

FUNCIÓN CARACTERÍSTICA DE LA RESPUESTA IMPULSIVA DE UNA SALA. MODELO DE DECAIMIENTO DE LA ENERGÍA

Salvador Cerdá¹, Rosa Cibrián², Jaume Segura³, Alicia Giménez¹

¹ Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València
{e-mail: salcerjo@mat.upv.es, agimenez@fis.upv.es}

² Departamento de Fisiología, Universitat de València
{e-mail: rosa.m.cibrian@uv.es}

³ Departamento de Informática, Universitat de València
{e-mail: jsegura@uv.es}

Resumen

En anteriores trabajos definimos la función característica (FC) de una respuesta impulsiva (IR) como herramienta de análisis de las IRs de la sala estudiada. El objetivo era mostrar las diferencias entre dos IRs en una misma sala. Como se pretendía observar diferencias que no fueran atribuibles a un factor de proporcionalidad, la FC está calculada con la IR normalizada. Esto permite observar que en una sala las IRs normalizadas tienen FCs cuyas distancias entre sí dependen de la distancia del punto de medida a la fuente. Además, se pudo comprobar que estas distancias entre la FCs de la sala correlacionan con los parámetros de claridad C50 y C80 de dicha sala. Un modelo de decaimiento de la energía puramente exponencial de las IRs no permite explicar estos hechos experimentales. En este trabajo se presentan diferentes modelos de IR y se ajustan a las FC obtenidas en una sala de referencia. Esto se realiza con la IR globalmente y también por bandas de frecuencia. Se presentan también las correlaciones con los principales parámetros acústicos.

Palabras clave: respuesta al impulso, función característica, acústica

Abstract

In previous works we defined the characteristic function (CF) of an impulsive response (IR) as a tool for analyzing the IRs of the studied room. The objective was to show the differences between two IRs in the same room. Normalized IRs are used for calculating room CFs. This allows to observe that the room's normalized IRs have FCs whose distances from each other depend on the distance from the measuring point to the source. In addition, it was possible to verify that these distances between the room's FCs correlate with the room clarity parameters C50 and C80. A model of purely exponential energy decay of IRs does not explain these experimental facts. In this work, different IR models are presented and adjusted to the experimental FC obtained in a reference room. This is done globally and also by frequency bands. Correlations with the main acoustic parameters are also presented.

Keywords: impulse response, characteristic function, acoustics

PACS n° 43.55.-Ka.

Introducción

Desde que Sabine empezó a estudiar la reverberación de las salas para caracterizar su acústica, la respuesta impulsiva (IR) se ha estandarizado y utilizado para determinar numerosos parámetros. Esto se hace siempre por frecuencias. Son pocos los trabajos que consideran la IR global medida en un lugar de una sala.

Cuando hace unos años introdujimos la Función característica de una IR (FC) [1, 2], nuestro objetivo era tener una herramienta que nos permitiera comparar dos IRs. En particular, la idea principal era utilizarla para evaluar la bondad de un modelo acústico de una sala. No obstante, lo que descubrimos fue que las FCs muestran una regularidad en todas las salas estudiadas: una dependencia con la distancia [3]. La dependencia con la distancia la cuantificamos mediante el cálculo de la diferencia media entre las FC y la envolvente superior del conjunto de FCs experimentales. Esta diferencia servía para cuantificar las diferencias entre las FCs pero no admitía un significado físico directo. Aunque se obtuvieron correlaciones con algunos parámetros energéticos era necesario parametrizar las FCs de alguna manera para interpretar su variación.

En este trabajo introducimos tres modelos diferentes de las IR: el modelo exponencial (un parámetro b_e , semejante al tiempo de reverberación, un modelo de decaimiento lineal entre dos valores en un intervalo temporal (tres parámetros a_i , b_i y c_i) y un modelo de decaimiento cuadrático (tres parámetros a_c , b_c y c_c). Con estos modelos se puede ajustar las FCs correspondientes y mediante las herramientas de ajuste de MATLAB, obtener una parametrización de cada FC experimental de una sala. Los resultados muestran que en las salas estudiadas el parámetro temporal en cada uno de los modelos es prácticamente el mismo. Este hecho, sorprendente, permite interpretar la equivalencia de los modelos y establecer ciertas conclusiones sobre las FCs de las IR.

Por otro lado, aunque nuestro objetivo siempre ha sido el análisis global de la IR, presentamos también los resultados que se obtienen al calcular las FCs de las IR por bandas de frecuencia. En general se observa que los modelos se ajustan mejor a las FCs por frecuencias pero que los parámetros obtenidos no muestran la dependencia con la distancia que muestra un análisis global de las IR.

Modelos utilizados

Cuando analizamos la FC de las IR normalizadas en diferentes lugares de una sala observamos que se obtienen variaciones entre ellas [1]. Hasta ahora habíamos considerado un modelo exponencial de decaimiento para la IR

$$h^2(t) = k_e \cdot e^{-t/b}$$

donde la constante de normalización es: $k_e = -1 + e^{\frac{1}{b}}$

La FC correspondiente viene dada por la expresión:

$$FC(x) = 10 \log_{10} \left(\frac{\left((-1 + e^{\frac{1}{b}}) x \right)}{e^{\frac{1}{b} - x}} \right)$$

Para ese modelo el parámetro b está relacionado con un tiempo de decaimiento. Aunque en dicho modelo la integración se ha realizado con un tiempo infinito, se ha comprobado que la longitud de la IR es tan grande que la finitud de la IR no afecta a la normalización ni al cálculo de la FC.

