

02-019

ANALYSIS PROCEDURE AND IMPROVEMENT OF INTELLIGIBILITY IN EDUCATIONAL SPACES.

Pérez-Egea, Adolfo; Jiménez Jiménez, Leticia Lituania; Martínez Conesa, Eusebio José; Castro Rodríguez, Enrique

Universidad Politécnica de Cartagena

This paper seeks to define a procedure for identifying the main acoustic conditions in teaching spaces, (outside noise, reverberation and echo)

Often the lack of acoustic isolation against external noises, high reverberation times and the existence of echo produce interference in the effectiveness of the communication causing confusion in the message issued by the speaker. This situation induces the use of multiple acoustic materials and electronic systems in order to enhance the clarity of the message and an adequate concentration of the audience.

To resume the paper proposes a list of improvements in order to achieve adequate speech intelligibility.

Keywords: *Speech intelligibility; Reverberation; STI;*

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS Y MEJORA DE INTELIGIBILIDAD EN ESPACIOS DOCENTES.

El presente trabajo busca definir un procedimiento de identificación de las principales afecciones acústicas en espacios docentes (ruidos exteriores, reverberación y eco)

Comúnmente la carencia de un aislamiento efectivo frente a ruidos exteriores, tiempos de reverberación altos y existencia de eco producen interferencia en la comunicación efectiva provocando confusión en el mensaje emitido por el emisor. Esta situación induce al uso de múltiples materiales de acondicionamiento acústico y sistemas electrónicos con el fin de potenciar la claridad del mensaje y una adecuada concentración del público espectador.

Como conclusión el trabajo plantea un catálogo de mejoras de posible implantación con el objetivo de lograr una adecuada inteligibilidad de la palabra.

Palabras clave: *Inteligibilidad de la palabra; Reverberación; STI;*

Correspondencia: Adolfo Pérez Egea. adolfo.perez@upct.es



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción.

En los espacios de uso académico destinados a la difusión de la palabra, específicamente aquellos dedicados a docencia, seminarios, presentaciones, charlas y/o talleres, resulta importante e interesante conocer las condiciones acústicas características del estado actual del lugar y las posibles implicaciones sobre la calidad acústica de estos espacios.

Desde hace mucho tiempo se han estudiado las causas aparentes que influyen en la calidad acústica, donde interviene la arquitectura y la ciencia de materiales como enfoque principal, sin menospreciar las consecuencias del ámbito exterior que inciden directamente sobre el espacio objeto de estudio.

Estudios tales como los realizados a principios del siglo XX por Sabine (1922) abrieron un amplio campo para la investigación de la Acústica de salas basado en el tiempo de reverberación. Posteriormente distintos autores como Atal, Schroeder & Sessler (1965), Schroeder, Gottlob & Siebrasse (1974) y Jordan (1982), han realizado estudios de análisis de la correlación entre la curva de caída y distintos atributos de la impresión subjetiva. Actualmente el criterio más aceptado en relación a la percepción subjetiva de la reverberación y el parámetro que la cuantifica es el tiempo de reverberación inicial (Early Decay Time, EDT), obtenido a partir de los 10 dB iniciales de la caída del nivel sonoro tras el cese del impulso. Sin embargo los parámetros T20 y T30 están más relacionados con las propiedades físicas de la sala. El T20 es obtenido con la caída de 20 dB medidos partir de los 5 dB iniciales de la caída del nivel sonoro.

Comúnmente la existencia de un deficiente aislamiento de ruidos exteriores y tiempos de reverberación altos producen interferencia en la comunicación efectiva provocando confusión en el mensaje emitido por el emisor. Esta situación induce al uso de múltiples materiales acústicos y sistemas electrónicos con el fin de potenciar la claridad del mensaje y una adecuada concentración del público espectador. en otras palabras, se hace necesario realizar un acondicionamiento acústico para encontrar el equilibrio entre la reflexión y la absorción de las ondas sonoras.

El resultado es un elevado número de parámetros, difíciles de evaluar y sobre todo controlar, especialmente en proyectos de nueva planta o de rehabilitación de espacios dedicados a docencia, a pesar de que se cuente hoy en día con poderosas herramientas de simulación del campo sonoro en el interior de un recinto. Por ende, en esos proyectos arquitectónicos, aunque los aspectos acústicos han de ser necesariamente relevantes, se ha de contemplar muchas otras variables de gran importancia: culturales, sociológicas, patrimoniales, tipológicas, ambientales, energéticas, constructivas, estructurales, económicas, etc.

