EuroRegio2016
June 13-15, 2016
Porto ▪ Portugal

# ESTUDIO DE LA INTELIGIBILIDAD DE PALABRA DE UN RECINTO EN FUNCIÓN DEL BALANCE DEL CAMPO DIRECTO (ÚTIL) / REVERBERADO (PERJUDICIAL).

**Vera Guarinos, Jenaro[1];Yebra Calleja, María Soledad[1]; Esteve Rico Juan Carlos[2]**

[1] Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante, S. Vicente del Raspeig, España.

myebra@ua.es; jenaro@ua.es

[2] Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías - Universidad de Alicante.

estevejuancarlos@yahoo.com

**Resumen**

Basándonos en los resultados obtenidos en el estudio de varias salas de palabra, se encontró que; bajo ciertas condiciones de directividad del emisor, el balance del campo acústico presenta anomalías apreciables no contempladas en un análisis clásico bajo las ideas de Sabine. En este trabajo se busca determinar en qué medida afecta a la comprensión verbal dichos resultados. Se analizará la inteligibilidad de palabra con ayuda de los índices habituales: RASTI, %ALcons, EDT, Índice de Articulación, etcétera. Se hará uso de la respuesta impulsiva (MLS) y de grabaciones de voz "in situ".

**Palabras clave:** Teoría revisada. Campo difuso, Campo directo, C50, Inteligibilidad.

**Abstract**

This paper is based on the results obtained in the study of several rooms of speech, it was found that; under certain conditions directivity of the source location, the balance of the sound field presents significant anomalies not covered by a classical analysis under Sabine's ideas. This paper seeks to determine to what extent affects the verbal understanding these results. Intelligibility of speech is analyzed using the usual indices: RASTI, %ALcons, EDT, Articulation Index, and so on. Use of the impulse response (MLS) and voice recordings "in situ" will be made.

**Keywords:** Revised Theory. Diffuse field, direct field, C50, Intelligibility.

**PACS no. 43.55.Br, 43.71.Gv**

## 1 Introducción

El comportamiento del campo acústico en recinto considerando lo que se viene a llamar desde 1988 "teoría revisada", parte del hecho de que la disminución del nivel de energía sonora reverberada con el tiempo (decaimiento reverberado) la podríamos asimilar a:

$$I_{Total}^{reverb.}(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}}\, e^{-\left(\frac{13.82 t_0}{T}\right)}. \qquad (1)$$

Donde el término exponencial está ligado al comportamiento de la energía reverberada [1] [2].

Por otra parte distinguiendo dos espacios temporales para el campo reverberado [3]: desde que llega el campo directo $t_0$ hasta un tiempo $t' = t_0 + 50$ ms, si estudiamos un recinto de palabra, a éste intervalo ($t_0$

→ t') lo denominaremos 'Early', y al resto hasta el final de duración de la señal (t' → ∞) 'Late'. La expresión para este último quedará:

$$I_{Late}^{reverb.}(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \cdot e^{-\left(\frac{13.82(t_0+0.05)}{T}\right)} \quad \rightarrow \quad I_{Late}^{reverb.}(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \cdot e^{-\left(\frac{13.82 \cdot t_0}{T}\right)} e^{-\left(\frac{0.691}{T}\right)}. \qquad (2)$$

Si rescribimos las ecuaciones (1) y (2) a la luz del concepto de recorrido libre medio 'mfp' tal y como proponen Nijs and Rychtarikova [4] usando la expresión del tiempo de reverberación Eyring:

$$T = \frac{-0.04(mfp)}{Ln(1-\alpha)} \quad . \qquad (3)$$

La energía reverberante total queda:

$$I_T^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \, e^{\left(\frac{13.82 \, t_0 Ln(1-\bar{\alpha})}{0.04 \, (mfp)}\right)} \, . \qquad (4)$$

$$\frac{13.82 \, t_0}{0.04} = 345.5 \, t_0 \; = c \, t_0 = r \;\; \rightarrow I_T^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \, e^{\left(\frac{r \, Ln(1-\bar{\alpha})}{(mfp)}\right)} \rightarrow \quad I_T^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} (1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{r}{(mfp)}\right)}. \qquad (5)$$

Que sirve de puente entre la propuesta de Vorländer [5], para *r = 0*, en base a un planteamiento clásico y la teoría revisada. La expresión de la ecuación (5) ya había sido deducida por Kuttruff [6] a partir de la energía promedio para una partícula.