Si interpretamos el parámetro b como un tiempo de decaimiento global, los resultados obtenidos en [2] nos muestran que ese tiempo de decaimiento depende de la distancia. Para buscar un significado a esa dependencia con la distancia, en este trabajo introducimos dos modelos sencillos de IR, un modelo lineal y un modelo cuadrático (Figura 1), ambos con constantes de normalización k_l y k_q , respectivamente.

Por un lado, para el modelo lineal.

$$h^2(t) = k_l \cdot \begin{cases} b + \frac{a-b}{c}t & \text{si } 0 \leq t \leq c \\ a & \text{si } c \leq t \leq N \end{cases}$$

la FC viene dada por la expresión:

$$FC(x) = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{x \left(\frac{(-1+x)(x^c - x^N)}{c-N} + \frac{2(b(-1+c-cx+x^c) + a(x-cx^c + (-1+c)x^{1+c}))}{(a+b)(-1+c)c} \right)}{2(-1+x)^2} \right)$$

mientras que para el modelo cuadrático,

$$h^2(t) = k_q \cdot \begin{cases} \frac{b-a}{c^2}t^2 + \frac{2(a-b)}{c}t + b & \text{si } 0 \leq t \leq c \\ a & \text{si } c \leq t \leq N \end{cases}$$

en el que el decaimiento sigue una rama de parábola y se llega a un nivel constante de manera continua con la derivada, la FC viene dada por la expresión:

$$FC(x) = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{x \left(\frac{(-1+x)^2(x^c - x^N)}{c-N} + \gamma(x) \right)}{2(-1+x)^3} \right)$$

con

$$\gamma(x) = \frac{6(a((3-2c)x + (-1+2c)x^2 + (-2+c)cx^c + (-3+4c-2c^2)x^{1+c} + (-1+c)^2x^{2+c}) + b(-2c(-1+x) - c^2(-1+x)^2 + (1+x)(-1+x^c)))}{(-1+c)c(b(-1+2c) + a(-5+4c))}$$

La Figura 1 muestra los tres modelos de decaimiento estudiados ajustados a una IR normalizada. Como se observa, el modelo cuadrático es el que tiene un decaimiento más acusado mientras que el exponencial es el que muestra un decaimiento menos rápido. En la siguiente sección mostraremos los parámetros obtenidos para varias IRs en una sala.

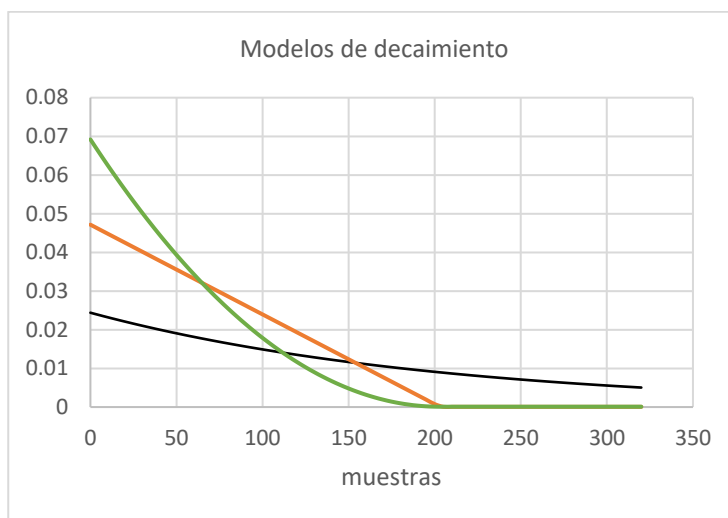


Figura 1 Modelos de decaimiento de energía implementados para una IR de una sala. En negro modelo exponencial, en naranja modelo lineal y en verde modelo cuadrático.

Parametrizaciones de las FCs para diferentes modelos de decaimiento en una sala.

Como ilustración de nuestros ajustes, mostramos los resultados obtenidos para una sala: el Auditorio de Torrent. Esta es una sala emblemática de la Comunidad Valenciana. Tiene un valor del RT_{mid} promedio de 1.9 s y un volumen de 6430 m³.

La tabla 1 recoge los parámetros de los tres modelos utilizados. Se han ordenado según la distancia del punto de medida de la IR a la fuente.

Tabla 1. Valores de ajuste de los parámetros de cada tipo de modelo de decaimiento de la energía (exponencial, lineal y cuadrático) obtenidos para las IRs de la sala analizada para cada distancia (d) de la fuente al punto de registro.

	M exp	M lineal			M cuadrático		
d(m)	b _e	a _l	b _l	c _l	a _c	b _c	c _c
7,2	56,2	1069,9	999999,9	55,9	209597,2	1000508,4	57,9
8,0	32,2	16272,7	999898,6	30,7	152036,7	1000987,9	34,8
9,4	33,2	15794,5	999906,5	31,7	151066,9	999575,4	36,0
10,9	82,9	1292,3	999999,7	82,3	183389,0	999543,7	89,0
11,3	134,9	1559,3	999999,4	133,7	171279,4	1003926,3	148,0
12,4	67,9	1139,9	999999,9	66,2	166107,6	1000445,7	73,1
14,3	118,3	1279,6	999999,7	117,3	185276,4	1045990,8	128,4
14,9	189,9	1240,0	999999,7	188,7	183878,2	1045043,9	207,6
15,6	104,7	1596,4	999999,3	103,0	174171,1	1027639,1	113,7
16,8	124,3	1585,4	999999,3	122,4	195492,1	1115341,5	134,1
19,1	199,4	1240,0	999999,8	198,2	181343,3	1001081,0	216,4
19,2	327,3	1160,0	999999,9	326,0	181828,4	997036,5	356,3
19,9	334,4	1160,0	999999,9	332,7	184388,6	997009,6	362,0
21,8	418,2	680,1	1000000,8	417,3	182240,4	995918,7	456,1

