



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Acústica

Profesor Patrocinante:
Sr. Jorge Sommerhoff Hyde
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile

“ESTUDIO DE LA CALIDAD ACÚSTICA DE
SALAS DE CLASES EN COLEGIOS DE
VALDIVIA, UTILIZANDO STI”

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Acústica y al Título
Profesional de Ingeniero Acústico.

RODRIGO ALBERTO TORRES ALARCÓN
Valdivia-Chile
2008

Agradecimientos

A mi Madre por construir este mundo para mí, por su incalculable amor y ternura, por hacer de mí lo que soy hoy y lo que seré mañana. Te amo “vieja linda”.

A mi familia que de una u otra forma ha ayudado en la construcción de este lugar en el que habito. En especial a aquellos que lo hacen por amor y creen que se puede (Vamos que se puede).

A mi abuelita, que de no ser por ella estás palabras no existirían. Mucha fuerza en todo lo que te resta por vivir “mami”, nunca olvides el inmenso amor que sentimos por ti.

Tío Rodo, gracias por ser lo que no tuve, un padre.

Tía Pili, mi querida Pili, gracias por malcriarme como lo haces todavía, gracias por tu inmensa paciencia y verdadero amor.

Tía Paty, gracias por estar siempre donde cada uno de nosotros la necesita, por adoptarnos y querernos como lo hace.

A mi hermanita, por aportar la energía y vitalidad a una familia un poco cansada de sortear los obstáculos del camino de la vida. Sigue adelante, no pierdas nunca esa garra que tienes, aunque no te lo digo muy seguido, te quiero muchísimo.

A mis tíos: Jaime, Lidia, Luis, Lali, Rosa (ocha), en especial al tío Pepe.

A amigos, amigas, amigotes y amigotas: Julio (Tito), Reinaldo, Esteban (Enfermero), José (Ingeniero), Sebastián (“Gordita cachipurri”), Pablo (el “Z”, gracias por tu sencillez y amistad), Rodrigo (“RM” tocayo, amigo y socio), Gisselle (Chey), Vivi (“la mamá Vivi”), Marcelo (“pelao”, lamentablemente voy para allá), Daniela (Dani), Dominique (Domi), Víctor. Especiales agradecimientos a Walter (“Piolín”) por esta siempre (en las buenas y en las malas), Los Desoordenados (Ro, Pita, Pelao, Fer, Karsten, Alfonsin, por darme la oportunidad de hacer lo que más me gusta en la vida), a los animales amigos: Kiotto (que en paz descanse) y “Morochito”.

A las personas buena onda y desinteresadas que han aportado un granito de arena en todo esto: Jorge Padilla, Tía Albina, Luchín, Tía Cristina, don Guillermo y señora Ema, los tíos de la casa (Mey y Elena), señora Nieves y don Eleazar y a todos: aunque no aparezca su nombre en este papel, siempre estarán en mi corazón.

A los profesores José Luis Barrios, Jorge Cárdenas y en especial a Jorge Sommerhoff por su ayuda en esta etapa final.

A mi “Negra Linda”, gracias por cada uno de los segundos que has estado a mi lado, por tu amor, por tu inocencia, por tu picardía, por tu dulzura y delicadeza, por tu sinceridad, por ser mi mano derecha (izquierda, brazos y otros), por quererme como lo haces, por creer en mí y en mis (nuestros) proyectos. Eres lo que siempre había soñado, gracias a Dios por haberte puesto en mi camino (Clase de Física (FSCA101)). Te AMO y te amaré por siempre.

A todas esas personas y personitas, las amo y espero estar junto a ustedes para siempre.

Resumen

La inexistencia de consideraciones acústicas en el diseño y construcción de salas de clases, puede producir daños sustanciales, que se presentan en formas sutiles y por lo tanto, difíciles de detectar, incluso por los mismos afectados. Tal es el caso de la falta de inteligibilidad de la palabra, que produce un deterioro acumulativo en el aprendizaje, irreversible si no se le advierte y remedia a tiempo.

La calidad acústica de las salas de clases es un concepto que normalmente se discute sin contar con mayores referentes o catastros objetivos de la situación actual. La existencia de numerosos trabajos extranjeros que confirman la importancia de considerar parámetros acústicos en el proceso de mejora de la educación, sirve de precedente para iniciar una evaluación en el ámbito local.

En el presente estudio se analizaron tres de los parámetros más influyentes en la calidad acústica de salas destinadas a la transmisión de la palabra: el nivel de ruido de fondo, el tiempo de reverberación y la inteligibilidad de la palabra, lo que permite ofrecer una muestra interesante sobre la calidad acústica de los colegios en Valdivia.

Los resultados obtenidos de acuerdo a los tres parámetros evaluados, muestran valores que se alejan de los rangos recomendados para salas destinadas al aprendizaje, siendo posible deducir que la calidad de los centros de enseñanza estudiados no alcanzan los estándares necesarios para lograr una óptima interacción entre profesores y alumnos.

Summary

The non - existence of acoustic considerations in designing and building classrooms produces substantial damages, present in subtle forms that are difficult to detect, even for the people who are affected. The lack of speech intelligibility produces an accumulative deterioration in learning, and is irreversible if it is not noticed and repaired on time.

The acoustic quality of classrooms is a concept normally discussed but without any references to the actual situation. The existence of numerous foreign works that give supporting evidence to the importance in considering acoustic parameters in the process of education improvement, it serves as precedent to initiate an evaluation in the local area.

In this study, three of the most influential parameters in classrooms acoustic were examined: background noise level, reverberation time and speech intelligibility, offering interesting evidence of the acoustic quality of schools in Valdivia.

The results obtained, according to the three evaluated parameters, show values not in the ranges recommended for rooms destined to learning. Finally, it is possible to deduce that the acoustic quality in the schools measured is not proper for achieve an optimal interaction between teachers and students.

Índice

RESUMEN	2
SUMMARY	4
ÍNDICE	5
1 INTRODUCCIÓN	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3 TEORÍA	9
3.1 INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.....	9
3.2 FACTORES ACÚSTICOS INFLUYENTES EN LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.	10
3.2.1 <i>Tiempo de reverberación</i>	10
3.2.2 <i>Ruido de fondo</i>	11
3.2.3 <i>Nivel de presión sonora del sonido directo que llega al auditor desde la fuente</i>	15
3.2.4 <i>Factores de geometría del recinto</i>	16
3.3 MÉTODOS DE MEDIDA DE LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA.	17
3.3.1 <i>Test de articulación</i>	18
3.3.2 <i>Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (%ALCons)</i>	20
3.3.3 <i>STI (Speech Transmission Index)</i>	22
3.3.4 <i>RASTI (Rapid Speech Transmission Index)</i>	24
3.3.5 <i>STI-PA (Índice de transmisión de la palabra para sistemas de P.A.)</i>	25
4 MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE MEDIDA.....	27
4.2 LOS ESTABLECIMIENTOS.	27
4.3 MATERIALES UTILIZADOS.	27
4.4 FORMA DE MEDICIÓN.	29
4.5 DIMENSIONES Y MATERIALES DE LAS SALAS ESTUDIADAS.	31
4.5.1 <i>Liceo Polivalente Los Avellanos</i>	31
4.5.1.1 Sala numero uno.....	31
4.5.1.2 Sala numero dos.....	32
4.5.2 <i>Windsor School</i>	33
4.5.2.1 Sala numero uno.....	33
4.5.2.2 Sala numero dos.....	34
4.5.3 <i>Instituto Salesiano</i>	35
4.5.3.1 Sala numero uno.....	35
4.5.3.2 Sala numero dos.....	36
4.5.4 <i>Domus Mater</i>	37
4.5.4.1 Sala numero uno.....	37
4.5.4.2 Sala numero dos.....	38
4.5.5 <i>María Auxiliadora</i>	39
4.5.6 <i>Inmaculada Concepción</i>	40
4.5.6.1 Sala numero uno.....	40
4.5.6.2 Sala numero dos.....	41
4.5.7 <i>Escuela España</i>	42
4.5.7.1 Sala numero uno.....	42
4.5.7.2 Sala numero dos.....	43
4.5.7.3 Sala numero Tres.....	44
4.5.8 <i>Colegio Austral</i>	45
4.5.8.1 Sala numero uno.....	45
4.5.8.2 Sala numero dos.....	45
4.5.8.3 Sala numero Tres.....	46
4.5.9 <i>Colegio Aliwen</i>	46
4.5.9.1 Sala numero uno.....	46
4.5.9.2 Sala numero dos.....	47

5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
6	CONCLUSIONES	57
7	BIBLIOGRAFÍA	58
8	ANEXOS	61

1 Introducción

Siempre que un profesor realiza su función docente para un grupo de alumnos de cualquier nivel, se esfuerza en alcanzar los objetivos naturales del aprendizaje, haciendo uso de un gran número de herramientas, si bien no todas tienen la misma importancia. La palabra hablada es, por naturaleza, esencial en este proceso y por tanto, es conveniente tener la garantía de que el mensaje que ésta conlleva se transmite de la forma más nítida posible entre los sujetos de la comunicación. Para ello, no es suficiente la emisión clara del mensaje ya que, antes de su recepción, éste se ve modificado por las características acústicas, tanto de la sala, como del entorno en que se desarrolla el proceso. En este sentido, la presencia de elevados niveles de ruido de fondo o la escasa adaptación acústica de la sala, pueden provocar unas deficientes condiciones de inteligibilidad de la palabra, que dificulten la finalidad educativa básica que se persigue en este tipo de instalaciones.

Son abundantes las referencias que relacionan la falta de inteligibilidad de la palabra de un determinado ambiente con la aparición, en los sujetos expuestos, de síntomas de fatiga, irritabilidad, agitación y pérdida de atención, todos los cuales distorsionan el proceso educativo normal pudiendo incidir gravemente, no sólo en la pérdida de eficacia, sino además en el fracaso de la función docente en su conjunto (Kryter K., 1985).

Por lo anteriormente mencionado, se ha decidido realizar un estudio de la calidad acústica de las salas de clases de los colegios de la ciudad de Valdivia, enfocándose principalmente en la inteligibilidad de la palabra. Para ello, se realizarán mediciones objetivas de la inteligibilidad de la palabra, utilizando STI. Con los resultados obtenidos de dichas mediciones se dará a conocer el estado acústico actual de las salas.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Estudiar y determinar la calidad acústica de las salas de clases en colegios de Valdivia, a través de la inteligibilidad de la palabra medida por medio del STI (*Sound Transmission Index*).

2.2 Objetivos Específicos

- Medición de parámetros acústicos tales como:
 - Tiempo de reverberación
 - Ruido de fondo.
- Medición del índice de transmisión de la palabra (STI-PA).
- Comparación de resultados con referencia a los valores recomendados.

3 Teoría

3.1 Inteligibilidad de la Palabra.

La lengua es un sistema de signos lingüísticos que los miembros de una comunidad memorizan y que les permite comunicarse. Tiene carácter social. El habla es el acto de seleccionar signos y organizarlos mediante reglas. Es esencialmente individual. Los signos lingüísticos son entes que reemplazan una idea para comunicarla. Poseen dos aspectos: el significado (idea a comunicar) y el significante (la expresión o imagen utilizada para comunicarla). En el lenguaje humano los significantes pueden ser gráficos (lenguaje escrito) o acústicos (lenguaje hablado). Los significantes son combinaciones de elementos de diversas jerarquías. El mínimo elemento libre es la palabra. En el caso gráfico, el significante está formado por grafemas (por ejemplo, letras). En el caso acústico, por fonemas (por ejemplo, el correspondiente a una consonante) (Miyara F., 2004). Un fonema es la unidad fonológica más pequeña en la que puede dividirse un conjunto fónico. Cumple una función distintiva y carece de significado. Una palabra, como por ejemplo, /páso/ *paso*, está formada por una serie de cuatro fonemas, ya que el máximo de unidades mínimas en que puede ser dividida es /p/ + /a/ + /s/ + /o/, sin que podamos fragmentar cada uno de estos fonemas en elementos más pequeños; tanto la /p/, como la /a/, como la /s/, como la /o/ son unidades completamente indivisibles (Quilis A., Fernández J., 1969).

La palabra es una sucesión de emisiones vocales que produce una onda cuya frecuencia y amplitud varían rápidamente en el tiempo. La voz humana tiene en promedio, un espectro de potencia con una cresta (en los hombres) situada alrededor de los 500 c/s y un espectro (en bandas de octava) que decae a partir de los 1000 c/s a razón de unos 8 dB/octava. En las altas frecuencias se incrementa la direccionalidad de la voz (Beranek L., 1969).

