

INFLUENCIA DE LA CLARIDAD SONORA (C_{80}) DE SALAS DE CONCIERTO EN LA PERCEPCIÓN ACÚSTICA

PACS: 43.55.Hy

Martín Cruzado, Carlos G.¹; Witew, Ingo B.²; Vorländer, Michael²; Luna Ramírez, Salvador¹

(1) Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Málaga.

E.T.S.I. Telecomunicación. Campus Universitario de Teatinos, s/n

29071 Málaga, España.

Tel: +34 952 137 186. Fax: +34 952 132 027

E-mail: sluna@ic.uma.es

(2) Institute of Technical Acoustics, RWTH Aachen University

Templergraben 55

52066 Aachen, Alemania

Tel: +49 (0) 241 809 7994. Fax: +49 (0) 241 809 2214

E-mail: Ingo.Witew@akustik.rwth-aachen.de

ABSTRACT

The purpose of this study is to clarify the influence of the sound clarity in concert halls (C_{80}) on Listener Envelopment (LEV). For this aim, several loudspeakers are placed in an anechoic chamber to reproduce different synthetic sound fields. Using this system, three psychoacoustic experiments are carried out. The results are analyzed with psychometric methods. The main result of these experiments is the difficulty to perceive LEV if sound clarity is low.

RESUMEN

En este trabajo se estudia la influencia de la claridad sonora de una sala de conciertos (C_{80}) en la denominada percepción del Entorno del Oyente (Listener Envelopment, LEV). Con este fin, se implementa un sistema de reproducción de campos sonoros sintéticos usando diferentes altavoces colocados en una cámara anecoica. Empleando esta técnica, se llevan a cabo varios experimentos psicoacústicos, en los que se reproducen campos con diferentes características. Los resultados se analizan mediante métodos psicométricos. Como principal consecuencia, destaca la dificultad en la apreciación del LEV al disminuir la claridad sonora.

1. INTRODUCCIÓN

La percepción sonora espacial en salas de concierto es un aspecto peculiar de la audición espacial humana. Esta audición espacial está dominada por la localización, que es la habilidad para reconocer la posición en la que se produce un evento auditivo. Esta habilidad se hace mayor si no existen reflexiones y tan sólo el sonido directo alcanza al oyente. Esto no es lo que sucede en una sala de conciertos, donde las reflexiones también llegan al oyente. Estas reflexiones provienen de distintas direcciones, con diferentes retardos y coloreadas. Todas estas componentes conforman la percepción espacial en una sala de conciertos. De esta manera, la unión del sonido directo y todas estas componentes producen una nueva percepción, que puede resultar más agradable, si la sala ha sido diseñada adecuadamente.

Desde 1950, se han realizado múltiples estudios referentes a la percepción sonora espacial en una sala de conciertos. En ellos, se definieron diferentes parámetros subjetivos que intentaban describir la percepción en una sala. Pero no fue hasta 1989, cuando Morimoto y Makewa [1] introdujeron unos nuevos conceptos en la percepción espacial, que fueron ampliamente

aceptados. Señalaron que la audición espacial en una sala, denominado por ellos como percepción espacial auditiva (Auditory Spatial Impression, ASI), está compuesta, al menos, por dos aspectos: anchura aparente de la fuente (Auditory Source Width, ASW) y entorno del oyente (Listener Envelopment, LEV). El ASW es definido como “impresión de que el sonido emana de una fuente más ancha de lo que visualmente es”. Mientras, el LEV se define como “percepción de que el sonido reverberante alcanza al oyente desde todas las direcciones”.

Posteriores estudios [2] han determinado que la percepción del ASW está directamente influida por las reflexiones tempranas. En cuanto al LEV, la mayoría de las investigaciones [3] han indicado que está principalmente influido por las reflexiones laterales tardías (descrito por la medida LG). Sin embargo, también se ha probado que una adecuada distribución temporal y espacial de la energía resulta importante [4,5]. Por último, un aspecto que no se ha aclarado completamente [6] es el papel que juega el balance entre energía temprana y tardía, o claridad sonora (C_{80}), en el LEV. Este punto es el que se pretende aclarar con el presente trabajo.