22,0	463,1	840,1	1000000,0	462,1	183680,0	996658,3	504,4
25,5	755,9	680,2	1000000,2	755,2	201717,6	986989,8	801,9
25,6	529,1	760,1	1000000,1	528,0	201509,6	994948,7	561,1

Puede observarse que el parámetro b del modelo lineal y cuadrático son muy similar a todas las distancias y que el parámetro b del modelo exponencial y el parámetro c de los modelos lineal y cuadrático es también similar. ($c_1=1,0006*b_e - 1,3439$ $R^2 = 1$; $c_c=1,0677* b_e +2,3518$ $R^2 = 0,9996$)

La Figura 2 presenta gráficamente los datos de la Tabla anterior. Se han considerado dB para la IR normalizada y se confirma la similitud de los parámetros b_e , c_1 y c_c obtenidos para las IR experimentales. En el modelo exponencial, b_e , corresponde al parámetro que controla la rapidez del decaimiento. En los modelos lineal y cuadrático c_1 y c_c corresponden al intervalo experimental en los que se produce el decaimiento de la IR. Tanto en el decaimiento lineal como en el cuadrático los modelos utilizados permiten establecer la diferencia relativa en dB que la IR decae (Figura 3).

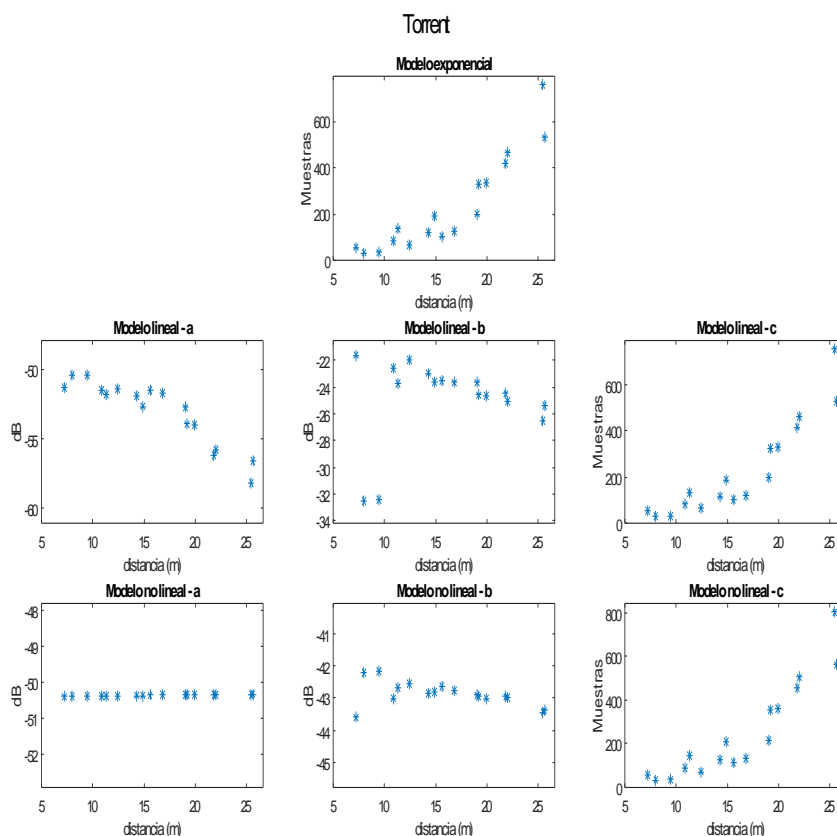


Figura 2. b_e parámetro decaimiento exponencial (muestras); a_1 , valor constante del modelo lineal (dB); b_1 , valor inicial del decaimiento lineal (dB); c_1 , intervalo decaimiento lineal (muestras); a_c , valor constante del modelo cuadrático (dB), b_c , valor inicial del decaimiento cuadrático (dB); c_1 , intervalo decaimiento cuadrático (muestras).

Como se aprecia en la Figura 3, en el modelo de decaimiento lineal la caída que ajusta prácticamente todas las IRs corresponde a unos 30 dB. En el modelo cuadrático la caída es menor (alrededor de 8 dB) y se observa una tendencia a disminuir con la distancia.

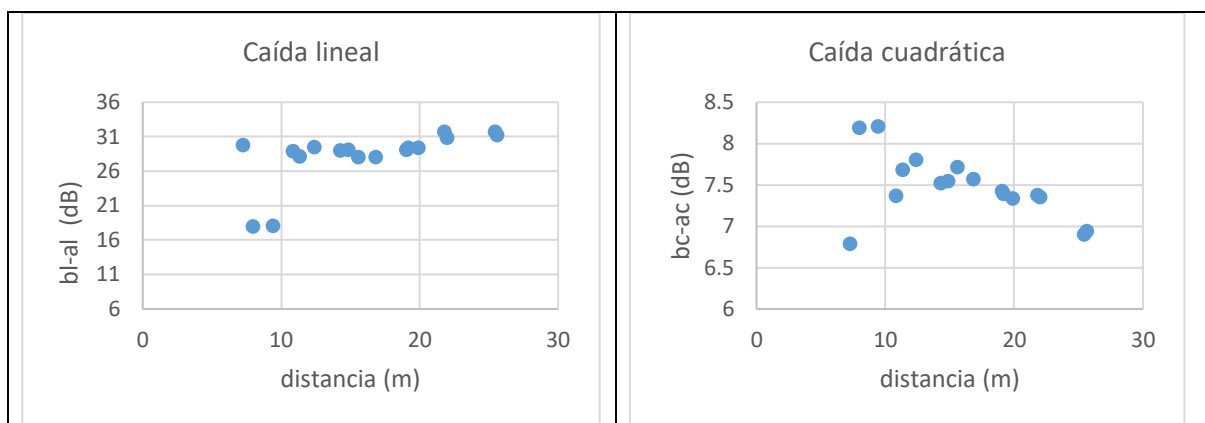


Figura 3. Nivel de caída en dB de las IRs en el modelo lineal y en el cuadrático.