Cada sílaba de las palabras dura alrededor de 1/8 de segundo y el intervalo entre sílabas es, en promedio, de alrededor de 0,1 segundo. Algunos sonidos como las vocales, son producidos por las cuerdas vocales. Otros

sonidos se originan en los ruidos del movimiento del aire a través de la boca y sobre la lengua y los labios.

Los sonidos correspondientes a las vocales no son tan críticos en lo que respecta a la inteligibilidad de la palabra como los de las consonantes. Es desafortunado que las consonantes sean tan débiles como para ser enmascaradas por el ruido (Beranek L., 1969).

La inteligibilidad de la palabra, como índice, cuantifica el grado de comprensión del mensaje oral emitido por una fuente, en la posición del auditor.

3.2 Factores acústicos influyentes en la inteligibilidad de la palabra.

3.2.1 Tiempo de reverberación.

Uno de los factores más importantes en el diseño acústico, es la reverberación de la sala.

Se denomina reverberación al sonido que persiste en el interior de la sala después de apagada la fuente emisora. La reverberación está formada por el conjunto de reflexiones que se fusionan unas a otras, y que se extinguen con mayor o menor rapidez dependiendo de la absorción y volumen de la sala (Sommerhoff J., 2003).

“La reverberación que acompaña a cada impulso de una señal irregular (palabra o música) puede ser útil siempre que la duración sea la debida, escuchándose la palabra más clara y la música más animada, debido al encadenamiento entre los sucesivos tonos musicales. Si la reverberación es muy grande, la palabra es menos inteligible, y en la música se produce un solapamiento entre las notas musicales, por lo que la audición se empeora, al tener menos calidad” (Recuero M., 1993).

Si la persistencia del sonido decae en forma lenta, la sala se denomina *sala viva*, si el decaimiento es muy rápido, la sala se denomina *sala muerta o seca*.

El *tiempo de reverberación* (T) permite cuantificar la reverberación de una sala. Fue definido por W. C. Sabine en 1895, como el tiempo necesario para que, una vez cortada la fuente sonora en la sala, la energía disminuya a una millonésima parte (60 dB).

La ecuación más básica que permite cuantificar el *tiempo de reverberación* (T) esta dada por:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (1)$$

Considerando la velocidad del sonido como $c=344\text{m/s}$.

Esta ecuación incluye sólo la absorción de las superficies límites, por lo tanto falta agregar en ella la absorción de los objetos y la absorción del aire (Sommerhoff J., 2003).

Una ecuación más general del tiempo de reverberación (ecuación 2), que incluye la absorción A que corresponde a la absorción de las superficies límites, la absorción A' que corresponde a la absorción de los objetos, y la absorción $4mV$ que corresponde a la absorción del aire (Sommerhoff J., 2003).

$$T = 0,16 \frac{V}{A + A' + 4mV} \quad (2)$$

La absorción es dependiente de la frecuencia, luego, el tiempo de reverberación también es dependiente de la frecuencia y por lo tanto, habrá que calcularlo para cada banda de frecuencia (Sommerhoff J., 2003).

3.2.2 Ruido de fondo.

Los seres humanos estamos expuestos a ondas sonoras en forma cotidiana. Algunas de las ondas sonoras que inciden sobre nuestros oídos contienen información deseada o útil. Otras de ellas son parte de un entorno natural y están tan integradas a nuestra percepción del ambiente, que muchas veces ni siquiera las notamos. Sin embargo, existe otro tipo de ondas sonoras

que no son bien acogidas. Estos sonidos no deseados reciben el nombre de *ruido*.

El ruido puede provocar efectos de muy variada índole, que van desde simples molestias hasta problemas clínicos no reversibles o alteraciones psíquicas severas. El más estudiado y cuantificable de los efectos en el ser humano es la pérdida de la audición (Kogan P., 2004).

La variedad de ruidos que puede percibir una persona es infinita. Las principales variables que definen físicamente a un ruido son: sus componentes espectrales, su dinámica temporal, sus amplitudes, sus fases relativas y su duración (Kogan P., 2004).

Los ruidos se pueden clasificar de varias maneras: por su carácter temporal (*ruido constante, intermitente, fluctuante, de impacto, periódico, etc.*); por sus características espectrales (*tono puro, ruido de banda estrecha, banda ancha, blanco, rosado, etc.*); por su naturaleza (fuente o ámbito del que proviene u otra característica peculiar, por ejemplo ruido comunitario, ruido industrial, ruido aeronáutico, etc.); por su contenido semántico (significado asociado); por su nivel sonoro (alto, medio, bajo); etc (Kogan P., 2004).

El ruido afecta de tres maneras la percepción de la palabra hablada: por alteración del espectro, por enmascaramiento y por confusión de patrones temporales (Miyara F., 1999).

Cuando un ruido se superpone a un sonido útil, el espectro resultante difiere del original, y dado que la percepción se inicia con un análisis de espectro, resulta un patrón espectral alterado que dificulta su interpretación (Miyara F., 1999).

El fenómeno de enmascaramiento consiste en que si junto a un sonido se presenta otro de intensidad bastante mayor (por ejemplo 20 ó 30 dB mayor), el primero se vuelve completamente imperceptible. En condiciones normales esta limitación del oído es útil, pues permite liberar al cerebro de una gran cantidad de información irrelevante que de otra manera lo sobrecargaría (por ejemplo, una conversación secundaria). Pero cuando los sonidos enmascarados son los correspondientes a la palabra hablada, el resultado puede ser la pérdida de inteligibilidad (Miyara F., 1999).

El enmascaramiento puede ser total o parcial. En el primer caso se enmascararía toda la emisión vocal, como sucede al intentar hablar en tono

normal dentro de una fábrica ruidosa. En el segundo caso, se enmascaran los sonidos más débiles, o las sutiles diferencias que permiten distinguir una consonante de otra. Este enmascaramiento parcial también afecta a la inteligibilidad, ya que los sonidos perdidos suelen ser portadores de la mayor parte de la información. Por ejemplo, la confusión de la “s” por una “j” en la palabra “casa” la transforma en “caja” cambiando completamente el sentido. Por último, cuando un ruido intermitente como puede ser el de golpes o impactos inclusive débiles se superpone a una emisión vocal, algunas consonantes de similar perfil temporal, como la “c” y la “t”, pueden confundirse (Miyara F., 1999).

Para poder conocer y valorar la reacción de una persona o de un colectivo ante un el ruido, es necesario crear una escala que relacione la respuesta subjetiva de las personas con alguna propiedad física medible de la fuente sonora (potencia acústica, intensidad, presión), mediante un valor numérico (Recuero M., 1995).

Existe un índice dado por L. L. Beranek en 1957, llamado *Curvas de criterio de Ruido (NC)*, con el que se pretendió originalmente relacionar el espectro de un ruido con la perturbación que producía en la comunicación verbal, teniendo en cuenta los niveles de interferencia de la palabra y los niveles de sonoridad (Recuero M., 1995).

La evaluación objetiva del grado de molestia que un determinado ruido ambiental provoca en un oyente, se realiza por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto, en cada banda de octava comprendida entre 63 Hz y 8 kHz, con el conjunto de curvas de referencia NC (*Noise Criteria*) (Carrión A., 2001).

Las curvas NC son, además, utilizadas de forma generalizada para establecer los niveles de ruido máximos recomendables para diferentes tipos de recintos en función de su aplicación (oficinas, salas de conferencias, teatros, salas de conciertos, etc.).

Se dice que un recinto cumple una determinada especificación NC (por ejemplo: NC-20) cuando los niveles de ruido de fondo, medidos en cada una de dichas bandas de octava, están por debajo de la curva NC correspondiente (ver Figura 1) (Carrión A., 2001).

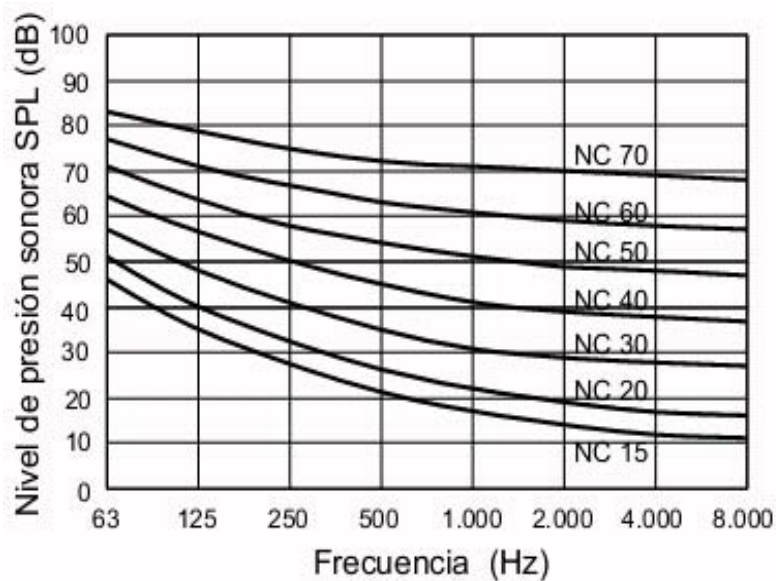


Figura 1: Curvas de criterio de ruido NC Carrión A., 2001).

El ruido de fondo de una sala, corresponde a la suma de ruido producido en el interior de ésta, más el ruido proveniente del exterior. Además, se debe tener presente que la transmisión del sonido no se produce necesariamente a través de un camino directo. La propagación de la vibración puede seguir muchos caminos, pues dos elementos constructivos conectados entre sí pueden intercambiar energía vibratoria. Además del camino directo a través de una pared (o techo) existen los llamados caminos laterales o indirectos. En general, no es posible establecer cuál de los caminos de transmisión es más importante sin la realización de mediciones (Möser M., Barros J.; 2004).

Por ejemplo, la pared de separación entre dos habitaciones puede tener un aislamiento acústico tan elevado, que los caminos indirectos lleguen a ser los más influyentes en la transmisión. El mejoramiento de una pared divisoria no implica necesariamente un mejoramiento del aislamiento acústico total entre dos habitaciones (Möser M., Barros J.; 2004).

El aislamiento acústico de una pared se puede ver disminuido por diferentes factores. Algunos ejemplos de ellos son: la transmisión por flancos, conductos de aire acondicionado, rendijas, orificios, ventanas, puertas, etc.

Tabla 1: Curvas NC y equivalencia en dBA, para distintos tipos de recintos (Carrión A., 2001).

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestibulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

3.2.3 Nivel de presión sonora del sonido directo que llega al auditor desde la fuente.

La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado, llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre; mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto. En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimiento de las superficies implicadas. Lógicamente, cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas reflexiones (Carrión A., 2001).

Todas aquellas reflexiones que llegan a un oyente dentro de los primeros 30 ms desde la llegada del sonido directo, son integrados por el oído humano y en consecuencia, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo. Cuando el sonido emitido es un mensaje oral, tales reflexiones

contribuyen a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje y al mismo tiempo, producen un aumento de sonoridad (o sensación de amplitud del sonido) (Sommerhoff J., 2003).

Por el contrario, la aparición en un punto de escucha de una reflexión de nivel elevado con un retardo superior a 50 ms, es totalmente contraproducente para la obtención de una buena inteligibilidad de la palabra ya que es percibida como una repetición del sonido directo (suceso discreto). En tal caso, dicha reflexión se denomina eco (Carrión A., 2001).

En salones grandes con tiempos de reverberación cortos, la energía sonora de la voz del profesor puede quedar absorbida por un techo suave, antes de llegar a los alumnos en la parte posterior de la sala. La voz del profesor puede difundirse hacia toda la sala con placas reflectoras colocadas de forma adecuada al frente de la sala, o haciendo rígida y reflectante la parte central del techo. Esta superficie reflejará el sonido hacia la parte posterior del salón. Para mantener un tiempo de reverberación corto en salones con superficies reflectoras, puede ser necesario agregar materiales absorbentes, por ejemplo, en las paredes laterales y del fondo. La necesidad de emplear de reflectores depende de los métodos de enseñanza empleados. Por ejemplo, los reflectores son útiles en clases, pero no en salones empleados para trabajo en pequeños grupos o en laboratorios (ASA, 2006).

Lo anteriormente descrito tiene como objetivo, lograr que el nivel de la fuente (profesor) en la posición del receptor (alumno), sea lo suficientemente alto para tener una alta relación señal - ruido lo que lleva a una mejor inteligibilidad de la palabra.