Uno de los modelos de predicción objetivo más ampliamente utilizado es el Índice de Transmisión de la Voz (Speech Transmission Index - STI) desarrollado por Houtgast y Steeneken (1971) y perfeccionado por Steeneken y Houtgast (1980). Otros índices como el RASTI (Room Acoustic Speech Transmission Index) o el STI-PA (usado en salas donde intervengan equipos electro-acústicos) han resultado tener muchas limitaciones en relación a la acústica de salas (Wijnngaarden, Verhave, Steeneken, 2012).

2. Objetivos

Con el método descrito en esta comunicación, se propone analizar un indicador de la calidad acústica de la sala mediante el índice STI, que resume en un solo número las diferentes combinaciones del Tiempo de Reverberación (T20) expresado en segundos(s) y la relación entre señal y ruido expresado en dB(A).

Mediante el análisis de los factores que intervienen de forma directa o indirecta en el indicador se inferirán medidas que permitan diseñar salas con la calidad acústica apropiada al uso al que estén destinadas.

3. Metodología

3.1. Metodología experimental

La idoneidad del acondicionamiento acústico de una sala en relación al uso característico, difusión de la voz en el caso de aulas destinadas a docencia, depende de varios factores, tales como: Tiempo de reverberación (T), Ruido de fondo. La inteligibilidad de la palabra en aulas, o en cualquier otra sala de uso similar, está relacionada con el efecto combinado del tiempo de reverberación y el ruido de fondo.

En el procedimiento propuesto de evaluación de la calidad acústica de las aulas incluidas en este estudio, se ha cuantificado dos parámetros: tiempo de reverberación y ruido de fondo. Los dos primeros se obtienen directamente de las mediciones de campo efectuadas.

A partir de los dos anteriores se obtiene el índice STI (Speech Transmission Index, o índice de Transmisión de la Voz), que resume en un solo número las diferentes combinaciones del Tiempo de Reverberación (T) expresado en segundos(s) y la relación entre señal y ruido expresado en dB(A). Figura 1 y Figura 2. Las combinaciones de ambos factores que dan lugar a un determinado valor del índice STI son múltiples.

Figura 1. Relación entre el Ruido de Fondo y el STI.

