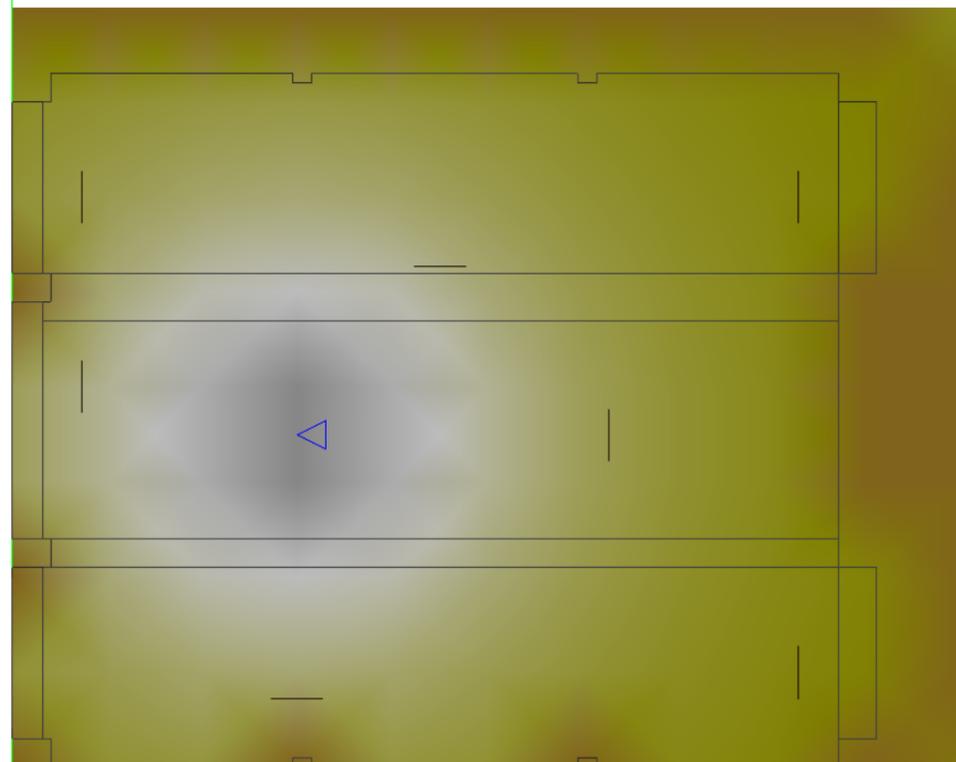


**Gráfico 16:** Contribución de las distintas frecuencias a la inteligibilidad de la palabra. Fuente: Silva. F(2008) p.29

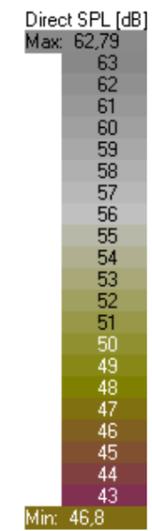
## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### III.II.III. DISTRIBUCIÓN DEL SONIDO EN SALAS VACÍAS

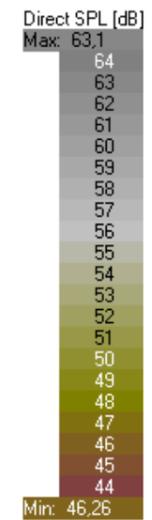
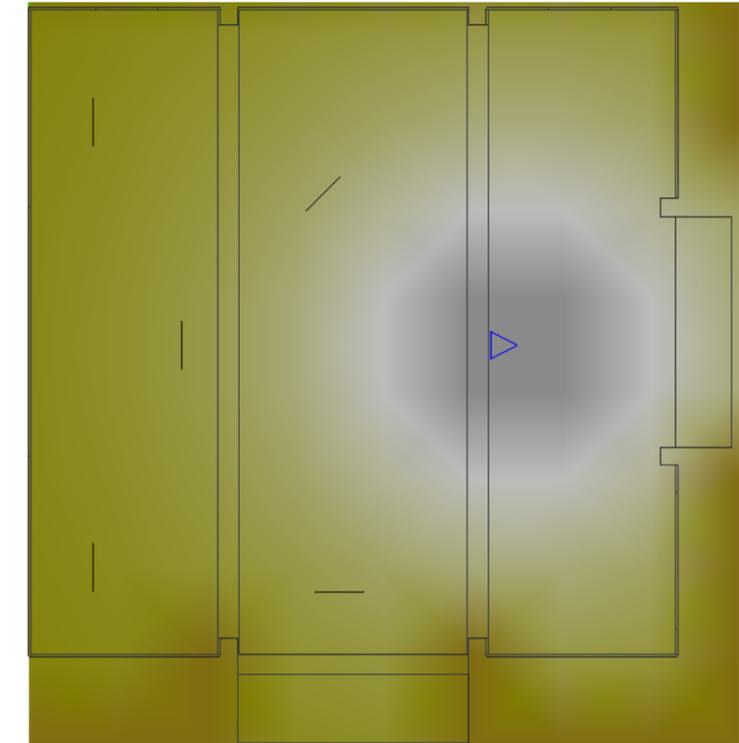
En los siguientes gráficos se muestran las simulaciones de la intensidad de voz (60dB) en el interior de las salas vacías a los 250Hz. Lo que muestran los gráficos es la distribución de la voz en el interior, con el objetivo de analizar el comportamiento de ésta.



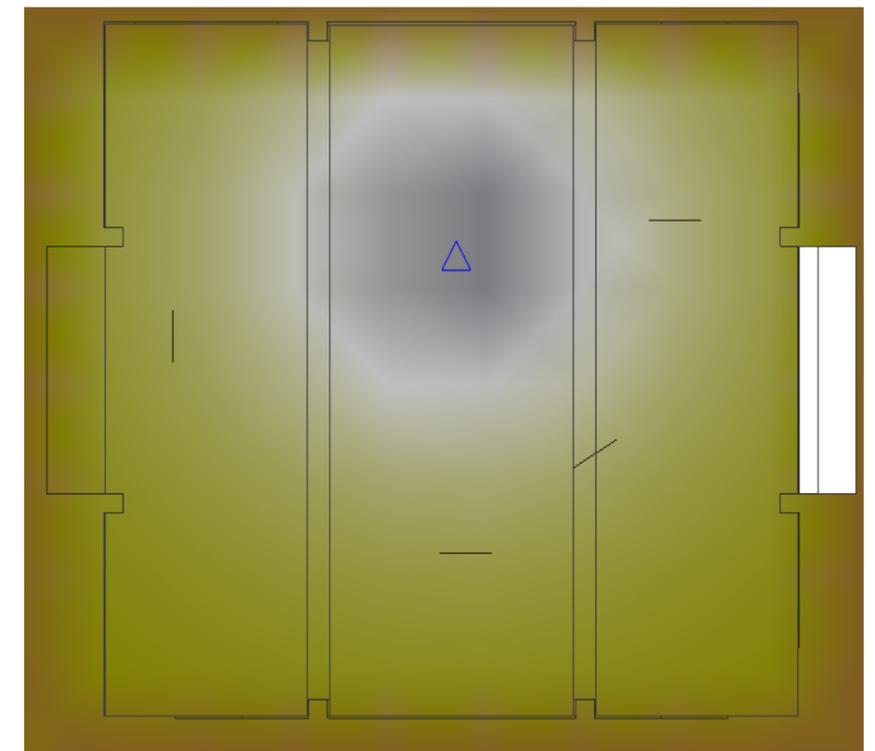
**Gráfico 17:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 1 y 2.



**Gráfico 18:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 3 y 4.



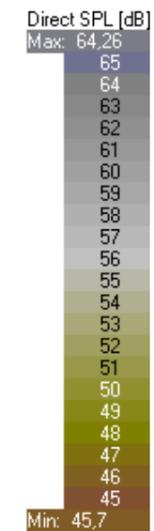
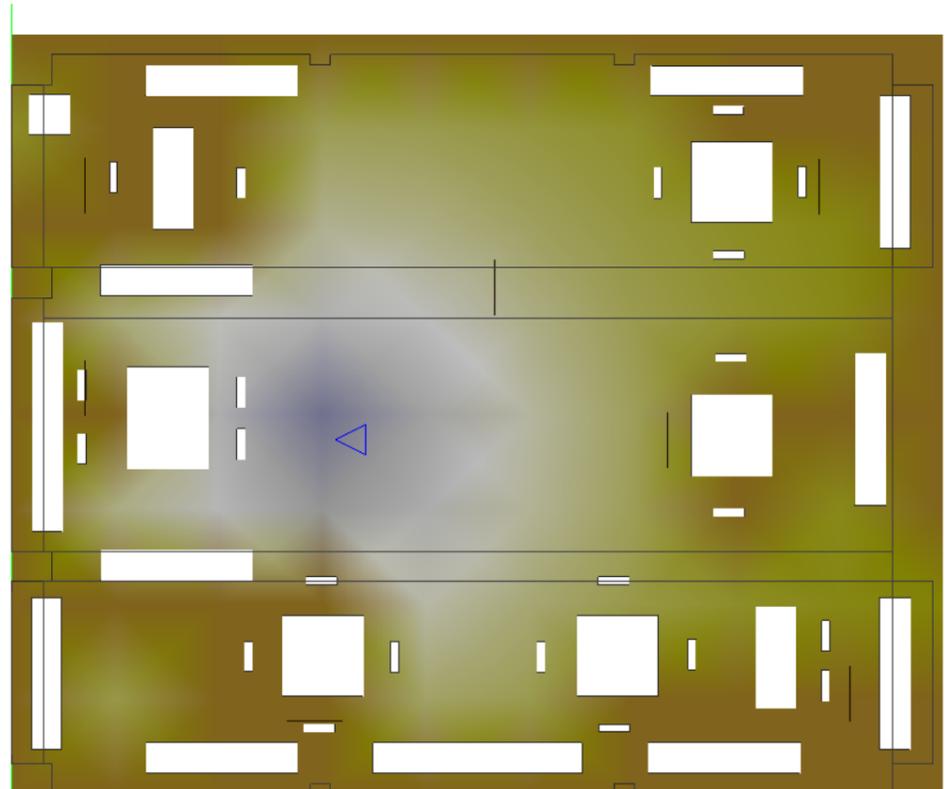
**Gráfico 19:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 5 y 6.



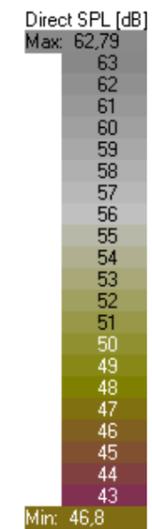
## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### III.II.III. DISTRIBUCIÓN DEL SONIDO EN SALAS VACÍAS

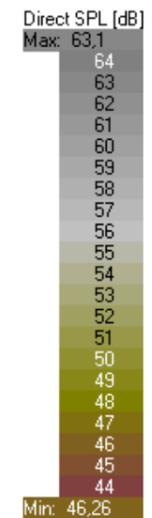
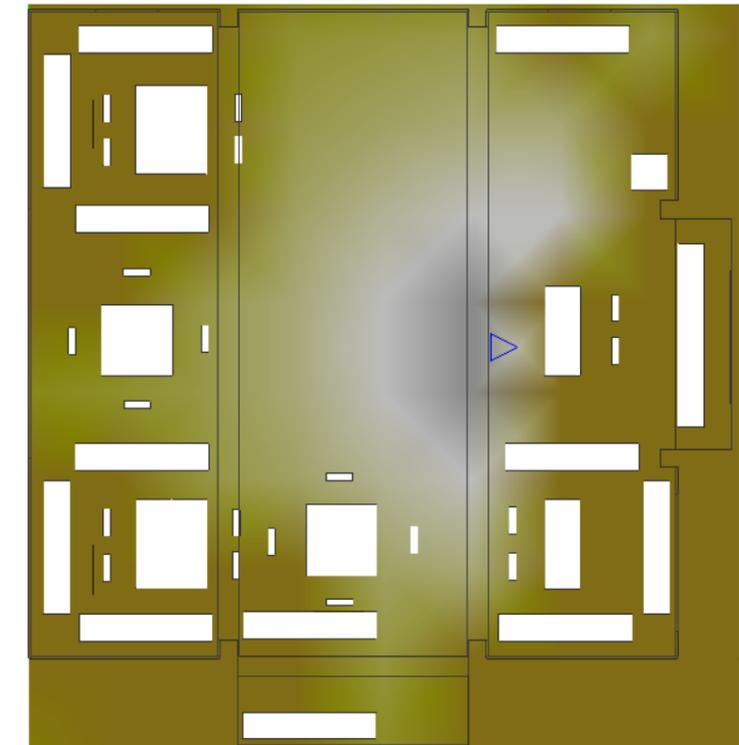
En los siguientes gráficos se muestran las simulaciones de la intensidad de voz (60dB) en el interior de las salas con mobiliario a los 250Hz. Lo que muestran los gráficos es la distribución de la voz en el interior, con el objetivo de analizar el comportamiento de ésta.