Y para el campo después de los 50 milisegundos, Late:

$$I_L^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} e^{\left(\frac{rLn(1-\bar{\alpha})}{mfp}\right)} e^{\left(\frac{4.225Ln(1-\bar{\alpha})}{mfp}\right)} \rightarrow \quad I_L^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \, (1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{r+4.225}{(mfp)}\right)} \quad . \qquad (6)$$

Si restamos el campo reverberado Total ecuación (5) y el Late ecuación (6), obtenemos el campo reverberado inicial ($t_0$ → 0.05 s) o Early:

$$I_E^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \, [(1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{r}{(mfp)}\right)} - (1-\alpha)^{\frac{r+4.225}{(mfp)}}] \, . \qquad (7)$$

Bradley [7] y Barron [1] contemplan la posibilidad de que dicho campo tenga un comportamiento más agudo en función de la difusión, por lo que sería lógico dejar abierta la posibilidad de introducir alguna corrección sobre la pendiente de caída; a este término lo llamaremos 'factor épsilon' $\varepsilon$. Además vamos a prever la necesidad de introducir otras correcciones sobre el valor global de la energía reverberante [7], a las que denominaremos $C_i$. Por lo que las ecuaciones (5), (6) y (7), con la adición de estos términos, quedarían:

Campo reverberado Total [2 → ∞ ms]:

$$I_T^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} (1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{\varepsilon \cdot r}{(mfp)}\right)} \cdot C_T \quad . \qquad (8)$$

Campo reverberado Late (Perjudicial) [50→∞ ms]:

$$I_L^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \, (1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{(\varepsilon \cdot r)+4.225}{(mfp)}\right)} \cdot C_L \quad . \qquad (9)$$

Campo reverberado Early [2 → 50 ms]:

$$I_E^r(t_0) = \frac{4W}{S\bar{\alpha}} \left[(1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{\varepsilon \cdot r}{(mfp)}\right)} - (1-\alpha)^{\frac{(\varepsilon \cdot r)+4.225}{(mfp)}}\right] \cdot C_E \,. \tag{10}$$

Estas ecuaciones son similares a las que encontramos recogidas por Arau [8] que imputa a Bradley y Sato [7].

Campo Directo [0 → 2 ms]:

$$I^{direct.}(t_0) = I_D(t_0) = \frac{W \cdot Q}{4\pi r^2} \quad . \tag{11}$$

Campo Directo+Early (Útil) [0 → 50 ms]:

$$I_{D+E}^U(t_0) = I_D(t_0) + I_E^r(t_0) \quad . \tag{12}$$

## 2 Objetivo

Con ayuda de estas expresiones analizaremos el comportamiento del campo acústico extraído de las medidas experimentales realizadas en nuestro recinto. Y veremos el grado de adecuación de éste a la teoría revisada tal y como la hemos propuesto.

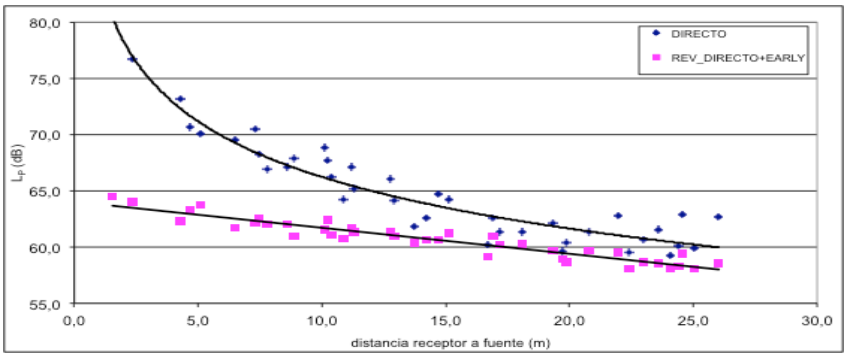


Figura 1. *Comportamiento experimental del campo acústico t'= $t_0$ + 50 ms*

El objetivo principal es estudiar la inteligibilidad en una sala donde obtuvimos resultados desconcertantes para el campo acústico desde el punto de vista clásico [9]. Pero antes de mostrar esos resultados, hemos creído conveniente intentar formalizar cuál debería ser el modelo físico que más se acerca al balance energético encontrado en dicho recinto.
Tal como se puede apreciar en la Figura 1. Encontramos que si representamos los valores del campo (Directo + Early) "Útil" [10] [11], frente al campo reverberante (Late) "Perjudicial". En cualquier posición del receptor; el campo Útil supera al campo Perjudicial. De lo que se puede deducir que C50 (dB) es siempre positivo. Lo que se interpretó, en principio, como que la inteligibilidad, según este índice, es al menos aceptable en la posición más desfavorable.

