

CAPÍTULO 07

LOS FUNDAMENTOS DE UNA DOCENCIA DE CALIDAD. EVALUACIÓN DE LA INTELIGIBILIDAD EN ESPACIOS EDUCATIVOS UNIVERSITARIOS

Lenin Santiago Jácome González

Doctor en Física Aplicada

Institución: Universidad Yachay Tech

Dirección: Hacienda San José s/n, Urcuquí, Ecuador

E-mail: lenin.jacomeg@gmail.com; lsjacome@yachaytech.edu.ec

Juan Miguel Barrigón Morillas

Doctor en Ciencias Físicas

Institución: Universidad de Extremadura, Departamento de Física Aplicada

Dirección: Escuela Politécnica, Avda. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España

E-mail: barrigon@unex.es

Rosendo Vilchez-Gómez

Doctor en Ciencias Físicas

Institución: Universidad de Extremadura, Departamento de Física Aplicada

Dirección: Escuela Politécnica, Avda. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España

E-mail: vilchez@unex.es

Guillermo Rey Gozalo

Doctor en Física y Matemáticas

Institución: Universidad de Extremadura, Departamento de Física Aplicada

Dirección: Escuela Politécnica, Avda. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España

E-mail: guille@unex.es

RESUMEN: La calidad acústica de los espacios educativos debería constituir uno de los principales condicionantes en su diseño. El uso de la palabra en el contexto de las actividades docentes y formativas es primordial. En consecuencia, se vuelve fundamental lograr aulas en las que la inteligibilidad de la palabra sea óptima. Bajo esta visión de trabajo, en el presente artículo se ha evaluado la calidad acústica de algunos ambientes educativos universitarios de la ciudad de Quito (Ecuador). En concreto, el estudio se ha desarrollado en la Universidad Tecnológica Equinoccial. En este centro, han sido seleccionadas 12 salas docentes con características variables en lo referente a su tamaño, forma, mobiliario y materiales que componen las superficies de sus paramentos horizontales y verticales. Sobre esta base, se realizaron medidas objetivas de variables acústicas íntimamente relacionadas con la calidad acústica de las salas (tiempo de reverberación) y, específicamente, aquellas variables que permiten medir la calidad de la inteligibilidad de la palabra (STI/RASTI). Además, dada la importancia de este último aspecto, se realizaron medidas de la inteligibilidad subjetiva de la palabra mediante el uso de logatomos fonéticamente balanceados, con oradores masculinos y femeninos. Los resultados han mostrado deficiencias de importancia tanto en los valores de los tiempos de reverberación como en las medidas objetivas y subjetivas de la inteligibilidad en el 50 % de los espacios estudiados. Se ha encontrado una relación estadísticamente significativa entre los parámetros de medición de la inteligibilidad objetivos (STI/RASTI) y subjetivos (% de logatomos), por lo que estos últimos pueden ser una alternativa sencilla para la

evaluación de la inteligibilidad de un aula. Al mismo tiempo, una disminución de los tiempos de reverberación implica una mejora de la inteligibilidad del espacio docente.

PALABRAS CLAVE: Espacios Educativos; Inteligibilidad; Reverberación; Logatomos.

RESUMO: A qualidade acústica dos espaços educacionais deveria ser um dos principais condicionantes em seu design. O uso da palavra no contexto das atividades de ensino e formação é fundamental. Consequentemente, torna-se fundamental obter salas de aula em que a inteligibilidade da palavra seja ótima. Com essa visão de trabalho, neste artigo foi avaliada a qualidade acústica de alguns ambientes educacionais universitários da cidade de Quito (Equador). Especificamente, o estudo foi realizado na *Universidad Tecnológica Equinoccial*. Neste centro, foram selecionadas 12 salas de aula com características variáveis em relação ao seu tamanho, formato, mobiliário e materiais que compõem as superfícies de suas paredes horizontais e verticais. Com base nisso, foram realizadas medições objetivas de variáveis acústicas intimamente relacionadas à qualidade acústica das salas (tempo de reverberação) e, especificamente, aquelas variáveis que permitem medir a qualidade da inteligibilidade da palavra (STI/RASTI). Além disso, devido à importância desse último aspecto, foram realizadas medições da inteligibilidade subjetiva da palavra usando logatômos foneticamente equilibrados, por meio do uso de falantes masculinos e femininos. Os resultados mostraram deficiências significativas tanto nos valores de tempo de reverberação quanto nas medições objetivas e subjetivas da inteligibilidade em 50% dos espaços estudados. Foi encontrada uma relação estatisticamente significativa entre os parâmetros de medição da inteligibilidade objetiva (STI/RASTI) e subjetiva (% de logatômos), de modo que estes últimos podem ser uma alternativa simples para a avaliação da inteligibilidade de uma sala de aula. Ao mesmo tempo, uma redução do tempo de reverberação implica uma melhoria na inteligibilidade do espaço educacional.