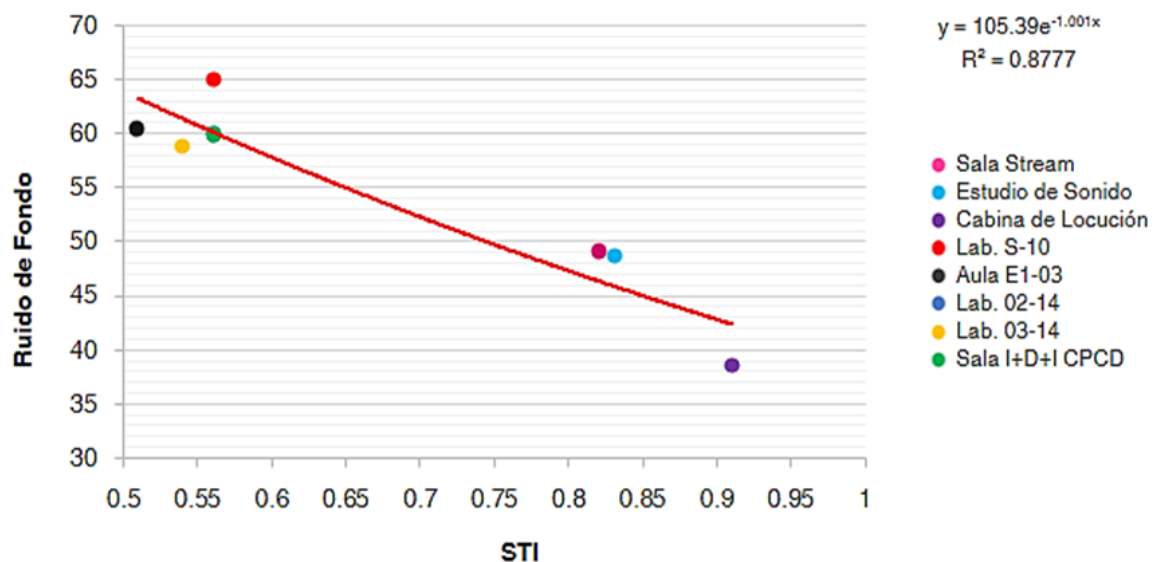
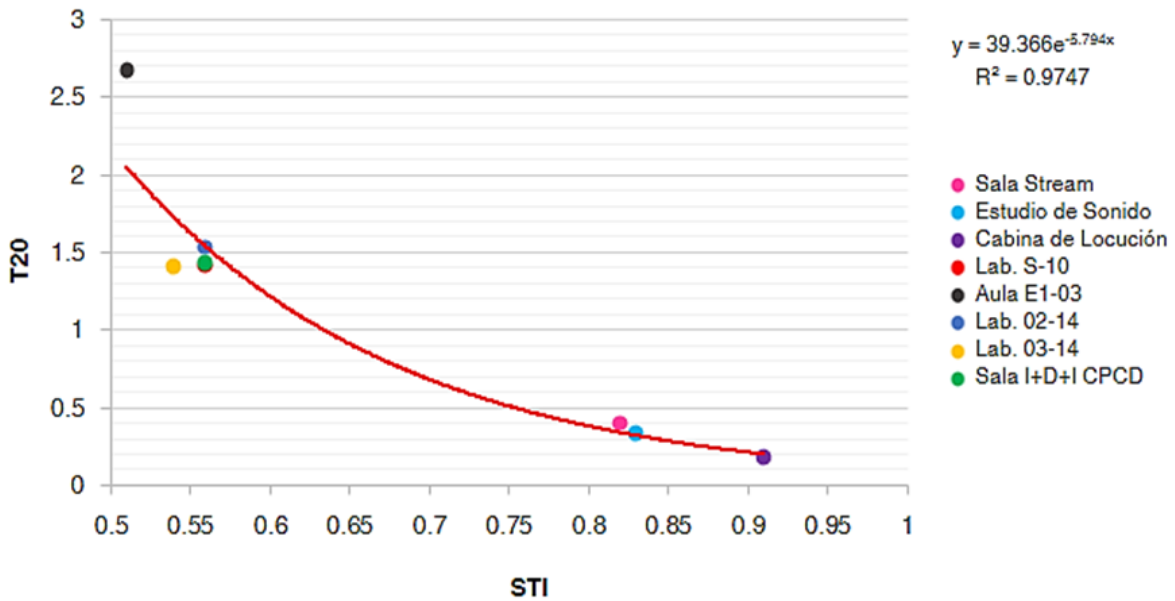


Figura 2. Relación entre el T20 y el STI.



El procedimiento de obtención del STI se basa en la generación y análisis de una señal de prueba artificial modulada en amplitud que reemplaza la señal de la voz. Este método supone que la inteligibilidad del habla se mantiene con la acústica de la sala solo si la modulación de la señal artificial se transmite sin alteración desde la fuente hasta la posición del auditor. Como se expresa en la ecuación 1, tanto el tiempo de reverberación T como la relación señal ruido S/R pueden reducir esta modulación. La reducción de modulación en el punto de recepción está asociada con la pérdida de inteligibilidad y su resultado se expresa en un índice cuyo rango va de 0 a 1. La técnica STI está estandarizada por la norma UNE EN 60268-16 (2011).

$$m(F) = \left[1 + \left(2\pi F \frac{T}{13,8} \right)^2 \right]^{-1/2} \cdot \left[1 + 10^{(-S/R)/10} \right]^{-1} \quad (1)$$

Sin embargo el presente estudio propone la utilización del método indirecto, según el cual la modulación en la frecuencia considerada es lineal y requiere estricta sincronización entre la fuente de sonido y los equipos de medida. La principal ventaja del método indirecto sobre el método directo, basado en pruebas sobre señales moduladas, es que se comprueban todas las frecuencias del rango considerado, cubriendo así todas las frecuencias de modulación relevantes en todas las bandas de octava. En general, el método indirecto es a menudo la mejor opción cuando se estudia la inteligibilidad de la voz en salas sin componentes electroacústicos.