Parametrizaciones de las FCs por frecuencias.

Aunque el objetivo de la FC siempre ha sido el estudio global de las IR, en esta sección analizamos los parámetros de los calculamos las FCs por frecuencias de la sala estudiada, el Auditorio de Torrent. En la siguiente tabla presentamos los valores del parámetro temporal del modelo exponencial por frecuencias en función de la distancia del punto de medida a la fuente.

Tabla 2. Valores del parámetro b, del modelo exponencial tanto para una consideración de la IR global como por frecuencias, para las IRs recogidas a distintas distancias de la fuente (d).

d(m)	b _e -global	b _e -125	b _e -250	b _e -500	b _e -1000	b _e -2000	b _e -4000
7,2	56	1832	514	284	93	33	29
8,0	32	2414	702	309	140	85	48
9,4	33	3701	607	464	200	97	67
10,9	83	5231	1288	460	162	51	44
11,3	135	6611	998	514	175	309	346
12,4	68	5639	1860	526	212	143	123
14,3	118	6715	2199	710	214	94	166
14,9	190	6698	2157	678	217	404	382
15,6	105	4235	2223	842	251	266	873
16,8	124	6933	2099	1229	353	226	237
19,1	199	3604	3116	1276	340	158	279
19,2	327	3673	4257	1341	299	580	700
19,9	334	3186	3840	1324	397	565	982
21,8	418	6693	1948	1574	353	295	577
22,0	463	2368	2683	1585	380	476	928
25,5	756	3783	2360	1899	562	598	1367
25,6	529	4844	3388	2532	604	1047	1715

En las gráficas correspondientes de los valores del parámetro b_e para las frecuencias analizadas (Fig. 4) se aprecia que este parámetro tiene un diferente comportamiento en función de la frecuencia ya que

mientras que para frecuencias medias y altas, este parámetro sigue una función exponencial creciente con la distancia a la fuente, con valores de la r^2 de Pearson elevados (indicando la bondad del ajuste), para frecuencias bajas este parámetro no parece tener un comportamiento definido.

Por otro lado el comportamiento global de este parámetro ($y=12,668e^{0,1564x}$ $R^2 = 0,8927$) es similar al que corresponde a las frecuencias altas de 2000 y 4000 Hz