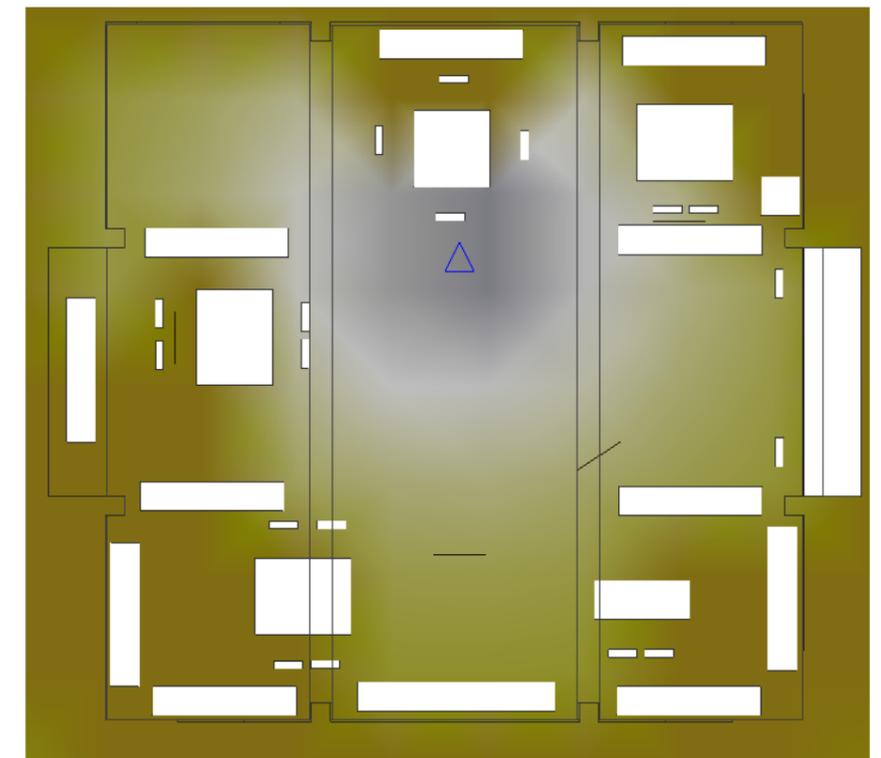
**Gráfico 20:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 1 y 2.



**Gráfico 21:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 3 y 4.



**Gráfico 22:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 5 y 6.



## III.II. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LOS SALONES MONTESSORI

### OBSERVACIONES

En los gráficos anteriores mostraron las simulaciones de la intensidad de voz (60dB) en el interior de las salas a los 250Hz. Lo que muestran los gráficos es la distribución de la voz en el interior, con el objetivo de analizar el comportamiento de ésta.

En todas las salas se observó un decaimiento aproximado de 10 dB a los 0.1s debido a la absorción del aire y un decaimiento de 4dB más hacia el exterior. Sumado a esto la distribución del sonido en todos los casos se produce de forma homogénea hasta los muros.

En todas las salas se observó un decaimiento aproximado de 15dB en 0.1s, sin embargo, cada una de estas modifica la distribución del sonido de forma diferente, lo que se debe principalmente a la organización interior del mobiliario, que depende del nivel Montessori correspondiente.

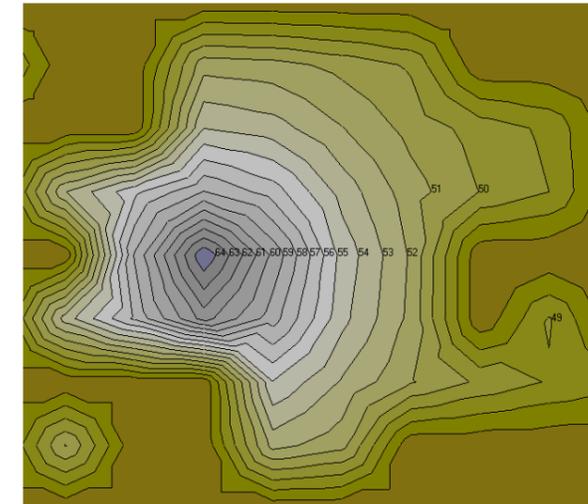
En el caso de la sala de taller 5 y 6, se observa como la mancha correspondiente a los 60dB se mantiene en el centro de la sala, y comienza a descender hacia los bordes, específicamente, hacia el área de lectura y la entrada de la sala. Es en las áreas de trabajo, las esquinas, donde se observa un mayor decaimiento de los dB. (Gráfico 25)

En el caso de la sala de taller 3 y 4, también se mantienen los 60 dB al centro de la sala en el área de la alfombra, luego el sonido comienza a distribuirse de manera homogénea hacia la zona de material común y acceso. Donde se produce un mayor descenso es en los sectores donde se encuentra el mobiliario, llegando a los 46.74dB.(Gráfico 24)

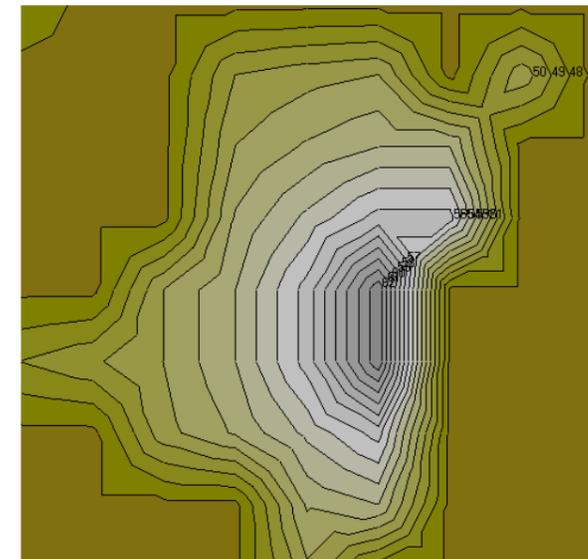
Para la sala de taller 1 las zonas de mayor intensidad de voz toman gran parte de la sala, teniendo un máximo de 60 dB en el centro expandiéndose hacia las zonas de acceso y de trabajo, sin embargo, presenta zonas de menor intensidad de voz, como es el caso de las áreas individuales y la mesa de la paz, deformando estas la distribución del sonido.(Gráfico 23)

Este tipo de análisis permitió vislumbrar la influencia de la organización espacial del mobiliario, donde dependiendo de como se posicionan los muebles es posible crear zonas de mayor o menor intensidad de voz, hasta el punto de crear zonas silenciosas (sombras acústicas) para actividades que lo requieran, ejemplo de esto, las áreas de trabajo.

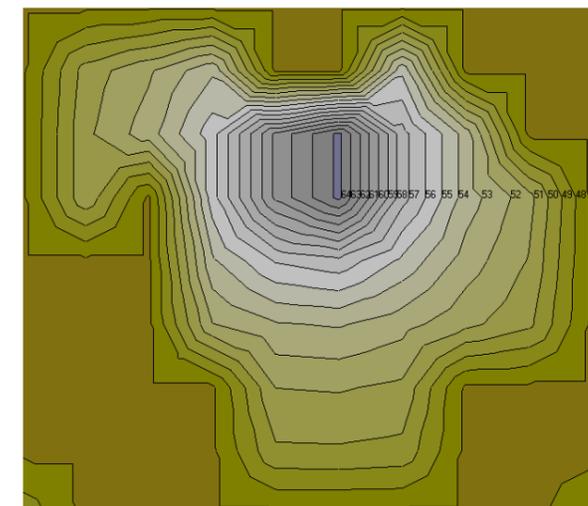
**Gráfico 23:**  
Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 1 y 2



**Gráfico 24:**  
Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 3 y 4.



**Gráfico 25:**  
Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 5 y 6.



### III.II.IV. CONCLUSIONES

En el presente análisis se observó el comportamiento de la acústica en el interior de los salones Montessori, con el objetivo de entender la influencia de la metodología de educación en la acústica de las salas

En las salas vacías se pudo observar unos tiempos de reverberación altos, los cuales superaban los 0.6s que recomienda las OMS para las salas de clases, lo que da cuenta de que el diseño de las salas para este establecimiento no fue pensado en la acústica de una sala de clases. Lo anterior se debe a la ambigua regulación que existe en la normativa chilena respecto a la acústica en este tipo de espacios, ya que según lo planteado en la NCh 352 Of. 61. las salas de clases son locales que por naturaleza requieren estar totalmente aislados del ruido exterior, cuyo nivel sonoro ambiental aceptable es de 20 a 25 fon, sin embargo, respecto de los tiempos de reverberación no se menciona algo en concreto.

Estos tiempos de reverberación traen consecuencias principalmente en la inteligibilidad de la palabra, que para estas salas dio un máximo de 16% de pérdida lo que según investigaciones de ingeniería se clasifica dentro de un rango "Pobre", lo que es ocasionado principalmente por la distancia libre entre muros, donde el sonido no se está absorbiendo, provocando que éste dure por mucho más tiempo, sumado a la materialidad de los muros los cuales pertenecían en su mayoría a materiales reflectantes según sus coeficientes de absorción.

Lo anterior dejó en evidencia el poco impacto que tiene la morfología de la sala en recintos inferiores a los 200m<sup>3</sup>, ya que, para el análisis las salas fueron elegidas con tal de que tuvieran morfologías y materialidades diferentes, con esto, la sala que tuvo mayor diferencia en los tiempos de reverberación fue la sala de taller 3 y 4, la cual presentaba materiales de construcción diferentes a las otras dos salas, sin embargo presentaba una morfología y dimensiones similares a la sala de taller 5 y 6, resultando en que para este rango de salas (<200m<sup>3</sup>) la materialidad es la determinante al momento reducir los tiempos de reverberación.

No obstante, al momento de introducir la metodología Montessori a las salas como acondicionamiento acústico, se observó una mejora considerable en los tiempos de reverberación, donde se nivelaron las bajas frecuencias correspondientes a la voz humana, hasta alcanzar

los 0.6s. Por el lado de las altas frecuencias, estas bajaron sus tiempos de reverberación gracias a la implementación de materiales absorbentes a frecuencias altas como las alfombras o la madera, lo que ocasionó a su vez una mejora en la inteligibilidad de la palabra en las salas entrando todas en un rango de "Aceptable", esto a pesar de que en altas frecuencias los tiempos de reverberación superaron los 0.6 segundos. Lo descubierto anteriormente propició un tercer tipo de simulaciones, con el objetivo de entender el porque existe una aceptable inteligibilidad de la palabra siendo que los rangos de tiempo de reverberación fueron altos.

Las simulaciones de dispersión de voz permitieron observar el como reaccionaba el sonido con el mobiliario Montessori, con el objetivo de entender si la organización interior de los muebles influye en la mejora de la inteligibilidad de la palabra. Los resultados obtenidos mostraron la influencia que tiene la organización del mobiliario, acortando las distancias donde el sonido se mueve libremente, produciendo más reflexiones en materiales absorbentes. También se observó la manera en que el material Montessori moldeaba el sonido, estableciendo sombras acústicas en algunos sectores y zonas de alta presión sonora en el centro, estas formas variaban según la sala, pero se observó el mismo patrón: zonas de alta presión sonora en las áreas grupales y baja presión sonora en las mesas de trabajo.

Al cruzar estos resultados con las conclusiones obtenidas en el objetivo 1, se tiene que las áreas de trabajo individual corresponden a las zonas de menor presión sonora, que por lo general se encuentran determinados por las estanterías en donde se guarda el material, y una mesa de trabajo en donde llevar a cabo las actividades. En cambio, las zonas con mayor presión sonora corresponden a la alfombra grupal en donde se presentan las actividades. En resumen, se cumplen las observaciones realizadas en el objetivo 1, sin embargo, las áreas resultantes de las simulaciones no calzan al 100% con los esquemas del objetivo anterior, presentando zonas de trabajo en donde se filtra el sonido, lo que puede significar que falta mobiliario en ese sector con tal de bajar la presión sonora. Esto se condiciona con el hecho de que la acústica de las salas, ya sea tiempos de reverberación e inteligibilidad de la palabra, puede y debe ser mejorada con tal de lograr óptimos resultados, logrando así una distribución del sonido igual al esquema de zonas de trabajo del método Montessori.

Habiendo analizado el comportamiento acústico de los salones Montessori levantados en los objetivos anteriores, se logró visualizar la influencia de la metodología educativa en la acústica interior, definiendo tipologías con características en común. No obstante, aún queda por responder la segunda pregunta de la investigación, la cual consta en definir las diferencias entre la acústica de los salones Montessori y la acústica de las salas tradicionales. Por lo tanto, en este tercer objetivo de la investigación, se analizó la influencia que tiene la metodología de educación tradicional en la acústica de las salas, midiendo su impacto en los tiempos de reverberación e inteligibilidad de la palabra, obteniendo gráficos y tablas, las cuales fueron comparadas con las obtenidas en el objetivo anterior.

