

EVALUACIÓN ACÚSTICA DE ESPACIOS EDUCATIVOS EN EL ECUADOR. CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

PACS: 43.55.Hy

Jácome González, Lenin Santiago^{1,2}; Barrigón Morillas, Juan Miguel²; Vílchez Gómez, Rosendo²; Rey Gozalo, Guillermo³; Atanasio Moraga, Pedro²; Montes González, David², Maderuelo Sanz, Rubén²

¹ Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Tecnológica Equinoccial, Calle Rumipamba s/n y Bourgeois, Quito, Ecuador

lenin.jacomeg@gmail.com

² Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura Avda. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España

³ Universidad Autónoma de Chile, 5 Poniente 1670, 3460000 Talca, Región del Maule, Chile

Palabras Clave: Inteligibilidad, reverberación, STI, Logatomos

Keywords: Intelligibility, reverberation, STI, Logatoms

ABSTRACT

This work focuses on the evaluation of the acoustic quality of university educational environments in Quito (Ecuador), considering the case of the Universidad Tecnológica Equinoccial. In this institution, 12 rooms with different characteristics in their shape, size and interior composition were studied. Acoustic parameters related to the acoustic quality of rooms and of intelligibility were measured. In addition, subjective intelligibility tests were performed using logatoms, and human speakers. This paper presents the preliminary results found.

RESUMEN

El presente trabajo se centra en la evaluación de la calidad acústica de ambientes educativos universitarios en Quito (Ecuador). Se estudia el caso específico de la Universidad Tecnológica Equinoccial. En dicha institución, se estudiaron 12 salas con diversas características en su forma, tamaño y composición interior. En ellas se realizaron medidas de parámetros acústicos relacionados con la calidad acústica de salas y con la medida de la inteligibilidad. Además, fueron realizadas pruebas de inteligibilidad subjetiva mediante el uso de logatomos, y empleando como fuente a oradores. En esta comunicación se presentan los resultados preliminares encontrados.

INTRODUCCIÓN

La poca importancia que se le ha dado a los niveles de ruido y la mala acústica en ambientes educativos, son problemas que han sido reconocidos y estudiados por alrededor de 100 años y se han recogido en diferentes trabajos.

Algunos ejemplos de interés serían. Houtgast [1], en donde se halló una relación entre el índice señal/ruido (S/N) y la medida de la inteligibilidad (IS), cuyo resultado se propuso como equivalente al índice de "pérdida porcentual de articulación de las consonantes" mejor conocido como %ALcons. Bradley [2] que determinó los efectos combinados entre la relación S/N (con ponderación A) y los tiempos de reverberación (TR), con la inteligibilidad del habla,

encontrando que el TR tiene un efecto tan significativo que su disminución se relacionó con mayores puntuaciones de inteligibilidad. En otros estudios [3] y [4] se comprueba la relación entre los resultados de los test de inteligibilidad y la relación S/N(A) con los TR, variando la intensidad de la voz, encontrando que la inteligibilidad mejora al aumentar el nivel de la voz.

De la misma manera, hay varios estudios para medir la inteligibilidad de manera subjetiva “in situ” [5], así como con grabaciones [6]. En estos trabajos los resultados fueron relacionados con diversos parámetros acústicos, tales como ruido de fondo, STI (Speech Transmission Index), claridad (C50), definición (D50).

En el ámbito de Latinoamérica, Rosas & Sommerhoff [7], realizaron un estudio usando logatomos. En él se consideraron tres aspectos: constitución del corpus inicial de logatomos; administración de la prueba para verificar su veracidad y obtención del corpus final. Como resultado, se obtuvo un grupo de 850 logatomos, ordenados en 17 listas de 50, los mismos que fueron fonéticamente balanceados en cuanto a criterios de composición fonética CVC, grado de dificultad observado y que son adecuados al español panhispánico.

METODOLOGIA

Selección de ambientes para el estudio acústico

Se escogieron 12 ambientes dentro de la Universidad Tecnológica Equinoccial, considerando la forma de los interiores, los volúmenes de las salas, los materiales en su interior, los usos que tienen los recintos. Bajo estas premisas, se seleccionaron los siguientes ambientes, cuya descripción general, se presenta en la tabla 1.

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

Tabla 1 Detalle de los ambientes escogidos para el estudio acústico

Evaluación Objetiva:

Para la evaluación objetiva se consideran como referencias las normas ISO 3382 (1, 2 y 3) [8], [9] y [10] 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.

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.