PALAVRAS-CHAVE: Espaços Educativos; Inteligibilidade; Reverberação; Logatômos.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando pensamos en aulas, todos lo hacemos considerando espacios que deberían estar diseñados para una adecuada percepción de la palabra. No obstante, ha sido una constante a la hora de diseñar y construir estos espacios la poca importancia que se le ha dado a los niveles de ruido en lo que respecta al recinto y el conseguir una acústica correcta para un entorno educativo.

Estos problemas han sido reconocidos y estudiados en diversos trabajos. Sin ánimo de ser exhaustivos, podemos destacar algunas publicaciones de interés. Houtgast (1981) descubrió una relación entre el índice señal/ruido (S/N) y la inteligibilidad medida (IS), sugiriendo que este resultado equivalía al índice de "pérdida porcentual de articulación de las consonantes", más conocido como %ALcons. Bradley (1986) examinó los efectos combinados de la relación S/N (con ponderación A) y los tiempos de reverberación (TR) en la inteligibilidad del habla. Este autor encontró que el TR tenía un impacto significativo, y una disminución en este parámetro se relacionaba con una mayor inteligibilidad. Otros estudios (Bradley y Sato, 2008; Yang y Bradley, 2009) confirmaron la relación entre los resultados de las pruebas de inteligibilidad y la relación S/N(A) con los TR, al variar la intensidad de la voz. Encontraron que la inteligibilidad mejoraba al aumentar el nivel de la voz. Además, se realizaron varios estudios para evaluar la inteligibilidad de manera subjetiva "in situ" (Gómez y Barrigón, 2011) o mediante grabaciones (Astolfi y Bottalico, 2012). En estos trabajos, los resultados se relacionaron con diferentes parámetros acústicos, como el ruido de fondo, el índice de transmisión del habla (STI), la claridad (C50) y la definición (D50).

En el contexto de Latinoamérica, Rosas y Sommerhoff (2008) realizaron un estudio utilizando logatomos. Los logatomos son palabras inexistentes en el corpus del español estándar contemporáneo, pero que bien podrían existir, ya que los sonidos y las combinaciones de éstos que aparecen en ellas, respetan las normas de fonosintaxis del español. Consideraron tres aspectos: la creación de un corpus inicial de logatomos, la administración de la prueba para verificar su validez y la obtención del corpus final. Como resultado, se obtuvo un grupo de 850 logatomos ordenados en 17 listas de 50. Estos logatomos estaban fonéticamente equilibrados en términos de su composición fonética consonante-vocal-consonante (CVC), su grado de dificultad observado y su adecuación al español panhispánico.

En el presente trabajo, se han estudiado acústicamente 12 espacios docentes. Se ha intentado conocer si son adecuados para el uso de la palabra en ellos y, en caso de no ser adecuados, dónde falla el diseño acústico del aula.

2. METODOLOGIA

Selección de espacios para el estudio acústico

Se eligieron 12 aulas dentro de la Universidad Tecnológica Equinoccial (Quito, Ecuador) en los que se realizó un estudio de su calidad acústica para el uso de la palabra. Se utilizaron diversos factores en la selección de estos espacios tales como la configuración de los interiores, el tamaño de las salas, los materiales utilizados en su construcción y los usos específicos de cada recinto. A continuación, se proporciona una descripción general detallada de los ambientes seleccionados en la Tabla 1.