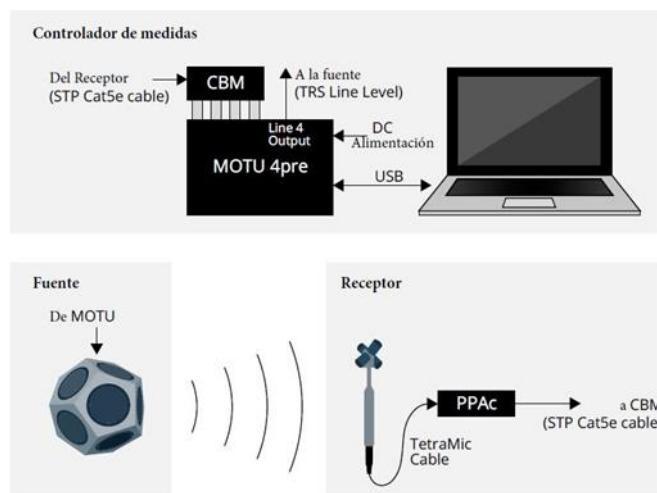
Aplicando esta metodología tendremos una evaluación de la calidad acústica del aula precisa y fácil de interpretar (STI), y unos parámetros que nos sirven para efectuar el diagnóstico de la situación y prever la solución a los problemas que se puedan haber detectado. Todas las mediciones se han realizado en condiciones habituales de utilización con el fin de que la evaluación fuera lo más representativa de la situación real.

3.2. Equipos utilizados

- **Sonómetro:** Este equipo ha sido utilizado para medir los niveles de presión sonora (dBA) en el interior de las salas y en el entorno de la edificación. La toma de datos fue realizada con el Sonómetro Cesva, modelo SC 420 (Figura 1). Para descargar los datos obtenidos se utilizó el software Cesva Lab, proporcionado por el fabricante del sonómetro en el CD de instalación del equipo, este software permite visualizar, descargar y generar informes de los datos medidos.
- **IRIS:** Es un sistema integrado de medición acústica de sala conformado por hardware y software desarrollado por Marshall Day Acoustic, utilizado para medir diferentes parámetros de la acústica arquitectónica. El Hardware del sistema consta de Conjunto de micrófonos Core Sound TetraMic, Soporte de micrófono para TetraMic. Caja de conexión MOTU, Interfaz de audio USB MOTU 4pre, Fuente sonora omnidireccional FP122 de CESVA, compuesta por un altavoz omnidireccional BP012 que asegura una emisión omnidireccional del ruido reproducido y que es capaz de desarrollar 123 dB de potencia acústica (PWL), y de un amplificador para fuente omnidireccional AP602. (Figura 2) El Software IRIS, utilizado para la toma de medidas en campo, descarga y procesamiento de datos, brinda los parámetros acústicos obtenidos en formato de tabla y gráfico. El equipo permite la utilización del método indirecto para la obtención de la relación modulada impulso respuesta.

Los equipos utilizados se completan con un ordenador portátil para la medición y procesamiento de datos Asus ROG GL553V de 15.6" con Windows 10, en el que se ha instalado el software Cesva Lab y también IRIS.

Figura 3. Conexiones del hardware IRIS



3.3. Toma de datos

Según se especifica en la norma UNE-EN ISO 16283-1, para las mediciones de Ruido de Fondo de los recintos, se comprobó que el sonómetro no presentara señales espurias al momento de realizar las mediciones, y que durante la realización de las medidas el operario del equipo no emitiera ningún tipo de ruido que afectara a los resultados.

Por otro lado y según se especifica en la norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 corregida por la norma UNE-EN ISO 3382-2:2009. Erratum V2, para las mediciones del Tiempo de Reverberación con el método de respuesta al impulso integrada, se realizaron al menos 6

mediciones para cada banda de frecuencia en la banda de octava en recintos de más de 25 m³. Para la medición del Tiempo de Reverberación con fines de estudio de la inteligibilidad de la palabra se ha aplicado el método de la respuesta impulsiva y se ha tomado el rango de evaluación de 20 dB (T20) debido a que es más apropiado utilizar la primera parte del decrecimiento del nivel acústico y se realizó el número mínimo de mediciones tal como indica el artículo 4.3.1 de la norma UNE-EN ISO 3382-2 en su tabla 1, es decir:

- combinación de fuente – micrófono, al menos 2;
- Posiciones de la fuente, mayor o igual a 1;
- posiciones de micrófono, mayor o igual a 2.