### CONSIDERACIONES

Al igual que en el objetivo anterior, este análisis se separó en dos etapas, la etapa de cálculo, en la cual se obtuvieron los tiempos de reverberación de las salas, y la fase de simulaciones con la cual se pudo observar el comportamiento acústico, sin embargo, se añadió una tercera etapa comparativa entre ambas metodologías educativas. Por lo cual, se usaron las mismas formulas para el cálculo de tiempos de reverberación (Formula 1 y 2), donde se cambiaron los materiales usados para el calculo.



**Imágen 45:**  
Sala de taller 5  
y 6 metodos-  
logía tradi-  
cional.  
Fuente: Sobar-  
zo. K, (2021)

El esquema de las salas con metodología tradicional se obtuvo mediante las visitas al establecimiento rayen Mahuida, ya que, a la fecha de esta investigación la metodología Montessori tuvo que adecuarse a las medidas sanitarias planteadas por la pandemia, con lo cual el ordenamiento de las salas pasó de ser uno Montessori, como se vio en el objetivo 2, a un ordenamiento tradicional, es decir, uno donde el profesor o profesora transmite el mensaje delante del salón hacia los alumnos que están sentados en filas hasta el fondo de la sala, esquemas planteados en el marco teórico.

### PROCEDIMIENTO

Se tradujo la información obtenida en fotografías de los salones, a modelos 3d en SketchUp, para lo cual se hicieron mediciones de las mesas y sillas que se están usando actualmente en las salas. De esta manera se obtuvo la planimetría correspondiente a cada sala.

Con las superficies y materialidades ya definidas, se hicieron los cálculos de tiempo de reverberación en tablas Excel. En cada una de las salas se definieron 2 casos:

- Salas con mobiliario
- Salas con mobiliario y personas

Así teniendo un registro del impacto que tiene la metodología educativa y como se comporta el sonido cuando hay personas usando las salas.

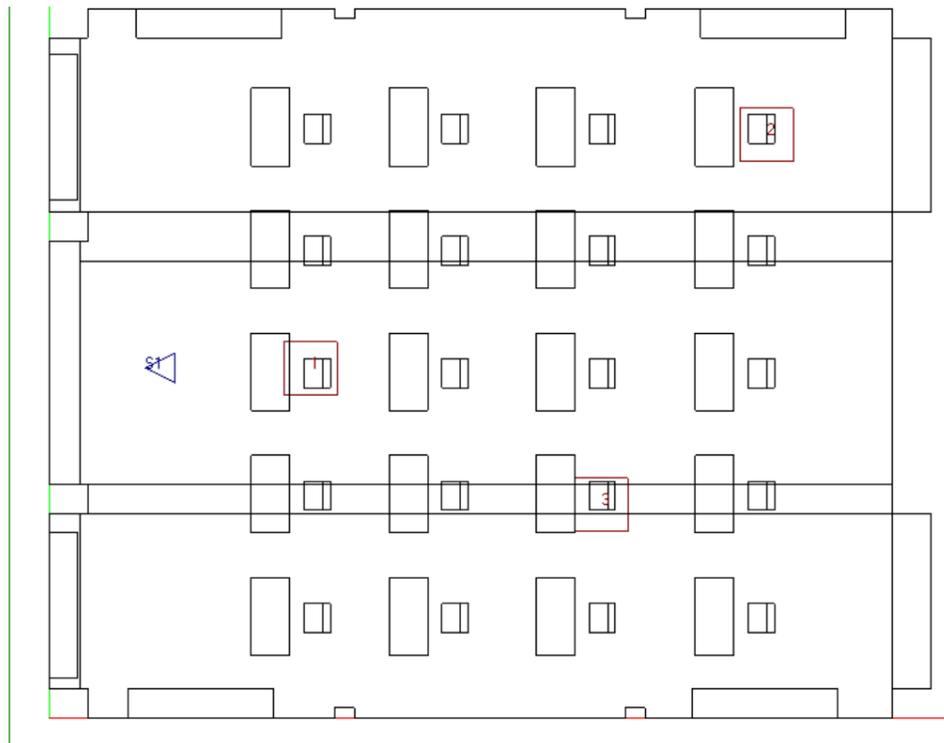


**Imágen 46:**  
Sala de taller 3  
y 4 metodos-  
logía tradi-  
cional.  
Fuente: Sobar-  
zo. K, (2021)

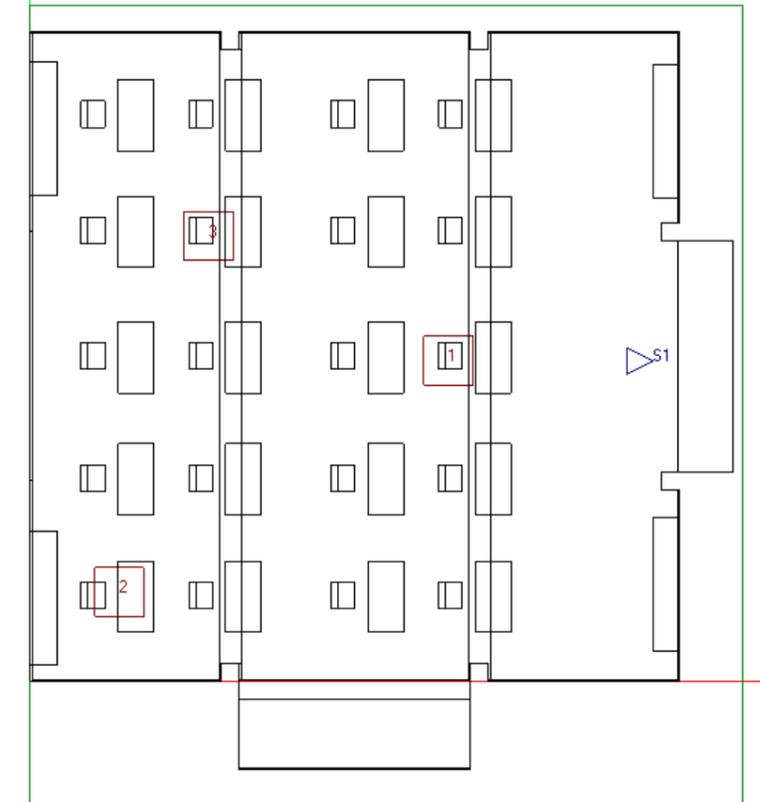
### III.III. COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MÉTODOS EDUCATIVOS

Para la fase de simulaciones, se pasaron los modelos 3d de las salas al programa EASE 4.3 donde, al igual que en el objetivo anterior, se siguieron los siguientes pasos:

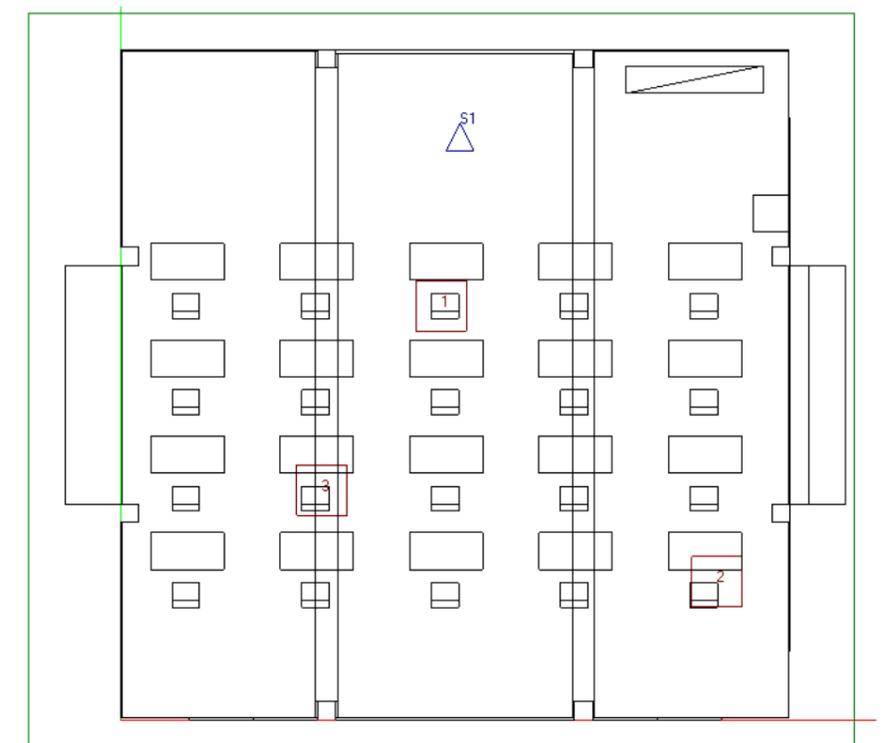
1. Simplificación y exportación de los modelos 3d al programa.
2. Traspaso de la lista de materiales de cada sala al programa, usando la fórmula de Sabine.
3. Definir los volúmenes y tiempos de reverberación correspondientes, obtenidos con anterioridad en la fase de cálculo.
4. Posicionar las principales fuentes de sonido y receptores dentro de las salas, estableciendo las distancias de 2m, 4m y 6m de la fuente de sonido de una intensidad de 60dB a una altura de 1.7m. (Imágen 47,48 y 49)
5. Posteriormente, para realizar las simulaciones se definió un total de 2000 rayos con un orden de 10 reflexiones que otorga un 60% de probabilidad de impacto al receptor, lo que se perderán un 40% del sonido por absorción o por filtraciones. El porcentaje anterior corresponde al promedio de rayos que llega a un receptor en este tipo de recintos.
6. Finalmente, se definieron los tipos de simulaciones que permiten un mejor análisis de la acústica, los cuales son:
  - Pérdida del grado de inteligibilidad de la palabra hablada.
  - Distribución de un sonido de 60dB a los 250Hz en 0.1s



**Imágen 47:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 1 y 2 tradicional.



**Imágen 48:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 3 y 4 tradicional.



**Imágen 49:** Ubicación de las fuentes de sonido y de los receptores, sala taller 5 y 6 tradicional.

### III.III. COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MÉTODOS EDUCATIVOS

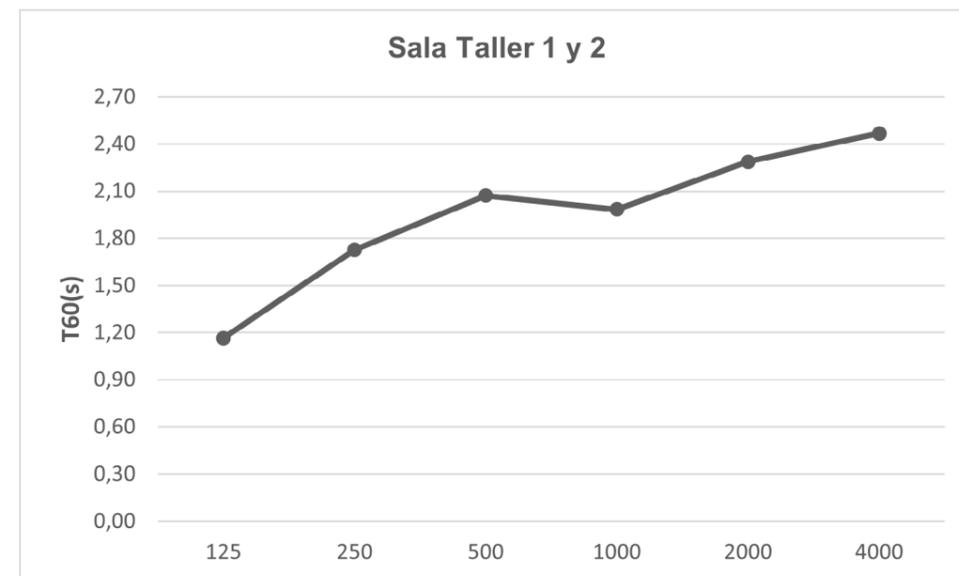
#### III.III.I. COMPARACIÓN TIEMPOS DE REVERBERACIÓN TALLER 1 Y 2

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a los tiempos de reverberación de la sala de taller 1 y 2, donde se comparan los tiempos obtenidos de la sala estando vacía, con metodología Montessori y con la metodología Tradicional.