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

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



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

Evaluación subjetiva

Para esta parte del estudio, se utilizaron las 17 listas de 50 logatomos cada una, propuesta por Rosas & Sommerhoff [7]. 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, a los que se les explicó previamente el procedimiento y la finalidad del experimento. Todo el grupo estuvo conformado por estudiantes universitarios, de las carreras de Arquitectura y Arquitectura Interior. A las personas que actuaron como oradores, se les realizó un entrenamiento previo de 2 a 3 sesiones [11], en donde se verificó la pronunciación de todos los logatomos y se realizó un ejercicio previo de pronunciación para cada uno.

Considerando la recomendación de que el ruido interno y externo presente no exceda los 40 dBA [11], se procedió a realizar una medida previa del L_{Aeq} verificando que en todas las salas se cumpla con tal requisito. Por otra parte, se sugiere que el sonido emitido por los oradores tenga un nivel de presión sonora ubicado entre 60 y 65 dBA a 1 metro de distancia [7], lo cual también se verificó. En promedio, el orador de género masculino tuvo un L_{Aeq} de 65 dB y el de la oradora de género femenino de 62 dB.

Las posiciones en las que se ubicaron los oyentes, fueron escogidas al azar, considerando llenar de manera uniforme toda el área de cada ambiente. En cada ambiente se desarrollaron 2 pruebas, una con una mujer como orador y la otra con un hombre.

RESULTADOS

Medidas objetivas

En la tabla 2 se presentan los parámetros objetivos obtenidos en cada sala, específicamente las medidas STI-RASTI y los TR_{mid} y $TR_{promedio}$. En el primer grupo se recopilan los valores de STI, STI (mujer), STI (hombre) y RASTI obtenidas en promedio para cada aula, mientras que en el segundo las medidas de los TR_{mid} , calculados entre la banda de 500 Hz y la de 1000 Hz, y los $TR_{promedio}$, calculados desde la banda de 125 Hz hasta la de 8000 Hz, diferenciando los valores de EDT, T_{20} y T_{30} .

Aula	STI	STI (mujer)	STI (hombre)	RASTI	EDT _{mid} (s)	T _{20mid} (s)	T _{30mid} (s)	EDT _{prom} (s)	T _{20prom} (s)	T _{30prom} (s)
APCH	0,69	0,7	0,72	0,67	0,72	0,77	0,79	0,68	0,73	0,76
SB	0,64	0,65	0,68	0,62	0,82	0,87	0,88	0,89	0,92	0,93
AV2	0,74	0,75	0,77	0,74	0,50	0,50	0,50	0,51	0,57	0,58
AV3	0,74	0,74	0,75	0,74	0,46	0,52	0,52	0,51	0,57	0,59
B24	0,45	0,45	0,49	0,42	2,33	2,49	2,52	2,14	2,31	2,32
B29	0,46	0,46	0,51	0,42	2,39	2,40	2,43	2,14	2,23	2,26
B35	0,46	0,46	0,5	0,41	2,17	2,36	2,36	1,95	2,11	2,17
B40	0,44	0,44	0,48	0,41	2,58	2,61	2,63	2,21	2,39	2,41
BO24	0,53	0,53	0,57	0,51	1,59	1,70	1,71	1,38	1,47	1,49
BO37	0,41	0,41	0,45	0,35	3,28	3,31	3,32	2,54	2,73	2,76
D95	0,72	0,71	0,73	0,66	0,57	0,72	0,70	0,58	0,69	0,71
D96	0,73	0,73	0,75	0,7	0,65	0,72	0,72	0,61	0,71	0,74

Tabla 2 Medidas STI-RASTI, TR_{mid} y $TR_{promedio}$

Medidas subjetivas

En el caso de las medidas subjetivas, se presentan los datos obtenidos después de realizar el experimento mediante el uso de los logatomos en la tabla 3. En dicha tabla se incluyen los porcentajes promedio de aciertos de cada aula y por cada orador (mujer y hombre) así como la desviación estándar de cada uno de los grupos de datos con el fin de verificar el grado de dispersión de los datos con respecto a la media.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	σ	%Logat. prom	%Logat. min	%Logat. máx
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	0,07	0,71	0,60	0,78
	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	0,11	0,72	0,52	0,82
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	0,05	0,63	0,54	0,70
	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	0,08	0,67	0,52	0,78
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	0,08	0,77	0,64	0,86
	hombre	0,92	0,78	0,54	0,80	0,88	0,86	0,86	0,78	0,86	0,70	0,82	0,78	0,11	0,78	0,54	0,92
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	0,08	0,75	0,64	0,86
	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	0,07	0,77	0,64	0,86
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	0,17	0,59	0,22	0,78
	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	0,13	0,58	0,20	0,72
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	0,10	0,49	0,34	0,70
	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	0,12	0,54	0,26	0,70
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	0,15	0,44	0,24	0,70
	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	0,08	0,55	0,42	0,64
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	0,11	0,49	0,30	0,70
	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	0,10	0,49	0,30	0,58
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	0,04	0,60	0,52	0,66
	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	0,10	0,58	0,44	0,78
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	0,14	0,56	0,40	0,82
	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	0,08	0,54	0,36	0,64
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	0,07	0,67	0,56	0,78
	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	0,08	0,68	0,54	0,82
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	0,13	0,70	0,36	0,84
	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	0,14	0,70	0,30	0,80