3.2.4 Factores de geometría del recinto.

Mucha gente está familiarizada con el hecho de que al gritar en una quebrada, se escucha la propia voz que responde un segundo después. Esto también puede ocurrir en las salas, pero más rápidamente. Esto es conocido como eco.

El eco es una reflexión molesta que se distingue claramente del sonido directo. Uno de los defectos acústicos más serio y notorio que puede tener una sala, es el eco. El oído percibe como un eco las reflexiones que tienen una diferencia de tiempo con respecto al sonido directo mayor que 0.04 segundos,

para el caso de la voz hablada. Si se considera que la velocidad del sonido es de 344m/s, entonces estos intervalos de tiempo corresponden a una diferencia de trayectoria de 14 m (Sommerhoff J., 2003).

El eco flotante (“Flutter echo”) consiste en una repetición múltiple, en un breve intervalo de tiempo, de un sonido generado por una fuente sonora, y aparece cuando ésta se sitúa entre dos superficies paralelas, lisas y reflectantes (Ver figuras 2 y 3) (Carrión A., 2001).

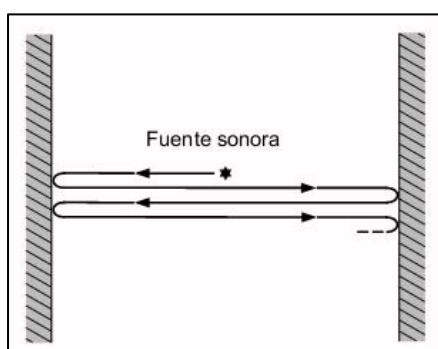


Figura 2: Eco flotante aparecido al colocar la fuente sonora entre dos paredes paralelas, lisas y muy reflectantes (Carrión A., 2001).

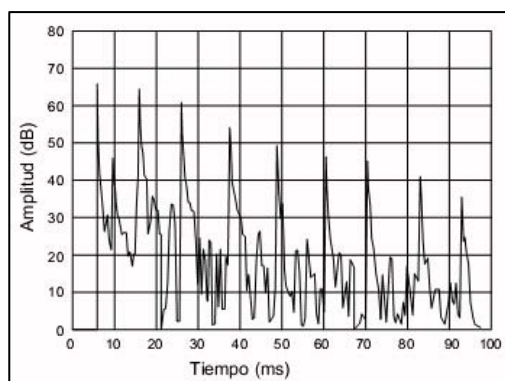


Figura 3: Curva energía-tiempo ETC ilustrativa de la existencia de eco flotante (Carrión A., 2001).

Si la voz del profesor produce ecos continuamente hacia una región del salón, cada eco interferirá con la siguiente palabra, con lo que la comprensión de la lección se hace más difícil. El eco es también un problema común en los gimnasios (ASA, 2006).

3.3 Métodos de medida de la Inteligibilidad de la Palabra.

Existen formas establecidas hasta ahora para medir la inteligibilidad en recintos destinados a la palabra. Estos criterios tienen en cuenta los problemas comentados más arriba y permiten mejorar el comportamiento de aulas existentes y predecir el comportamiento deseado en la etapa de diseño de obras nuevas.

A continuación se presentan cinco métodos usados para medir la inteligibilidad de la palabra.

3.3.1 Test de articulación

Los tests de articulación son pruebas orientadas a determinar el grado de inteligibilidad que tendrá la palabra en un medio acústico ruidoso. Se pueden hacer con sílabas sin significado, con palabras, o con frases. El procedimiento del test es similar al utilizado en una logaudiometría: se lee cierta cantidad de sílabas, palabras o frases según corresponda, con dicción clara y con un nivel sonoro conocido y aproximadamente constante, en presencia del ruido cuyo efecto se quiere evaluar. Se obtiene el índice porcentual de articulación, definido como el porcentaje de aciertos sobre intentos por parte de varios escuchas con buena audición. Se utilizan sílabas, palabras o frases acústicamente balanceadas (Miyara F., 1999).

Existen varios índices, según la extensión del material fonético utilizado: el índice porcentual de articulación silábica, IPAS, el índice porcentual de articulación de palabras, IPAP, y el índice porcentual de articulación de frases, IPAF. Una característica interesante de estos tests es que la articulación de palabras es siempre mayor que la articulación de sílabas aisladas y la de articulación de frases mayor que la de palabras. Ello se debe a que el cerebro se basa en el contexto para reconstruir la información perdida. Por ejemplo, no todas las combinaciones de sílabas son palabras, lo cual permite descartar ciertas combinaciones antojadizas. También contribuyen la acentuación (virtualmente inexistente en las sílabas sueltas) y la entonación. En las frases, la organización gramatical así como la coherencia del mensaje transmitido permiten incrementar aún más la cantidad de aciertos (Miyara F., 1999).

En la *figura 4* se muestra el índice porcentual de articulación silábica en función del nivel de presión sonora, en ausencia de ruido, mientras que en la *figura 5*, se da la relación entre el índice porcentual de articulación silábica y el índice porcentual de articulación de palabras. Finalmente, en la *figura 6* se muestra la relación entre los índices porcentuales de articulación de palabras y de frases.

Para la realización del test conviene utilizar personal entrenado, tanto para la escucha como para la locución. Habitualmente los miembros del plantel se entrenan en condiciones ambientales silenciosas, y con conjuntos de

sílabas, palabras o frases similares pero no iguales a las que luego se utilizarán (Miyara F., 1999).

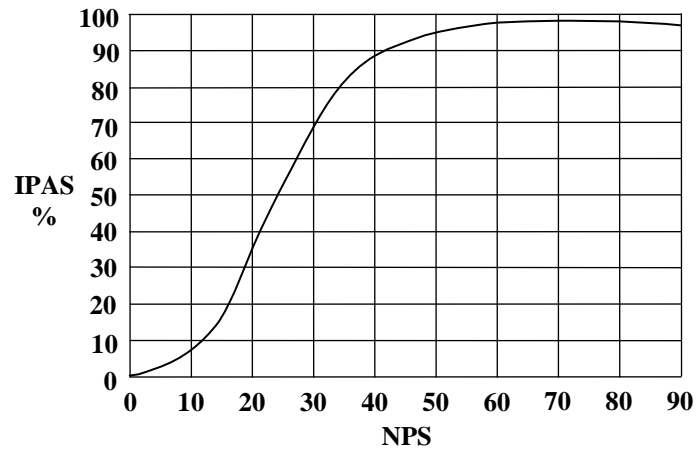


Figura 4: Índice porcentual de articulación silábica en función del nivel de presión sonora de la voz, en ausencia de ruido.

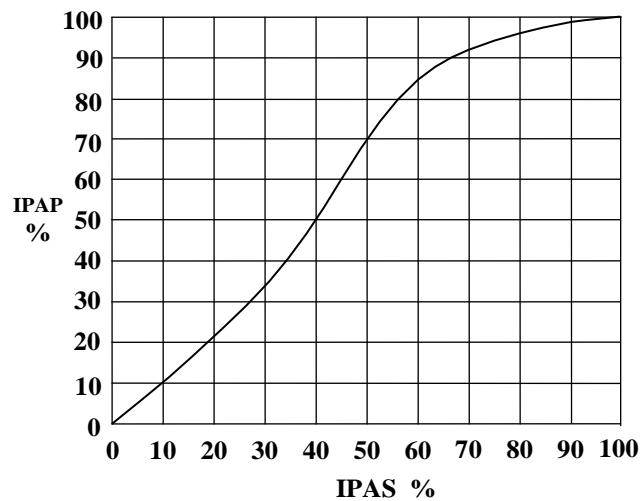


Figura 5: Índice porcentual de articulación de palabras en función del índice porcentual de articulación silábica.

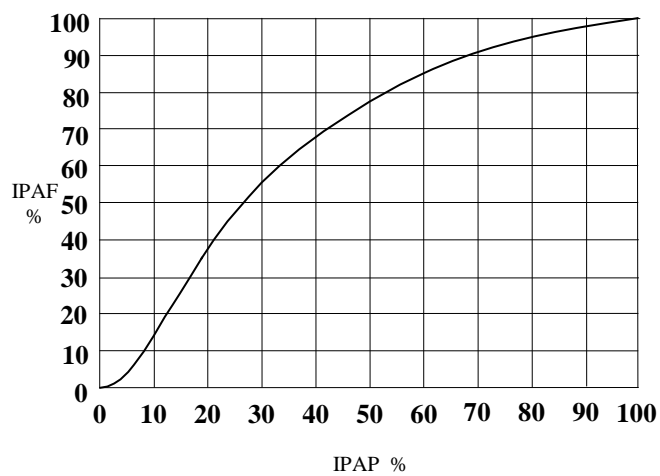


Figura 6: Índice porcentual de articulación de frases en función del índice porcentual de articulación palabras.

La siguiente es una lista de sílabas sin sentido, fonéticamente balanceadas, es decir en la cual los distintos fonemas se presenten con igual frecuencia:

Tabla 2: Lista de fonemas.

FAZ	MAX	DEB	XEG	DEP	LAM	SAT	SEF	TUK	ROK
ZON	NUR	NEG	LUF	XOJ	SUK	KEK	TIM	ZOK	LUP
LEG	PEB	ZEG	GIJ	ZOL	SIL	KOR	KAG	GEK	LAT
BUM	POF	RAJ	BOZ	ZAF	PEZ	LID	SAL	LEP	MEX
DOG	FIJ	KIR	LIP	PIK	JOX	ZAN	BUT	SUR	MET

3.3.2 Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (%ALCons).

A principios de la década de los años 70, el investigador Holandés V.M.A Peutz llevó a cabo un exhaustivo trabajo a partir del cual estableció una fórmula para el cálculo de la inteligibilidad.

El trabajo se dividió en dos partes perfectamente diferenciadas. La primera consistió en realizar una serie de pruebas de audiencia en diferentes recintos, basadas en la emisión de un conjunto preestablecidos de “logatomos” (palabra sin significado formadas por: consonante – vocal – consonante). Cada individuo receptor tomaba nota de lo que escuchaba y, posteriormente, se procesaba toda la información recogida y se establecía una estadística de los resultados obtenidos. Si, por ejemplo, el porcentaje medio de logatomos detectados correctamente en uno de los recintos era de un 85%, entonces se consideraba que la pérdida de información era de un 15%. Como dicha pérdida se asociaba a una percepción incorrecta de las consonantes, Peutz la denominó: % de Pérdida de Articulación de Consonantes (%ALCons: Articulación Loss of Consonants). En el ejemplo anterior, se tendría un %ALCons de un 15%. Demás está mencionar que, al tratarse de un parámetro indicativo de una pérdida, cuanto mayor sea, peor será el grado de inteligibilidad existente (Carrión A., 2001).

La segunda parte del trabajo consistió en encontrar una ley matemática que, a partir del conocimiento de una serie de parámetros acústicos del recinto en estudio, permitiese hallar el valor de %ALCons en cada punto del mismo, sin

necesidad de tener que realizar las laboriosas pruebas de audiencia. Lógicamente, una vez establecida dicha ley, sería posible predecir la inteligibilidad de la palabra en cualquier punto de un recinto todavía por construir (Carrión A., 2001).

Haciendo uso de la teoría acústica estadística, Peutz dedujo que el valor de %ALCons en un punto dado se podía determinar, simplemente, a partir del conocimiento del tiempo de reverberación (RT) y la diferencia entre los niveles de presión sonora del campo directo L_D y del campo reverberante L_R en dicho punto (Carrión A., 2001).

La ley en cuestión, expresada de forma gráfica, se presenta en la *figura 7*. El valor de %ALCons (eje de ordenas izquierdo) se determina a partir de los valores de RT (eje de ordenadas derecho) y de la diferencia L_D-L_R , la fórmula a emplear es la siguiente (Carrión A., 2001):

$$L_D - L_R = 10 \log\left(\frac{QR}{r^2}\right) - 17 \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Q=Factor de directividad de la fuente sonora en la dirección considerada (Q=2 en el caso de la voz humana, considerando la dirección frontal del orador)

R=Constante de la sala (en m^2)

r=Distancia del punto considerado a la fuente sonora (en metros)

Tanto RT como R dependen del coeficiente medio de absorción $\bar{\alpha}$. Su conocimiento, junto con el volumen V y el de la superficie total S_t permiten calcular los valores de RT y de L_D-L_R .

A nivel práctico, se suele elegir para el cálculo el valor de $\bar{\alpha}$ correspondiente a la banda de 2 kHz, por ser la de máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra (Carrión A., 2001).

