



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA EN LOS ESPACIOS DOCENTES DEL EDIFICIO ELDI:

**PACS:** 43.71.Gv. Measures of speech perception (intelligibility and quality)

Perez Egea, Adolfo<sup>1</sup>; Jimenez Jimenez, Leticia Lituania<sup>3</sup>; Martínez Conesa, Eusebio José<sup>1</sup>; Castro Rodríguez, Enrique<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Alfonso XIII, Edificio ETSAE, Paseo Alfonso XIII, 50 - 30203 Cartagena, España. 0034 868 07 1265. adolfo.perez@upct.es.

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Alfonso XIII, Edificio ETSIA, Paseo Alfonso XIII, 48 - 30203 Cartagena, España.

<sup>3</sup>Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Alfonso XIII, Edificio ETSAE, Paseo Alfonso XIII, 50 - 30203 Cartagena, España.

**Palabras Clave:** speech intelligibility, reverberación, STI, Claridad, IRIS

### ABSTRACT

This paper seeks to identify what the acoustics of teaching spaces are, in the ELDI building of Universidad Politécnica de Cartagena (outside noise, reverberation and echo) and propose a series of improvements in order to achieve adequate speech intelligibility.

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 sender. 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 spectator audience.

### RESUMEN

El presente trabajo busca identificar cuáles son las afecciones acústicas de los espacios docentes del edificio ELDI de la Universidad Politécnica de Cartagena (ruidos exteriores, reverberación y eco) y plantear una serie de mejoras con el objetivo de lograr una adecuada inteligibilidad de la palabra.

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.



**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

## **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.

De la experiencia acústica percibida durante el uso como docentes y alumnos de las diferentes estancias de la Universidad Politécnica de Cartagena "UPCT", espacios, en su mayoría, utilizados para difundir el quehacer técnico-científico, ha surgido el interés de estudiar acústicamente los espacios del Edificio de Laboratorios de Investigación "ELDI", partiendo de dos premisas importantes: por un lado, sus características arquitectónicas de estilo brutalista, minimalista e industrial y por otro la percepción del sonido en el interior de cada uno de sus recintos.

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.

Al momento de concebir una idea arquitectónica y llevar esa idea a la realidad son muchos los aspectos que se deben tomar en cuenta, desde la elección del terreno hasta los detalles de iluminación, pero en pocas ocasiones la acústica y como ésta debe ser abordada es un tema de discusión. Por lo general primero se piensa en la apariencia estética y luego en la funcionalidad técnica. Debido a este tipo de situaciones es frecuente encontrar edificaciones visualmente bellas pero con un mal comportamiento auditivo, más en aquellos espacios destinados a la difusión de la palabra.

En los espacios que han sido destinados a la difusión de la palabra, y que es el tema objeto de estudio de este trabajo, debe primar el confort auditivo. El mensaje transmitido por el emisor al receptor debe gozar de claridad y definición, y es por lo tanto necesario y obligatorio que prevalezca la inteligibilidad del discurso. La inteligibilidad depende de los efectos ocultos que trae consigo la emisión del sonido y que el receptor tiende a escuchar, "este enmascaramiento puede ser causado por ruido de fuentes de fondo o por reflejos de las palabras originales" [1], p. 579).

Para el diseño de espacios en los cuales transmitir y comprender un mensaje sea la función principal, factores tales como el tamaño del lugar, la geometría, la orientación espacial, los tipos de materiales y agentes exteriores influyen considerablemente en la calidad acústica y, para que esta calidad sea visible es necesario cumplir ciertas condiciones tales como:

- El volumen del espacio debe ser suficiente.
- La expansión del sonido debe ser uniforme en toda la unidad espacial.
- Existencia de una alta relación entre señal / ruido.
- El ruido de fondo / exterior debe ser extremadamente bajo.
- Las características reverberantes deben ser apropiadas para la función.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### SELECCIÓN DE AMBIENTES PARA EL ESTUDIO ACÚSTICO

Según se resume en la Tabla 1, Se escogieron 7 ambientes en el interior del edificio. Considerando los usos característicos de cada uno de los recintos evaluados, y sus cualidades acústicas comunes:

Clasificación del Recinto	Nombre del Recinto	Características Constructivas			Uso
		Forma <sup>1</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	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 pladur	Clases y charlas
	Lab. 02-14	Regular	444.26	Hormigón y pladur	Laboratorios, clases, prácticas y charlas
	Lab. 03-14	Regular	568.06	Hormigón y pladur	Laboratorio, clases y prácticas
	Sala I+D+I CPCD	Regular	441.78	Hormigón y pladur	Laboratorio, prácticas y reuniones
Recintos con acond. acústico	Sala Stream	Regular	235.98	Hormigón, pladur y revestimiento de absorción acústica	Clases, prácticas y charlas
	Estudio de Sonido y Grabación	Irregular	157.12	Hormigón, pladur y revestimiento de absorción acústica	Grabaciones audiovisuales
	Cabina de Locución	Irregular	23.06	Hormigón, pladur y revestimiento de absorción acústica	Grabaciones audiovisuales

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

### METODOLOGIA EXPERIMENTAL

#### Evaluación Objetiva

El modelo experimental se ha dividido en dos partes esenciales:

#### El estudio del entorno:

Orientado a verificar la ubicación de la edificación y cómo se comporta el ruido en sus alrededores, para ello se realizará una comparativa con la normativa existente del mapa de ruido del municipio de Cartagena. [2]

#### El estudio de la calidad acústica interior:

Orientado a la medición de los parámetros acústicos relacionados a la inteligibilidad de la palabra. Se verifica si los espacios medidos, tomados como muestra representativa del conjunto del edificio, cumplen con los valores acústicos recomendados y con la normativa vigente para este tipo de espacios.



## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### Evaluación Subjetiva

Durante el proceso de investigación se realizó una encuesta a una muestra representativa de la comunidad universitaria. El canal elegido para la cuestionación fue mediante la elaboración, difusión y posterior análisis de la encuesta empleando la herramienta informática de elaboración de cuestionarios de Google.

El cuestionario elaborado interpellaba sobre aspectos tales como: la experiencia auditiva de docentes y alumnos al impartir o asistir a alguna clase, práctica, charla o conferencia en el edificio; sobre la adecuada percepción del mensaje emitido; sobre la calidad acústica percibida; y sobre el acondicionamiento ambiental de las salas, por señalar los más significantes de cara a esta investigación.

### TOMA DE DATOS

Según se especifica en la norma UNE-EN ISO 16283-1 [3] 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, que al momento de realizar las medidas el operario del equipo no emitiera ningún tipo de ruido que afectara a los resultados.

Se procedió a verificar la norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 [4], [5], para las mediciones del Tiempo de Reverberación con el método de respuesta al impulso integrada. Tal como indica la norma, se realizaron al menos 6 mediciones para cada banda de frecuencia en la banda de octava en recintos de más de 25 m<sup>3</sup>. 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 realizaron los números mínimos de medidas tal como indica el artículo 4.3.1 de la norma UNE-EN ISO 3382-2:2008 en su tabla 1: [4], [5], 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 fue de al menos 1 m. en los recintos donde sus cualidades geométricas así lo permitían.

### 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 (imagen 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 (Figura 1) 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. (Imagen 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.

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 han instalado los softwares Cesva Lab e IRIS.

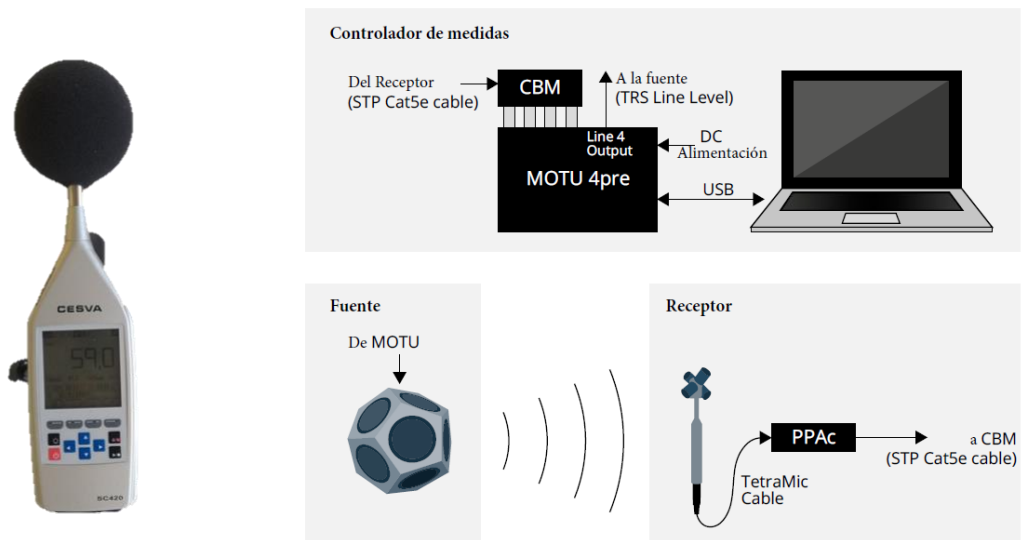


Imagen 1. Sonómetro Cesva, modelo SC 420      Imagen 2. Conexiones del hardware IRIS