Tabla 1. Detalle de los ambientes escogidos para el estudio acústico.

| CÓDIGO DE AULA | FORMA ¹ | VOLUMEN (m ³) | % MATERIALES ² | | | USOS |
|----------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|--------|---------|------------------------------------|
| | | | POROSOS | MADERA | OTROS | |
| APCH | piso horizontal | > 300 | 20 a 40 | > 10 | 40 a 70 | conferencias, reuniones |
| SB | piso horizontal | > 300 | 20 a 40 | < 5 | 40 a 70 | conferencias, reuniones |
| AV2 | piso escalonado | 200 a 300 | > 40 | < 5 | < 40 | conferencias, clases audiovisuales |
| AV3 | piso escalonado | 100 a 200 | > 40 | 5 a 10 | < 40 | conferencias, clases audiovisuales |
| B24 | piso horizontal | 200 a 300 | < 20 | < 5 | > 70 | clases |
| B29 | piso horizontal | 100 a 200 | < 20 | < 5 | > 70 | clases |
| B35 | piso horizontal | 100 a 200 | < 20 | < 5 | > 70 | clases |
| B40 | piso horizontal | 100 a 200 | < 20 | < 5 | > 70 | clases |
| BO24 | piso horizontal | < 100 | < 20 | < 5 | > 70 | clases |
| BO37 | piso horizontal | 200 a 300 | < 20 | < 5 | > 70 | clases |
| D95 | piso horizontal | 100 a 200 | 20 a 40 | 5 a 10 | 40 a 70 | clases |
| D96 | piso horizontal | 100 a 200 | 20 a 40 | 5 a 10 | 40 a 70 | clases |

¹La geometría es sencilla, es decir en forma rectangular en todos los casos.

²No se considera dentro de estos porcentajes a la audiencia de los ambientes.

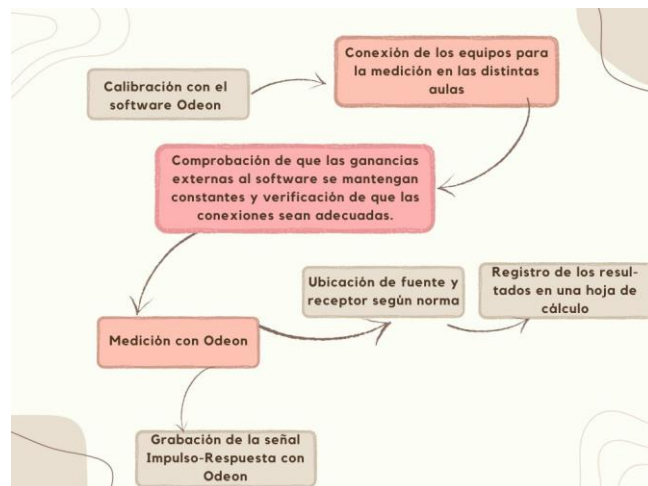
Procedimiento seguido para la evaluación objetiva

Para la evaluación objetiva se consideran como referencias las normas ISO 3382 (1, 2 y 3) (ISO, 2009), (ISO, 2008) y (ISO, 2012) para mediciones acústicas. Se usó el programa de medición y simulación ODEON, que cumple con las normas ya indicadas. El método que usa ODEON es el de respuesta impulsiva integrada, utilizando una señal de barrido de tonos para la medida de los tiempos de reverberación y medidas de inteligibilidad de la palabra. En este sentido, se ha

procedido a la medición del *Speech Transmission Index* (STI), el *Rapid STI* (RASTI) así como el STI (mujer) y STI (hombre) (IEC 60268-16). También se ha medido el tiempo de reverberación (TR), tiempo necesario para que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 dB. Dada la dificultad que supone conseguir una disminución de 60 dB, la estimación del TR se ha realizado a partir de una caída de 20 dB (T_{20}), de 30 dB (T_{30}) o de los primeros 10 dB (EDT). Finalmente, se ha obtenido $TR_{prom.}$, calculado como promedio desde la banda de 125 Hz hasta la de 8000 Hz y un TR_{mid} , calculado como promedio entre las bandas de 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz. Este TR_{mid} se comparará con valores de calidad indicados por diferentes autores y normativas.