Se utilizó una señal de barrido espectral desde 20 Hz a 20 KHz con una duración de 30 segundos para excitar los recintos.

Las posiciones de la fuente y el micrófono fueron determinadas dependiendo de la función del recinto. Los micrófonos se colocaron preferiblemente separados entre ellos al menos 2 m. y la distancia del micrófono a cualquier superficie reflectante incluido el suelo al menos fue de 1 m. Se evitaron el uso de posiciones de los micrófonos simétricas respecto de la sala.

En busca de realizar las mediciones bajo los parámetros especificados por la normativa, la fuente y el micrófono fueron ajustados a una altura de 1.50 m. de la superficie del suelo en todos los recintos elegidos como muestra, la separación a paramentos verticales fué de al menos 1 m. en los recintos donde sus cualidades geométricas así lo permitían. El ruido de fondo se ha valorado con el parámetro LAeq (nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A), en periodos que se han considerado representativos (por lo general de 30s.), dedicando más mediciones en aquellas situaciones con niveles mayores.

Se han realizado entre 6 y 10 puntos de mediciones por aula, distribuidos aleatoriamente en el área de alumnado. La fuente sonora omnidireccional, se sitúa en el lugar del profesor sentado.

4. Caso de estudio.

El edificio “ELDI” es uno de los edificios más representativos de la comunidad universitaria porque representa la esencia de la Universidad, su filosofía, ideología y saber hacer para la colectividad estudiantil y la sociedad en general. Por ello los espacios que integran el conjunto deberían poseer los más altos estándares de calidad acústica para el desarrollo de la actividad diaria tanto de estudiantes como del personal docente, investigador y administrativo. Cada aula, laboratorio y/o taller debería corresponderse con la condición de excelencia que envuelve los diferentes planes de estudio que de una forma u otra interactúan con los ambientes existentes en la edificación.

Según se resume en la Tabla 1, Se escogieron 8 ambientes en el interior del edificio, considerando los usos característicos de cada uno de los recintos evaluados, y sus cualidades acústicas comunes.

5. Resultados

Las mediciones fueron realizadas en aulas y laboratorios con ciertas características acústicas, para ello se tomó uno o dos espacios en los diferentes niveles que conforman el conjunto constructivo con el fin de poder recabar la mayor información acústica posible y determinar las características actuales del complejo. Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de recintos elegidos para el estudio acústico en el ELDI

Clasificación del recinto	Nombre del recinto	Características constructivas			Uso
		Forma	Volumen (m ³)	Material constructivo	
Recintos sin acond. acústico	Lab. S-10	Regular.	1360.00	Hormigón y bloques	Laboratorio y tutorías
	Aula E1-03	Irregular	494.66	Hormigón y cartón-yeso	Clases y charlas
	Lab. 02-14	Regular	444.26	Hormigón y cartón-yeso	Laboratorios, clases, prácticas y charlas
	Lab. 03-14	Regular	568.06	Hormigón y cartón-yeso	Laboratorio, clases y prácticas
	Sala I+D+I	Regular	441.78	Hormigón y cartón-yeso	Laboratorio, prácticas y reuniones
Recintos con acond. acústico	Sala Stream	Regular	235.98	Hormigón, cartón-yeso y revestimiento acústico	Clases, prácticas y charlas
	Estudio de Grabación	Irregular	157.12	Hormigón, cartón-yeso y revestimiento acústico	Grabaciones audiovisuales
	Cabina de Locución	Irregular	23.06	Hormigón, cartón-yeso y revestimiento acústico	Grabaciones audiovisuales

Tabla 2. Síntesis de resultados obtenidos en los recintos estudiados.