## PARÁMETROS ACUSTICOS DE INTELIGIBILIDAD CONSIDERADOS

Para alcanzar una inteligibilidad adecuada en un recinto es necesario identificar cuáles son los defectos acústicos que posee la sala, en sentido general la inteligibilidad está íntimamente relacionada con el tiempo de reverberación **Tiempo de Reverberación**, evaluado a partir del parámetro **T20**. [6] y todos los parámetros que se puede identificar a través de este, entre ellos se han considerado para el presente estudio:

La **claridad** es la relación existente entre la energía acústica inicial y la tardía. Para la claridad de la voz se ha empleado el parámetro C50. Se define como la relación entre la energía sonora que llega al receptor durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo y la que llega después de los primeros 50 ms" [6], p. 183. Se expresa en dB.

El parámetro **STI** (Índice de transmisión de discurso o Speech Transmission Index.), permite cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad total), Su cálculo resulta complejo debido a que se necesita computar 14 frecuencias de modulación de la voz.[6] Para su cálculo se ha procesado el impulso/respuesta obtenido en las mediciones realizadas, mediante un algoritmo procesado con el software Matlab.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

RESULTADOS DE LAS MEDIDAS OBJETIVAS

Respecto del entorno circundante, las medidas realizadas fueron tomadas en el transcurso de un día con los periodos “día, tarde, noche” con un tiempo de integración total (t) de 5 minutos y un tiempo programable (T) de 10 segundos. En cada periodo de tiempo fue determinado LAT, LAT Min., LAT Max., y los valores percentiles L10t, L50t y L90t, según las Tablas 2 y 3.

PERIODO DÍA - L Day						
Punto	LAT	LAT Min.	LAT Max.	L10t	L50t	L90t
<b>Punto 1</b>						
Recepción	56.70	44.80	66.20	59.40	50.30	44.20
<b>Punto 2</b>						
Frontal izquierda	55.40	46.00	64.90	58.80	49.10	45.40
<b>Punto 3</b>						
Lateral izquierda centro	50.40	46.80	57.40	52.40	48.10	44.80
<b>Punto 4</b>						
Posterior izquierda	47.70	43.30	54.60	48.60	45.50	43.50
<b>Punto 5</b>						
Posterior derecha	47.30	41.90	52.90	50.60	45.40	42.60
<b>Punto 6</b>						
Lateral derecha centro	47.10	44.10	52.70	48.80	45.50	43.80
<b>Punto 7</b>						
Frontal derecha	56.00	49.40	65.10	57.60	51.50	48.30

Ubicación	Espacio	Tipología	L day	L evening	L night
			Norma Medición	Norma Medición	Norma Medición
Punto 1	Interior	e	No cumple 40 56.70	No cumple 40 44.20	No cumple 40 43.30
Punto 2	Exterior	e	Cumple 60 55.40	Cumple 60 54.90	Cumple 50 47.40
Punto 3	Exterior	e	Cumple 60 50.40	Cumple 60 54.80	Cumple 50 43.50
Punto 4	Exterior	e	Cumple 60 47.70	Cumple 60 48.10	Cumple 50 41.40
Punto 5	Exterior	e	Cumple 60 47.30	Cumple 60 52.60	Cumple 50 46.30
Punto 6	Exterior	e	Cumple 60 47.10	Cumple 60 45.50	Cumple 50 43.70
Punto 7	Exterior	e	Cumple 60 56.00	Cumple 60 53.10	Cumple 50 46.80

Tabla 2 – Resumen de mediciones acústicas ELDI, periodo día “Lday”

Tabla 3. - Cuadro comparativo ruido exterior con la normativa vigente.