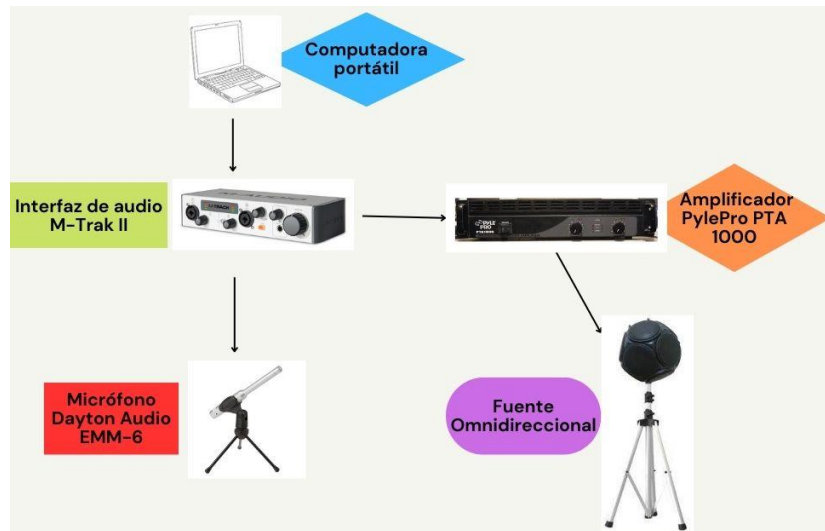
Para la toma de medidas “*in situ*”, en los 12 ambientes escogidos, se utilizó el procedimiento que, para efectos de una mejor descripción, se muestra de forma gráfica en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama descriptivo del procedimiento para las mediciones objetivas.



El equipo usado, así como la configuración de la cadena de medidas se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Configuración de las conexiones de los equipos para las mediciones realizadas.



Metodología empleada en la evaluación subjetiva

Para esta parte del estudio, se utilizaron las 17 listas de 50 logotomos cada una, propuesta por Rosas y Sommerhoff (2008). Se trabajó con un grupo de 12 “oyentes”, entre hombres y mujeres (estudiantes universitarios) con edades comprendidas entre 19 y 25 años, y dos oradores, uno de sexo femenino y uno de masculino. Todo el grupo estuvo conformado por estudiantes universitarios, de las carreras de Arquitectura y Arquitectura Interior. Los oradores recibieron un entrenamiento previo de 2 a 3 sesiones (Brachmanski, 2007), durante el cual se verificó la correcta pronunciación de todos los logotomos y se realizaron ejercicios de pronunciación para cada uno de ellos.

Se tuvo en cuenta la recomendación de mantener el nivel de ruido de fondo interno y externo por debajo de los 40 dBA (Brachmanski, 2007). Por ello, se realizó una medición previa del L_{Aeq} para asegurar el cumplimiento de este requisito en todas las salas. Además, se verificó que el sonido emitido por los oradores se mantuviera entre 60 y 65 dBA a 1 m de distancia (Rosas y Sommerhoff, 2008). En promedio, el orador masculino tuvo un L_{Aeq} de 65 dB, mientras que la oradora femenina tuvo un L_{Aeq} de 62 dB.

Las ubicaciones de los oyentes se seleccionaron al azar, asegurándose de cubrir uniformemente todo el espacio de cada ambiente. Se realizaron dos pruebas en cada ambiente, una con el orador masculino y otra con la oradora femenina.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla en las aulas

En la Tabla 2 se muestran los tiempos de reverberación registrados en los distintos espacios educativos y estos valores son comparados con los recomendados por diferentes referencias (ANSI/ASA, 2010; Carrión, 1998; AS/NZS, 2000). Los valores recomendados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Comparación de los tiempos de reverberación registrados con aquellos recomendados para espacios educativos por diferentes referencias. La doble respuesta se refiere a si se cumple la recomendación para T_{20} o para T_{30} .

| Aula | Volumen (m ³) | Tiempo de Reverberación | | | | Cumplimiento de valores de referencia | | |
|------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------|-------------|
| | | T _{20prom} (s) | T _{30prom} (s) | T _{20 mid} (s) | T _{30 mid} (s) | ANSI S12.60 | Carrión | AS/NZS 2107 |
| APCH | 691,90 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | - | Sí / Sí | Sí / Sí |
| SB | 424,54 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | No / No | Sí / Sí | Sí / Sí |
| AV2 | 272,16 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | Sí / Sí | Sí / Sí | Sí / Sí |
| AV3 | 217,45 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | Sí / Sí | Sí / Sí | Sí / Sí |
| B24 | 203,73 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | No / No | No / No | No / No |
| B29 | 114,00 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | No / No | No / No | No / No |
| B35 | 112,28 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | No / No | No / No | No / No |
| B40 | 126,85 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,6 | No / No | No / No | No / No |
| BO24 | 95,01 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | No / No | No / No | No / No |
| BO37 | 319,73 | 2,7 | 2,8 | 3,2 | 3,2 | No / No | No / No | No / No |
| D95 | 191,90 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | No / No | Sí / Sí | Sí / Sí |
| D96 | 146,31 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | No / Sí | Sí / Sí | Sí / Sí |