## 3 Método experimental

Para el análisis del comportamiento del campo acústico en el recinto, se recoge la respuesta impulsiva

MLS en cuarenta puntos distribuidos uniformemente en el recinto a una altura de 1.6 metros. La fuente dodecaédrica está situada a 1.6 metros del suelo en una de las esquinas interiores (Q≅4).
Posteriormente se realizó otra campaña de medidas en dieciocho puntos sobre toda la superficie como comprobación de la estabilidad de los resultados que usaremos para analizar la inteligibilidad de forma general. Aparte se recogieron además pasajes de voz a partir de registros anecoicos [12].

## 4 Datos generales

La geometría del recinto y sus características básicas de absorción acústica son las siguientes:
Paralelepípedo regular [ancho = 12.2 m; largo = 25.3 m; altura = 3.16 m]. Volumen= 988 $m^3$. Área total 309 $m^2$.
Suelo: parquet [$\overline{\alpha}$= 0.11]. Techo: Herakustik35 [$\overline{\alpha}$= 0.75]. Cerramientos longitudinales - CL1 y CL2: tabiqueria seca [$\overline{\alpha}$= 0.09].Cerramiento ltranversal-CT2: vidrio espejo sobre tabiquería seca [$\overline{\alpha}$= 0.05]. Cerramiento longitudinal-CT1: 50% tabique tradicional + 50% vidrio ventana [$\overline{\alpha}$= 0.04].

Figura 2. *Vista panorámica de la sala estudiada.* Ⓐ *posición de la fuente sonora.*

## 5 Resultados reverberación

En primer lugar se muestran los resultados relativos a variación del tiempo de reverberación: Si representamos las variaciones que sufre la reverberación para cada frecuencia según la posición Figura 3-Izquierda, se puede observar cierta estabilidad salvo para las bandas extremas (azul-16 Hz, fucsia-31.5 Hz y marrón-16 kHz). Lo que nos ayuda a afirmar que el recinto queda caracterizado por un tiempo de reverberación que denominamos TRm de 1.6 segundos.

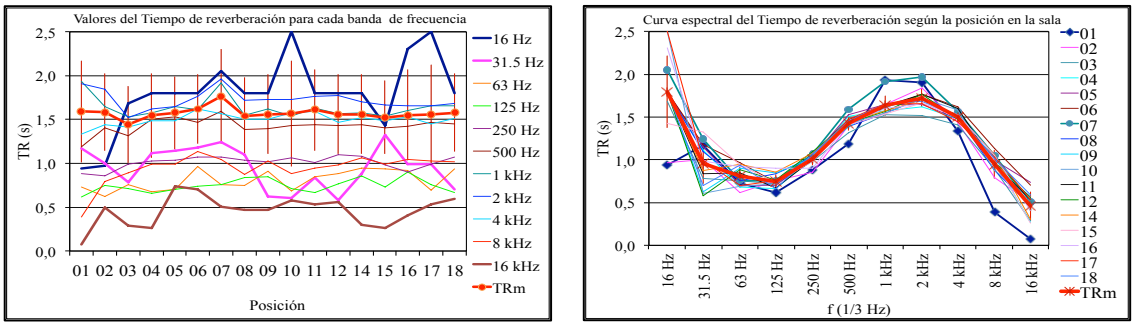


Figura 3. *Comportamiento del tiempo de reverberación en cada una de la 17 posiciones de medida.*
(Izquierda): *tiempo de reverberación para cada banda de frecuenciaen función de la posición.*
(Derecha): *tiempo de reverberación para cada posición en función de la frecuencia 1/3 octava.*

Se comprueba que existe también estabilidad en frecuencias, salvo para las posiciones 01-azul y 07-verde. Esto puede ser debido a su cercanía a los límites del recinto y al emisor, podríamos conjeturar

que están afectadas por el efecto descrito por Waterhouse [15].

Si representamos para cada posición el tiempo de reverberación EDT, T20 y T30, Figura 4, se observa que los valores obtenidos con una caída de 30 decibelios se pueden considerar constantes (aprox. 1.6 segundos) mientras que el T20 y el Early Decay Time presentas variaciones que siguen un patrón de

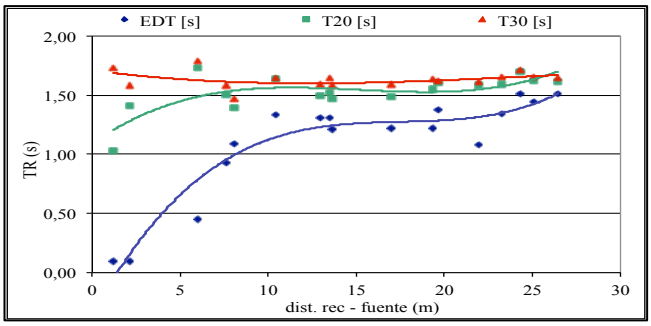


Figura 4. *Tiempo de reverberación según la distancia para caídas de 10 dB(azul), 20 dB(verde) y 30 dB(rojo)*

forma polinómica similar debida a una fuerte dependencia del campo directo. Lo que viene a afianzar la idea de que el campo acústico del recinto no es difuso.