De la observación de la *figura 7* se desprende lo siguiente:

- Cuanto más cerca esté situado el receptor de la fuente sonora (L_D-L_R mayor), menor será el valor de %ALCons, es decir, mayor inteligibilidad.
- Cuanto menor sea el RT, igualmente menor será el %ALCons, es decir, mayor inteligibilidad.

El valor de %ALCons va aumentando a medida que el receptor se aleja de la fuente hasta una distancia: $r=3,16D_c$. Para distancias $r>3,16D_c$, equivalente a $(L_D-L_R)<-10\text{dB}$, el valor de %ALCons tiende a ser constante. Ello significa que, a partir de dicha distancia, la inteligibilidad de la palabra ya no empeora (Carrión A., 2001).

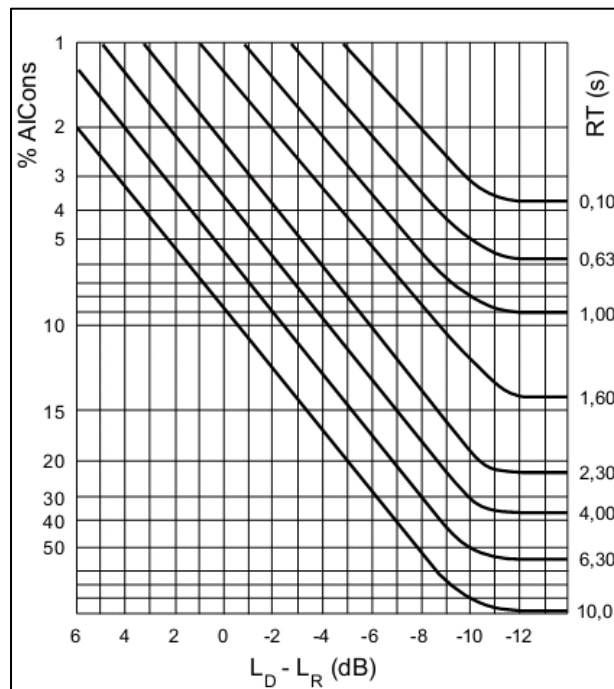


Figura 7: Obtención del %ALCons a partir de RT y de L_D-L_R .

3.3.3 STI (*Speech Transmission Index*)

El STI fue definido por *Houtgast* y *Steeneken* en la primera mitad de la década de los 70. Puede tomar valores comprendidos entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (Inteligibilidad óptima).

Su cálculo es muy complejo y laborioso (Sarmiento A, 2002):

1. Se transmite en el recinto un conjunto de señales moduladas en amplitud, con un índice de modulación conocido m_{in} . Se definen 7 frecuencias portadoras, correspondientes a las frecuencias centrales de

las bandas de octava normalizadas entre 125 y 8000 Hz, y cada una de estas señales es modulada con las siguientes frecuencias F_m : 0.63, 0.8, 1.0, 1.25, 1.6, 2.0, 2.5, 3.15, 4, 5, 6.3, 8, 10 y 12.5 Hz. Puede comprobarse que se trabaja, por tanto, con un conjunto de 98 señales.

2. Se mide la reducción que experimenta el índice de modulación para cada una de las señales utilizadas. Esta reducción del índice de modulación es debida a la reverberación y el ruido de fondo, y se traduce en una pérdida de inteligibilidad.

La expresión utilizada para medir la reducción del índice de modulación, asociada a cada par de frecuencias F_m y F_0 , es:

$$m(F_m, F_0) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot F_m \cdot f(F_0)}{13.8} \right)^2}} \cdot \frac{1}{\left(1 + 10^{\frac{-S/N(F_0)}{10}} \right)} \quad (4)$$

donde:

$f(F_0)$: Función representativa de la reverberación de la sala. Se le puede asignar el valor del *Tiempo de reverberación* o el de *EDT*.

$S/N(F_0)$: Relación señal-ruido correspondiente a la banda centrada en F_0 .

Puesto que hay 14 frecuencias F_m y 7 F_0 , habrá 98 valores $m(F_m, F_0)$, que serán truncados para permanecer en el rango de valores (-15,15) dB, de forma que **STI** no supere los márgenes (0,1).

3. Se calcula la relación señal-ruido aparente media correspondiente a cada banda de octava (frecuencias F_0). Para ello, primero se obtiene la relación señal-ruido aparente asociada a cada índice $m(F_m, F_0)$:

$$(S/N)_{ap}(F_0, F_m) = 10 \text{Log} \left(\frac{m(F_m, F_0)}{1 - m(F_m, F_0)} \right) \quad (5)$$

Y finalmente:

$$\overline{(S/N)}_{ap}(F_0) = \frac{\sum_{F_m} \overline{(S/N)}_{ap}(F_m, F_0)}{14} \quad (6)$$

4. Se deduce la relación señal-ruido aparente media global, teniendo en cuenta el distinto efecto de cada banda de frecuencias sobre la inteligibilidad:

$$\begin{aligned} \overline{(S/N)}_{ap} &= 0.01 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(125Hz) + 0.042 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(250Hz) \\ &+ 0.129 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(500Hz) + 0.2 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(1KHz) \\ &+ 0.312 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(2KHz) + 0.25 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(4Hz) \\ &+ 0.057 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(8KHz) \end{aligned} \quad (7)$$

5. Y finalmente se calcula el **STI** mediante:

$$STI = \frac{\overline{(S/N)}_{ap} + 15}{30} \quad (8)$$

3.3.4 RASTI (Rapid Speech Transmission Index)

Surge como simplificación del parámetro STI, para reducir así el tiempo de cálculo.

Este índice, patentado por la empresa danesa Brüel y Kjaer, se calcula reduciendo el número de frecuencias moduladoras y portadoras (Sarmiento A, 2002):

Tabla 3: Frecuencias moduladas y portadoras.

F ₀ (Hz)	F _m (Hz)
500	1 2 4 8
2000	0.7 1.4 2.8 5.6 11.2

Como consecuencia, el número de índices $m(F_m, F_0)$ pasa de ser 98 a ser 9. Y la expresión final de **RASTI** coincide con la de **STI**, cambiando el valor de la relación señal-ruido aparente media global:

$$\overline{(S/N)_{ap}} = \frac{\sum_{F_0, F_m} (S/N)_{ap}(F_0, F_m)}{9} \quad (9)$$

En la siguiente tabla, se puede apreciar la correspondencia entre la inteligibilidad de la palabra en una sala y su valor de %ALCons y STI o RASTI.

Tabla 4: Correspondencia entre STI, %ALCons y escala subjetiva (Carrión A., 2001).

%ALCons	STI / RASTI	Inteligibilidad
0%-1.4%	0.88-1	Excelente
1.6%-4.8%	0.66-0.86	Buena
5.3%-11.4%	0.5-0.64	Aceptable
12%-24.2%	0.36-0.49	Pobre
27%-46.5%	0.24-0.34	Mala

3.3.5 STI-PA (Índice de transmisión de la palabra para sistemas de P.A.)

Como el RASTI, el STI-PA es un procedimiento simplificado para calcular la MTF. El STI-PA determina la MTF analizando las siete bandas de frecuencia modulando cada banda con dos frecuencias. Suponiendo que no hay un ruido de fondo importante y que no aparecen distorsiones no-lineales masivas, el STI-PA ofrece resultados tan precisos como el STI. Si durante las horas de trabajo normal del sistema está presente un ruido de fondo impulsivo, casi siempre es posible mitigar los efectos realizando las medidas en un momento más favorable – por ejemplo, bajo condiciones ligeramente diferentes en la zona o durante la noche - y calcular una medida objetiva usando los resultados de ambas medidas (NTI Headquarters, 2002-2006).

		Modulation Frequencies (aprox.)													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz			✓							✓				
	250 Hz														
	500 Hz	✓							✓						
	1 kHz						✓							✓	
	2 kHz				✓							✓			
	4 kHz		✓							✓					
	8 kHz							✓							✓

Figura 8: STI-PA.

		Modulation Frequencies (aprox.)													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz														
	250 Hz														
	500 Hz			✓			✓			✓			✓		
	1 kHz														
	2 kHz	✓			✓			✓			✓			✓	
	4 kHz														
	8 kHz														

Figura 9: RASTI.

		Modulation Frequencies													
		0.63 Hz	0.8 Hz	1 Hz	1.25 Hz	1.6 Hz	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6,3 Hz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz
Octave Bands	125 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	250 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	500 Hz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	8 kHz	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 10: STI.

4 Materiales y Métodos

4.1 Elección del método de medida.

El método elegido para realizar las mediciones fue el **STI-PA**, esto se debió a que:

- Se buscaba realizar una medida objetiva de la Inteligibilidad de la palabra.
- El método es eficiente y entrega resultados confiables.
- Existe la tecnología necesaria para poder implementar este método.

4.2 Los establecimientos.

Se seleccionaron nueve establecimientos de la ciudad de Valdivia. Se consideró la estructura y el entorno de los establecimientos al momento de realizar la elección.

4.3 Materiales utilizados.

- Fuente omnidireccional.



Figura 11: Fuente Omnidireccional.

- Analizador portátil STI-PA. Acustilyzer AL1.

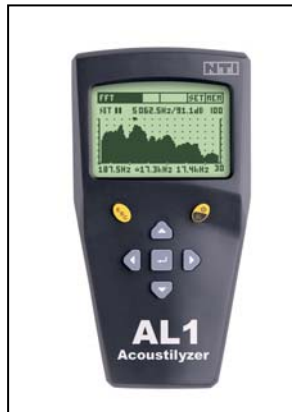


Figura 12: Acustilyzer AL1.

- Altavoz y generador de señales de Test. NTI TalkBox.



Figura 13: NTI TalkBox.

- Huincha de medida.
- Reproductor de CD portátil. Panasonic SL-SX330.
- Cámara fotográfica. Sony Cybershot W60.
- Amplificador de potencia. Samson Servo-260.

4.4 Forma de medición.

Las mediciones se realizaron en salas elegidas al azar, dependiendo de la disponibilidad de los establecimientos. Las salas de clases se encontraban sin alumnos.

Procedimiento de medición:

- **Medición de ruido de fondo:** Se ubicaba el sonómetro (Acustilyzer AL1) en medio de la sala. A continuación, se medía un Leq de un minuto en dB, con respuesta lenta en el instrumento. La medición se hacía en ausencia de ruidos impulsivos e imprevistos, como portazos, golpes de pelotas, etc.

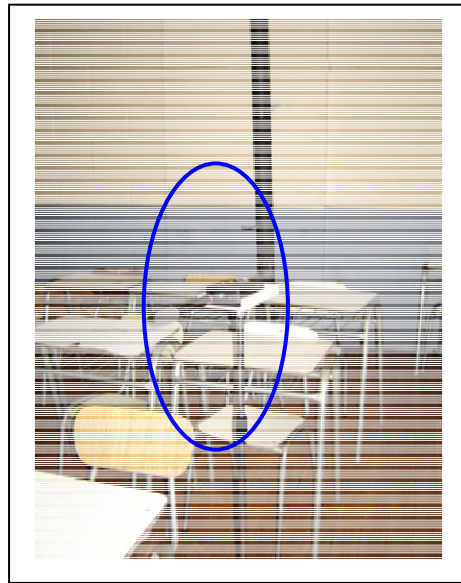


Figura 14: Ubicación del AL1 para medición del ruido de fondo.

- **Medición de tiempo de reverberación:** Se ubicaba la fuente omnidireccional en el centro de la sala. Se realizaban tres mediciones de T60, en puntos arbitrarios de la sala (excluyendo esquinas y puntos demasiado cercanos a las paredes), siguiendo las recomendaciones de la norma UNE ISO 3382. Las bandas de octava estudiadas fueron desde los 125Hz a 4kHz.



Figura 15: Fuente Omnidireccional y AL1, para la determinación del Tiempo de reverberación.

▪ **Medición del STI:** Las mediciones eran efectuadas ubicando la fuente (NTI TalkBox) en el lugar que habitualmente ocupa el profesor y distribuyendo homogéneamente puntos de medición en la superficie de la sala. La cantidad de puntos de medición variaba entre 6 y 9, dependiendo de las dimensiones de la sala. (Ver figuras 16 y 17).



Figura 16: Fuente Talkbox en la posición que habitualmente ocupa el profesor.