Tabla 3. Tiempos de reverberación recomendados para espacios educativos

| Criterio | Volumen (m ³) | TR _{mid} (s) |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| ANSI S12.60 (2010) | $V \leq 283$ | 0,6 |
| | $283 \leq V \leq 566$ | 0,7 |
| Carrión (1998) | $100 \leq V \leq 10.000$ | 0,8-1,0 |
| AS/NZS 2107 (2016) | - | 0,5-0,8 |

Los tiempos de reverberación, T_{20} y T_{30} , mostrados en la Tabla 2 son similares en la gran mayoría de las aulas. Además, si lo comparamos con el EDT mostrado en la Tabla 4 tampoco existe una gran variabilidad.

Tabla 4. EDT registrado en las diferentes salas

| Aula | Volumen (m ³) | Tiempo de Reverberación | |
|------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | EDT _{prom} (s) | EDT _{mid} (s) |
| APCH | 691,90 | 0,7 | 0,7 |
| SB | 424,54 | 0,9 | 0,8 |
| AV2 | 272,16 | 0,5 | 0,5 |
| AV3 | 217,45 | 0,5 | 0,5 |
| B24 | 203,73 | 2,1 | 2,3 |
| B29 | 114,00 | 2,1 | 2,4 |
| B35 | 112,28 | 2,0 | 2,1 |
| B40 | 126,85 | 2,2 | 2,5 |
| BO24 | 95,01 | 1,4 | 1,6 |
| BO37 | 319,73 | 2,5 | 3,1 |
| D95 | 191,90 | 0,6 | 0,6 |
| D96 | 146,31 | 0,6 | 0,6 |

Los resultados de la Tabla 2 muestran que las aulas B y BO presentan tiempos de reverberación elevados, entre 2 – 3 s, siendo superiores a los valores recomendados (Tabla 3). Estas aulas son, entre las analizadas, las de menor tamaño y presentan un menor porcentaje de materiales porosos y madera (Tabla 1).

A continuación, para contrastar los resultados obtenidos en la Tabla 2, se analizaron parámetros relacionados con la inteligibilidad de la palabra, STI y RASTI (ver Tabla 5). Estos resultados fueron comparados con los rangos propuestos por Houtgast y Steeneken (1971) mostrados en la Tabla 6.

Tabla 5. Valores promedio para el STI y el RASTI

| Parámetros | Aulas | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | APCH | SB | AV2 | AV3 | B24 | B29 | B35 | B40 | BO24 | BO37 | D95 | D96 |
| STI | 0,69 | 0,64 | 0,74 | 0,74 | 0,45 | 0,46 | 0,46 | 0,44 | 0,53 | 0,41 | 0,72 | 0,73 |
| STI (mujer) | 0,70 | 0,65 | 0,75 | 0,74 | 0,45 | 0,46 | 0,46 | 0,44 | 0,53 | 0,41 | 0,71 | 0,73 |
| STI (hombre) | 0,72 | 0,68 | 0,77 | 0,75 | 0,49 | 0,51 | 0,50 | 0,48 | 0,57 | 0,45 | 0,73 | 0,75 |
| RASTI | 0,67 | 0,62 | 0,74 | 0,74 | 0,42 | 0,42 | 0,41 | 0,41 | 0,51 | 0,35 | 0,66 | 0,70 |

Tabla 6. Rangos de evaluación de STI/RASTI propuesto por Houtgast y Steeneken (1971)

| Escala STI/RASTI | |
|------------------|-----------|
| > 0,75 | Excelente |
| 0,60 - 0,75 | Bueno |
| 0,45 - 0,60 | Regular |
| 0,30 - 0,45 | Pobre |
| < 0,30 | Malo |

Los resultados mostrados en la Tabla 5 para las aulas B y BO con unos valores de STI y RASTI considerados entre regular y pobre, corroboran la mala absorción de los materiales de estas aulas (Tabla 2).

Análisis de la calidad acústica de las aulas desde el punto de vista subjetivo

Con respecto a las medidas subjetivas, en la Tabla 7 se muestran los datos obtenidos después de realizar la evaluación de las aulas mediante el uso de los logatomos. En esta tabla se incluyen los porcentajes promedio de aciertos de cada aula y para cada orador (mujer y hombre) así como la comparación de estos valores con los indicados por la ISO 9921 (2023) con la finalidad de evaluar su inteligibilidad.