# 6 Campo acústico experimental y teoría revisada

En este apartado vamos a intentar adecuar los resultados experimentales a las expresiones matemáticas propuestas en el marco de la teoría revisada, en función del nivel de presión sonora en decibelios a partir de las ecuaciones (8) a (12). Usando un nivel de potencia, $L_W = 84$ *(dB)*; deducido del valor del nivel de presión sonora directa experimental medido a diez metros de la fuente. Y una directividad posicional para la fuente omnidireccional $Q = 4$.

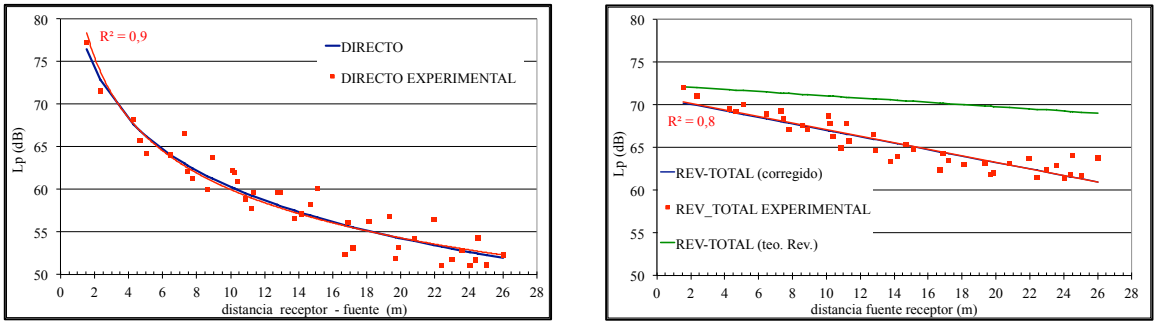


Figura 5. *Campo directo* (Izquierda) *y Campo reverberado total* (Derecha) *en función de la distancia.*
*Rojo: valores experimentales y curva de regresión. Verde: curva 'teoría-revisada'.*
*Azul: curva 'teoría-revisada' corregida* ($\varepsilon = 3$; $C_{Total} = -2dB$).

El campo directo, Figura 5 - Izquierda, tiene un comportamiento normal que corresponde a la divergencia esférica postulada desde cualquier punto de vista que se adopte.
En cambio al realizar la representación gráfica del resto de la expresiones del campo acústico que predice dicha teoría, frente a los resultados experimentales obtenidos, encontramos que existen grandes diferencias que nos obligan a introducir factores de corrección, como ya indicamos con anterioridad, que van a afectar tanto a la pendiente de la caída energética (ε) como a los valores globales del campo reverberante recibido ($C_i$).
Como vemos para ajustar los resultados del campo reverberante total a la teoría Figura 5 - Derecha,

hemos de minusvalorar los valores con un factor $C_{Total}$ = - 2 dB y afectar a la pendiente en un factor $\varepsilon = 3$. Este corrección tan grande para la pendiente no concuerda con la falta de difusión de nuestro recinto, que es un espacio exento y con la absorción concentrada [4] principalmente en el techo. A pesar de esta desviación sobre lo relatado en la bibliografía, ha sido la única forma de adecuar nuestros resultados a la teoría revisada del campo acústico, que pensamos que refleja la realidad, pero esta realidad se nos está mostrando múltiple.
Además de la corrección propuesta se deben introducir otras que controlen los niveles en sí. Bradley [7] en el trabajo citado las introduce de forma mucho mas conservadora. Nuestra idea, que está directamente relacionada con la disimilitud que muestran el campo Late y Early, es que dichos factores de corrección actúan de forma global sobre los niveles finales predichos y son:

$$C_{EARLY} = 4.5 \text{ dB}; \qquad C_{LATE} = -6.5 \text{ dB}; \qquad C_{TOTAL} = C_{EARLY} + C_{LATE} = -2\ dB; \tag{13}$$

La contribución de las reflexiones tardías, Figura 6 - Izquierda, está sobrevalorada respecto a los valores medidos. Sin embargo para el campo reverberante inicial en cambio, Figura 6 - Derecha, está minusvalorado, obsérvese que la corrección propuesta es menor y de distinto signo que en el intervalo anteriormente considerado.