Recinto		Parámetros acústicos relacionados con la inteligibilidad de la palabra			Cumplimiento	
Nombre	Tipología	T20 (s)	Ruido de Fondo (dB)	STI	Bibliografía	CTE
Recintos sin acondicionamiento acústico						
Lab. S-10	Docente/ Conferencia	1,48	65,00	0,56	No Cumple	No Cumple
Aula E1-03	Docente/ Conferencia	2,67	60,60	0,51	No Cumple	No Cumple
Lab. 02-14	Docente/ Conferencia	1,54	59,90	0,56	No Cumple	No Cumple
Lab. 03-14	Docente/ Conferencia	1,41	58,80	0,54	No Cumple	No Cumple
Sala I+D+I	Docente/ Conferencia	1,44	59,80	0,56	No Cumple	No Cumple
Recintos con acondicionamiento acústico						
Sala Stream	Grabación/ Docente	0,40	49,10	0,82	Cumple	Cumple
Estudio de Grabación	Grabación	0,33	48,70	0,83	Cumple	Cumple
Cabina de Locución	Grabación	0,18	38,50	0,91	Cumple	Cumple

Tras el análisis de los resultados de cada recinto de forma individual, a modo de síntesis se examinaron los recintos en conjunto para observar su comportamiento como una unidad destinada a la difusión de la palabra. Posteriormente, se procedió a estudiar los parámetros más relevantes relacionados con la inteligibilidad de la palabra, tales como Tiempo de Reverberación (T20), Ruido de Fondo y Speech Transmission Index (STI). Tabla 2

En las figuras 4, 5 y 6 se ha expresado, mediante una comparativa entre el valor máximo o mínimo admisible para cada uno de los indicadores, la calidad acústica percibida en dos de los recintos uno con acondicionamiento acústico, la Sala I+D+I, y otro sin él, la Sala Stream.

Figura 4. Comparación del Tiempo de Reverberación (T20) entre dos recintos.

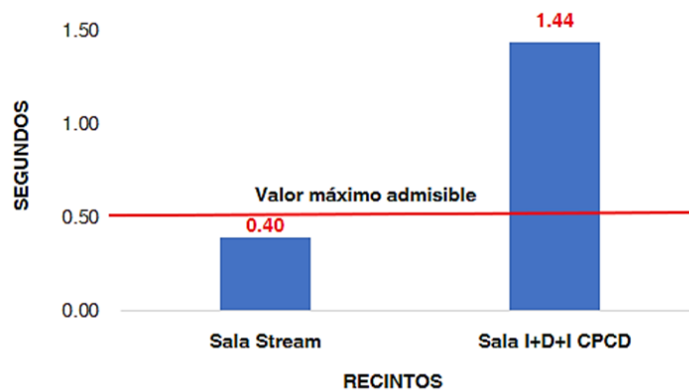


Figura 5. Comparación del Ruido de Fondo entre dos recintos.

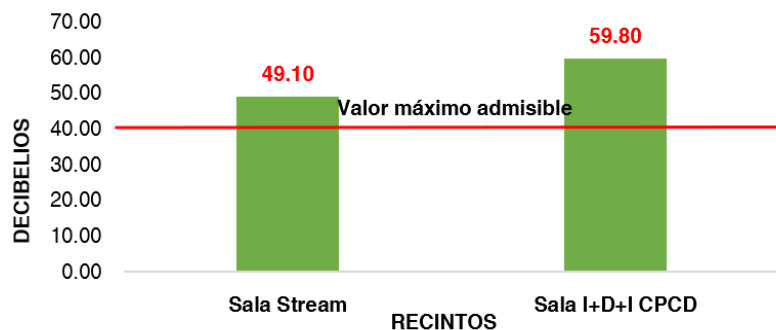
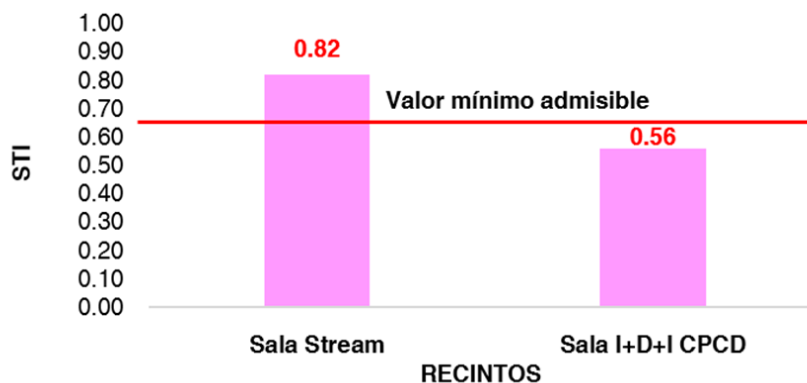


Figura 6. Comparación del STI entre dos recintos.