Tabla 7. Porcentaje de logatomos obtenidos en las distintas aulas y valoración de su calidad acústica según la ISO 9921

| Aulas | Orador | Participantes | | | | | | | | | | | | Promedio % Logat. | Clasificación ISO-9921 |
|-------|--------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| APCH | Mujer | 0,76 | 0,70 | 0,62 | 0,60 | 0,78 | 0,68 | 0,64 | 0,68 | 0,78 | 0,72 | 0,76 | 0,78 | 0,71 | Buena |
| | Hombre | 0,54 | 0,60 | 0,52 | 0,74 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,74 | 0,72 | 0,76 | 0,76 | 0,78 | 0,72 | Buena |
| SB | Mujer | 0,54 | 0,66 | 0,64 | 0,60 | 0,58 | 0,60 | 0,70 | 0,68 | 0,62 | 0,70 | 0,64 | 0,62 | 0,63 | Buena |
| | Hombre | 0,52 | 0,78 | 0,60 | 0,64 | 0,74 | 0,68 | 0,60 | 0,76 | 0,70 | 0,60 | 0,76 | 0,60 | 0,67 | Buena |
| AV2 | Mujer | 0,86 | 0,68 | 0,64 | 0,74 | 0,78 | 0,80 | 0,74 | 0,76 | 0,84 | 0,86 | 0,86 | 0,70 | 0,77 | Excelente |
| | Hombre | 0,92 | 0,78 | 0,54 | 0,80 | 0,88 | 0,86 | 0,66 | 0,78 | 0,86 | 0,70 | 0,82 | 0,78 | 0,78 | Excelente |
| AV3 | Mujer | 0,86 | 0,76 | 0,78 | 0,76 | 0,66 | 0,68 | 0,64 | 0,74 | 0,64 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,75 | Buena |
| | Hombre | 0,78 | 0,80 | 0,70 | 0,86 | 0,82 | 0,78 | 0,70 | 0,78 | 0,74 | 0,64 | 0,86 | 0,78 | 0,77 | Excelente |
| B24 | Mujer | 0,72 | 0,68 | 0,48 | 0,52 | 0,56 | 0,70 | 0,38 | 0,56 | 0,78 | 0,22 | 0,68 | 0,74 | 0,59 | Regular |
| | Hombre | 0,60 | 0,62 | 0,52 | 0,64 | 0,72 | 0,68 | 0,54 | 0,64 | 0,60 | 0,20 | 0,64 | 0,60 | 0,58 | Regular |
| B29 | Mujer | 0,46 | 0,56 | 0,44 | 0,50 | 0,46 | 0,44 | 0,42 | 0,40 | 0,64 | 0,34 | 0,70 | 0,50 | 0,49 | Regular |
| | Hombre | 0,62 | 0,58 | 0,54 | 0,62 | 0,40 | 0,70 | 0,50 | 0,48 | 0,66 | 0,26 | 0,58 | 0,52 | 0,54 | Regular |
| B35 | Mujer | 0,38 | 0,54 | 0,54 | 0,48 | 0,48 | 0,54 | 0,28 | 0,26 | 0,30 | 0,24 | 0,70 | 0,54 | 0,44 | Pobre |
| | Hombre | 0,64 | 0,62 | 0,42 | 0,58 | 0,48 | 0,58 | 0,48 | 0,54 | 0,60 | 0,42 | 0,64 | 0,60 | 0,55 | Regular |
| B40 | Mujer | 0,52 | 0,48 | 0,34 | 0,48 | 0,58 | 0,58 | 0,52 | 0,42 | 0,56 | 0,30 | 0,70 | 0,40 | 0,49 | Regular |
| | Hombre | 0,58 | 0,54 | 0,32 | 0,52 | 0,56 | 0,40 | 0,44 | 0,56 | 0,54 | 0,30 | 0,54 | 0,54 | 0,49 | Regular |
| BO24 | Mujer | 0,52 | 0,60 | 0,66 | 0,64 | 0,60 | 0,62 | 0,56 | 0,60 | 0,60 | 0,64 | 0,64 | 0,56 | 0,60 | Buena |
| | Hombre | 0,44 | 0,54 | 0,68 | 0,78 | 0,50 | 0,56 | 0,64 | 0,46 | 0,64 | 0,68 | 0,50 | 0,52 | 0,58 | Regular |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| BO37 | Mujer | 0,40 | 0,56 | 0,82 | 0,58 | 0,52 | 0,40 | 0,54 | 0,46 | 0,74 | 0,70 | 0,58 | 0,40 | 0,56 | Regular |
| | Hombre | 0,46 | 0,56 | 0,52 | 0,56 | 0,36 | 0,56 | 0,56 | 0,54 | 0,62 | 0,64 | 0,64 | 0,48 | 0,54 | Regular |
| D95 | Mujer | 0,68 | 0,60 | 0,58 | 0,58 | 0,72 | 0,78 | 0,56 | 0,70 | 0,72 | 0,74 | 0,72 | 0,68 | 0,67 | Buena |
| | Hombre | 0,82 | 0,72 | 0,54 | 0,74 | 0,62 | 0,70 | 0,62 | 0,60 | 0,68 | 0,58 | 0,78 | 0,70 | 0,68 | Buena |
| D96 | Mujer | 0,74 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,72 | 0,80 | 0,66 | 0,66 | 0,76 | 0,36 | 0,76 | 0,84 | 0,70 | Buena |
| | Hombre | 0,78 | 0,68 | 0,74 | 0,74 | 0,72 | 0,76 | 0,60 | 0,80 | 0,78 | 0,30 | 0,78 | 0,70 | 0,70 | Buena |