La única explicación que encontramos para justificar las correcciones $C_{Late}$ y $C_{Early}$ ecuacion (13), se basa en la observación de los valores obtenidos para uno y otro en función de la posición relativa dentro del recinto Además si tenemos en cuenta que tanto emisor como receptor se encuentran en un plano medio de alrededor de 1.6 metros respecto a suelo y techo puede que eso agrande la problemática planteada.

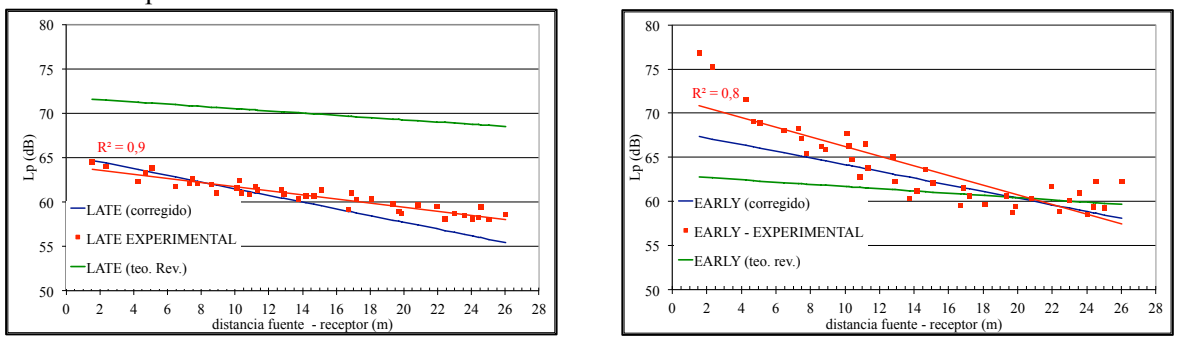


Figura 6. *Campos Reverberados parciales: Late* (Izquierda) *y Early* (Derecha*) en función de la distancia. Rojo: valores experimentales y curva de regresión. Verde: curva 'teoría-revisada'. Azul: curva 'teoría-revisada' corregida (ε = 3; $C_{LATE}$ = -6.5dB; $C_{EARLY}$ = 4.5dB ).*

El hecho es que el aspecto que presenta el campo Early es de una gran dependencia con la cercanía a la fuente y a los cerramientos; mientras que el campo Late es mucho más difuso, menos dependiemte. Respecto a la teoría revisada el campo Late está sobrevalorado y el Early infravalorado, por lo que se necesitan dos términos de corrección global distintos tal como ya hemos indicado.
La desviación que encontramos entre la teoría y lo experimental para el campo Útil, Figura 7 - Izquierda, o de los primeros 50 milisegundos es mucho mas suave que la que acabamos de ver para los campos reverberados.
En el caso del campo Total, Figura 7 - Derecha, las desviaciones entre la teoría y lo experimental presentan una clara discrepancia que se puede atribuir a la baja contribución de las reverberaciones tardías en el campo real y que están sobrevaloradas en la teoría revisada. Existe una gran desviación a distancias alejadas de la fuente. Con todo el ajuste es bastante bueno con las correcciones propuestas. Pudiendo justificar las desviaciones para posiciones cercanas y muy alejadas de la fuente por el efecto que provoca la cercanía excesiva a los cerramientos.

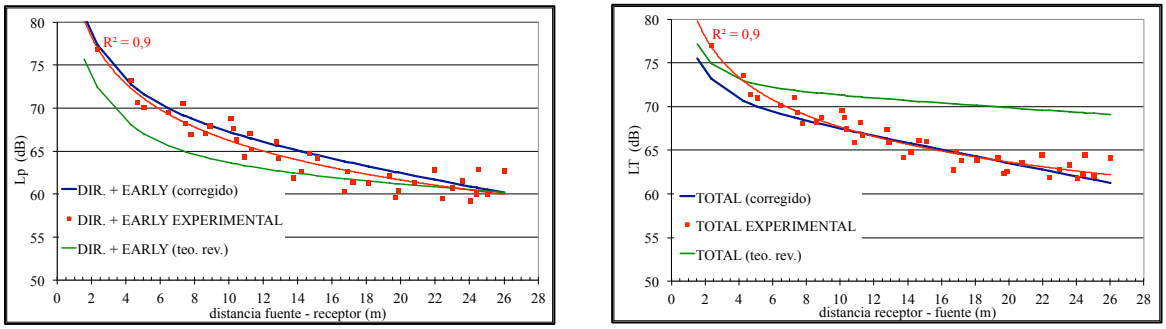


Figura 7. *Campo ÚTIL "Directo+Early"* (Izquierda) *y Campo TOTAL "Directo+ Early+ Late"* (Derecha)
*Rojo: valores experimentales y curva de regresión. Verde: curva 'teoría-revisada'.*
*Azul: curva 'teoría-revisada' corregida (ε = 3; $C_{LATE}$ = -6.5dB; $C_{EARLY}$ = 4.5dB ).*