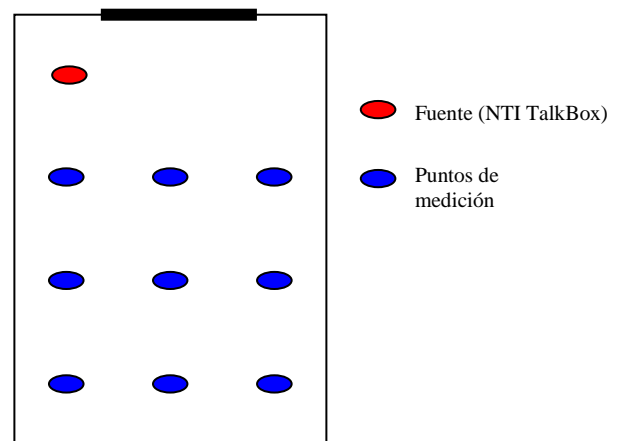


Figura 17: Esquema de la ubicación de los puntos de medición.

4.5 Dimensiones y materiales de las salas estudiadas.

4.5.1 Liceo Polivalente Los Avellanos.

4.5.1.1 Sala numero uno.

Hora	17:20
Fecha	10/08/2006
Altura Medidor STI	1.2
Altura Fuente STI	1.5
RF en dB	62
STI_{Min}	0.51
STI	0.54
Dimensiones	
Largo (m)	7.2
Ancho (m)	6.96
Alto (m)	3.27

Superficie	Materiales
Paredes	Hormigón estucado
Techo	Techo falso de Volcanita
Piso	Madera sobre cemento
Ventanas	Un gran ventanal en una pared lateral de la sala



Figura 18: Sala 1, Liceo polivalente los Avellanos.

4.5.1.2 Sala numero dos.

Hora	18:20
Fecha	10/06/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62
STI_{Min}	0.51
STI	0.53
Dimensiones	
Largo (m)	7,2
Ancho (m)	6
Alto (m)	3,3

Superficie	Materiales
Paredes	Hormigón estucado
Techo	Techo falso de Volcanita
Piso	Madera sobre cemento
Ventanas	Un gran ventanal en una pared lateral de la sala

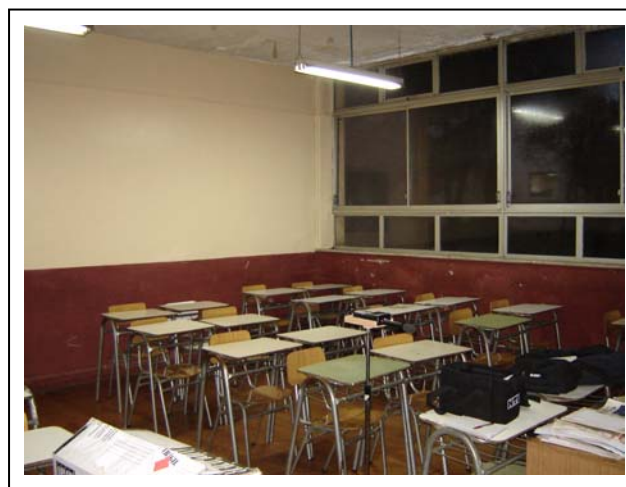


Figura 19: Sala 2, Liceo polivalente los Avellanos.

Nota: El techo falso fue colocado después de la construcción original del establecimiento.

4.5.2 Windsor School.

4.5.2.1 Sala numero uno.

Hora	15:28
Fecha	01/08/2006
Altura Medidor STI	1.2
Altura Fuente STI	1.5
RF en dB	62.2
STI_{Min}	0.67
STI	0.71
Dimensiones	
Largo (m)	6,8
Ancho (m)	5,9
Alto (m)	2,9

Superficie	Materiales
Paredes	Volcanita con estuco.
Techo	Cielo Falso de material liviano
Piso	De Baldosas
Ventanas	Grandes ventanas en una pared lateral



Figura 20: Sala 1, Windsor School

4.5.2.2 Sala numero dos.

Hora	16:31
Fecha	01/08/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62
STI_{Min}	0.75
STI	0.79
Dimensiones	
Largo (m)	8,4
Ancho (m)	5,8
Alto (m)	2,9

Superficie	Materiales
Paredes	Volcanita
Techo	Cielo falso de material liviano
Piso	Baldosas
Ventanas	Grandes ventanas en una pared lateral



Figura 21: Sala 2, Windsor School.

4.5.3 Instituto Salesiano

4.5.3.1 Sala numero uno.

Hora	16:47
Fecha	04/09/2006
Altura Medidor STI	1.2
Altura Fuente STI	1.5
RF en dB	62.6
STI_{Min}	0.55
STI	0.57
Dimensiones	
Largo (m)	8,32
Ancho (m)	7,22
Alto (m)	3,49

Superficie	Materiales
Paredes	De cemento empastado y la parte inferior con enchapado de madera
Techo	Volcanita pintada.
Piso	Baldosas
Ventanas	Gran ventanal en una de las paredes laterales



Figura 22: Sala 1, Instituto Salesiano.

4.5.3.2 Sala numero dos.

Hora	17:55
Fecha	04/09/2007
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62,1
STI_{Min}	0.60
STI	0.64
Dimensiones	
Largo (m)	6
Ancho (m)	5
Alto (m)	2.8

Superficie	Materiales
Paredes	Madera enchapada
Techo	Madera enchapada
Piso	Baldosas
Ventanas	Un par de ventanas en una pared lateral



Figura 23: Sala 2, Instituto Salesiano.

4.5.4 Domus Mater

4.5.4.1 Sala numero uno.

Hora	18:05
Fecha	05/09/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62,5
STI_{Min}	0.58
STI	0.60
Dimensiones	
Largo (m)	5,95
Ancho (m)	7
Alto (m)	3,5

Superficie	Materiales
Paredes	Hormigón estucado
Techo	Hormigón estucado
Piso	Baldosas
Ventanas	Un gran ventanal en la parte posterior de la sala



Figura 24: Sala 1, Domus Mater.

4.5.4.2 Sala numero dos.

Hora	19:00
Fecha	05/09/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	61,8
STI_{Min}	0.66
STI	0.68
Dimensiones	
Largo (m)	6,45
Ancho (m)	6,7
Alto (m)	3,1 – 2,45

Superficie	Materiales
Paredes	Volcanita
Techo	Volcanita
Piso	Baldosas
Ventanas	Un par de ventanas en cada una de las paredes laterales

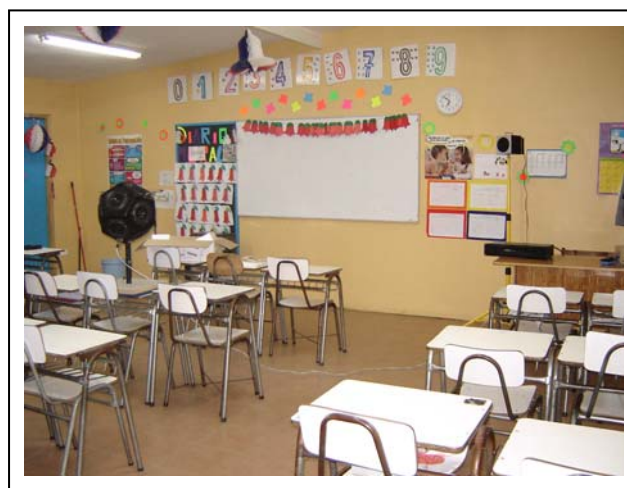


Figura 25: Sala 2, Domus Mater.

4.5.5 María Auxiliadora.

Hora	16:30
Fecha	06/09/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62
STI_{Min}	0.61
STI	0.65
Dimensiones	
Largo (m)	6,85
Ancho (m)	6,9
Alto (m)	2,85

Superficie	Materiales
Paredes	Cemento
Techo	Cemento
Piso	Baldosas
Ventanas	Un gran ventanal en una de las paredes laterales



Figura 26: María Auxiliadora.

4.5.6 Inmaculada Concepción.

4.5.6.1 Sala numero uno.

Hora	15:40
Fecha	04/10/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62,7
STI_{Min}	0.59
STI	0.63
Dimensiones	
Largo (m)	7,2
Ancho (m)	6
Alto (m)	3,95

Superficie	Materiales
Paredes	Madera
Techo	Madera
Piso	Madera
Ventanas	Dos ventanas en una de las paredes laterales



Figura 27: Sala 1, Inmaculada Concepción.

4.5.6.2 Sala numero dos.

Hora	16:21
Fecha	04/10/2006
Altura Medidor STI	1.2 mts
Altura Fuente STI	1.5 mts
RF en dB	62,3
STI_{Min}	0.50
STI	0.55
Dimensiones	
Largo (m)	8,7
Ancho (m)	5,35
Alto (m)	3

Superficie	Materiales
Paredes	Cemento estucado
Techo	Cemento estucado
Piso	Baldosas
Ventanas	Tres ventanales en una de las paredes laterales

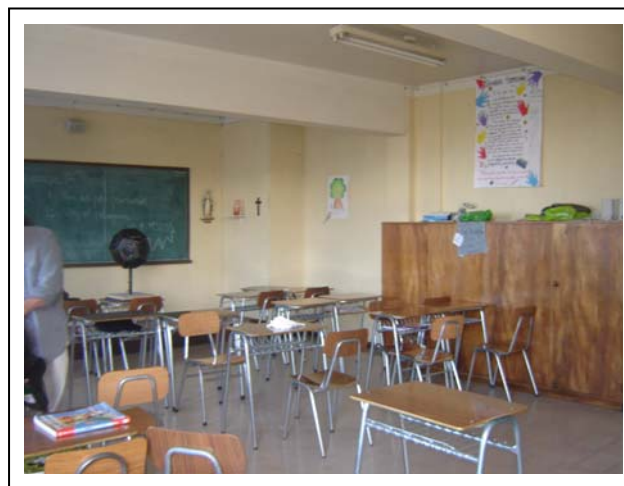


Figura 28: Sala 2, Inmaculada Concepción.

4.5.7 Escuela Española.

4.5.7.1 Sala numero uno.

Hora	15:25
Fecha	16/10/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	63
STI_{Min}	0.49
STI	0.50
Dimensiones	
Largo (m)	8,2
Ancho (m)	6
Alto (m)	3,1
Dimensiones del pasillo de entrada	
Largo (m)	3,9
Ancho (m)	1,95
Alto (m)	2,85

Superficie	Materiales
Paredes	Paredes de cemento estucado
Techo	Volcanita
Piso	De baldosas
Ventanas	Una ventana grande en la parte posterior de la sala



Figura 29: Sala 1, Escuela Española.

4.5.7.2 Sala numero dos.

Hora	15:42
Fecha	16/10/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	62,1
STI_{Min}	0.60
STI	0.63
Dimensiones	
Largo (m)	7,8
Ancho (m)	7,15
Alto (m)	3,73

Superficie	Materiales
Paredes	De cemento
Techo	De madera
Piso	Madera sobre cemento
Ventanas	Dos ventanales que cubren una de las paredes laterales



Figura 30: Sala 2, Escuela España.

4.5.7.3 Sala numero Tres.

Hora	16:20
Fecha	16/10/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	61,5
STI_{Min}	0.58
STI	0.65
Dimensiones	
Largo (m)	8,6
Ancho (m)	7,5
Alto (m)	2,95

Superficie	Materiales
Paredes	De cemento estucado
Techo	De cemento estucado
Piso	De baldosas
Ventanas	Dos ventanas en una de las paredes laterales (una redonda)



Figura 31: Sala 3, Escuela España.

4.5.8 Colegio Austral.

4.5.8.1 Sala numero uno.

Hora	10:26
Fecha	05/12/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	60
STI_{Min}	0.53
STI	0.57
Dimensiones	
Largo (m)	7.5
Ancho (m)	7
Alto (m)	3

Superficie	Materiales
Paredes	Cemento
Techo	Cemento
Piso	Baldosas
Ventanas	Un ventanal en una de las paredes laterales

4.5.8.2 Sala numero dos.

Hora	10:44
Fecha	06/12/2006
Altura Medidor STI	1.2 mts
Altura Fuente STI	1.5 mts
RF en dB	60
STI_{Min}	0.48
STI	0.52
Dimensiones	
Largo (m)	9
Ancho (m)	7.5
Alto (m)	3

Superficie	Materiales
Paredes	Cemento
Techo	Cemento
Piso	Baldosas
Ventanas	Un ventanal en una de las paredes laterales

4.5.8.3 Sala numero Tres.

Hora	11:00
Fecha	06/12/2006
Altura Medidor STI	1.2 mts
Altura Fuente STI	1.5 mts
RF en dB	61.5
STI_{Min}	0.56
STI	0.58
Dimensiones	
Largo (m)	7.5
Ancho (m)	7
Alto (m)	3

Superficie	Materiales
Paredes	Cemento
Techo	Cemento
Piso	Baldosas
Ventanas	Una ventana pequeña en una de las paredes laterales

4.5.9 Colegio Aliwen.

4.5.9.1 Sala numero uno.

Hora	15:00
Fecha	18/12/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	59
STI_{Min}	0.71
STI	0.74
Dimensiones	
Largo (m)	3,15
Ancho (m)	3,6
Alto (m)	2,35

Superficie	Materiales
Paredes	Madera
Techo	Madera
Piso	Cemento recubierto con Flexi.
Ventanas	Una ventana que cubre casi por completo una de las paredes laterales



Figura 32: Sala 1, Colegio Aliwen.