Tabla 3 Tabla con el resumen de los resultados obtenidos de %Logatomos

ANÁLISIS

Análisis de la calidad acústica desde el punto de vista objetivo

En la actualidad, hay diversos criterios al respecto del tiempo de reverberación adecuado para ambientes de tipo educativo, tales como aulas de clase, auditorios, entre otros. En la tabla 4 se presentan los tres criterios considerados en este estudio, con el fin de evaluar la calidad acústica de las salas de clase, [12], [13] y [14].

Criterio	Volumen (m ³)	TR en bandas de 500Hz, 1000Hz y 2000Hz (s)
ANSI 12.60, 2010	$V \leq 283$	0,6
ANSI 12.60, 2010	$283 \leq V \leq 566$	0,7
Carrión, 1998	$100 \leq V \leq 10.000$	0,8-1,0
AS/NZS, 2016	----	0,5-0,8

Tabla 4 Tiempos de reverberación recomendados para espacios educativos

Considerando los resultados obtenidos y comparándolos con los valores recomendados mostrados en la tabla 4, se obtuvieron los siguientes resultados para cada aula (tabla 5) en donde se ha considerado los T_{30} , ya que son los TR que tienen los valores menores de desviación estándar.

Aula	Volumen (m ³)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	T_{30} prom (s)	ANSI 12.60	Carrión, A.	AS/NZS
		T_{30} (s)						
APCH	691,90	0,81	0,77	0,73	0,77	--	si cumple	si cumple
SB	424,54	0,97	0,78	0,79	0,85	no cumple	si cumple	no cumple
AV2	272,16	0,51	0,49	0,57	0,52	si cumple	si cumple	si cumple
AV3	217,45	0,51	0,54	0,60	0,55	si cumple	si cumple	si cumple
B24	203,73	2,54	2,52	2,20	2,42	no cumple	no cumple	no cumple
B29	114,00	2,44	2,34	2,04	2,27	no cumple	no cumple	no cumple
B35	112,28	2,36	2,25	1,97	2,19	no cumple	no cumple	no cumple
B40	126,85	2,57	2,69	2,49	2,58	no cumple	no cumple	no cumple
BO24	95,01	1,73	1,64	1,60	1,66	no cumple	no cumple	no cumple
BO37	319,73	3,46	3,19	2,92	3,19	no cumple	no cumple	no cumple
D95	191,90	0,70	0,63	0,62	0,65	no cumple	si cumple	si cumple
D96	146,31	0,75	0,59	0,59	0,64	no cumple	si cumple	si cumple

Tabla 5 Evaluación de los TR medidos con respecto a los valores recomendados

Se observa de manera clara que las aulas: B24, B29, B35, B40, BO24 y BO37, no cumplen con los valores referenciales recomendados. Para corroborar esto se puede tomar en cuenta otro aspecto importante, que es la inteligibilidad de la palabra, evaluada en este trabajo por medio de los parámetros STI y RASTI y considerando los rangos de evaluación (tabla 6) propuestos por Houtgast & Steeneken [15]. Un resumen de los valores promedio se muestra en la tabla 7.

Escala STI/RASTI	
> 0,75	excelente
0,6 - 0,75	bueno
0,45 - 0,6	regular
0,3 - 0,45	pobre
< 0,30	malo

Tabla 6 Escala de evaluación de STI/RASTI

	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 7 Valores promedio para el STI y el RASTI

Se observa que en las mismas aulas: B24, B29, B35, B40, BO24 y BO37, la inteligibilidad de la palabra está dentro del rango regular a pobre, siendo necesario como mínimo el nivel bueno, para el caso de salas de clase, lo cual concuerda con lo hallado en el caso de los TR, analizados en la tabla 5.