# 7 Resultados inteligibilidad

A continuación hacemos una reflexión gráfica, en su conjunto, de los resultados obtenidos para los índices de inteligibilidad más usuales [16]. Cabe destacar que existe una dependencia clara con la distancia fuente - receptor, pero como era de esperar a la vista del comportamiento del campo acústico mostrado en la Figura 1, la comprensión verbal es suficiente en cualquier punto de la sala.
El índice 'IAis', que aparece en Figura 8, es una adaptación del 'Articulation Index' [17]. Y se ha calculado sobre los cuatro registros de voz mencionados anteriormente grabados en cuatro posiciones: cerca, medio central, medio lateral y lejos en distancias relativas a la fuente. Se puede corroborar una buena correlación de este índice con lo obtenido por los métodos clásicos.
Los valores del %ALcons, Figura 8 - Izquierda, apenas superan el 10% que es un nivel aceptable de inteligibilidad, lo que corrobora el buen índice de articulación (IAis) obtenido sobre los registros de voz.

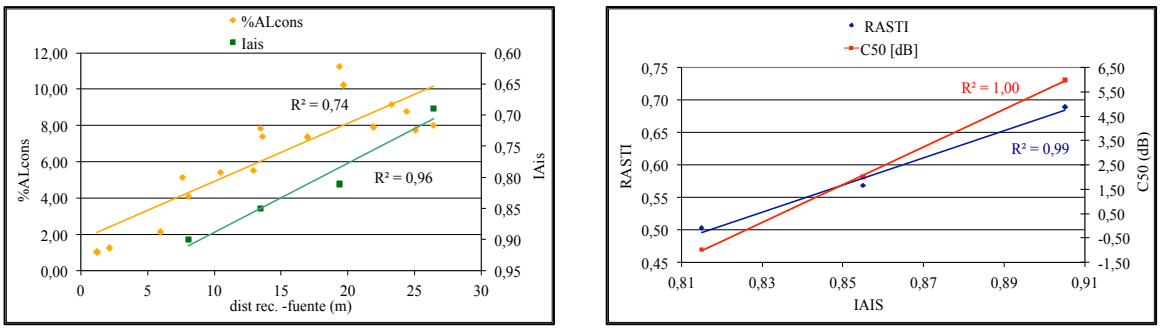


Figura 8. (Izquierda): *Variaciones del %ALcons y el IAis en función de la distancia receptor - fuente.*
(Derecha): *Relación entre los índices RASTI vs. IAis y C50 vs. IAis*

Si correlacionamos los valores de RASTI, IAis y C50 conjuntamente Figura 8 - Derecha, obtenemos una correspondencia perfecta cuando obviamos los valores obtenidos para el punto más alejado.

Vemos en la Figura 9 - Izquierda, que el tiempo central 'Ts' va creciendo con la distancia, sin llegar a superar los 90 milisegundos y presenta una correlación excelente con %ALcons, Figura 9 - Derecha. Este resultado llama la atención y es sugerente puesto que usualmente al tiempo central Ts se le asocia principalmente con aspectos reverberantes y no con la inteligibilidad en si misma [18].

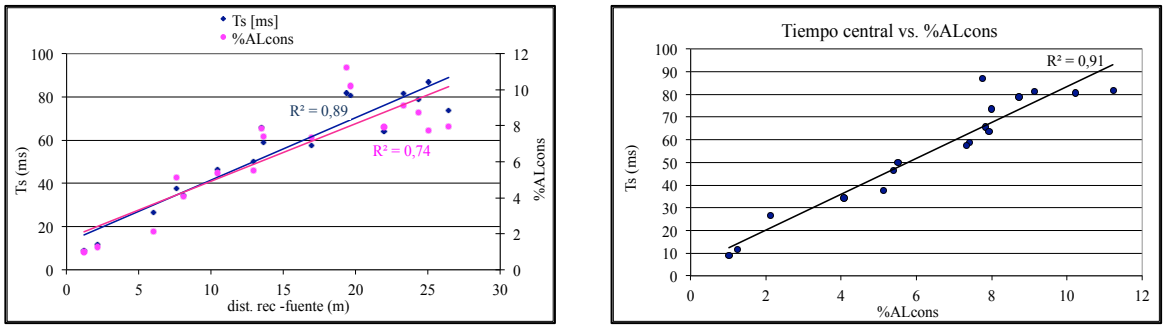


Figura 9. (Izquierda) *Variaciones del 'Ts' y del %ALcons en función de la distancia receptor - fuente.* (Derecha) *Relación entre los índices Ts vs. %ALcons*