Los resultados muestran también para estos indicadores subjetivos que la calidad acústica de las salas B y BO, medidas a través de la inteligibilidad, es la menor entre las salas evaluadas. Presentan una inteligibilidad, en la mayoría de los casos, regular. Sin embargo, el resto de aulas presenta una inteligibilidad de buena a excelente.

Relación entre las medidas objetivas y subjetivas de la calidad acústica de las aulas

En los análisis anteriores, independientemente del parámetro de calidad acústica evaluado, se han obtenido conclusiones similares. Por esta razón, se planteó la hipótesis de la posible relación significativa entre los parámetros objetivos y subjetivos. El coeficiente de correlación de Spearman se llevó a cabo para resolver esta hipótesis. Se utilizó esta prueba no paramétrica dado que el número de salas evaluadas fue 12 y, por lo tanto, la potencialidad de las pruebas de normalidad y homocedasticidad es baja para este número de datos.

Tabla 8. Relación parámetros objetivos de inteligibilidad de la palabra (STI, RASTI) y subjetivos (% logatomos)

| | | STI | STI (mujer) | STI (hombre) | RASTI |
|--------------------|----------------|---------|-------------|--------------|---------|
| % Logatomos mujer | Spearman's rho | 0,873 | 0,875 | 0,874 | 0,937 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| % Logatomos hombre | Spearman's rho | 0,928 | 0,930 | 0,917 | 0,949 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |

Considerando los resultados mostrados en la Tabla 8, hay una relación muy significativa entre los distintos parámetros objetivos y subjetivos de medida de la inteligibilidad de la palabra. Cuando se considera específicamente el STI del género del orador, esta asociación aumenta. A pesar de ello, es el RASTI el que presenta una

asociación más fuerte con el porcentaje de logatomos independientemente del género del orador. Los niveles de rho son muy cercanos a la unidad, por lo tanto, el % de logatomos es una medida alternativa a estos indicadores objetivos.

A continuación, también se analizó la relación entre indicadores de medida de la inteligibilidad de la palabra y los tiempos de reverberación (Tabla 9).

Tabla 9. Relación entre los parámetros de medida de la inteligibilidad de la palabra y los tiempos de reverberación

| | | T20 _{prom} | T30 _{prom} | T20 _{mid} | T30 _{mid} | EDT _{prom} | EDT _{mid} |
|---------------------------|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| STI | Spearman's rho | -0,991 | -0,989 | -0,995 | -0,996 | -0,988 | -0,979 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| STI (mujer) | Spearman's rho | -0,989 | -0,991 | -0,996 | -0,998 | -0,986 | -0,981 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| STI (hombre) | Spearman's rho | -0,977 | -0,981 | -0,995 | -0,991 | -0,972 | -0,967 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| RASTI | Spearman's rho | -0,947 | -0,946 | -0,968 | -0,960 | -0,949 | -0,946 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| % Logatomos mujer | Spearman's rho | -0,860 | -0,862 | -0,877 | -0,869 | -0,870 | -0,879 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| % Logatomos hombre | Spearman's rho | -0,924 | -0,926 | -0,921 | -0,933 | -0,937 | -0,947 |
| | <i>p</i> value | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |

Los resultados de la Tabla 9 muestran que, entre los diferentes parámetros de inteligibilidad de la palabra, existe una relación muy significativa con los diferentes parámetros de medida del tiempo de reverberación. Los parámetros objetivos (STI, RASTI) presentan una asociación más fuerte. El STI (mujer) es el parámetro que presenta una mayor correlación con los tiempos de reverberación. Sin embargo, dentro de las medidas subjetivas, el % logatomos con un orador masculino presentan una mayor correlación. Esta relación entre ambos parámetros es negativa, es decir, el aumento de la inteligibilidad del aula implica una disminución del tiempo de reverberación.