4.5.9.2 Sala numero dos.

Hora	16:00
Fecha	18/12/2006
Altura Medidor STI	1.2 m
Altura Fuente STI	1.5 m
RF en dB	60,2
STI_{Min}	0.70
STI	0.74

Superficie	Materiales
Paredes	Madera
Techo	Madera
Piso	Cemento recubierto con Flexi.
Ventanas	Una venta, ubicada en el sector de 2.9 m y otra en el sector de 3.8 m



Figura 33: Sala 2, Colegio Aliwen.

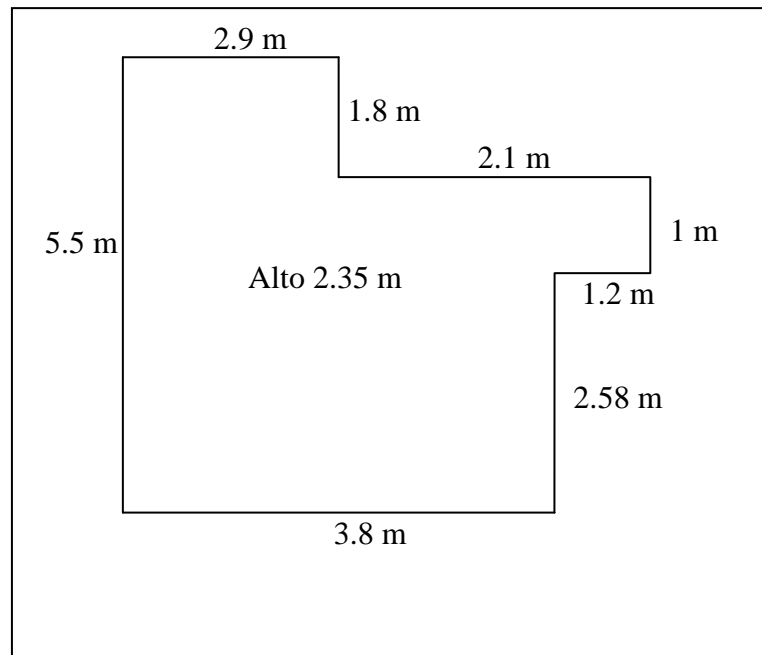


Figura 34: Diagrama Sala 2 del Colegio Aliwen.

5 Resultados y Discusión

La preocupación válida por el control de los elevados niveles de ruido en industrias y otros sitios similares tiene como fuerza para su puesta en práctica, los daños irreversibles que producen tales agresiones sonoras. No obstante, hay otros ámbitos en los que la falta de la consideración acústica produce otros daños, también irreversibles, que se presentan en formas más sutiles y por lo tanto, más difíciles de detectar, incluso por los mismos afectados. Tal es el caso de la falta de inteligibilidad de la palabra en aulas, ya que se produce un daño acumulativo en el aprendizaje, lo que puede ser irreversible si no se le advierte y remedia a tiempo.

Observaciones realizadas por los actores de los distintos niveles de la educación, permiten aseverar que las salas de clases tradicionales son ruidosas y que el ruido interfiere con el desempeño académico de los alumnos y docentes en general. Los altos niveles sonoros existentes en los distintos sectores de los establecimientos educacionales en general y en las aulas en particular, las características acústicas arquitectónicas y constructivas inapropiadas y los bajos rendimientos académicos observados en los últimos años llevaron a que todas las entidades pertinentes estén realizando estudios y dictando normas para la mejora de la calidad acústica de los recintos destinados a la palabra (Ercoli L., Azzurro A., 1998).

Se debe tener en cuenta que la mala acústica de las salas no es un factor excluyente de otros problemas relacionados con el aprendizaje de los alumnos, pero una mala inteligibilidad de la palabra puede actuar como barrera para el aprendizaje.

Tres parámetros estudiados e influyentes en la calidad acústica de las salas son "*La Inteligibilidad de la Palabra*", el "*Ruido de Fondo*" y el "*Tiempo de Reverberación*". A continuación se presentan los valores medidos, de los parámetros antes mencionados, en diecinueve salas pertenecientes a nueve colegios de la ciudad de Valdivia.

La medición de la ***Inteligibilidad de la Palabra*** se realizó a través del sistema de medición de NTI (*TalkBox + Acoustilyzer*), el cual calcula un valor simplificado del STI, denominado STI-PA (ver 3.3.5).

Se realizó una distribución homogénea de puntos en la superficie de la sala, en los cuales se efectuó la medición de STI. La cantidad de puntos elegidos fue una decisión tomada a partir de la revisión bibliográfica de estudios similares (Gonzalez V., Perez J., 2002; Sarmiento A., 2002; entre otros) y ensayos realizados por el autor en una sala del *Instituto de Acústica* de la *Universidad Austral de Chile*.

El nivel de la señal generada por el NTI *Talkbox* utilizada en las mediciones del STI era de 70 [dBA] a un metro.

Los valores STI medidos se muestran en el *Anexo 1* como un promedio aritmético de los distintos puntos de medición en cada una de las salas. Se decidió utilizar el STI promedio con el fin de poder clasificar las salas a través de un único valor.

Sin embargo se debe tener presente que el promedio puede enmascarar lugares en los cuales existe un valor STI regular o malo (ver anexos 6-14).

Para la clasificación de las salas, se utilizó la escala entregada por el fabricante del equipo utilizado en las mediciones, la cual se muestra en la *Tabla N°5*, esta tabla relaciona el índice STI con una escala subjetiva que cuantifica el grado de inteligibilidad de la palabra.

Tabla 5: Escala STI entregada por el fabricante del equipo utilizado en las mediciones.

Excelente	0.75	1.00
Bueno	0.60	0.75
Regular	0.45	0.60
Pobre	0.30	0.45
Malo	0.00	0.30

En las *Tablas N°6 y N°7* se muestra la clasificación de las salas medidas. Hay que destacar que las medidas STI se realizaron en ausencia de alumnos, por tanto no se tuvo en cuenta la absorción que estos aportarían ni el incremento en el ruido de fondo que conllevaría la ocupación de la sala (Gómez V., 1995).

Tabla 6: Clasificación de las salas según STI(Promedio), mediante escala entregada por el fabricante del equipo utilizado en las mediciones.

Establecimiento	STI (Promedio)
Windsor School 2	0.79
Colegio Aliwen	0.74
Colegio Aliwen 2	0.74
Windsor School	0.71
Domus Mater 2	0.68
Auxiliadora	0.65
Escuela España 3	0.65
Salesiano 2	0.64
Inmaculada	0.63
Escuela España 2	0.63
Domus Mater	0.60
Colegio Austral 3	0.58
Salesiano	0.57
Colegio Austral	0.57
Inmaculada 2	0.55
Los avellanos	0.54
Los avellanos 2	0.53
Colegio Austral 2	0.52
Escuela España	0.50

Los valores de STI_{promedio} medidos arrojan que el **47.4 %** de las salas (9 salas) alcanza la valoración de **Regular**, según la escala subjetiva de calificación de la Inteligibilidad de la Palabra; un **47.4 %** (9 salas) alcanza la valoración de **Bueno** y un **5.2 %** (1 sala) de **Excelente**.

En la literatura existen escalas más exigentes para la clasificación de las salas, como la mostrada en la *Tabla N°4*. Si la clasificación se realiza con esta escala, los valores medidos arrojarían que: el **74%** alcanza la valoración de **Aceptable** (Regular), el **26%** de **Bueno** y **0%** la de **Excelente**.

En aulas dedicadas a la docencia se tiene que asegurar que el STI tenga mínimos del 0.75 – 0.80, lo cual significa que se trata de una acústica “excelente”, apropiada para cualquier tipo de lecciones. Si nos conformamos con resultados solamente "buenos", STI entre 0.60 y 0.75, aún surgirán problemas en la enseñanza de idiomas y las clases resultarán más fatigosas (González V., Pérez J., 2002).

Tabla 7: Clasificación de las salas según STI(Menor), mediante escala entregada por el fabricante del equipo utilizado en las mediciones.

Establecimiento	STI (Menor)
Windsor School 2	0,75
Colegio Aliwen	0,71
Colegio Aliwen 2	0,70
Windsor School	0,67
Domus Mater 2	0,66
Auxiliadora	0,61
Salesiano 2	0,60
Escuela España 2	0,60
Inmaculada	0,59
Escuela España 3	0,58
Domus Mater	0,58
Colegio Austral 3	0,56
Salesiano	0,55
Colegio Austral	0,53
Los avellanos 2	0,51
Los avellanos	0,51
Inmaculada 2	0,50
Escuela España	0,49
Colegio Austral 2	0,48

Hay dos grupos de riesgo en las escuelas: los niños pequeños, y los docentes. Una mala inteligibilidad puede ocasionar a los niños un aprendizaje incorrecto. Por ejemplo, en la frase “brama el toro” la palabra “brama” podría confundirse con “drama”, una palabra mucho más común. Habría no sólo un cambio en la palabra, sino una verbalización de un sustantivo. Los docentes, por otra parte, procurando evitar dicho inconveniente, fuerzan excesivamente la voz, causándose trastornos fonatorios (Miyara F., 2004).

Una sala con mala inteligibilidad de la palabra exige a los alumnos una mayor atención a lo que dice el profesor, lo que con el transcurso de la jornada se traduce en fatiga y desconcentración, pudiendo provocar un aumento en el ruido de la sala debido a las emisiones de alumnado con consecuencias en la voz del docente (López M., 2001).

El **Tiempo de Reverberación (RT)** se midió en tres puntos distintos de la sala, las bandas de octava estudiadas van desde los 125 Hz hasta los 4 KHz. En el *Anexo 1* se muestra el tiempo de reverberación de las salas estudiadas, el TR mostrado corresponde a un “Tiempo de Reverberación Medio” definido como (Carrión A, 2001):

$$RT_{mid} = \frac{RT(500HZ) + RT(1KHZ)}{2} \quad (10)$$

Atendiendo a las recomendaciones, *ANSI S12.60-2002 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*, de tiempo de reverberación óptimo para locales destinados a la transmisión de la palabra en función del volumen, encontramos que para las aulas estudiadas, el TR no debiera sobrepasar los **0.6 s** (Ver Anexo 2), con lo que el **86%** de las aulas se encuentran con un Tiempo de reverberación por encima del óptimo.

Gagnon y Héту, determinaron que una reducción del TR de 1,6 s a 0,6 s en los lugares más reverberantes de guarderías de niños, resultó en una reducción de 5 dB(A) del nivel de exposición al ruido en una sala dada. Además, no se ha encontrado evidencia de que TR muy breves en aulas sean perjudiciales para la propagación de la voz. Al revés, aulas con estas características ayudan a los métodos de enseñanza que utilizan la separación en grupos pequeños que realizan actividades de clase (Ercoli L., Azzurro A., 1998).

El **Ruido de Fondo (RF)** medido corresponde a un Leq [dB] de un minuto, las mediciones que contenían datos de ruidos impulsivos (pelotazos, golpes en la pared, gritos y similares) fueron descartadas y se procedió a realizar una nueva medición (Ver anexo 1).

En la sala número dos del colegio Domus Mater al momento de la medición, se estaban realizando trabajos con maquinaria pesada (específicamente una aplanadora), lo que aumentaba el ruido de fondo de la sala en 4.6 dB. Por esto se realizó la medida del STI en dos condiciones, con la maquina encendida y sin ésta. Los datos de la medición en la condición con la maquina encendida se muestran en el *anexo 1* y se encuentran destacados con Rojo.