Para el cálculo de la sala con metodología tradicional se utilizaron los siguientes parámetros:

Objeto	MATERIAL	125	250	500	1000	2000	4000
Muros	Hormigón pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
	Ladrillo pintado	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Pisos	Cerámica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Cielos	panel de yeso c/ fibra de vidrio	0,17	0,1	0,09	0,09	0,07	0,06
	panel de yeso c/espacio de aire	0,14	0,1	0,09	0,03	0,02	0,02
Ventanas	Vidrio común 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
	Vidrio común 6mm	0,1	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02
Puertas	Puertas	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05
Mobiliario	Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
	Enchapado de melamina	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3
Usuario	Escolar sentado	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37
	Adulto	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42

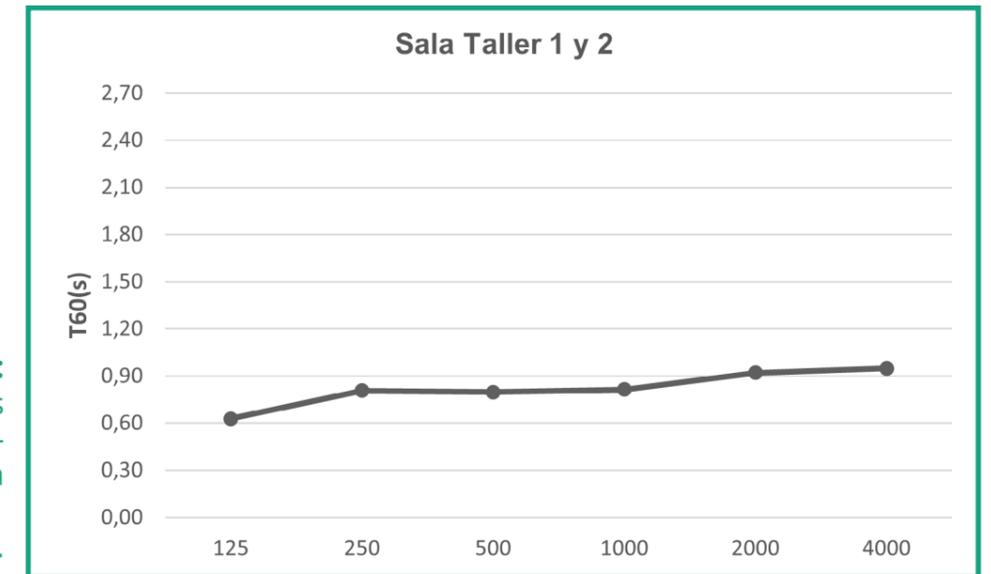
**Tabla 15:** Tabla de materiales usados en la sala de taller 1 y 2 tradicional.



**Gráfico 1:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 1 y 2 vacía.

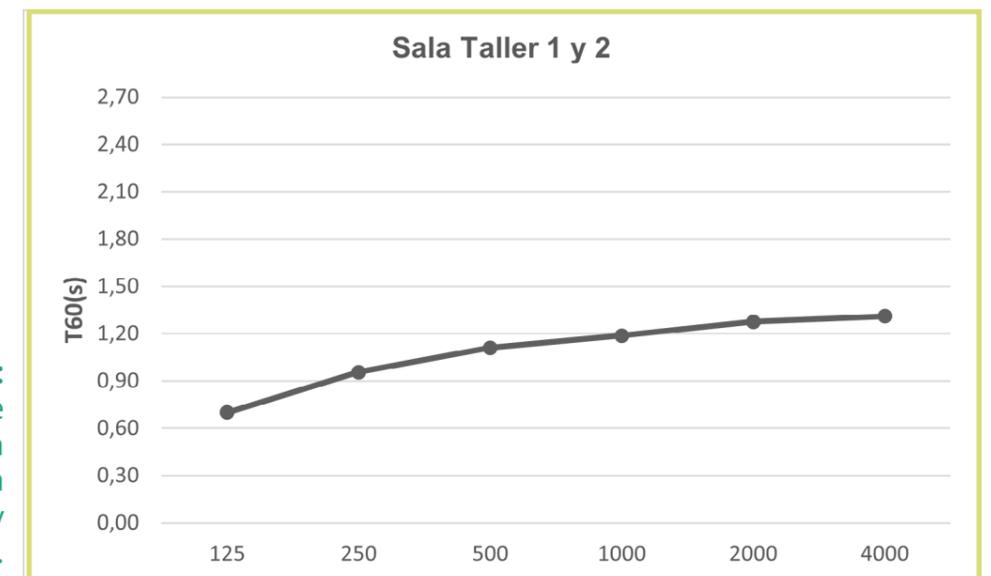
	Octavo de Banda (Hz)						T60 prom
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,48	0,58	0,57	0,57	0,61	0,60	0,57

**Gráfico 7:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 1 y 2 Montessori.



	Octavo de Banda (Hz)						T60 prom
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,63	0,81	0,80	0,81	0,92	0,95	0,82

**Gráfico 26:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 1 y 2 Tradicional.



	Octavo de Banda (Hz)						T60 prom
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,70	0,96	1,11	1,19	1,28	1,31	1,09

### III.III. COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MÉTODOS EDUCATIVOS

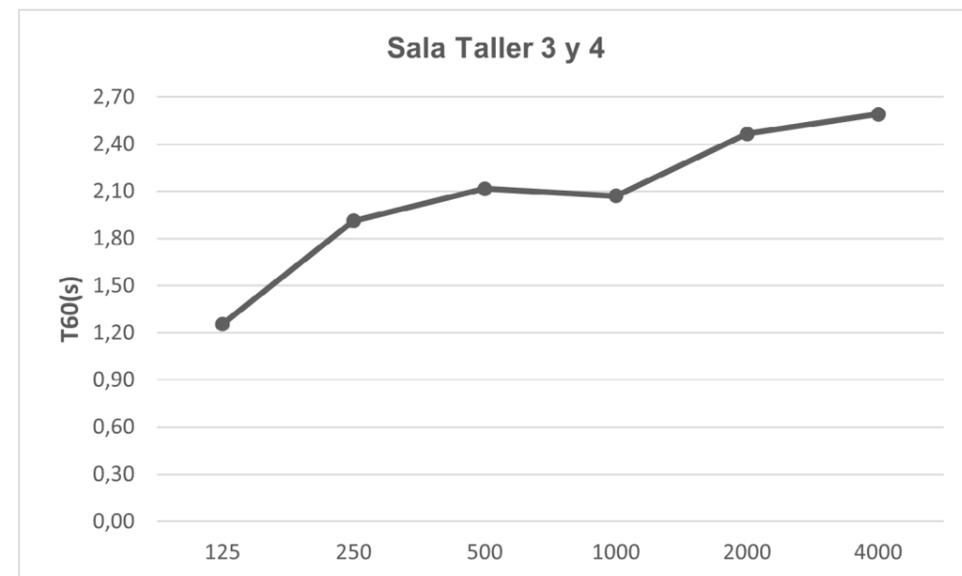
#### III.III.I. COMPARACIÓN TIEMPOS DE REVERBERACIÓN TALLER 3 y 4

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a los tiempos de reverberación de la sala de taller 3 y 4, donde se comparan los tiempos obtenidos de la sala estando vacía, con metodología Montessori y con la metodología Tradicional.

Para el cálculo de la sala con metodología tradicional se utilizaron los siguientes parámetros:

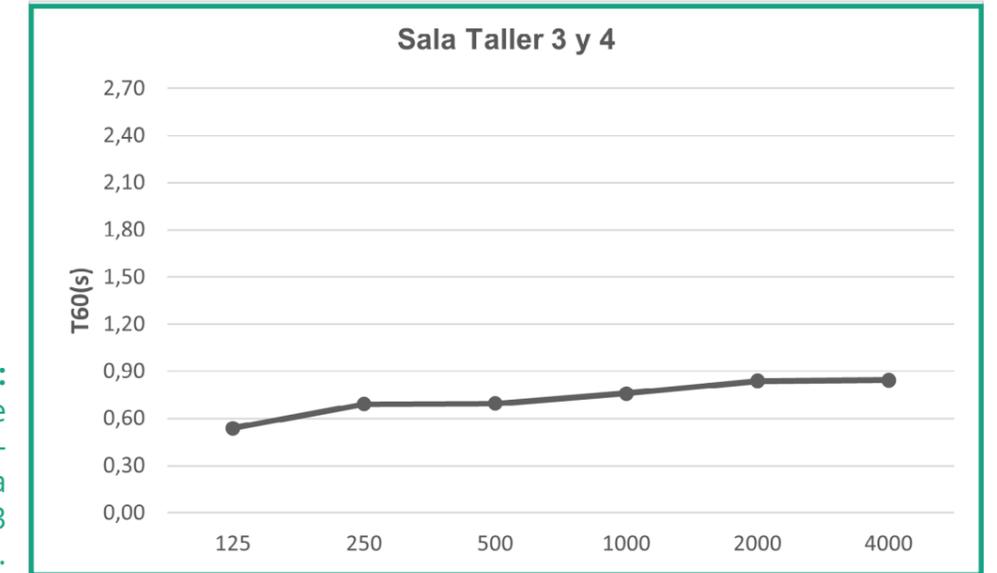
**Tabla 16:** Tabla de materiales usados en la sala de taller 3 y 4 tradicional.

Objeto	MATERIAL	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Muros</b>	Hormigón pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
	Ladrillo pintado	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
<b>Pisos</b>	Cerámica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Cielos</b>	panel de yeso c/ fibra de vidrio	0,17	0,1	0,09	0,09	0,07	0,06
	panel de yeso c/espacio de aire	0,14	0,1	0,09	0,03	0,02	0,02
<b>Ventanas</b>	Vidrio común 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
	Vidrio común 6mm	0,1	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02
<b>Puertas</b>	Puertas	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05
<b>Mobiliario</b>	Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
	Enchapado de melamina	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3
<b>Usuario</b>	Escolar sentado	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37
	Adulto	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42



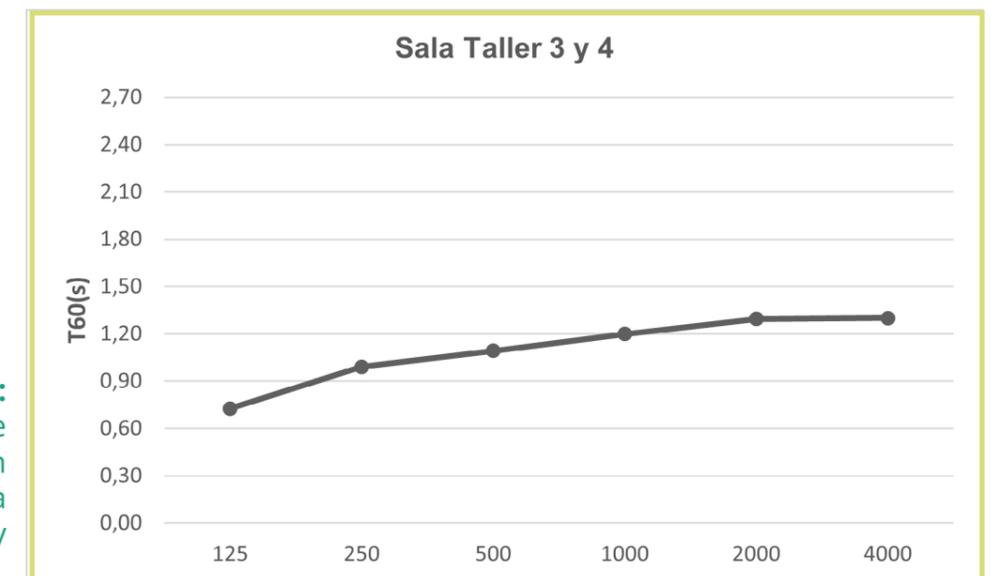
**Gráfico 2:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 3 y 4 vacía.

	Octavo de Banda (Hz)						T60 mid
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	1,26	1,91	2,12	2,07	2,47	2,59	2,07



**Gráfico 8:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 3 y 4 Montessori.

	Octavo de Banda (Hz)						T60 prom
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,54	0,69	0,70	0,76	0,84	0,84	0,73



**Gráfico 27:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 3 y 4 Tradicional.

	Octavo de Banda (Hz)						T60 prom
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tiempo de reverberación (s)	0,73	0,99	1,09	1,20	1,29	1,30	1,10

### III.III. COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MÉTODOS EDUCATIVOS

#### III.III.I. COMPARACIÓN TIEMPOS DE REVERBERACIÓN TALLER 5 y 6

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a los tiempos de reverberación de la sala de taller 5 y 6, donde se comparan los tiempos obtenidos de la sala estando vacía, con metodología Montessori y con la metodología Tradicional.