A continuación, en la Figura 10, se puede observar que existe una magnífica correlación entre todos los indicadores de inteligibilidad clásicos. Entre el RASTI y el %ALcons, Figura 10 - Derecha, similar a la propuesta por Farrel Becker: $STI = 1 - 0.20\,ln(\%ALcons)$ sobre la idea de Peutz [19]:

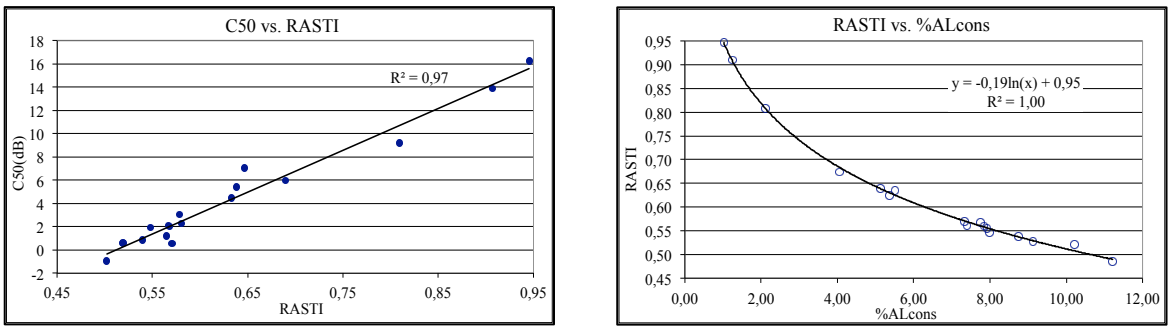


Figura 10. (Izquierda) *Relación entre los índices C50 vs. RASTI.* (Derecha) *Relación entre el RASTI vs. %ALcons.*

Para terminar hemos estudiado, Figura 11, la distribución modal según el modelo propuesto por Bonello: la frecuencia de Schroeder es de 71 Hz. Por debajo de dicha frecuencia el comportamiento no presenta problemas. Tan solo en la zona de las frecuencias entre 80 Hz y 250 Hz se puede decir que el número de modos por tercio de octava pierde la propiedad de crecimiento monótono que prevé la teoría. Se podría asociar esta anomalía con los valores bajos en reverberación que se encuentran experimentalmente en esta parte del espectro, ver Figura 3 - Derecha.

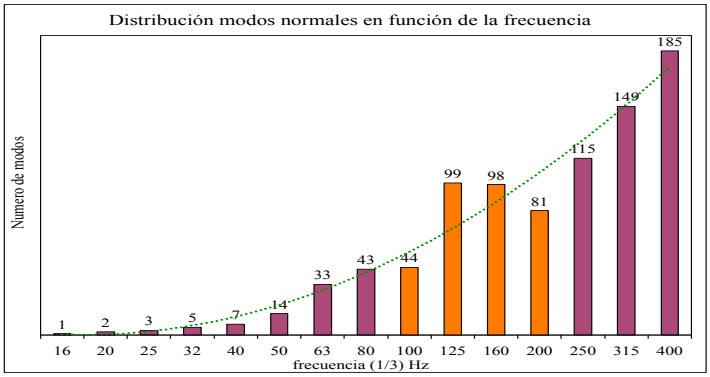


Figura 11. *Distribución modal por banda de tercio de octava del recinto estudiado*

# 8 Conclusiones

- El comportamiento acústico del recinto estudiado se puede explicar de forma satisfactoria de acuerdo a la teoría revisada aunque es necesario tener en cuenta otras cuestiones particulares que comprendan tanto las dimensiones como la geometría. Pues no se comporta igual un espacio donde el plano de audiencia es casi independiente de las superficies del contenedor como puede ocurrir en los auditorios reseñados por Barron en [1] y [3] que nuestro recinto; donde el plano de estudio está fuertemente interrelacionado con el suelo, techo y hasta en ciertas posiciones con los cerramientos verticales.

- La tendencia encontrada se puede, en cierta manera, asimilar más al reseñado en los estudios de Bradley para aulas [10] pero sin olvidar que en nuestro caso la directividad, por posicionamiento de la fuente, es muy elevada y en conjunto con la alta absorción del techo provoca efectos que perturban de forma muy severa el campo reverberado tardío (Late) y también el temprano (Early) aunque en menor manera.