Numerosos investigadores han demostrado que niños con sensibilidad auditiva normal requieren relaciones señal a ruido mayores y tiempos de reverberación menores que oyentes adultos normales para alcanzar grados equivalentes de percepción, señalando que un aula con ambiente acústico relativamente bueno debería rondar los valores RSR (Relación señal ruido) = +6 dB y TR = 0,4s, mientras que en un ambiente pobre - aunque encontrado con frecuencia - los valores se hallan en RSR = 0 y TR = 1,2s el reconocimiento de los estímulos por parte de niños con audición normal baja de 71 % en el primer caso a 30 % en el segundo (Abbot P., 1977). Sin embargo, Lubman sostiene que parece existir un amplio consenso en que la comunicación hablada más satisfactoria ocurre cuando la relación conversación a ruido excede 15 dB (Lubman D.). Según los expertos de ASHA (*American Speech-Language and Hearing Association*), un aula de condición acústica satisfactoria debería poseer niveles de RF menores a 30 dB(A) cuando está desocupada, RSR mayores a 15 dB en el oído del estudiante y un TR menor o igual a 0,4s medido en un rango amplio de frecuencias discretas (ASHA, 1995).

Si consideramos una clase típica, es decir, con el profesor ubicado en el frente de la sala y los alumnos sentados, asumiendo además que el nivel de voz del profesor es alto, aproximadamente 70 [dB] (Ver anexo 5), vemos que la relación señal ruido de las salas estudiadas no cumple con la recomendación de la ASHA (ver Anexo 3).

“Los niños no han desarrollado aún las habilidades cognitivas para descifrar la información, tal como lo hacen los estudiantes mayores”. Cuando un adulto pierde palabras porque no las escucha, puede imaginárselas por el contexto. Pero los niños, especialmente los más pequeños, no pueden hacer lo mismo. Recién cuando el individuo alcanza la pubertad, su capacidad de entender empieza a asemejarse a la de un adulto (Cruz J.).

Considerando las salas estudiadas, en la *figura 35* se muestra un gráfico de STI versus TR, sobre el cual se ha confeccionado una curva de ajuste logarítmico, en la cual se puede apreciar la relación entre el valor STI y el Tiempo de Reverberación. A menor tiempo de reverberación, mayor es el valor STI.

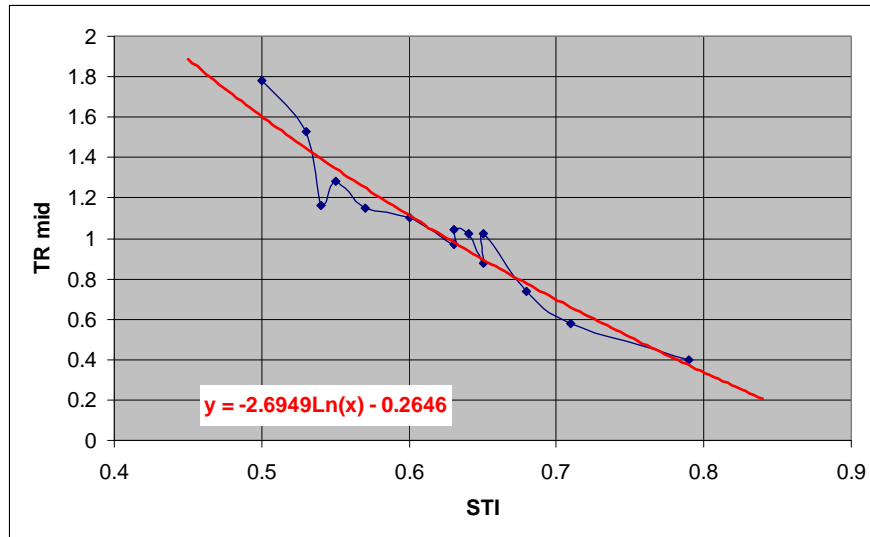


Figura 35: Gráfico de TR_{mid} versus STI.

En la **figura 36** se graficaron los valores de STI versus los valores de ruido de fondo, en el gráfico no se aprecia que exista una relación simple entre estos dos parámetros.

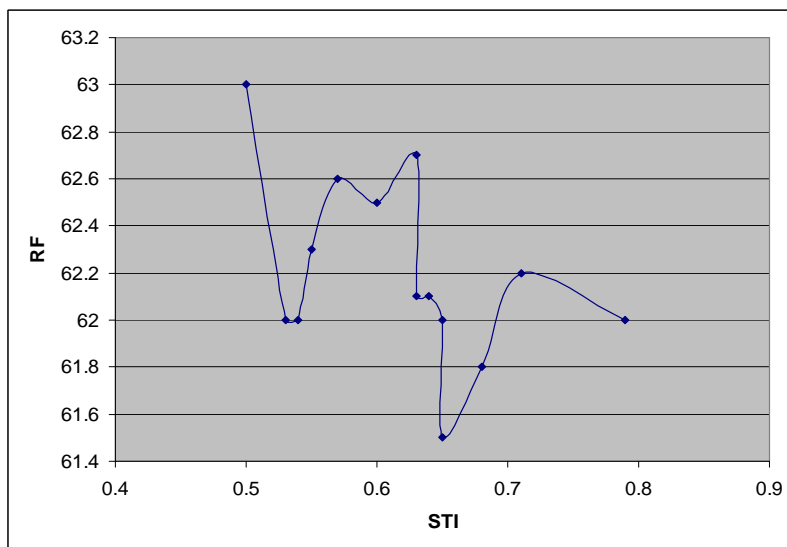


Figura 36: Gráfico de RF versus STI.

De acuerdo con los resultados obtenidos y las comparaciones efectuadas, se observa que los edificios escolares resultan inapropiados para las actividades de enseñanza y aprendizaje desde el punto de vista de las condiciones acústicas imperantes. En efecto, los TR, las RSR y el RF están alejados de los valores recomendados en la literatura abierta internacional.

Entre los factores mencionados por el comité técnico de comunicación hablada de la *Acoustical Society of America* como posibles inductores a una mala inteligibilidad y que se ajustan a la realidad local, se encuentran: ruidos del tráfico vehicular; ruido de pasillos u otros espacios adyacentes; computadores y proyectores; y superficies reflectantes o duras, las cuales causan excesiva reverberación (ASA, 2002).

Cabe mencionar que habitualmente se prefiere la construcción de salas con iluminación natural para lo cual se instalan grandes ventanales, reflectantes de sonido y con una deficiente capacidad de aislar el ruido externo. Por otra parte, se buscan salas que sean fáciles de limpiar y con materiales duraderos lo que implica el uso de materiales duros y reflectantes como baldosa, cemento, entre otros.

Existe la necesidad de crear conciencia y elaborar normas, para que en la construcción de futuras salas de clases se dedique más atención a los factores acústicos que definen la inteligibilidad de la palabra, ya que en el presente estudio queda de manifiesto que no existe tal preocupación. A modo de ejemplo, las mediciones correspondientes al colegio "*Inmaculada Concepción*", realizadas en salas de distintos edificios: uno antiguo que fue demolido y uno nuevo, arrojaron mejores resultados en la sala del edificio antiguo con un valor de STI de 0.63, que en la sala del edificio nuevo con un STI de 0.56.

Numerosos trabajos (González V., Pérez J., 2002; ASA, 2002; ASA, 2006; López, 2001; ASHA, 1995; Ercoli L., Azzurro A., 1998) han demostrado la importancia de una buena inteligibilidad en el proceso de enseñanza.

Sería conveniente imitar la experiencia de países como Estados Unidos, en que los resultados de dichos estudios han significado un aporte fundamental en la construcción y acondicionamiento de salas de clases, dado su alto impacto en la calidad de la educación entregada, por la relevancia de la comunicación hablada en el proceso de aprendizaje. Esto queda demostrado con la existencia de la norma *ANSI S12.60-2002 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*, en la cual se definen todos los parámetros necesarios para eliminar las barreras acústicas entre profesores y alumnos.

6 Conclusiones

- Se investigaron las características acústicas de aulas que pueden considerarse típicas y por lo tanto, representativas de la mayoría de los establecimientos educacionales existentes en la ciudad de Valdivia.
- Los valores STI obtenidos se encuentran, en su gran mayoría, bajo los valores recomendados para una inteligibilidad óptima en salas de clases.
- El ruido de fondo supera, en todas las salas, los valores recomendados.
- Los valores de Tiempo de Reverberación son elevados, en relación a los valores máximos recomendados para salas destinadas a la palabra.
- En la etapa de diseño de obras nuevas o restauraciones, se debiera contar con un proyecto acústico que establezca los objetivos y cuantifique la inteligibilidad de la palabra en las salas de clases.
- El análisis de los resultados obtenidos muestra claramente la necesidad de normar las exigencias de calidad acústica en los colegios, con el fin de que esta variable no se transforme en una barrera de aprendizaje para alumnos.

7 Bibliografía

1. Abbot P., et al. (1977), "Pilot studies of speech communication in elementary school classrooms: literature review and methods". NOISE-CON 97, 15-17 Junio 1977, Pennsylvania, EE.UU.
2. Acoustical Society of America (2002), "Acoustical barriers to learning". Consultado en: <http://asa.aip.org>, el día 12 de abril de 2006.
3. Acoustical Society of America (2006), "Acústica de salones de clases". Ingenierías, volumen IX N°30.
4. American Speech-Language and Hearing Association (1995), "Guidelines for acoustics in educational environments", Suppl. 14.
5. ANSI S12.60-2002, "American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools".
6. Beranek L. (1969), "Acústica", Editorial Hispano Americana, Buenos Aires, Argentina.
7. Carrión A. (2001), "Diseño acústico de espacios arquitectónicos", Alfaomega grupo editor, Segunda edición.
8. Cruz J., "Acústica, aulas y educación". Consultado en www.decibel.com.ar, el día 3 de septiembre del 2006.
9. Ercoli L., Azzurro A. (1998), "Caracterización sonora de aulas: Un estudio de los principales parámetros acústicos en aulas argentinas". Grupo análisis de sistemas mecánicos, Facultad regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.

10. Gómez V. et al (1995), "Influencia del grado de ocupación de una sala en el índice RASTI que se obtiene en sus plazas", Tecnicústica'95, Coruña.
11. Gonzalez V., Perez J. (2002), "Estudio de inteligibilidad en aulas de Navarra". Centro de acústica aplicada. Sevilla, España.
12. Kogan Pablo (2004), "Análisis de la eficiencia de la ponderación "A" para evaluar efectos del ruido en el ser humano" Tesis de Grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.
13. Kryter K. (1985), "The effects of noise on man", Academic Press.
14. López M. (2001), "Evaluación de alteraciones vocales en profesores de educación Básica – Media de la provincia de Valdivia". Tesis de Grado. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.
15. Lubman D., "Classroom Acoustics: America's need for standards and guidelines to ensure satisfactory classroom acoustics".
16. Miyara F. (2004), "El ruido y la inteligibilidad de la palabra". Artículo correspondiente a la conferencia organizada por ASOLOFAL el 9 de agosto de 2004.
17. Möser M., Barros J. (2004), "Ingeniería Acústica: Teoría y aplicaciones".
18. NTI Headquarters (2002-2006), "Speech Intelligibility". Consultado en: <http://www.nt-instruments.com>, el día 03 de septiembre de 2006.
19. Quilis A., Fernández J. (1969), "Curso de fonética y fonología españolas". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
20. Recuero M., Gil C. (1993), "Acústica arquitectónica". Segunda edición, artes graficas Benzal s.a.

21. Recuero M. (1995), "Ingeniería Acústica", Editorial Paraninfo.
22. Sarmiento A. (2002), "Validación de software para predicción de acústica de salas y aplicación al diseño de aulas", Proyecto de fin de carrera, Escuela Técnica superior de ingenieros de telecomunicaciones.
23. Sommerhoff J. (2003), Apuntes Acústica de locales primer semestre 2003.
24. Steeneken H.J.M, Houtgast T. (1985), RASTI: a Tool for Evaluating Auditoria TECHNICAL REVIEW.

8 Anexos

Anexo 1: Tabla resumen de valores medidos.

Salas	STI _(Menor)	STI	RTmid (s)	RF (dB)	Volumen (m ³)
Los avellanos	0,51	0,54	1,16	62,0	164
Los avellanos 2	0,51	0,53	1,53	62,0	143
Windsor School	0,67	0,71	0,58	62,2	116
Windsor School 2	0,75	0,79	0,40	62,0	141
Salesiano	0,55	0,57	1,15	62,6	210
Salesiano 2	0,60	0,64	1,02	62,1	84
Domus Mater	0,58	0,60	1,10	62,5	145
Domus Mater 2	0,66	0,68	0,74	61,8	129
Domus Mater 2,1	0.42	0,45	...	66,4	129
Auxiliadora	0,61	0,65	0,88	62,0	135
Inmaculada	0,59	0,63	0,97	62,7	171
Inmaculada 2	0,50	0,55	1,28	62,3	140
Escuela España	0,49	0,50	1,78	63,0	174
Escuela España 2	0,60	0,63	1,04	62,1	208
Escuela España 3	0,58	0,65	1,02	61,5	190
Colegio Austral	0,53	0,57	...	60,0	158
Colegio Austral 2	0,48	0,52	...	60,0	203
Colegio Austral 3	0,56	0,58	...	61,5	158
Colegio Aliwen	0,71	0,74	...	59,0	27
Colegio Aliwen 2	0,70	0,74	...	60,2	49

Anexo 2: Niveles máximos de ruido de fondo y de tiempo de reverberación en salas desocupadas (ANSI S12.60-2002).