Para el cálculo de la sala con metodología tradicional se utilizaron los siguientes parámetros:

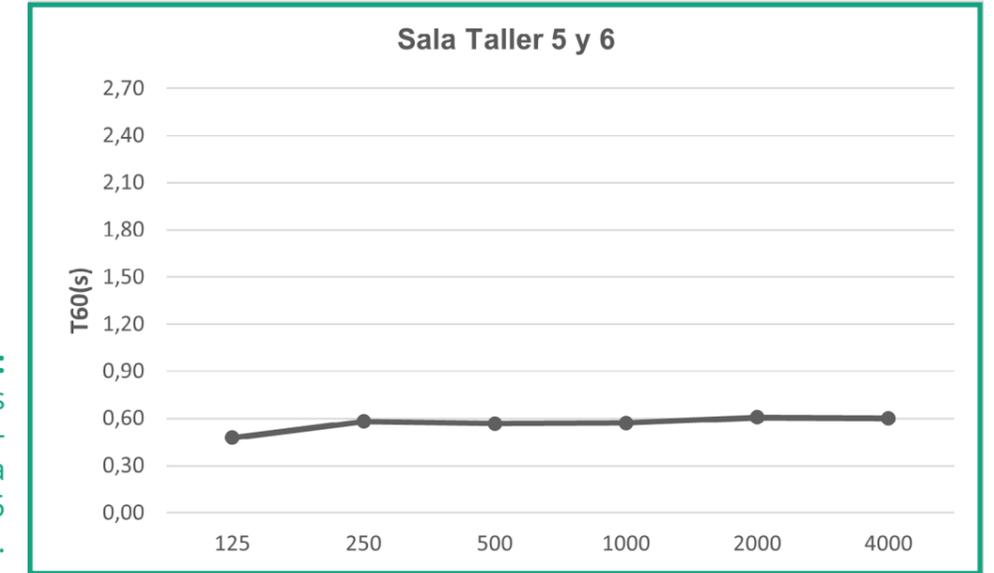
Objeto	MATERIAL	125	250	500	1000	2000	4000
Muros	Hormigón pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
	Ladrillo pintado	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Pisos	Cerámica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Cielos	panel de yeso c/ fibra de vidrio	0,17	0,1	0,09	0,09	0,07	0,06
	panel de yeso c/espacio de aire	0,14	0,1	0,09	0,03	0,02	0,02
Ventanas	Vidrio común 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Puertas	Puertas	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05
Mobiliario	Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
	Enchapado de melamina	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3
Usuario	Escolar sentado	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37
	Adulto	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42

**Tabla 17:** Tabla de materiales usados en la sala de taller 5 y 6 tradicional.



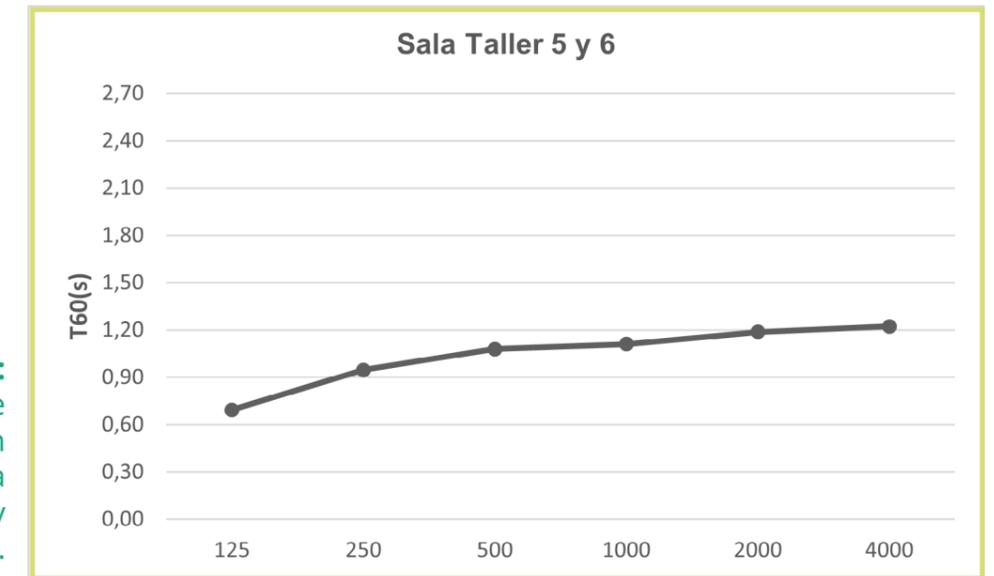
**Gráfico 3:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 5 y 6 vacía.

	Octavo de Banda (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 prom
Tiempo de reverberación (s)	0,63	0,81	0,80	0,81	0,92	0,95	0,82



**Gráfico 9:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 5 y 6 Montessori.

	Octavo de Banda (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 prom
Tiempo de reverberación (s)	0,48	0,58	0,57	0,57	0,61	0,60	0,57



**Gráfico 28:** Tiempos de reverberación para la sala de taller 5 y 6 Tradicional.

	Octavo de Banda (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	T60 prom
Tiempo de reverberación (s)	0,69	0,95	1,08	1,11	1,19	1,22	1,04

### III.III. COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MÉTODOS EDUCATIVOS

#### III.III.II. PÉRDIDA DE INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA EN SALAS CON MOBILIARIO

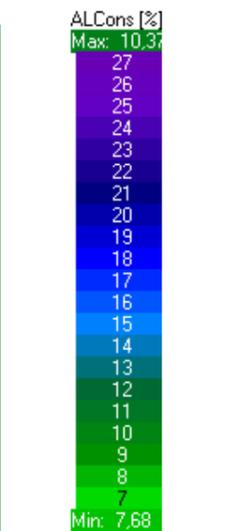
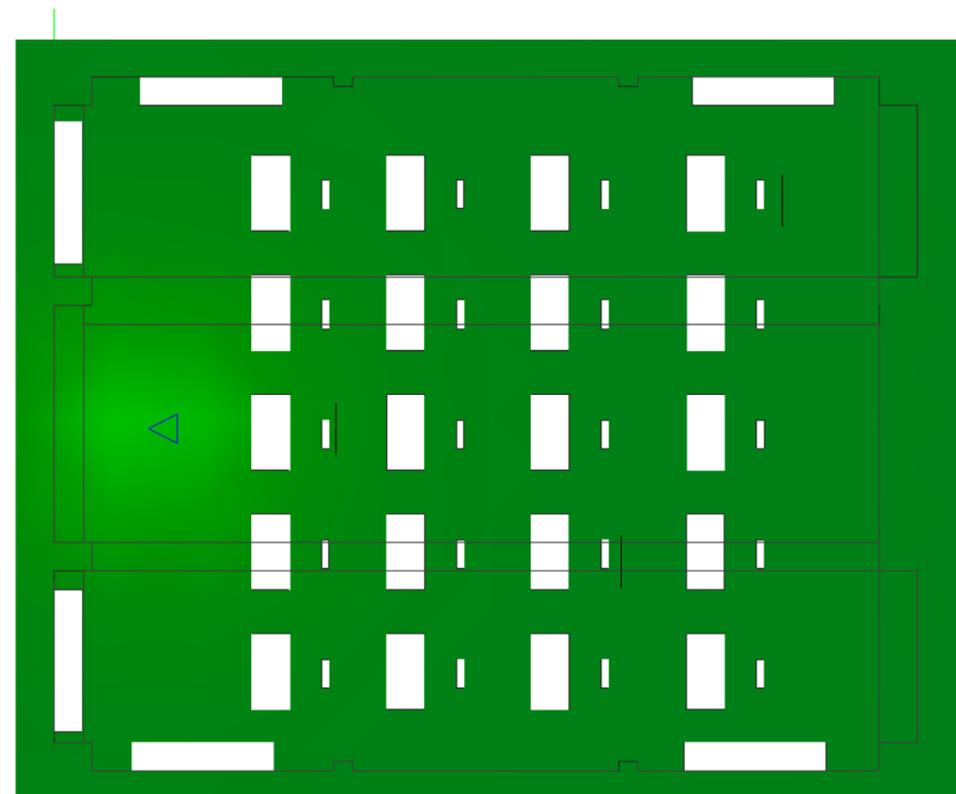
En las siguientes imágenes se muestran los resultados de las simulaciones para la inteligibilidad de la palabra para las salas con mobiliario, donde fue posible determinar el porcentaje de pérdida dadas las dimensiones :

Sala	taller 1 y 2	taller 3 y 4	taller 5 y 6
Volumen(m <sup>3</sup> )	197,1	161,15	159,87

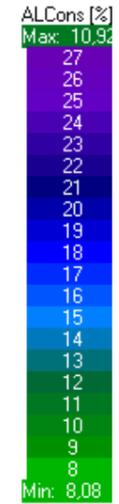
Y los siguientes valores para los tiempos de reverberación:

Salas	Taller 1 y 2	Taller 3 y 4	Taller 5 y 6
Tr promedio (s)	1,09	1,10	1,04

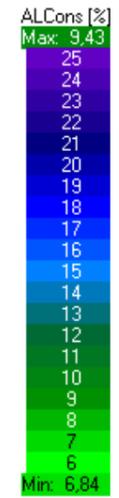
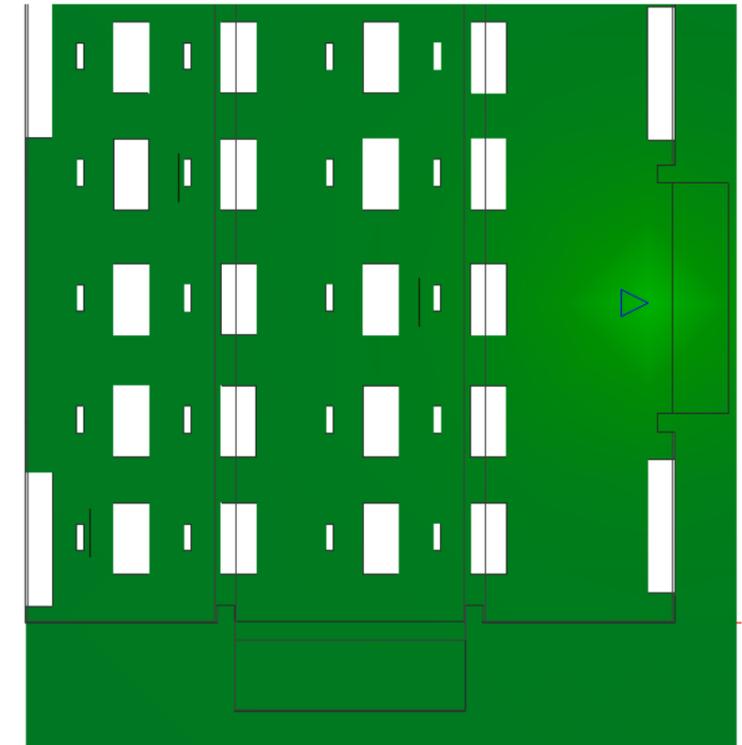
**Tablas 13 y 14:** Tablas de volúmenes de salas y tabla de tiempos de reverberación utilizados en la simulación, respectivamente.



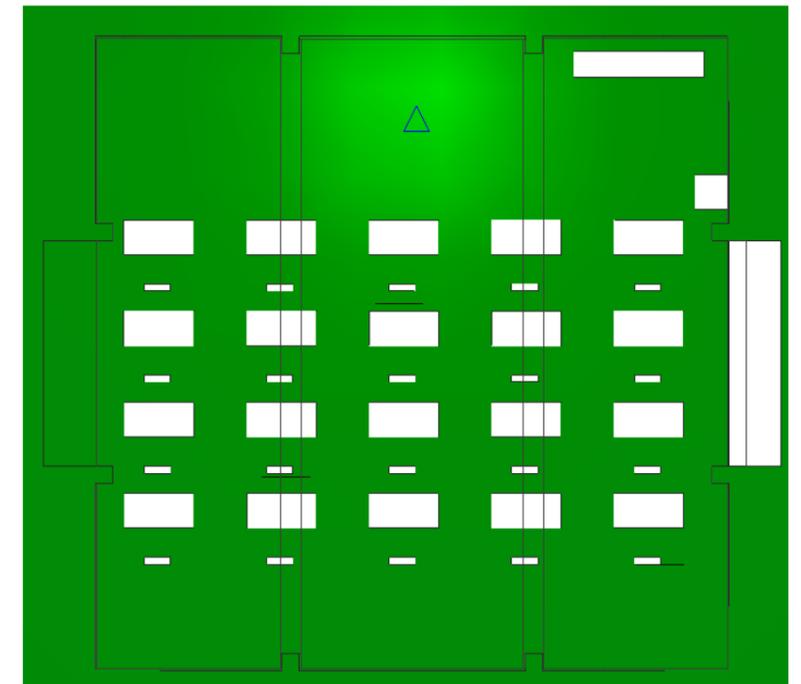
**Gráfico 13:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 1 y 2 con mobiliario



**Gráfico 14:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 3 y 4 con mobiliario.



**Gráfico 15:** Pérdida de la inteligibilidad de la palabra para la sala de taller 5 y 6 con mobiliario



#### OBSERVACIONES TIEMPOS DE REVERBERACIÓN

Las comparaciones anteriores se realizaron entre la sala vacía, con método Montessori y con metodología tradicional, con el objetivo de analizar en primera instancia como afectó el tiempo de reverberación de la sala y en segunda instancia como se diferencia con el método Montessori.