Análisis de la calidad acústica desde el punto de vista subjetivo

En la tabla 8 se presentan los datos de los parámetros subjetivos obtenidos en este trabajo, con el fin de evaluar la inteligibilidad del habla desde este punto de vista. Se observa además la clasificación de la inteligibilidad subjetiva de cada ambiente, considerando la norma ISO 9921 [16].

Sala	%Logat. (mujer)	clasif.	%Logat. (hombre)	clasif.
APCH	0,71	bueno	0,73	bueno
SB	0,63	bueno	0,67	bueno
AV2	0,77	excelente	0,78	excelente
AV3	0,75	bueno	0,77	excelente
B24	0,59	regular	0,58	regular
B29	0,49	regular	0,54	regular
B35	0,44	pobre	0,55	regular
B40	0,49	regular	0,49	regular
BO24	0,60	bueno	0,58	regular
BO37	0,56	regular	0,54	regular
D95	0,67	bueno	0,68	bueno
D96	0,70	bueno	0,70	bueno

Tabla 8 % de logatomos por cada sala con su respectiva inteligibilidad subjetiva

Se verifica, nuevamente, que las aulas B24, B29, B35, B40, BO24 y BO37 se hallan dentro los valores entre regular y pobre.

Comparación entre medidas objetivas y subjetivas de inteligibilidad

Se realizó también una comparación entre las medidas objetivas y subjetivas obtenidas para la inteligibilidad, es decir entre los valores medios de STI vs el % de logatomos para hombre y mujer. Esto se muestra en la figura 3.

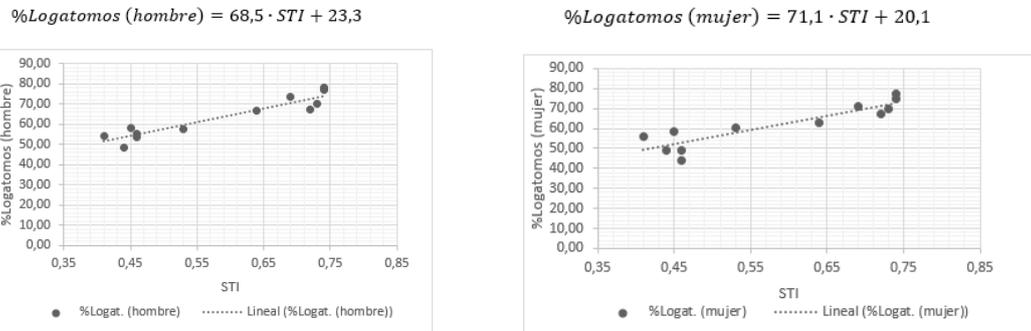


Figura 3 STI versus %Logatomos

Los coeficientes de determinación R^2 para cada caso fueron de 0,885 y 0,810, respectivamente. Las relaciones obtenidas tienen un comportamiento lineal dentro de un rango bastante aceptable, siendo la más cercana la del %Logatomos(hombre) – STI. Esto se comprueba teniendo en cuenta el valor de R de 0,941, mayor que para la relación entre %Logatomos(mujer) – STI con un R de 0,900. En cada una de las gráficas de la figura 3, se puede observar las ecuaciones asociadas a estas relaciones. Se observa además que al ser la pendiente positiva, el STI aumenta a medida que el %Logatomos caso aumenta, en ambos casos.

Comparación entre medidas de inteligibilidad y tiempos de reverberación

Se realizó también una comparación entre las medidas de inteligibilidad obtenidas con los T_{mid} y $T_{promedio}$ (EDT, T_{20} y T_{30}) en donde se han tomado sus valores medios. Esto se muestra en la figura 4. En ella se presenta: la pendiente, intersección, coeficientes de correlación (R Pearson), de determinación (R^2) así como los valores de “p”, para cada una de las regresiones de tipo lineal obtenidas.

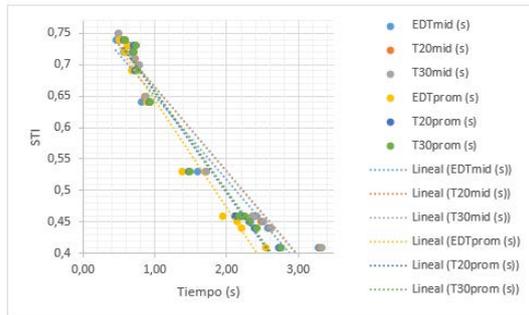


Figura 4 Comparaciones entre medidas STI con los valores de T_{mid} y $T_{promedio}$

	pendiente	intersección	coeficiente de correlación	R ²	p-valor
EDT_{mid}-STI	-0,133	0,784	-0,974	0,948	<0,001
T_{20mid}-STI	-0,133	0,794	-0,978	0,957	<0,001
T_{30mid}-STI	-0,132	0,794	-0,979	0,959	<0,001
EDT_{prom}-STI	-0,170	0,812	-0,988	0,975	<0,001
T_{20prom}-STI	-0,160	0,816	-0,985	0,969	<0,001
T_{30prom}-STI	-0,159	0,819	-0,985	0,970	<0,001