2. MÉTODO

Para realizar este estudio, se llevan a cabo varios experimentos psicoacústicos en los que se muestran a los oyentes campos sonoros con diferentes características. Para ello, se implementa un sistema que permita reproducir estos campos sonoros. Para caracterizar los campos sonoros, se toma un parámetro que describa el nivel sonoro, otro para la descripción de la distribución espacial de la energía (desde qué direcciones provienen las reflexiones) y otro para la distribución temporal de la energía (en qué momento llegan las reflexiones). Para ello, se elige un parámetro de cada tipo de los que recoge la norma ISO 3382 [7]. Se debe considerar que en las definiciones que se dan a continuación no se tiene en cuenta la medida de referencia de la fuente ya que la reproducción del campo sonoro se realiza artificialmente.

Para el nivel sonoro, se selecciona la intensidad sonora (Sound Strength), definida como:

$$G = 10 \log_{10} \left[\int_0^{\infty} p^2(t) \delta t \right] \text{ [dB] (Ec. 1)}$$

donde $p(t)$ es la presión sonora instantánea de la respuesta al impulso medida en la sala con un micrófono omnidireccional.

Para la descripción de la distribución espacial de la energía, se toma el nivel relativo de energía sonora lateral tardía (relative level of the late arriving lateral sound energy) que se define como:

$$LG = 10 \log_{10} \left[\int_{0.08s}^{\infty} p_L^2(t) \delta t \right] \text{ [dB] (Ec. 2)}$$

donde $p_L(t)$ es la presión sonora instantánea de la respuesta al impulso medida con un micrófono con patrón de directividad en forma de ocho.

Por último, la distribución temporal de la energía se describe mediante la claridad:

$$C_{80} = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_0^{0.08s} p^2(t) \delta t}{\int_{0.08s}^{\infty} p^2(t) \delta t} \right] \text{ [dB] (Ec. 3)}$$

Para la reproducción, se opta por el método de campos sonoros sintéticos. De esta manera, se usa una cámara anecoica en la que se sitúan ocho altavoces formando un círculo de 2 metros de radio alrededor de la posición del oyente. Los altavoces están repartidos cada 45° y cada uno de ellos reproduce una o más componentes de la respuesta al impulso del campo sonoro. En la figura 1, se muestra la respuesta al impulso que se reproduce a través de los altavoces. En ella, se puede apreciar en primer lugar el sonido directo, reproducido por el altavoz frontal. A continuación, aparecen las reflexiones tempranas reproducidas por los altavoces L_1 y R_1 , que

llegan con retardos inferiores a 80 ms. y con diferente atenuación. Por último, las reverberaciones llegan al oyente desde todas las direcciones. Para obtener la reverberación, la señal original es filtrada, con una respuesta al impulso consistente en una exponencial decreciente de 2 s. multiplicada por un ruido blanco.

Para variar las características del campo sonoro creado tan sólo se modifica el nivel sonoro de cada una de las componentes. De esta manera, es posible obtener, de una manera sencilla, un campo sonoro con unas determinadas características de G , LG y C_{80} . La respuesta al impulso es siempre la misma tan sólo variando el nivel de la señal que se envía a cada altavoz.

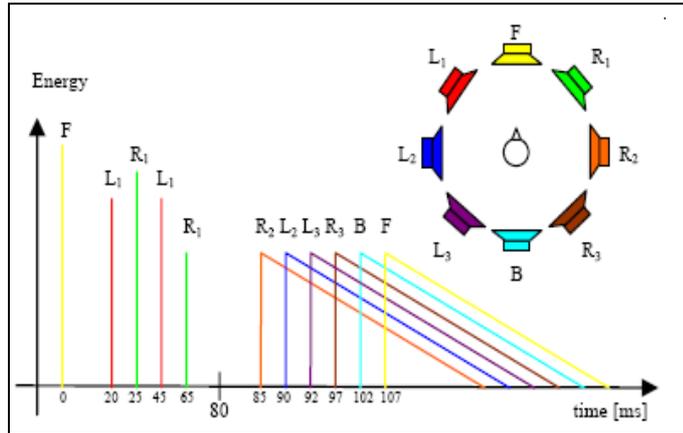


Figura 1. Esquema del campo sonoro sintético

3. EXPERIMENTO 1

Mediante este primer experimento se pretende conocer el umbral diferencial (Difference Limen, DL) de percepción de la claridad sonora, es decir, la sensibilidad de los oyentes a la variación de la claridad. Para ello, se reproducen diferentes pares de campos sonoros con un mismo valor de G y LG , pero con distinto valor de claridad. Los oyentes deben contestar si perciben los dos campos sonoros como diferentes o iguales.