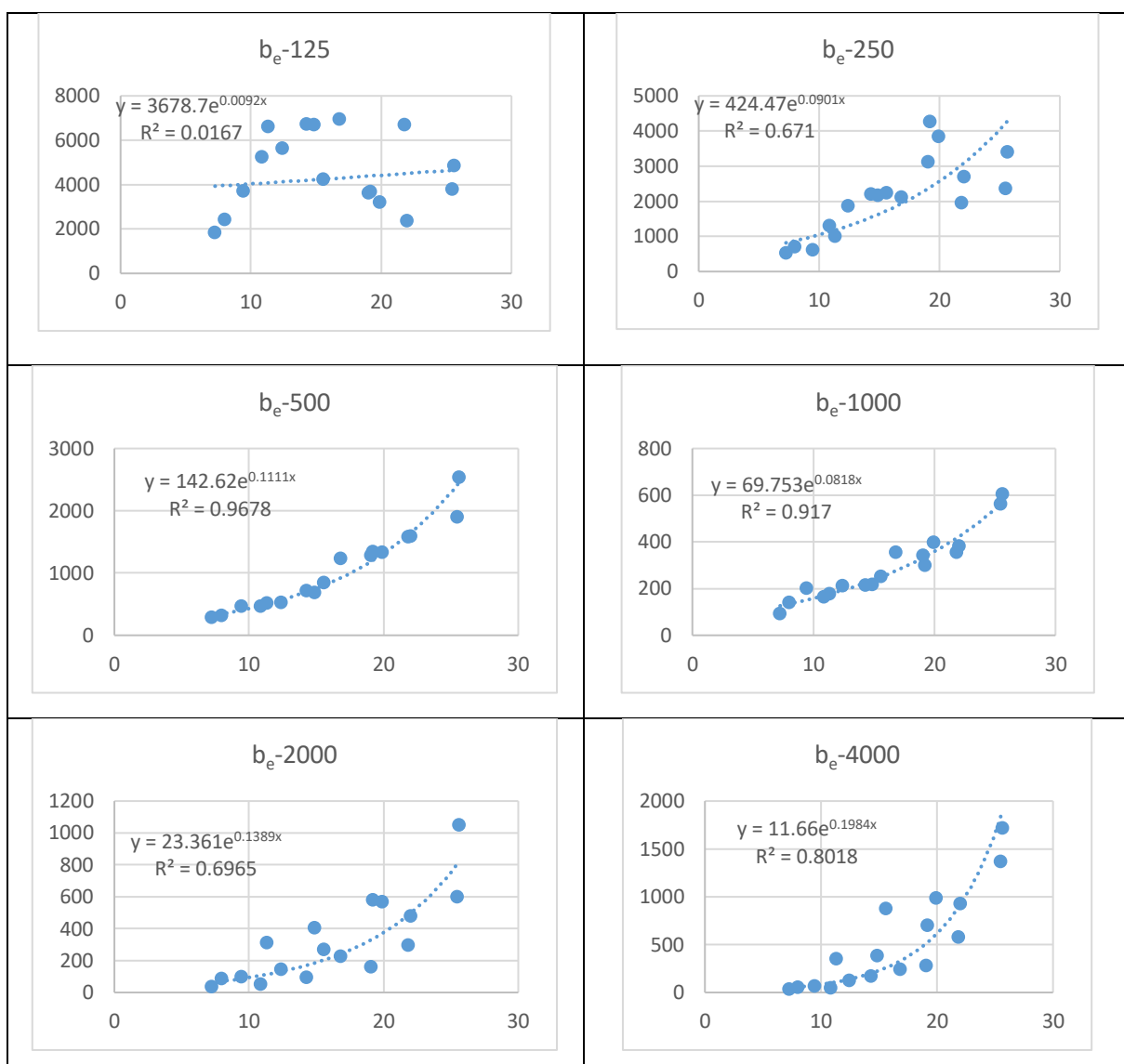


Figura 4. Valores del parámetro correspondiente al modelo de decaimiento exponencial de la IR en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia y globalmente

Respecto a la caída lineal de la IR que se vio en el estudio global que era aproximadamente siempre de 30 dB, la Tabla 3, muestra que las caídas promedio en el modelo lineal para todas las frecuencias es aproximadamente también 30 dB y la mayor variación se observa para 2000 Hz.

Tabla 3. Caída promedio, desviación típica y coeficiente de variación (CV) de las IRs según el modelo lineal, en función de la frecuencias.

Frecuencia (Hz)	Promedio (dB)	Desviación (dB)	CV (%)
125	29,8	0,9	3%
250	29,5	1,4	5%
500	31,6	1,8	6%
1000	29,7	1,0	3%
2000	29,3	3,4	12%
4000	31,2	2,1	7%

Los tiempos de caída del modelo lineal son prácticamente iguales al parámetro del modelo exponencial. En la siguiente Tabla 4, se muestra la diferencia promedio en valor absoluto del parámetro b_e del modelo exponencial y el parámetro c_l del modelo lineal.

Tabla 4. Error absoluto medio entre el parámetro b_e y c_l .

Frecuencia (Hz)	$b_e - c_l$
125	4
250	2
500	1
1000	1
2000	1
4000	1

Podemos por tanto concluir que, en la sala analizada, tanto globalmente como por frecuencias, el modelo lineal que se obtiene corresponde a una caída de 30 dB, valor similar al que proporciona el modelo exponencial como parámetro de decaimiento. Dicho parámetro varía con la distancia a la fuente de forma directa.

Si se realiza la comparación entre el modelo exponencial y el modelo cuadrático por frecuencias, obtenemos resultados muy diferentes según la frecuencia. En primer lugar el parámetro exponencial b_e que era bastante similar a c_c a nivel global, para 125 Hz los puntos analizados muestran una relación lineal entre ambos parámetros pero con un comportamiento claramente diferenciado en dos grupos (Figura 5). Por un lado, hay unos puntos para los cuales la caída de nivel cuadrática es de unos 6 dB, pero aparecen también otro grupo de medidas en los que c_c muestra una dependencia lineal con b_e , de razón 1.5 veces b_e . En tal caso el nivel de decaimiento cuadrático está alrededor de 60 dB; a excepción de dos puntos que parecen mostrar una transición entre los dos grupos observados (Figura 5). Para 250 Hz ocurre algo similar. Tenemos un grupo en los que c_c es lineal próximo a b_e con una caída de 6 dB. Y otro grupo con un factor de 1.5 veces b_e , pero en esta ocasión en la caída se pueden distinguir algunos puntos en los que corresponde a unos 30 dB y otros a unos 60 dB (Figura 5).