En general, en las 3 salas se mejoraron los tiempos de reverberación respecto de los tiempos con las salas vacías, nivelando todas las frecuencias entre un rango de 0.3s, mostrando menores tiempos en bajas frecuencias, lo que se debe principalmente a que el material que más abunda es la madera contrachapada, la cual, según las tablas de coeficientes de absorción, absorbe de mejor manera las baja frecuencias, sin embargo, presenta buenos coeficientes a frecuencias altas. Además, la ropa de los usuarios de la sala juega un papel importante al momento de absorber dichas frecuencias (Tabla 15, 16 y 17).

La principal diferencia entre los tiempos de reverberación de cada sala, dado a que a pesar de tener cada una de estas la misma cantidad de mobiliario, de misma materialidad; fue el contenedor. Los contenedores, en estos casos, definieron desde un principio cuales serían las salas que, luego de aplicarse el acondicionamiento, serían las que tendrían peores tiempos de reverberación (Gráfico 1, 2 y 3), las que en orden serían: sala taller 3 y 4, sala taller 1 y 2, sala taller 5 y 6, en donde esta última presenta los menores tiempos de reverberación.

No obstante, los tiempos de reverberación obtenidos en la metodología tradicional superan los 0.6s planteados por la OMS, lo que podría resultar en ecos que interfieran los grados de inteligibilidad de la palabra.

A diferencia de los tiempos obtenidos para las salas con metodología Montessori, en las salas con metodología tradicional la mejoras en tiempos de reverberación fueron menores, distanciándose en cada uno de los casos por 0.3s. Lo anterior se debe a la superficie total de mobiliario absorbente al interior de las salas, siendo las salas tradicionales las que tienen menor cantidad de mobiliario. Otro aspecto que afecta a los tiempos de reverberación para los casos de metodología tradicional es la poca variedad de materialidades en las salas. Al no tener materiales porosos como las alfombras, resulta complicado controlar la reverberación de las altas frecuencias, las cuales son importantes para una buena inteligibilidad de la palabra.

#### OBSERVACIONES DE LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA

Como se observó en los gráficos de inteligibilidad de la palabra, el porcentaje de pérdida para todas las salas disminuyó un 5% en comparación con su estado vacío, llegando a un máximo de 10.92% de pérdida, lo que significa que se encuentra al borde del rango de "aceptable" visto en la tabla 3 del objetivo anterior.

Sin embargo, a pesar de encontrarse en el mismo rango de valoración que los de la metodología Montessori, los máximos de esta última llegan a un 5% de pérdida. Sumado a lo anterior, se puede apreciar una diferencia incluso en los mínimos de pérdida, los cuales se ubican siempre en el área de quien emite el sonido, mientras que en el método Montessori los mínimos son de un 2%, los de las salas con método tradicional son de 6.84%.

Lo anterior se debe a que, en las salas Montessori desde donde se emite el sonido existe la presencia de materiales absorbentes a altas frecuencias, como la alfombra, además de que la zona grupal está rodeada por el mobiliario adecuado, mientras que en las salas tradicionales desde donde se emite el sonido no hay presencia de este tipo de materialidades, siendo los materiales más próximos la madera de las mesas o la ropa de los alumnos, además que la superficie en donde se emite el sonido es mayor que en el método Montessori, es decir, la distancia entre materiales absorbentes es mayor, por lo que tendrá mayores tiempos de reverberación en esa zona.

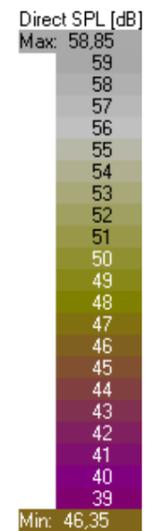
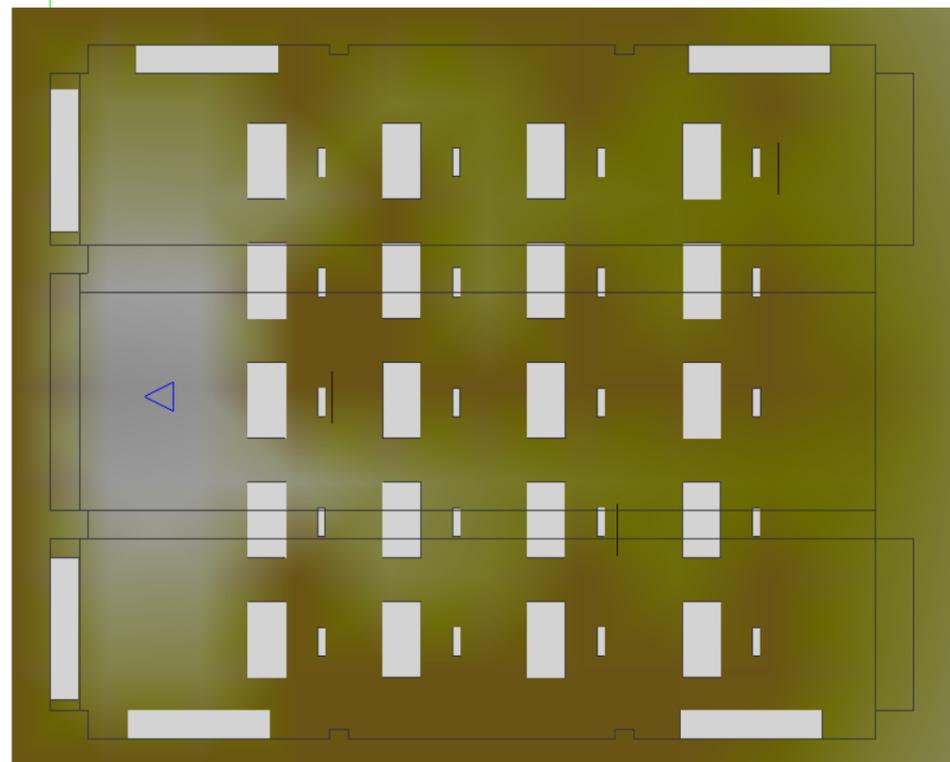
Por el lado de los máximos porcentajes de pérdida, es decir, de la mayor parte de las salas, estas se diferencian, por un lado, gracias a los materiales que presentan y por otro lado, a la lógica espacial con la que están organizados, mientras que en el método Montessori se ordenan pequeñas áreas de trabajo, delimitadas por estanterías, el método tradicional presenta una gran área de trabajo donde se ubican las mesas en fila, lo que se traduce en mayores distancias entre los materiales absorbentes.

### III.III. COMPARACIÓN ACÚSTICA ENTRE MÉTODOS EDUCATIVOS

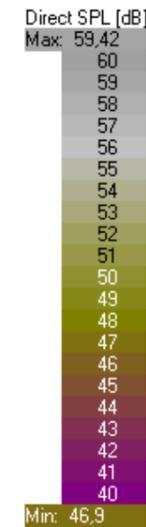
#### III.III.III. DISTRIBUCIÓN DEL SONIDO EN SALAS VACÍAS

En los siguientes gráficos se muestran las simulaciones de la intensidad de voz (60dB) en el interior de las salas con mobiliario a los 250Hz. Lo que muestran los gráficos es la distribución de la voz en el interior, con el objetivo de analizar el comportamiento de ésta.

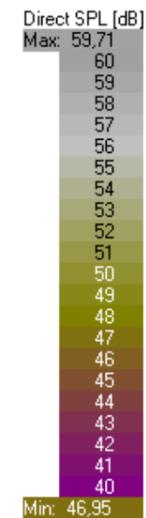
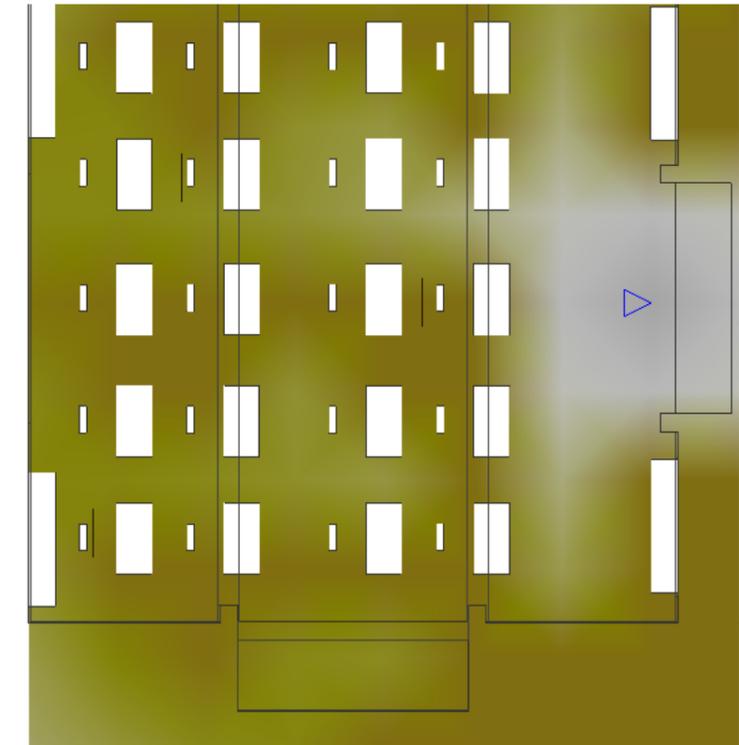
Para su respectivo análisis, los siguientes gráficos fueron comparados con las imágenes obtenidas en el objetivo anterior, específicamente con los gráficos: 20, 21 y 22. (p.76-77)



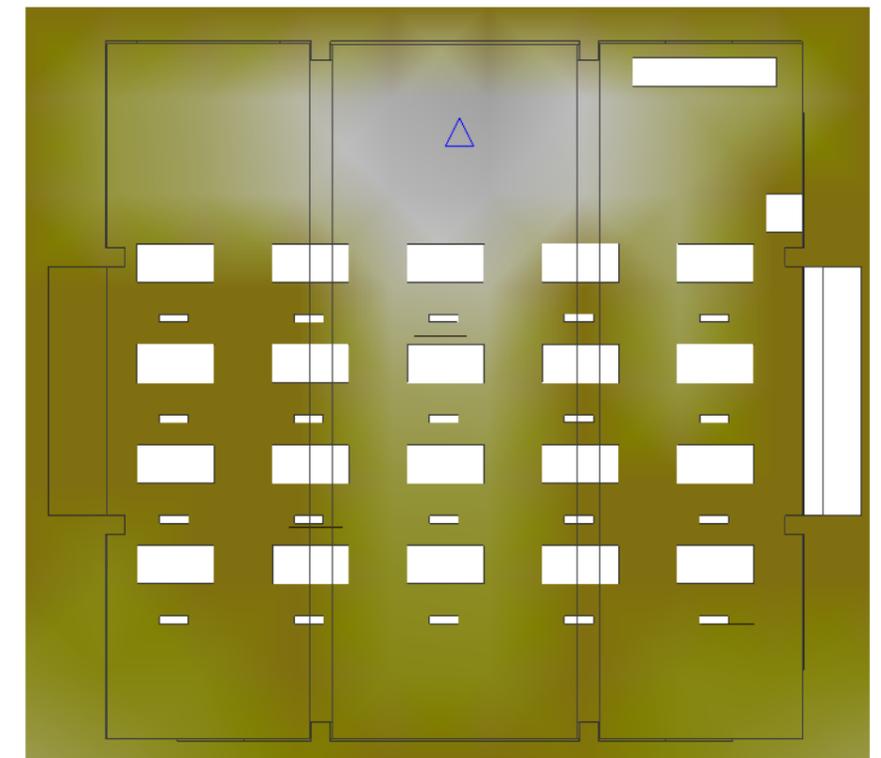
**Gráfico 20:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 1 y 2.



**Gráfico 21:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 3 y 4.



**Gráfico 22:** Distribución del sonido a 60dB, en la sala de taller 5 y 6.



#### OBSERVACIONES EN LA DISTRIBUCIÓN DEL SONIDO

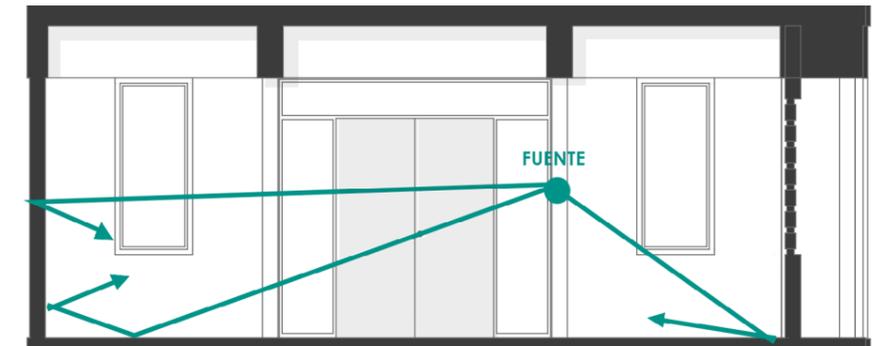
En los gráficos de distribución de la voz (60dB) al interior de las salas con metodología tradicional, donde en general hubo un decaimiento de 16dB. Además, existe un patrón que se repite en las tres salas el cual es la presencia del muro que está frente al locutor, la cual está actuando como reflector, ya que el sonido pasa por entremedio de las mesas generando sombras acústicas y se refleja finalmente en el dicho muro. Lo anterior se deduce debido a que las zonas de mayor intensidad sonora son el área del locutor, y el muro frente a este.