- Podríamos decir tal y como intuitivamente lo plantea Arau [20] que bajo ciertas condiciones de reverberación y directividad se produce muy poca excitación de energía difusa, lo que provoca que el campo reverberante sea muy débil, como si el radio de reverberación o distancia crítica se hiciese infinito (muy grande) ver Figura 1, por lo que entonces el término $(1-\bar{\alpha})^{\left(\frac{r}{(mfp)}\right)}$ tiende a cero, y se anularía el campo reverberante. Esto justificaría los factores de corrección que hemos tenido que incluir para adecuar los datos experimentales al modelo.

- Refiriéndonos, para terminar, a los parámetros de inteligibilidad, se ha visto que el comportamiento ha sido el esperado en líneas generales ya que el campo Útil supera al reverberado o Perjudicial en toda la geografía del problema.

- Cabe remarcar que el *IAis* se presenta como un buen descriptor de la inteligibilidad subjetiva.

- Es reseñable que el tiempo central '*Ts*' puede ser un índice útil para la determinación de la inteligibilidad y no un mero descriptor de la distribución de la energía reverberada como usualmente se le considera.

## Referencias

[1] M. Barron and L. J. Lee, "Energy relations in concert auditoriums, I," J. Acoust. Soc. Am. 84, 618–628 (1988).

[2] M. Barron, "Growth and decay of sound intensity in rooms according to some formulae of geometrical acoustics theory," J. Sound Vib. 27, 183–196 (1973).

[3] M. Barron, "Theory and measurement of early, late and total sound levels in rooms" J. Acoust. Soc. Am., Vol. 137, No. 6, June 2015.

[4] L. Nijs and M. Rychtarikova, "Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50," Acta Acust. united Acust. 97, 93–102 (2011).

[5] M. Vorländer, "Revised relation between sound power and the average sound pressure level in rooms and consequences for acoustic measurements," Acustica 81, 332–343 (1995).

[6] H. Kuttruff,.- Room Acoustics.- 5th ed. Applied Science Publishers Ltd. England (2009)

[7] H. Sato and J. S. Bradley, "Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms " Journal of the Acoustical Society of America, 123, 4, 2064-2077, (2008)

[8] H. Arau-Puchades, "Sound Pressure Levels in Rooms: A Study of Steady State Intensity, Total Sound Level, Reverberation Distance, a New Discussion of Steady State Intensity and Other Experimental Formulae," Journal Of building Acoustics Volume 19, 3, (2012)

[9] J. Vera ; M. Yebra; Marisol; E. Calzado; J. C. Esteve, "Estimación del campo directo "vs." campo reverberante en un recinto de pública concurrencia de tamaño medio" 46º Congreso Español de Acústica, (2015)

[10] J. S. Bradley "Optimising sound quality for classrooms," NRCC-45999, Institute for Resarch in Construction http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ircpubs

[11] S. R. Bistafar. And J. S. Bradley, "Comparisons of computer simulations of acoustical conditions in classrooms," Canadian Acoustics, [S.l.], v. 26, n. 3, p. 21-22, sep. 1998. ISSN 2291-1391. Available at: <http://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/1137>.

[12] V.V.A.A. "Los Silencios Sonoros," Libro-disco. Ed.: Fundación CIDAUT -Valladolid, (2004)

[13] M. Yebra; I. González; J. Vera, "Método para la evaluación objetiva de la inteligibilidad en salas de palabra "IAis": Planteamiento (parte I). Resultados (parte II). Tecniacústica-2005-Terrasa

[14] O. J. Bonello, "A new criterion for the distribution of normal room modes," J. Audio. Eng. Soc. Vol. 29, 597-605 (1981).

[15] R. V. Waterhouse, "Interference patterns in reverberant sound fields," J. Acoust. Soc. Am. 27, 2 247-258 (1955).

[16] S. Campanini, y A. Farina, "A New Audacity Feature: Room Objective Acoustical Parameters Calculation Module," Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Parma.

[17] ANSI S3.5-1969, "Methods for Calculation of the Articulation Index" American National Standards Institute. (1969). New York: Acoustical Society of America.

[18] J.S. Bradley, "Review of objective room acoustics measures and future needs," Proc. of the Internat. Symp. Room Acoustics, ISRA 2010.

[19] V. M. A. Peutz, "Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room. J. Audio Eng. Soc. 19 (1971), H.11, pp. 915-919.

[20] H. Arau-Puchades, "Influencia del radio de reverberación en el establecimiento de la densidad de energía sonora estacionaria en campo difuso," Revista de Acústica, 27 (1-2): 19-21,(1996).