Learning space ^{a)}	Maximum one-hour average A-weighted steady background noise level ^{b,c)} dB	Maximum reverberation time for sound pressure levels in octave bands with midband frequencies of 500, 1000, and 2000 Hz s
Core learning space with enclosed volume < 283 m ³ (< 10 000 ft ³)	35	0.6
Core learning space with enclosed volume > 283 m ³ and ≤ 566 m ³ (> 10 000 ft ³ and ≤ 20 000 ft ³)	35	0.7
Core learning spaces with enclosed volumes > 566 m ³ (20 000 ft ³) and all ancillary learning spaces	40 ^{d)}	e)

a) See 3.1.1.1 and 3.1.1.2 for definitions of core and ancillary learning spaces.

b) See 4.3.1 for limits on unsteady (time varying) background noise levels.

c) See 4.3.2 for other limits on background noise from building services and utilities including C-weighted steady background noise levels.

d) When corridors are used solely for conveyance of occupants within the school building and structured learning activities do not occur, the A-weighted steady background noise level limit for such corridors may be increased to 45 dB. The use of corridors for formal learning purposes should be avoided.

e) See C3.3 in annex C for recommendations on control of reverberation in these spaces.

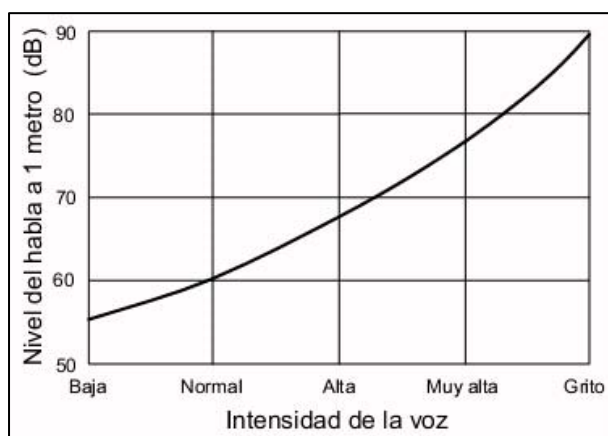
Anexo 3: Relación señal ruido, considerando un nivel de voz alto.

Nivel de Voz alta [dB]	RF [dB]	RSR
70.0	59.0	11.0
70.0	60.0	10.0
70.0	60.0	10.0
70.0	60.2	9.8
70.0	61.5	8.5
70.0	61.5	8.5
70.0	61.8	8.2
70.0	62.0	8.0
70.0	62.0	8.0
70.0	62.0	8.0
70.0	62.0	8.0
70.0	62.1	7.9
70.0	62.1	7.9
70.0	62.2	7.8
70.0	62.3	7.7
70.0	62.5	7.5
70.0	62.6	7.4
70.0	62.7	7.3
70.0	63.0	7.0
70.0	66.4	3.6

Anexo 4: Porcentaje de influencia de las bandas de frecuencia en la inteligibilidad de la palabra y en el nivel sonoro (Sarmiento A, 2002).

Frecuencias(Hz)	250	500	1K	2K	4K
Nivel sonoro	22%	46%	20%	3%	2%
Inteligibilidad	5%	13%	20%	31%	26%

Anexo 5: Niveles medios de presión sonora SPL, a 1 m de distancia, producidos por una persona hablando con diferentes intensidades de voz (Carrión, 2001).



Anexo 6: Mediciones Liceo Polivalente los Avellanos.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.53	0.55	0.53
2	0.56	0.56	0.55
3	0.54	0.53	0.52
4	0.51	0.55	0.53
5	0.55	0.57	0.53
6	0.48	0.51	0.53
7	0.53	0.54	0.55
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	1.23	1.15	1.19
2KHZ	1.21	1.23	1.27
1KHZ	1.34	1.40	1.38
500HZ	1.56	1.49	1.61
250HZ	1.41	1.31	1.14
125HZ	1.64	1.42	1.24

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.60	0.56	0.56
2	0.51	0.52	0.50
3	0.52	0.50	0.50
4	0.52	0.52	0.52
5	0.53	0.53	0.53
6	0.55	0.55	0.53
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	1.34	1.35	1.35
2KHZ	1.50	1.51	1.51
1KHZ	1.59	1.53	1.56
500HZ	1.63	1.34	1.49
250HZ	1.29	1.45	1.37
125HZ	1.43	1.43	1.43

Anexo 7: Mediciones Windsor School.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.74	0.74	0.73
2	0.75	0.74	0.75
3	0.72	0.73	0.73
4	0.71	0.71	0.71
5	0.75	0.74	0.75
6	0.73	0.73	0.73
7	0.66	0.66	0.68
8	0.68	0.67	0.68
9	0.66	0.67	0.67
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.49	0.50	0.49
2KHZ	0.54	0.53	0.54
1KHZ	0.57	0.57	0.58
500HZ	0.58	0.59	0.58
250HZ	0.79	0.80	0.78
125HZ

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.84	0.85	0.87
2	0.82	0.83	0.82
3	0.81	0.80	0.80
4	0.78	0.79	0.81
5	0.80	0.81	0.81
6	0.81	0.80	0.83
7	0.70	0.73	0.71
8	0.76	0.76	0.77
9	0.76	0.75	0.75
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.35	0.36	0.38
2KHZ	0.30	0.41	0.36
1KHZ	0.38	0.35	0.37
500HZ	0.41	0.41	0.43
250HZ	0.54	0.54	0.53
125HZ	0.48	0.50	0.49

Anexo 8: Instituto Salesiano.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.54	0.55	0.58
2	0.53	0.58	0.59
3	0.54	0.53	0.59
4	0.55	0.58	0.59
5	0.56	0.57	0.57
6	0.56	0.57	0.57
7	0.63	0.61	0.61
8	0.55	0.60	0.59
9	0.57	0.59	0.58
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.85	0.80	0.83
2KHZ	0.96	1.02	1.01
1KHZ	1.11	1.17	1.07
500HZ	0.99	1.30	1.16
250HZ	1.53	1.75	1.38
125HZ	2.48	2.88	2.68

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.73	0.73	0.73
2	0.68	0.66	0.66
3	0.63	0.62	0.61
4	0.62	0.62	0.62
5	0.61	0.61	0.61
6	0.64	0.64	0.61
7	0.61	0.60	0.59
8	0.60	0.61	0.62
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.81	0.80	0.81
2KHZ	0.90	0.97	0.92
1KHZ	0.96	1.05	1.01
500HZ	1.08	0.94	1.08
250HZ	0.75	0.81	0.76
125HZ	1.33	1.15	1.11

Anexo 9: Domus Mater.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.56	0.58	0.60
2	0.57	0.57	0.60
3	0.65	0.63	0.64
4	0.61	0.59	0.60
5	0.62	0.60	0.59
6	0.56	0.58	0.56
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.84	0.78	0.83
2KHZ	0.88	0.90	0.93
1KHZ	0.96	0.96	1.02
500HZ	1.35	1.07	1.21
250HZ	1.93	1.57	1.57
125HZ	2.54	2.26	2.26

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.70	0.71	0.69
2	0.67	0.68	0.68
3	0.65	0.67	0.67
4	0.70	0.68	0.68
5	0.66	0.65	0.66
6	0.67	0.66	0.68
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.53	0.53	0.55
2KHZ	0.60	0.58	0.58
1KHZ	0.67	0.63	0.73
500HZ	0.79	0.94	0.82
250HZ	0.73	0.80	0.89
125HZ	0.59	0.71	0.57

Sala 2.1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.39	0.48	0.49
2	0.37	0.42	0.47
3	0.49	0.48	0.47

Anexo 10: Escuela España.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.52	0.51	0.47
2	0.46	0.51	0.51
3	0.54	0.53	0.51
4	0.48	0.50	0.49
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	1.23	1.31	1.24
2KHZ	1.62	1.49	1.56
1KHZ	1.77	1.82	1.75
500HZ	1.91	1.49	2.13
250HZ	1.84	1.73	1.98
125HZ	1.50	1.69	1.77

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.73	0.72	0.74
2	0.61	0.64	0.59
3	0.63	0.66	0.63
4	0.59	0.60	0.63
5	0.61	0.62	0.60
6	0.58	0.59	0.62
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.77	0.83	0.82
2KHZ	0.89	0.97	1.02
1KHZ	0.99	1.06	1.00
500HZ	1.14	1.05	1.00
250HZ	1.08	0.99	1.12
125HZ	1.12	0.97	1.26

Sala 3

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.73	0.72	0.72
2	0.65	0.67	0.68
3	0.63	0.61	0.64
4	0.64	0.63	0.66
5	0.67	0.63	0.66
6	0.63	0.64	0.67
7	0.62	0.57	0.56
8	0.67	0.63	0.63
9	0.67	0.66	0.67

Tiempo de Reverberación	Intentos		
	1	2	3
4KHZ	0.78	0.73	0.75
2KHZ	0.84	0.85	0.94
1KHZ	0.93	0.83	0.92
500HZ	0.85	1.06	1.35
250HZ	1.49	1.23	1.15
125HZ	1.86	1.96	1.95

Anexo 11: María Auxiliadora.

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.62	0.63	0.63
2	0.75	0.74	0.71
3	0.66	0.70	0.67
4	0.63	0.63	0.65
5	0.66	0.65	0.65
6	0.60	0.62	0.62
7	0.64	0.64	0.63
8	0.63	0.64	0.64
9	0.61	0.63	0.63
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.65	0.69	0.68
2KHZ	0.78	0.79	0.74
1KHZ	0.78	0.91	0.71
500HZ	0.91	1.01	0.96
250HZ	1.82	1.91	2.32
125HZ	2.27	2.63	2.53

Anexo 12: Inmaculada Concepción.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.60	0.61	0.59
2	0.65	0.64	0.63
3	0.67	0.67	0.69
4	0.62	0.63	0.62
5	0.65	0.66	0.66
6	0.60	0.59	0.58
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.88	0.87	0.87
2KHZ	0.93	0.93	0.91
1KHZ	0.89	1.01	0.93
500HZ	0.99	1.02	0.96
250HZ	0.94	0.75	1.02
125HZ	0.78	0.68	0.97

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.60	0.58	0.57
2	0.61	0.59	0.60
3	0.58	0.56	0.57
4	0.53	0.54	0.54
5	0.56	0.58	0.61
6	0.53	0.55	0.51
7	0.52	0.50	0.51
8	0.55	0.55	0.54
9	0.53	0.49	0.49
Tiempo de Reverberación			
4KHZ	0.96	0.96	1.12
2KHZ	1.09	1.07	1.04
1KHZ	1.34	1.07	1.17
500HZ	1.33	1.29	1.49
250HZ	1.74	1.54	1.73
125HZ	1.68	2.18	1.96

Anexo 13: Colegio Austral.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.62	0.62	0.62
2	0.56	0.59	0.57
3	0.55	0.57	0.55
4	0.52	0.54	0.54
5	0.57	0.58	0.58
6	0.56	0.58	0.59

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.59	0.59	0.59
2	0.54	0.54	0.54
3	0.48	0.49	0.48
4	0.50	0.51	0.50
5	0.53	0.51	0.53
6	0.50	0.52	0.50
7	0.49	0.51	0.49
8	0.49	0.51	0.49
9	0.52	0.50	0.52

Sala 3

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.56	0.56	0.56
2	0.62	0.63	0.63
3	0.55	0.56	0.56
4	0.60	0.58	0.58
5	0.57	0.57	0.57
6	0.59	0.58	0.59

Anexo 14: Colegio Aliwen.

Sala 1

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.71	0.70	0.71
2	0.76	0.75	0.76
3	0.76	0.76	0.76

Sala 2

Valores STI Puntos de Medición	Intentos		
	1	2	3
1	0.75	0.75	0.75
2	0.70	0.70	0.70
3	0.77	0.78	0.78
4	0.71	0.73	0.72