La principal diferencia entre las 3 salas se está dando en la forma que están produciendo las sombras acústicas, las cuales se vieron afectadas tanto por el mobiliario como por la forma de las salas, ejemplo de lo último se aprecia entre la sala de taller 3 y la sala de taller 5, donde la dirección de las vigas ayuda a que la distribución del sonido sea más pareja hasta el fondo de la sala, como se observa en la sala de taller 5. Estas sombras acústicas muestran que hay zonas en que se escucha más bajo que en otras zonas. (Gráfico 20, 21 y 22)

Al momento de comparar las formas de distribución del sonido en cada metodología de educación, se observó que el método Montessori posee una lógica más central de donde transmitir el sonido donde el mobiliario cumple un rol fundamental al momento de repartir el sonido (Imagen 51), controlando zonas en las cuales se necesita una menor intensidad de voz, disminuyendo bajas frecuencias, en las que se encasilla la voz humana, con materiales como la madera, y otras donde es necesario controlar las altas frecuencias con materiales porosos para una buena inteligibilidad de la palabra.

En cambio, en el método tradicional se observó una lógica más lineal de distribución del sonido, en la cual el locutor transmite el sonido hacia un área de receptores, en este caso los alumnos, donde es necesario distribuir de manera equitativa el sonido, por lo tanto, tanto el muro posterior de la sala, como el techo de la misma juegan un papel importante al momento de repartir el mensaje hablado (Imagen 52), sin embargo en el análisis se observó la presencia de sombras acústicas generadas por el mobiliario, las cuales para esta metodología de educación, no es recomendable que ocurra.

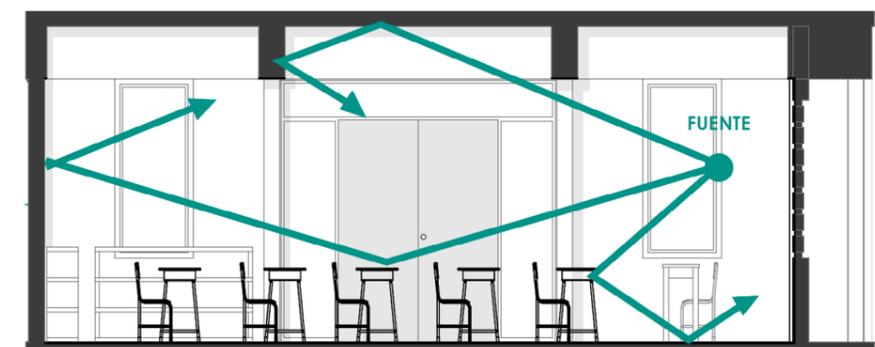
**Imagen 50:** Comportamiento acústico de la sala de taller 3 y 4 vacía.



**Imagen 51:** Comportamiento acústico de la sala de taller 3 y 4 con metodología Montessori.



**Imagen 52:** Comportamiento acústico de la sala de taller 3 y 4 con metodología tradicional.



#### III.III.IV. CONCLUSIONES

En resumen, a lo largo del objetivo se analizó el comportamiento acústico al interior de las salas de taller 1, taller 3 y taller 5 usando la organización espacial, mobiliario y esquema correspondiente a la metodología de educación tradicional. Luego fue comparada con los resultados obtenidos para el comportamiento de la acústica de las salas con metodología Montessori, de lo cual se obtuvieron ciertas diferencias entre estas y además permitió definir de mejor manera la acústica Montessori.

Se observó en los tiempos de reverberación que en ambas metodologías se reducen los tiempos de sus contenedores, sin embargo, para las salas con método Montessori estos cambios fueron mejores al momento de compararlos con lo planteado por la OMS. Tal diferencia entre las dos fue causa de la implementación de materiales para cada octava de banda, además de la cantidad de superficie de materiales absorbentes, lo que en la metodología tradicional no ocurre, resultando en que los tiempos de reverberación estén influenciados principalmente por la materialidad del contenedor, mientras que en método Montessori el mobiliario y su respectiva materialidad jugó un papel más importante.

Para los grados de pérdida de inteligibilidad de la palabra, sirvieron para determinar el impacto de los materiales, ya que al ser un parámetro que necesita de una buena comprensión de las altas frecuencias, donde la principal diferencia entre ambas metodologías es la forma en que controlan dichas frecuencias. En el Método Montessori es necesario de una buena inteligibilidad de la palabra en la zona central de la sala, por lo que la ubicación del mobiliario alrededor y el tipo de alfombra ayudan a controlar tal zona, a diferencia de la metodología normal donde es necesario controlar la inteligibilidad de la palabra en toda la sala.

Lo anterior da pie a las diferencias que se encontraron respecto a como se distribuye el sonido en cada metodología. En el Método tradicional el sonido se emite desde la fuente principal a más de 1.5m de altura, emitiéndose hasta el fondo de la sala, donde las primeras reflexiones se producen tanto en el techo como en el muro posterior de la sala, de manera que el sonido se emita a un área de espectadores de manera homogénea. Por el lado de la metodología Montessori, el sonido se emite de una fuente principal a una altura máxima de 1m, desde el centro de la sala, donde se realizan las actividades

grupales, mientras que en los bordes se generan sombras acústicas que le otorgan un carácter más silencioso a las áreas de trabajo, dichas sombras y sectores están definidos por el mobiliario, el cual se encarga de controlar principalmente las primeras reflexiones.

Estas conclusiones, junto a todas las observaciones vistas a lo largo de la investigación, serán compiladas y analizadas en el siguiente capítulo, con lo cual se responderán las preguntas que dieron pie a la investigación.

## IV. CONCLUSIÓN

En el siguiente capítulo se hizo un resumen de la investigación, en el cual se respondieron las preguntas que sirvieron de base para la investigación, se criticaron aspectos de la metodología, limitaciones y aprendizajes obtenidos a lo largo de la investigación. Finalmente se realizaron consideraciones para poder expandir la investigación, y a que áreas podrían aportar.

### CONCLUSIONES FINALES

En un principio, la investigación partió enfocándose en la Educación y su relación con la arquitectura, donde se abrieron diferentes posibilidades relacionadas con la habitabilidad donde conceptos como iluminación, climatización y acústica fueron los más relevantes. Al llevar estos conceptos a la realidad chilena, revisando normativas, fue posible determinar que estos parámetros han sido tratados superficialmente, ejemplo de esto fue que en el artículo 4.5.4 de la OGUC se toman los efectos de la contaminación acústica desde el local escolar hacia el exterior, derivados de su localización, tomando como base el nivel de ruido actual y futuro, sin embargo, no se menciona cómo debería ser la acústica al interior de las salas de clases.

La importancia que tiene la acústica recae en la inteligibilidad de la palabra que va a determinar si se entiende o no el mensaje hablado. La inteligibilidad de la palabra se ve afectada por un factor externo, que corresponde al ruido de fondo; y otro interno, el cual se refiere a la reverberación. Sobre este último se entiende que, el tiempo de reverberación va a estar definido según el uso que se le va a dar el recinto, no es lo mismo una sala para el canto como una para conferencias, por tal razón se estandarizan ciertos parámetros acústicos, como el material de las superficies, el tamaño, la forma, etc. En el caso de la educación, se toma como un recinto cerrado destinado a la palabra con un tiempo de reverberación de 0,6 segundos, respecto a un T60. Posteriormente, el acondicionamiento que se le da a las salas de clase hace referencia a los salones con metodologías de educación tradicional, es decir, una sala donde el profesor se posiciona como locutor frente a sus alumnos. El sonido, por su parte, se refleja en el techo y en los muros al final de la sala, lo que no es problema ya que detrás del locutor no debería haber alumnos. Sin embargo, a lo largo del tiempo se han ido formando diferentes metodologías de educación que cambian la manera de enseñar, usando diferentes configuraciones espaciales, otros mobiliarios, fuentes diferentes al profesor, como lo pueden ser los mismos alumnos cuando realizan actividades.

De lo anterior surgieron las preguntas que iniciaron la investigación, y que, gracias a la metodología planteada y su posterior desarrollo, fueron respondidas a continuación:

**¿Como es el comportamiento acústico de la metodología Montessori?**

**¿Es diferente al comportamiento acústico de una sala Tradicional?**

### ¿Como es el comportamiento acústico de la metodología Montessori?

Tal como se vio en las salas analizadas en el objetivo uno y el marco teórico, el método Montessori se caracteriza por libertad del niño, individualidad e independencia. Con el objetivo de llevar a la práctica educativa estos tres principios, el método necesita de unos materiales didácticos propios, un ambiente especial y unos procedimientos específicos. (Lázaro L, 2015). Dicho ambiente especial está conformado por un tipo de mobiliario enfocado en los niños, donde sus dimensiones se adaptan a las necesidades de estos. El mobiliario Montessori analizado, era principalmente de madera, con lo cual las salas son organizadas con este mobiliario según una lógica que permite la individualidad de los niños, mediante zonas de trabajo que están delimitadas por estanterías con el material correspondiente a cada actividad, así los alumnos pueden decidir qué actividad realizar, recibiendo instrucciones solo al principio de la clase junto a todos los estudiantes, lo que se realiza normalmente en la alfombra grupal donde todos se sientan en ella a escuchar a la guía Montessori.

El método educativo Montessori analizado junto a su mobiliario y materialidad, presentó un esquema acústico donde la principal fuente de sonido proviene del centro de las salas, en la cual el mobiliario cumple un rol educativo e influye en la distribución del sonido, generando sombras acústicas en las áreas de trabajo individual, donde, según la metodología Montessori, es necesario un menor volumen de voz con el objetivo de que los alumnos puedan concentrarse.

Pasando a un apartado más técnico, el tipo de materialidad que utiliza el mobiliario Montessori analizado permite un control de todas las frecuencias sonoras, la madera controla de mejor manera las bajas frecuencias, en las cuales se encasillan las bandas de la voz humana, específicamente entre los 125Hz y los 250Hz, lo cual es necesario para reducir los tiempos de reverberación en las áreas de trabajo. Mientras tanto las alfombras usadas en este método educativo son útiles para controlar las altas frecuencias, las cuales determinan el grado de inteligibilidad de la palabra, por lo que al estar ubicada en la zona grupal permite un mejor entendimiento de la palabra hablada, y es en la alfombra grupal donde se dan las indicaciones a las actividades.

Por lo tanto, el esquema acústico Montessori es uno enfocado en los niños, donde el mobiliario cumple un rol protagónico al momento de controlar el sonido, estableciendo la intensidad sonora

necesaria para actividades en las cuales los alumnos requieran más concentración, y controlando las altas frecuencias en las zonas donde es necesario un buen entendimiento de la palabra.

### ¿Es diferente al comportamiento acústico de una sala Tradicional?

Efectivamente, la acústica de un salón con metodología Montessori es diferente al comportamiento acústico de una sala con metodología tradicional, tanto en cómo se propaga el sonido, como en el control de las frecuencias sonoras. Lo anterior se debe a la forma de enseñar, la cual es diferente entre las dos y tal como se presentó en el marco teórico, genera un esquema entre locutor, receptor y medio diferentes entre ambas metodologías.

En el caso de las salas tradicionales el locutor emite el sonido en un extremo de la sala, en la cual, dicho sonido debe propagarse de manera homogénea a todo el espacio, y según lo visto en la investigación, las superficies del techo y el muro que enfrenta a la fuente son los principales elementos que controlan la acústica.

Por otro lado, el método Montessori presenta un esquema más central, donde las principales fuentes se ubican en el centro de la sala, y el sonido debe ser controlado en esta misma área, con el objetivo de reducir la intensidad del sonido en los extremos de la sala, para lograr esto, la organización del mobiliario está ubicado de manera que el sonido sea absorbido por la materialidad de estos.

La materialidad, como se menciona en el marco teórico, es fundamental para el acondicionamiento acústico de un espacio, y tal como se vio en la investigación, los tipos de materiales usados en el mobiliario usado para las salas influyeron en los tiempos de reverberación y en los grados de inteligibilidad de la palabra, y debido a que en las dos metodologías educativas estudiadas los tipos de materiales usados en el mobiliario son distintos, los tiempos de reverberación mostraron resultados diferentes y que apoyan el tipo de acústica que buscan lograr.