CONCLUSIONES

Un estudio de la evaluación de la inteligibilidad de la palabra y del tiempo de reverberación en 12 salas educativas de la Universidad Tecnológica Equinoccial (Quito, Ecuador) se ha llevado a cabo en este trabajo. Para ello, se han utilizado tanto

parámetros objetivos (TR, EDT, STI/RASTI) como subjetivos (logatomos). A partir de los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Las aulas B24, B29, B35, B40, BO24 y BO37 no cumplen con los valores recomendados de TR, ya que sus valores oscilan entre 1,5 y 3,2 s, claramente fuera del rango recomendado. Esta falta de cumplimiento se evidencia tanto en la evaluación objetiva de la inteligibilidad mediante STI y RASTI, como en la evaluación subjetiva, mediante logatomos. Estas seis aulas con mala calidad acústica se caracterizan por un predominio de materiales reflectantes y duros en su construcción. La forma de los recintos no ha mostrado efectos significativos sobre las variables medidas, ya que el principal factor influyente es el tipo de materiales utilizados en la sala, así como su volumen.

Los análisis de correlación realizados entre los parámetros objetivos (STI, RASTI) y subjetivos (% logatomos) de inteligibilidad de la palabra muestran una elevada asociación. Por lo tanto, los logatomos son una alternativa al STI y RASTI para la evaluación de la inteligibilidad de la palabra en las aulas. Además, estos parámetros de evaluación de la inteligibilidad, en especial el STI (mujer), presentan una significativa correlación con los tiempos de reverberación. Una disminución de los tiempos de reverberación implica una mayor calidad de la inteligibilidad.

REFERENCIAS

- ANSI/ASA, 2010. S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools: Part 1. Permanent Schools. *Acoustical Society of America*.
- AS/NZS, 2000. 2107:2000: Acoustics - Recommended Design Sound Levels and Reverberation Times for Building Interiors. *Australia and New Zealand Standard*
- Astolfi, A. y Bottalico, P., 2012. Subjective and objective speech intelligibility investigations in primary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(1), pp. 247-257.
- Brachmanski, S., 2007. Automation of the Logatom Intelligibility measurements in rooms. *Archives of Acoustics*, 32(4), pp. 159-164.
- Bradley, J., 1986. Speech intelligibility studies in classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 80(3), pp. 846-854.
- Bradley, J. y Sato, H., 2008. The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 123(4), pp. 2078-2086.
- Carrión, A., 1998. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions UPC.
- Gómez, V. y Barrigón, J.M., 2011. Analysis of Acoustical Characteristics and Some Recommendations for Different Educational Rooms. *Archives of Acoustics*, 36(4), pp. 741-759.
- Houtgast, T., 1981. The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms. *Applied Acoustics*, 14(1), pp. 15-25.
- Houtgast, T. y Steeneken, H., 1971. Evaluation of speech transmission channels using artificial signals. *Acustica*, pp. 355-367.
- IEC 60268-16:2011 Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. *International Electrotechnical Commission*, Geneva, Switzerland (2009)
- ISO, 2003. 9921:2003. Ergonomics - Assessment of speech communication. *International Organization for Standardization*.
- ISO, 2008. 3382-2:2008. Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. *International Organization for Standardization*.
- ISO, 2009. 3382-1:2009. Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 1: Performance spaces. *International Organization for Standardization*.
- ISO, 2012. 3382-3:2012. Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 3: Open plan offices. *International Organization for Standardization*.

Rosas, C. y Sommerhoff, J., 2008. Inteligibilidad acústica en español: una propuesta para su medición. *Estudios Filológicos*, Issue 43, pp. 179-190.

Yang, W. y Bradley, J. S., 2009. Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. *J. Acoust. Soc. Am.*, 125(2), pp. 922-933.