Uno de los campos del par, el de referencia, se mantiene con un valor constante de claridad y se varía la claridad del otro campo y, por tanto, la diferencia de claridad entre el par de estímulos. La pregunta planteada a los oyentes es “¿existe diferencia entre el par de estímulos?”. Por tanto, cuando la diferencia de claridad sea mayor, existirá un mayor número de oyentes que contesten que perciban esta diferencia.

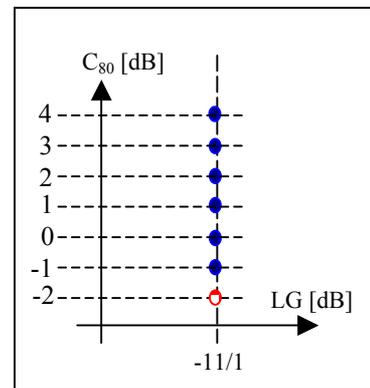


Figura 2. Campos sonoros del experimento 1. En rojo, campo de referencia.

El valor de claridad del campo de referencia es -2 dB. El otro componente del par toma valores de claridad desde -2 a 4 dB. El experimento se realiza para dos valores distintos de LG (-11 y 1 dB), sin embargo, los resultados se muestran conjuntamente.

Tanto el presente experimento como los siguientes se realizan usando como estímulo musical dos señales distintas. La primera es más acelerada, es decir, con una articulación mayor, mientras que la segunda presenta una menor articulación. De esta manera, será posible observar si las características de la pieza musical influyen en los resultados. Las dos piezas musicales usadas proceden de la obertura de la ópera “Ruslan y Ludmilla” del compositor Mihail Ivanovich Glinka y ambas tienen una duración aproximada de 15 segundos.

Este primer experimento se lleva a cabo 15 veces para las dos señales sonoras, tomando parte en él 11 personas distintas. En la tabla 1, se muestran los resultados.

ΔC_{80} [dB]	0	1	2	3	4	5	6
Nº total de respuestas	15	15	15	15	15	15	15
Nº Respuestas: “campos distinguibles” (Música1 / Música2)	1/2	4/5	9/6	11/8	13/10	14/12	15/14

Tabla 1. Resultados del experimento 1.

Partiendo de estos resultados, se traza una función psicométrica que describa la percepción al aumentar la diferencia entre el par de estímulos. De esta manera, la proporción de respuestas “estímulos diferenciables” crece al incrementarse la diferencia entre los estímulos. A partir de

esta función psicométrica, se define el umbral diferencial como el valor del estímulo en el que se alcanza el punto medio de la proporción. En este caso, 0.5. La definición de las funciones psicométrica y la comprobación de su validez se llevan a cabo usando el método descrito por Wichman y Hill [8,9]. En la figura 3, se muestran las funciones psicométricas obtenidas.

El umbral diferencial para la claridad obtenido para la primera pieza musical es de 1.98 dB, mientras que para la segunda pieza alcanza el valor de 2.68 dB. Estos resultados concuerdan con otros experimentos realizados anteriormente en los que se determinó que el umbral diferencial para la claridad se sitúa entre 2.5 y 3 dB [10]. Por otro lado, estos resultados sugieren la influencia del tipo de señal sonora usada en el valor del umbral diferencial, obteniéndose un valor menor del umbral con una música más acelerada, mayor articulación. Es, por tanto, más sencillo percibir cambios en la claridad de campos sonoro con una pieza más articulada.