Respecto del interior de las salas, 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 4

Nombre del Recinto	Tipología del Recinto	Parámetros acústicos relacionados a la inteligibilidad de la palabra									Recomen- dación Bibliografía	Recomen- dación CTE
		EDT (s)	T20 (s)	T30 (s)	C80 (dB)	C50 (dB)	D50 (%)	Ruido de Fondo (dB)	STI	%ALCons		
<b>Recintos sin acondicionamiento acústico</b>												
Lab. S-10	Docente / Conferencia	1.50	1.48	1.49	0.59	-2.27	0.38	65.00	0.56	9.35	No Cumple	No Cumple
Aula E1-03	Docente / Conferencia	2.65	2.67	2.69	-2.23	-4.72	0.30	60.60	0.51	18.38	No Cumple	No Cumple
Lab. 02-14	Docente / Conferencia	1.57	1.54	1.56	0.08	-2.58	0.36	59.90	0.56	10.75	No Cumple	No Cumple
Lab. 03-14	Docente / Conferencia	1.56	1.41	1.41	-0.74	-3.70	0.31	58.80	0.54	11.26	No Cumple	No Cumple
Sala I+D+I CPCD	Docente / Conferencia	1.37	1.44	1.46	0.85	0.38	0.38	59.80	0.56	9.23	No Cumple	No Cumple
<b>Recintos con acondicionamiento acústico</b>												
Sala Stream	Grabación / Docente	0.29	0.40	0.41	16.56	10.97	0.91	49.10 *	0.82	0.19	Cumple	Cumple
Estudio de Sonido	Grabación	0.27	0.33	0.35	17.37	11.19	0.93	48.70 *	0.83	1.02	Cumple	Cumple
Cabina de Locución	Grabación	0.14	0.18	0.20	29.07	20.17	0.99	38.50 *	0.91	0.16	Cumple	Cumple

Tabla 4. Síntesis de resultados obtenidos en los recintos estudiados.

RESULTADOS DE LAS MEDIDAS SUBJETIVAS

Durante el proceso de investigación y de acuerdo a los datos recolectados mediante la encuesta realizada, se pudo observar que de todos los usuarios de la edificación el 68.8% corresponde a alumnos y un 9.4% son docentes. Del total de los entrevistados, el 58.1% afirmó

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

no haber tenido una buena experiencia acústica al hacer uso de la edificación y un 51.6% afirmó que las características constructivas del recinto influyen en la percepción del mensaje. Estos datos justifican y fomentan las siguientes investigaciones con el objetivo de identificar cuáles son las afecciones acústicas existentes y plantear una serie de mejoras con el objetivo de lograr una adecuada inteligibilidad de la palabra en estos recintos.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Respecto del entorno circundante, los resultados demuestran que el entorno de la edificación objeto de estudio cumple con la normativa, puntos 2 al 7, manteniendo los niveles de ruido por debajo de los límites máximos propuestos, pero el ruido provocado en el exterior afecta el valor máximo admisible en el interior, punto 1, por lo que se hace necesario implementar alguna medida correctiva para contrarrestar la situación actual. Tabla 3.

Respecto del interior de las salas. Tras el análisis de cada recinto y mostrar los resultados de forma individual, a modo de síntesis se examinarán los recintos en conjunto para observar su comportamiento como una unidad destinada a la difusión de la palabra. Posteriormente, se ha procedido a estudiar los parámetros más relevantes relacionados con la inteligibilidad de la palabra, tales como Tiempo de Reverberación (T20), Claridad (C50), Ruido de Fondo, Speech Transmission Index (STI)

Según el Documento Básico de Protección frente al Ruido, DB-HR del CTE [7], el TR en aulas y salas de conferencias incluyendo el mobiliario y cuyo volumen sea menor de  $350 \text{ m}^3$ , no deberá superar los 0.5 s. Como se puede observar en el Gráfico 1, los recintos sin acondicionamiento acústico tomados como muestra, superan el valor máximo admisible de 0.50 segundos, siendo el Aula E1-03 el recinto que arrojó el peor resultado con 2.67 s.

Por último, se contrastaron los resultados de un recinto con acondicionamiento acústico con otro que no presenta ningún acondicionamiento acústico con el objetivo de examinar las diferencias existentes entre ambos y poder plantear algunas soluciones factibles en aquellos espacios que lo requieran.