El criterio de cumplimiento o no de los parámetros respecto de recomendaciones o normativas se ha decidido en función de los límites expuestos en normativas de aplicación como el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre de "Protección frente al ruido". También se han considerado las recomendaciones expuestas por algunos autores como Isbert (1998) según el uso de la sala.

En aquellos espacios donde la calidad acústica no cumple con los estándares admitidos por la bibliografía y la normativa se propone como medidas correctoras:

1. Reducir el volumen del recinto
2. Aumentar las superficies capaces de entrar en vibración
3. Mejorar la absorción acústica de las superficies
4. Reducir la energía sonora mediante elementos absorbentes selectivos (resonadores)
5. Control del ruido ambiental interior

5.1 Reducir el volumen del recinto

El volumen del espacio es un factor que resulta directamente proporcional al Tiempo de Reverberación. Esto se podría conseguir colocando paneles móviles en las aulas de gran tamaño, de esta manera cuando la sala no sea utilizada por completo podría reducirse para intentar obtener mejores resultados acústicos.

5.2 Aumentar las superficies capaces de entrar en vibración

Estos elementos, como ventanas, puertas y paredes ligeras, de materiales de construcción menos rígidos, absorben una parte de la energía transmitida en el sonido y aunque la energía no se disipa como ocurre en los materiales absorbentes, el efecto es equivalente debido a que cuando la superficie entra en vibración parte de la energía sonora es sustraída y radiada hacia el exterior.

5.3- Mejorar la absorción acústica de las superficies

Mediante la colocación de materiales absorbentes acústicos en el revestimiento. Los materiales rígidos poseen una limitada absorción acústica mientras que los que tienen mayor rugosidad se caracterizan por tener un coeficiente de absorción más elevado. A mayor absorción acústica del material menor será el tiempo de reverberación del recinto.

Los materiales absorbentes están caracterizados por presentar un gran número de canales por donde entra la onda sonora. Tal y como nos enseña Isbert (1998):

La onda sonora incidente es parcialmente reflejada. La energía sonora no reflejada penetra en el material, se atenúa y alcanza de nuevo su superficie después de reflejarse en la pared rígida posterior. La energía remanente se divide, nuevamente, en una parte que atraviesa la superficie del material y otra que vuelve a la pared posterior a través del material. Desde un punto de vista teórico, este proceso continúa indefinidamente.

Los materiales absorbentes son porosos y por lo general están formados por sustancias fibrosas o granulares, fabricados a partir de Lana de Vidrio, Lana Mineral, Espuma a base de Resina de Melanina y Espuma de Poliuretano.

5.4- Reducir la energía sonora mediante elementos absorbentes selectivos (resonadores)

Estos poseen una gran absorción de frecuencias bajas y disminuyen los tiempos de reverberación reduciendo la energía que produce el sonido una vez es emitido. Presentan una curva de absorción con un valor máximo a una determinada frecuencia llamada frecuencia de resonancia, situada generalmente por debajo de 500 Hz y depende de sus características físicas y geométricas. (Isbert, 1998, pág. 88)

Tienen la peculiaridad de que pueden utilizarse de forma independiente o como complemento de los materiales absorbentes acústicos. Existen tipos diferentes, tales como: de membrana o diafragmático; simple de cavidad; múltiple de cavidad a base de paneles perforados o ranurados; y múltiple de cavidad a base de listones. (Isbert, 1998)

5.5- Control del Ruido de Fondo.

Tras analizar las opciones disponibles para reducir el tiempo de reverberación en los recintos que necesitan atención y mejorar la inteligibilidad de la palabra se ha determinado que el ruido de fondo, presente en muchas situaciones y queja frecuente de los usuarios es el factor determinante. Por lo tanto, se muestra como necesario instalar equipos que brinden mejores prestaciones acústicas. Los equipos estarán diseñados para ser instalados en la posición que ocupan (inmersos en la sala) y el ruido que emitan no superará el valor mínimo normativo de Ruido de Fondo.