Tal como se menciona anteriormente, en el método Montessori se busca aislar acústicamente las áreas de trabajo individual, con el objetivo de otorgar ambientes de lectura y concentración, esto es posible gracias a que la madera usada en las estanterías presenta índices de absorción que permiten controlar las frecuencias de la voz

humana, con tal que el sonido emitido por las Guías y los niños en el centro de las salas no interrumpa los procesos y actividades individuales de otros niños. Y finalmente en el área grupal desde donde se transmite el mensaje, es necesario el entendimiento de la palabra, por lo tanto, el uso de la alfombra en estos casos fue útil para mejorar los tiempos de las altas frecuencias, logrando valoraciones aceptables en la inteligibilidad de la palabra.

En cambio, en la metodología tradicional, al requerir una distribución pareja del sonido por toda la sala, específicamente en el área de receptores, la materialidad del mobiliario influye más que nada en reducir los tiempos de reverberación, más no para distribuir o controlar el sonido, en este caso el techo o el muro posterior de la sala son los que se encargan de las primeras reflexiones.

Sin embargo, todos los casos analizados en la investigación presentaron tiempos de reverberación que superan los 0.6s ya sea con metodología Tradicional o Montessori, por lo tanto, el acondicionamiento usado no fue el mejor para unos buenos tiempos de reverberación dentro de una sala destinada a la palabra según la OMS, no obstante, si pueden ser mejoradas al punto de cumplir con dicho estándar, ya que en la metodología planteada se analizó en primera instancia los salones Montessori, caracterizando su lógica espacial y la forma de enseñar, al punto de identificar tres salas pertenecientes a distintos niveles, en las cuales se hicieron esquemas de las áreas de trabajo, las que corresponden a instancias que requieren más concentración, y se definieron áreas grupales, desde donde se emiten los sonidos principales.

Esta información fue de utilidad para realizar un acondicionamiento o reorganización del mobiliario permitiendo ajustar la distribución del sonido, al punto de que los esquemas acústicos fueran iguales a los esquemas obtenidos en el objetivo 1.

Lo anterior también se pudo realizar mediante el cambio de materialidades del mobiliario utilizado, para esto se consideró que el tipo de materiales utilizados cumplen una función según el área que corresponda, ejemplo de esto, fue utilizar materiales con coeficientes de absorción buenos en altas frecuencias (>20% de absorción) en áreas grupales o donde se ubicaron las principales fuentes de sonido, ya que así se pudo controlar de mejor manera las frecuencias altas (>1000Hz) y mejorar la inteligibilidad de la palabra. Para regular la acústica en las áreas de trabajo se debe entonces poner énfasis en maderas que sean buenas absorbiendo bajas

frecuencias para lograr bajar la intensidad de voz (entre 125Hz a 250Hz).

Pese a que se pudo realizar la investigación, obteniendo resultados gráficos que fueron comparados con tablas de investigaciones e informes sobre acústica en espacios educativos, los resultados fueron todos de carácter teórico, es decir, que en la realidad estos resultados pueden diferir de los visto en la investigación, es por esa razón que las investigaciones sobre la acústica, hacen pruebas en terreno, esto es, obtención de tiempos de reverberación mediante mediciones con sonómetros al interior de las salas, donde, estos tiempos son comparados con las fases de cálculo, y posteriormente, al igual que la presente investigación, fueron traspasados a los programas de simulación.

En este documento la etapa de mediciones no fue posible realizarlas debido a los protocolos sanitarios de la pandemia Covid-19, más aún al tratarse de un establecimiento educacional como lo es el colegio Rayen Mahuida Montessori. Este tipo de mediciones requieren tiempo y preparación, donde el sonómetro y la fuente de sonido se colocan en distintas posiciones para medir los tiempos y niveles de presión sonora, y finalmente ponderar los resultados obtenidos, lo anterior por cada caso, ya sean vacías, con mobiliario y con personas. Es decir, que se requiere de la disposición total de las salas, el mobiliario y sus usuarios.

Continuando con las limitaciones, el programa EASE 4.3 permitía una gran variedad de simulaciones con las cuales poder obtener información, sin embargo, el tiempo limitado para desarrollar la investigación y un conocimiento parcial del software, permitieron enfocarse en una limitada cantidad de gráficos, como lo fueron los grados de inteligibilidad de la palabra, intensidad del sonido directo, tiempos de reverberación y modelo de rayos (utilizados para hacer esquemas de reflexión de sonido), por lo que aún existen otras simulaciones con las cuales obtener información de como la metodología Montessori influye en la acústica de una sala, aunque, los tipos de gráficos seleccionados son los más relevantes para realizar un acondicionamiento acústico en salas destinadas a la palabra.

Otra limitación de la investigación fue la cantidad de salas levantadas, ya que si bien fueron escogidas con el objetivo de analizar cómo se comparte la acústica en tamaños y materialidades diferentes, puede no representar a todos los tipos de salas Montessori existentes

en Santiago. Por lo tanto, expandir la investigación a otros establecimientos Montessori ayudaría a aumentar la cantidad de salas y establecer más tipologías de organización Montessori, con el objetivo de analizar su influencia en la acústica interior.

Cabe mencionar, que se impuso una limitación en la investigación en cuanto a suspender el ruido de fondo del proceso de cálculo y simulaciones, con el objetivo de hacer énfasis en la metodología de educación y así generalizar los resultados. Por ende, otra arista que se puede investigar es el impacto del ruido de fondo en la acústica interior de los salones Montessori, en el cual tomar casos de ambientes exteriores con sus respectivos niveles de presión sonora, y obtener resultados como los ambientes propicios para la ubicación de este tipo de salas, o el acondicionamiento adecuado para cada caso de exteriores.

En resumen, la investigación sirve de base, no solo como para mejorar la acústica de las salas analizadas, sino que también sirve para comprobar que existen diferencias, en cuanto a acústica se refiere, entre las distintas metodologías de educación, en este caso específico entre el método Montessori y la metodología tradicional, con lo cual se podría aplicar la misma forma de abordar la investigación para colegios Waldorf, Doman, Kumon, entre otros, los cuales mediante su enseñanza pueden influir en cómo se distribuye el sonido, que zonas son más ruidosas o silenciosas, ya que actualmente la normativa chilena no distingue entre sistemas educativos y los define como recintos que deben estar totalmente aislados, pero no se menciona algo en concreto sobre la acústica interior, y por consecuencia se requiere la implementación de un acondicionamiento acústico posterior, que se basan en reducir los tiempos de reverberación. Sin embargo, tal como se presentó en la investigación, la influencia del método Montessori en la acústica define zonas que requieren mayor presión sonora, y otras con menor intensidad de la voz, poniendo énfasis en las frecuencias bajas para estas últimas.

- Acevedo, V. (2009) Evaluación del acondicionamiento acústico y recomendaciones de diseño para salas de clases en la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile [Tesis, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl>
- Acero, L. Bustos, C. (2011). Diseño acústico de las aulas de clase de la nueva construcción del colegio Distrital. [Tesis, Universidad de San Buenaventura].
- ACUSTEC (s.f.) Acústica Salas de Clases. [PDF] <https://medicion-deruido.cl>
- ANSI S12.60-2002. Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. [PDF] <https://citeseerx.ist.psu.edu>
- Arenas, V, Benítez, M, (2019) La poderosa influencia de la arquitectura en la educación y la convivencia. [Artículo de internet] <https://exitoeducativo.net>
- Camacho Prats, A, (2016), La Arquitectura Escolar: Estudio de Percepciones[PDF] <https://repositorio.uam.es>
- Carrion, A. (1998) Diseño acústico de espacios arquitectónicos. [PDF] <https://arqlemus.files.wordpress.com/>
- Casado, J, Pérez Izquierdo, A, (2009) Trastornos de la voz: del diagnóstico al tratamiento. [PDF] <https://seorl.net>
- Colton, R, Casper, J, Leonard, R, (2011) Understanding voice problems: A Physiological Perspective for Diagnosis and Treatment. [PDF] <https://ucdavis.pure.elsevier.com>
- Department of education and Skills, (2012). Acoustic Design in Schools. Building Bulletin, 93. United Kingdom. [PDF] <https://assets.publishing.service.gov.uk>
- Durá A, Vera J, Yerba M, (2002) Análisis y valoración de los factores que intervienen en las salas de uso docente en relación con la problemática particular de la población con discapacidades auditivas en diferentes grados. [PDF] <http://oirpensarhablar.com>

## REFERENCIAS

- Facio, C. (2010) Sonido, silencio: acústica y arquitectura Entrevista al maestro Eduardo Saad Eljure, [PDF] <http://revistas.unam.mx>
- Farías, P. (2010). Ejercicios que restauran la función vocal: observaciones clínicas [PDF] <https://www.academia.edu/>
- Ganem, P. (2002), Escuelas que matan: Las partes enfermas de las instituciones educativas. [PDF] <https://books.google.com.mx/>
- Instituto Nacional de Normalización INN. (2000). NCh 352. Of2000. Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios. [PDF]
- Ipinza, C. (2014) Arquitectura y Acústica en Centros Educativos Una mirada al panorama chileno. [PDF] <https://www.scribd.com>
- Jiménez, A. M. (2009). La nueva escuela y los espacios para educar. [Revista Educación y Pedagogía] <http://aprendeonline.udea.edu.co>
- Lázaro, L. (2015) Ambientes de aprendizaje. Implicaciones pedagógicas y propuesta para el segundo ciclo de educación infantil. [PDF] <https://reunir.unir.net/handle/123456789/2864>
- Mañó, F. (2010) Aislamiento y acondicionamiento acústico de un auditorio para actuaciones en directo de bandas de música [Tesis]
- Merina, E (2015) Diferencias entre el Método Montessori y la educación tradicional [Video] <https://www.youtube.com>
- Ministerio de Fomento, (2019), Documento básico "DB HR Protección frente al ruido". Normativa Española. [PDF] <https://www.codigotecnico.org>
- Miyara, F. (s.f.) La voz humana [PDF]: [www.fceia.unr.edu.ar](http://www.fceia.unr.edu.ar)
- Montessori, M. (1914) El manual personal de la dr. Montessori. [PDF] [www.academia.edu](http://www.academia.edu)
- Monteoliva, J. (2017) La luz natural en los espacios de aprendizaje y sus efectos en el desempeño del control atencional de los niños. [PDF] <https://www.researchgate.net/>

- OMS, (1999) Guías para el ruido urbano. [PDF] <https://ocw.unican.es>
- Ré, G. (2017) Niveles de confort térmico en aulas de dos edificios escolares del área metropolitana de San Juan. [PDF] <https://www.researchgate.net/>
- Recuero, M. (2001) Acústica arquitectónica. [PDF] <https://www.academia.edu/>
- Rodríguez, A. (2017). Datos Normativos de la Voz. [PDF] <https://repo.uss.cl>
- Riera, M.A.; Ferrer, M.; Ribas, C. (2014). "La organización del espacio por ambientes de aprendizaje en la Educación Infantil: significados, antecedentes y reflexiones". [RELAdEI Revista Latinoamericana de Educación Infantil] <http://www.reladei.net>
- Silva, F. (2008) Efecto Acústico del público en una sala. [PDF] <http://repositorio.uchile.cl/>
- Villarroel, M. (2013) El sonido de la historia: El Sonido como Fuente de Interpretación Histórica y sus Potencialidades de trabajo en la Sala de Clases. [PDF] <http://bibliotecadigital.academia.cl>
- Wild, R. (2002). Educar para ser. Vivencias de una escuela activa. Barcelona: Herder. [PDF]

MATERIAL	125	250	500	1000	2000	4000	Fuente
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Ladrillo pintado	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Cerámica	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
panel de yeso c/ fibra de vidrio	0,17	0,1	0,09	0,09	0,07	0,06	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
panel de yeso c/espacio de aire	0,14	0,1	0,09	0,03	0,02	0,02	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Vidrio común 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Vidrio común 6mm	0,1	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Puertas	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Alfombra sobre fieltro	0,04	0,04	0,15	0,3	0,5	0,6	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Alfombra de fieltro	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,25	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Madera barnizada	0,05		0,03		0,03		Acústica arquitectónica, Manuel Recuero L.
Madera contrachapada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11	Acoustical Surfaces <a href="http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101_13.htm">http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101_13.htm</a>
Enchapado de plástico	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Escolar sentado	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Escolar de pie	0,18	0,2	0,27	0,3	0,36	0,36	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>
Adulto	0,21	0,33	0,41	0,42	0,46	0,42	Fac. Arq. - Univ. de la República (Uruguay) <a href="http://www.farq.edu.uy">www.farq.edu.uy</a>

Tabla de materiales identificados en las salas y su respectiva fuente. Elaboración propia