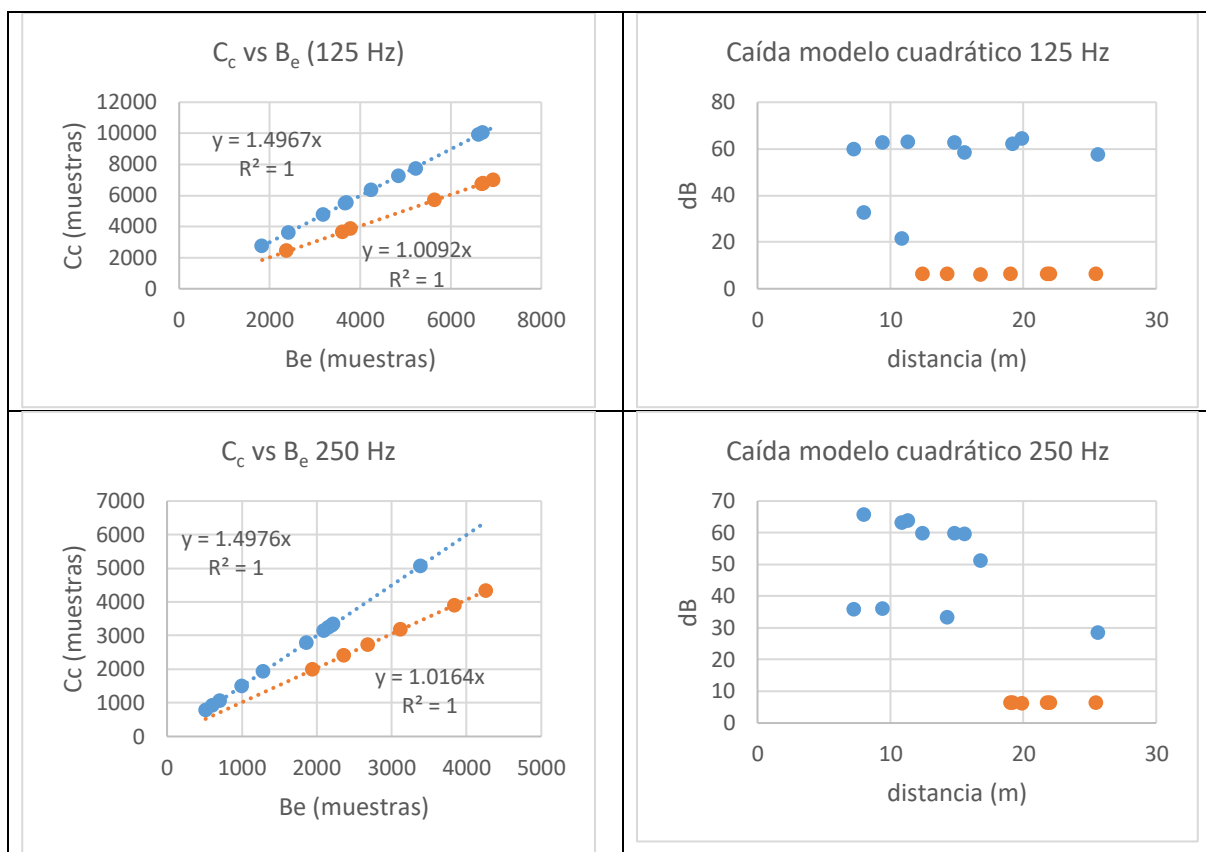
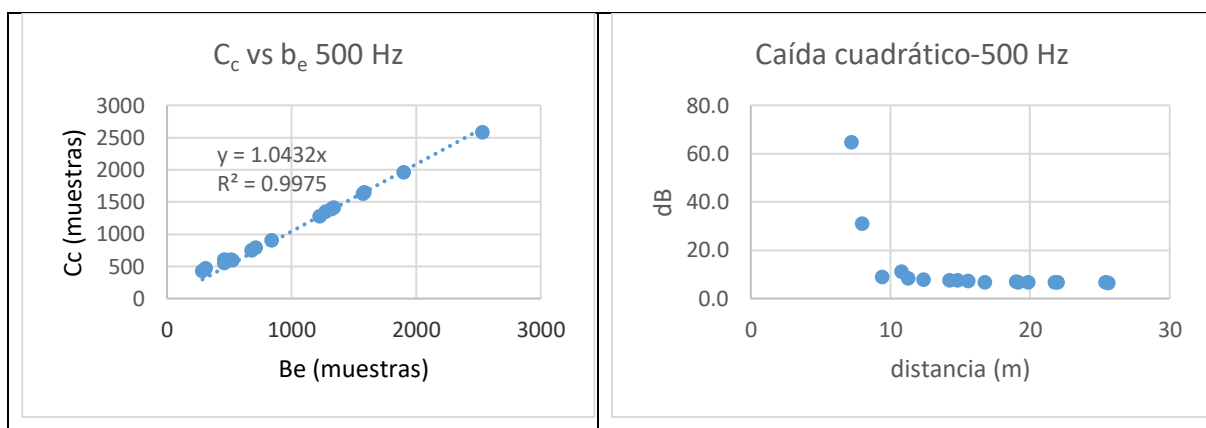


Figura 5. Valores de c_c en función de b_e y caída de la IR según el modelo cuadrático en función de la distancia, para las frecuencias indicadas 125 Hz y 250 Hz

Para 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz el comportamiento es diferente. Para estas frecuencias existe una única relación lineal entre c_c y b_e . Y la caída del modelo parece depender ligeramente de la distancia. (Fig 6).