6. Conclusiones

En general se cumple que las aulas analizadas tienen mal aislamiento con el exterior, e incluso ante el ruido proveniente de otras dependencias del mismo centro. Existen incluso fuentes de ruido de fondo dentro de las aulas, tales como el producido por los equipos de aire acondicionado. Generalmente presentan valores del T20(s) elevados y niveles de ruido de fondo altos, lo que da lugar a valores del índice STI bajos y por lo tanto una mala inteligibilidad de la palabra.

Tras la aplicación del procedimiento de análisis descrito en esta comunicación, nuestra recomendación para la construcción de nuevas edificaciones o remodelaciones de antiguos colegios, es establecer y hacer cumplir unos requisitos mínimos a la obra terminada, para el tiempo de reverberación y el aislamiento a ruido aéreo, tanto con el exterior como entre dependencias. En aquellos edificios donde la acústica resulta un factor determinante para la adecuada utilización del espacio tales como nuevos centros educativos o Conservatorios de música, se deberá incorporar, desde la fase de diseño de los espacios hasta la puesta en servicio del edificio, un asesor especializado en el diseño acústico de salas. Estas exigencias deberán ser justificadas a nivel de proyecto y verificadas mediante ensayos "in situ", antes de la aceptación de la obra terminada.

Estas necesidades acústicas, que no por conocidas dejan de ser novedosas desde el punto de vista normativo, abren nuevos caminos a la investigación, debiéndose establecer un nuevo protocolo de diseño, recepción y puesta en funcionamiento que garantice el cumplimiento de las necesidades de acondicionamiento acústico. El empleo de nuevas tecnologías tales como Building Information Modeling (BIM), Machine Learning o algoritmos de diseño generativo ayudará mediante análisis multivariable sobre los modelos virtuales a obtener los diseños más adecuados, optimizando los criterios de selección desde la fase de

proyecto, mientras que técnicas probabilísticas y determinísticas tales como el Diseño de Experimentos (DOE), permitirá diseñar los ensayos óptimos que permitan verificar la idoneidad del resultado esperado.

7. Referencias bibliográficas.

- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo*. UNE-EN ISO 16283-1. Madrid: AENOR, 2015.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios*. UNE-EN ISO 3382-2. Madrid: AENOR, 2008.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios*. UNE-EN ISO 3382-2. Erratum V2. Madrid: AENOR, 2009.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. *Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 16: Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante el índice de transmisión del habla*. UNE-EN 60268-16. Madrid: AENOR, 2011.
- Atal, B.S., Schroeder, M.R. & Sessler, G.M. (1965). Subjective Reverberation Time and its Relation to Sound Decay. En: K. Linsenmann (Ed.). 5º congreso Internacional d'Acoustique Ueque (pp. 1): St. Louis, Lutheran Academy for Scholarship, España.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de octubre de 2007, nº 254, pp. 42952-42973.
- España. Ministerio de Vivienda. Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de octubre de 2007, nº 254, pp. 42992-43045. España.
- Houtgast, T. & Steeneken, H. J. M. (1971). Evaluation of Speech Transmission Channels by Using Artificial Signals", *Acustica* 25, 355–367.
- Isbert, A. C. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Univ. Politèc. de Catalunya
- Jordan, V.L. (1982). Acoustical criteria for concert hall stages. *Applied Acoustics*, 15(5), 321-328. doi: [http://0-dx.doi.org.fama.us.es/10.1016/0003-682X\(82\)90020-2](http://0-dx.doi.org.fama.us.es/10.1016/0003-682X(82)90020-2). ISSN 0003-682X.
- Sabine, W.C. (1922). *Collected Papers on Acoustics*. Cambridge: Harvard University Press.
- Schroeder, M.R., Gottlob, D. & Siebrasse, K.F. (1974). Comparative study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 56, 1195-1201. doi: 10.1121/1.1903408.
- Steeneken, H.J.M & T. Houtgast. (1980). A physical method for measuring speech transmission quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67(1). 318-326.
- van Wijngaarden, S., Verhave, J., & Steeneken, H. (2012). The Speech Transmission Index after four decades of development. *Acoustics Australia*, 40(2).