Tabla 9 Correlaciones de las medidas de STI con los valores de T_{mid} y $T_{promedio}$

Se observa que todos los R tienen un valor $p < 0,001$, por tanto la correlación de tipo lineal tiene una alta significancia. Los coeficientes de correlación (R Pearson) y los de determinación (R^2) tienen valores cuya desviación típica tiene un valor de 0,008, es decir son muy cercanos. La relación con mayor cercanía a la linealidad corresponde a $EDT_{prom} - STI$ con un valor R de -0,988, mientras que la más alejada es entre $EDT_{mid} - STI$ cuyo valor de R es de -0,974. Como se esperaba, se observa que el STI disminuye a medida que los valores de TR aumentan.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir lo siguiente:

En el estilo de construcción de estas seis aulas, con mala calidad acústica, predominan los materiales reflejantes y duros.

Las aulas B24, B29, B35, B40, BO24 y BO37 no cumplen con los valores recomendados de TR, ya que los valores van desde 1,60 s hasta 3,46 s, que están claramente fuera de rango. Esta situación se repite al realizar la evaluación de la inteligibilidad objetiva, mediante STI y RASTI, así como la evaluación subjetiva, por medio del uso de los logatomos.

La forma de los recintos no ha mostrado efectos sobre las variables medidas, ya que el mayor efecto viene originado por el tipo de materiales de los que está constituida la sala, así como por su tamaño (volumen).

Los análisis de regresión realizados para estudiar las relaciones entre las medidas objetivas de inteligibilidad y las medidas subjetivas, han generado relaciones lineales con pendientes positivas y altamente significativas.

En el caso de las relaciones entre las medidas objetivas de inteligibilidad y los tiempos de reverberación, los análisis de regresión realizados mostraron relaciones de tipo lineal con pendientes negativas con una alta significancia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Houtgast, «The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms,» *Applied Acoustics*, vol. 14, nº 1, pp. 15-25, 1981.
- [2] J. Bradley, «Speech intelligibility studies in classrooms,» *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 80, nº 3, pp. 846-854, 1986.

- [3] J. Bradley y H. Sato, «The intelligibility of speech in elementary school classrooms,» *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 123, nº 4, pp. 2078-2086, 2008.
- [4] W. Yang y J. S. Bradley, «Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children,» *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 125, nº 2, pp. 922-933, 2009.
- [5] V. Gomez y J. Barrigón, «Analysis of Acoustical Characteristics and Some Recommendations for Different Educational Rooms,» *Archives of Acoustics*, vol. 36, nº 4, pp. 741-759, 2011.
- [6] A. Astolfi y P. Bottalico, «Subjective and objective speech intelligibility investigations in primary school classrooms,» *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 131, nº 1, pp. 247-257, 2012.
- [7] C. Rosas y J. Sommerhoff, «Inteligibilidad acústica en español: una propuesta para su medición,» *Estudios Filológicos*, nº 43, pp. 179-190, 2008.
- [8] ISO, «3382-1:2009. Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 1: Performance spaces,» *International Organization for Standardization*, 2009.
- [9] ISO, «3382-2:2008. Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 2: Reverberation time in ordinary rooms,» *International Organization for Standardization*, 2008.
- [10] ISO, «3382-3:2012. Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 3: Open plan offices,» *International Organization for Standardization*, 2012.
- [11] S. Brachmanski, «Automation of the Logatom Intelligibility measurements in rooms,» *Archives of Acoustics*, vol. 32, nº 4, pp. 159-164, 2007.
- [12] ANSI/ASA, «12.60-2009: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 2: Relocatable Classroom Factors,» *Acoustical Society of America*, 2009.
- [13] A. Carrión, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [14] AS/NZS, «2107:2000: Recommended Design Sound Levels and Reverberation Times for Building Interiors,» *Standards Australia, Australia and New Zealand Standard Acoustics*, 2000.
- [15] T. Houtgast y H. Steeneken, « Evaluation of speech transmission channels usign artificial signals,» *Acustica*, pp. 355-367, 1971.
- [16] ISO, «ISO 9921. Ergonomics. Assessment of speech communication,» *International Organization for Standardization*, 2003.