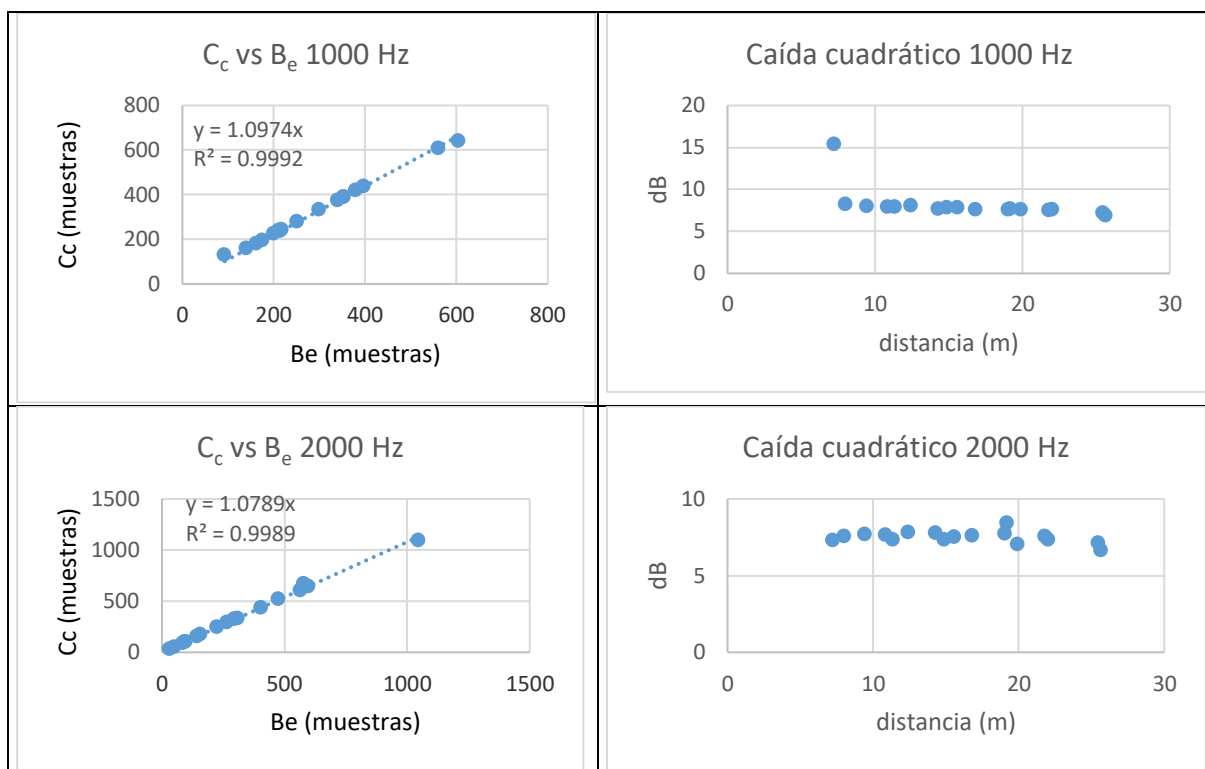


Figura 6. Valores de C_c en función de B_e y caída de la IR según el modelo cuadrático en función de la distancia, para las frecuencias indicadas 500, 1000 y 2000Hz

Para 4000 Hz los resultados son menos claros (Figura 7). Según lo obtenido en las frecuencias anteriores, proponemos la siguiente interpretación de los resultados. En esta ocasión hay tres comportamientos. Por un lado tenemos un grupo de datos en los que c_c es aproximadamente $1.1 \cdot b_e$. Para ese grupo la caída del modelo es de unos 8 dB (7% de variación). El siguiente grupo c_c es aproximadamente 1.3 veces b_e . Para ese grupo de datos la caída es de unos 20 dB (17% de variación). El tercer grupo con un c_c aproximadamente 1.5 veces b_e , presentaría una caída dependiente de la distancia.

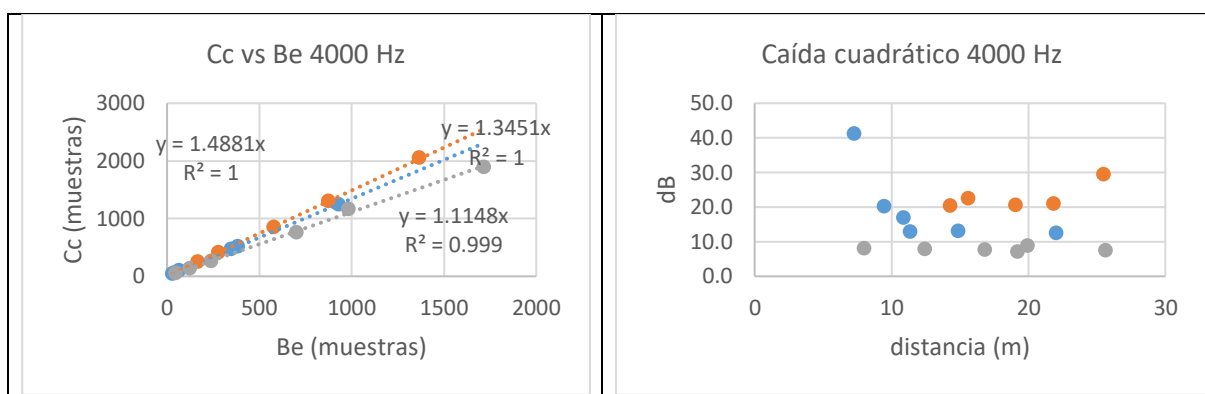


Figura 7. Valores de C_c en función de B_e y caída de la IR según el modelo cuadrático en función de la distancia, para la frecuencia de 4000Hz

El ajuste del modelo cuadrático por frecuencias nos muestra que el comportamiento del modelo depende mucho de la frecuencia analizada. Además vemos que aparecen grupos de decaimiento diferentes para

frecuencias bajas y para 4000 Hz. Los resultados para las frecuencia media 500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz sugieren que el parámetro c_e es lineal con b_e y que la caída del modelo depende de la distancia de tal manera que para puntos próximos a la fuente hay una caída amplia, pero que a medida que nos alejamos de la fuente se llega a un nivel de unos 7 u 8 dB.

Correlaciones con otros parámetros acústicos.

En esta sección vamos a estudiar las correlaciones entre los parámetros de los modelos estudiados y los parámetros acústicos habituales. La Tabla 5 presenta las correlaciones más importantes obtenidas para el parámetro b_e calculado sobre la IR global.

Tabla 5. Correlaciones significativas (p-value<0,05) entre los parámetros indicados y el parámetro del modelo exponencial b_e -global (p-value=0 equivale a <0,00001)

Parámetro	b_e -global	p-value
G-1000	-0,6175	0,0083
EDT250	-0,6835	0,0025
EDT500	-0,658	0,0041
EDT1000	-0,7906	0,0002
EDT2000	-0,8837	0
EDT4000	-0,9057	0

Como vemos el parámetro del modelo exponencial aplicado a la IR global muestra correlaciones importantes con el EDT para todas las frecuencias menos la de 125 Hz. A medida que aumenta la frecuencia la correlación es mayor. Cabe destacar la excelente correlación de EDT4000 vs b_e global.