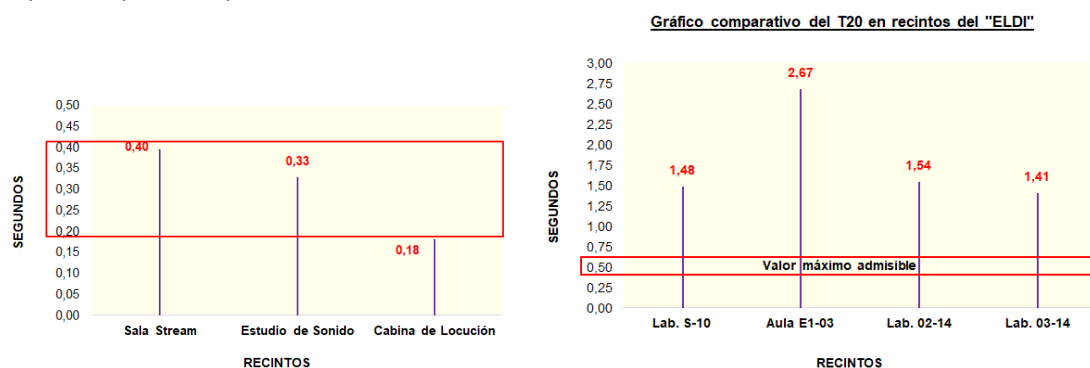


Gráfico 1. Tiempo de reverberación (T20) en recintos CON y SIN acondicionamiento acústico.

### CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que la inteligibilidad de la palabra, que principalmente depende de la reverberación característica de la sala, no es la adecuada para la función que desempeñan los espacios sin acondicionamiento acústico considerados, espacios donde se supone debe primar un alto grado de calidad acústica.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Tras analizar los datos experimentales, se puede afirmar que los espacios destinados a prácticas de laboratorio y aulas estudiados son demasiado reverberantes, (Gráfico 1) lo que conlleva una inadecuada claridad de la recepción del discurso oral. En consecuencia, para alcanzar la calidad acústica interior necesaria para la función docente del edificio sería muy recomendable la intervención constructiva en estos espacios. Así, al satisfacer las necesidades acústicas, se procuraría un mayor bienestar de alumnos y profesores.

Se puede conseguir un mejor acondicionamiento acústico de un recinto de dos maneras:

1 .Reduciendo el volumen de la sala, ya que este factor resulta directamente proporcional al  $T_r$  según la Ecuación de Sabine [8]. Ello se podría conseguir colocando paneles móviles en las aulas, sobre todo en las de mayor tamaño. De esta manera cuando la sala no fuera utilizada al completo podría cerrarse en parte para intentar obtener una acústica mejor. Esta opción se considera poco útil en la práctica porque, además de su coste, exige de un personal de mantenimiento.

2. Mejorando la absorción acústica de los materiales de revestimiento, porque este factor es inversamente proporcional al  $T_r$  [8]. La reducción de energía puede conseguirse de varias maneras:

Bien empleando materiales absorbentes acústicos y/o absorbentes selectivos (como los resonadores) en el revestimiento, aumentando las superficies susceptibles de entrar en vibración (como ventanas, puertas, paredes ligeras, etc.), empleando materiales de construcción menos rígidos, etc, O bien empleando materiales con mayor rugosidad, que tienen coeficientes de absorción acústica ligeramente más elevados [6].

En cambio, en los recintos con acondicionamiento acústico, Gráfico 1, se puede observar que, aunque lo valores recomendados por la bibliografía consultada para estudios de grabación y locutorios de radio debe oscilar entre 0.20 y 0.40 segundos, estos recintos cumplen con los requerimientos tanto para su función como para la enseñanza, siendo el caso más notable el que presenta la Sala Stream, donde actualmente se imparte docencia y su tiempo de reverberación ( $T_{20}$ ) es de 0.40 segundos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Marshall, *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press, 2006.
- [2] R.D. 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. Ministerio de la Presidencia, BOE 254, 42952–42973, 2007. .
- [3] UNE-EN ISO 16283-1:2015. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. AENOR, 2015.
- [4] UNE-EN ISO 3382-2:2008. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. AENOR, 2008.
- [5] UNE-EN ISO 3382-2:2008. Erratum V2. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. AENOR, 2009.
- [6] A. Carrión, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, 1998.
- [7] Código Técnico de la Edificación. CTE-HR- Protección frente al ruido, Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. .
- [8] W. C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics*. 1964.