La Tabla 6 muestra las relaciones estadísticas significativas del EDT con el b_e por frecuencias.

Tabla 6. Correlaciones significativas (p-value<0,05) entre los parámetros indicados y el parámetro del modelo exponencial b_e , en función de las frecuencias consideradas. (p-value=0 equivale a <0,00001)

Parámetro	b_e -500	b_e -1000	b_e -2000	b_e -4000
EDT250		-0,6129		-0,6105
p-value		0,0089		0,0092
EDT500	-0,6404			
p-value	0,0056			
EDT1000	-0,7507	-0,8008	-0,6796	-0,7746
p-value	0,0005	0,0001	0,0027	0,0003
EDT2000	-0,8169	-0,8173	-0,736	-0,7996
p-value	0,0001	0,0001	0,0008	0,0001
EDT4000	-0,8541	-0,9036	-0,7496	-0,8438
p-value	0	0	0,0005	0

Se puede, por tanto, afirmar que para frecuencias medias y altas hay relación estadística entre los parámetros temporales del modelo exponencial y el correspondiente EDT por frecuencias. No obstante, por economía de cálculos, consideramos que el interés del modelo exponencial de la FC es proporcionar un parámetro similar al EDT que nos permitiría, globalmente, establecer un nuevo parámetro que podríamos llamar *EDT característico*.

Como se ha señalado en las secciones anteriores analizando los resultados de los modelos, el otro parámetro que tiene interés es la caída energética del modelo cuadrático. En este caso, para el modelo aplicado a la IR global se obtiene correlaciones con la claridad musical (Tabla7), así mismo también se obtienen con otros parámetros energéticos para frecuencias medias (Tabla 7).

Tabla 7. Correlaciones significativas (p-value<0,05) entre los parámetros indicados y el parámetro del modelo cuadrático c_c en función de las frecuencias consideradas y el global.

Parámetro	Cc(dB)-500	Cc(dB)-1000	Cc global
C80-1000			-0,7237
p-value			0,001
C80-2000			-0,6519
p-value			0,0046
TC500	-0,6065		
p-value	0,0098		
TC2000	-0,6058		
p-value	0,01		
TC4000	-0,6318		
p-value	0,0065		
C50-250	0,603		
p-value	0,0104		
C50-500	0,7902	0,7141	
p-value	0,0002	0,0013	
C50-1000	0,6181		
p-value	0,0082		
C50-2000	0,6853	0,6238	
p-value	0,0024	0,0075	
C50-4000	0,6749	0,6222	
p-value	0,003	0,0076	

Como puede apreciarse, aparecen relaciones estadísticas significativas con el tiempo central y la claridad de palabra para diversas frecuencias. Los coeficientes de correlación no son muy grandes con lo cual solo podemos decir que el modelo cuadrático produce caídas de nivel que, en el caso de aplicarlo globalmente correlaciona con la claridad musical para frecuencias medias y que, al analizarlo por frecuencias, en las frecuencias medias correlaciona con el tiempo central y la claridad de palabra.

Conclusiones

El modelo exponencial proporciona un parámetro que depende de la distancia incluso por frecuencias aunque a 125 y 4000 Hz no parece seguir ninguna relación funcional. Este parámetro correlaciona significativamente con el EDT. Este hecho nos permite sugerir adoptar un nuevo parámetro que denominaríamos EDT característico. La utilidad que desde un principio hemos pensado para la FC, herramienta de calibración de modelos acústicos-geométricos, podría hacerse mediante el ajuste de este parámetro.

El modelo lineal se muestra equivalente a una caída de unos 30 dB en el tiempo que se obtiene con el modelo exponencial. Por tanto, nos permite interpretar el EDT característico como el tiempo en que una IR normalizada global decae linealmente 30 dB.

Para el modelo cuadrático los resultados son más variables. Globalmente el tiempo de decaimiento coincide con el exponencial, pero la caída es menor y depende ligeramente de la distancia. Cuando analizamos por frecuencia, se observan grupos de decaimiento diferentes para bajas frecuencias y 4000 Hz. Para frecuencias intermedias el tiempo cuadrático es proporcional al exponencial y la caída de nivel depende con la distancia.

Las correlaciones con parámetros de salas nos muestran que la caída cuadrática de la IR global está relacionada con la claridad musical a frecuencias medias. Mientras que por frecuencias la caída del modelo cuadrático para frecuencias medias está relacionado con los parámetros acústicos energéticos relacionados con la percepción del habla.

Agradecimientos

Este estudio ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través de los proyectos de investigación BIA2012-36896 y BIA2016-76957-C3-3-R. Asimismo agradecemos al Auditori de Torrent, Valencia, su colaboración en el proceso de medida.

Bibliografía

1. Cerdá, S. Segura, J. Planells, A. Cibrián, R. Gigante, J.A. Giménez, A. Función característica de una sala: Un primer estudio. 48º Congreso Español de Acústica -TECNIACÚSTICA® 2017. A Coruña.
2. Cerdá-Jordá, Salvador; Giménez-Pérez, Alicia; Cibrián, Rosa; Segura-García, Jaume; Girón, Sara. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise19, Madrid, Spain, pages 4999-5997, pp. 5889-5898(10)
3. Salvador Cerdá Jordá, Rosa Cibrián Ortiz de Anda Jaume Segura García, Alicia Giménez Pérez. Dependencia de la función característica de una sala con la distancia a la fuente sonora. XI Congreso Iberoamericano de Acústica, X Congreso Ibérico de Acústica y 49º Congreso Español de Acústica - Tecniacustica'18-. Cádiz, octubre 2018