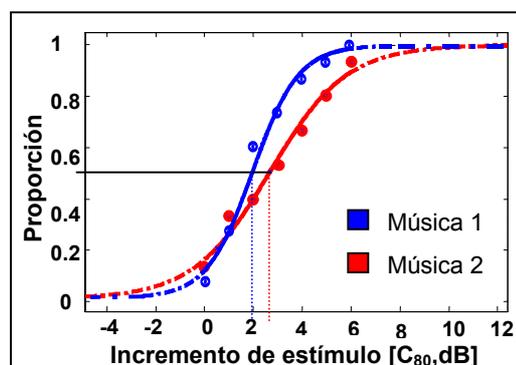


Figura 3. Resultados del experimento 2.

4. EXPERIMENTO 2

Mediante este experimento, se pretende conocer qué combinación de C₈₀ y LG de un campo sonoro produce una mayor percepción del LEV. Se reproducen 25 campos sonoros diferentes, fruto de la combinación de 5 valores diferentes de C₈₀ (desde -5 a 7 dB) y 5 de LG (desde -11 a 1 dB), separados cada 3 dB. Este rango cubre los valores típicos que se miden una sala de concierto, según se indica en la norma ISO 3382 [7]. El valor de G se mantiene constante y el campo sonoro que se usa como referencia es el situado en el centro (C₈₀: 1 dB; LG: -5 dB).

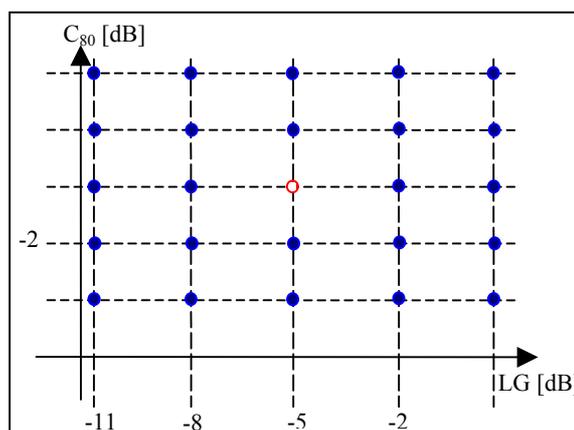


Figura 4. Campos sonoros del experimento 2.

En este experimento, se usan las mismas piezas musicales indicadas anteriormente. La pregunta que se plantea a los oyentes es “¿cuál de los dos estímulos del par es percibido con mayor LEV?”. Este experimento se lleva a cabo 15 veces para las dos señales sonoras, tomando parte 18 personas. En la figura 5, se muestran los resultados.

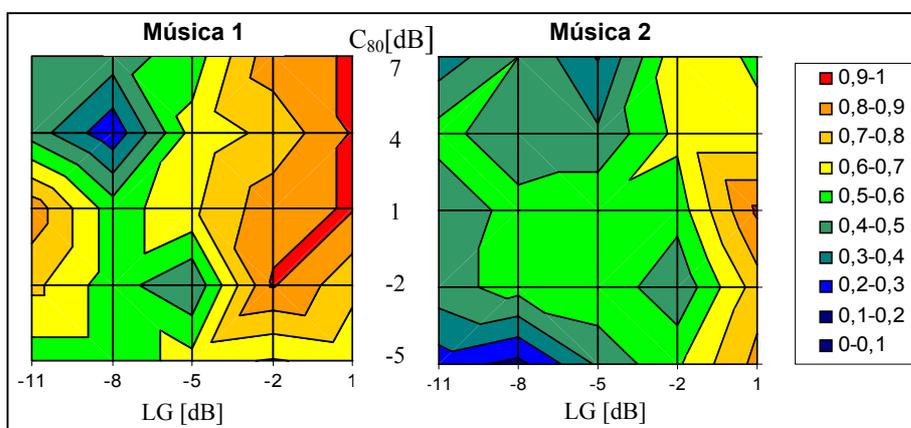


Figura 5. Resultados del experimento 2.

En ambos diagramas, es posible apreciar que las zonas en las que el LEV percibido es mayor están situadas, como era de esperar, en los valores más altos de LG, ya que estos valores representan que el sonido lateral

es mayor. Por otro lado, se puede observar que, a simple vista, el valor de claridad no afecta directamente en la proporción de respuestas obtenidas. Por tanto, con estos resultados, no se

puede encontrar una regla lineal que relacione la claridad y el LEV. Sin embargo, en el caso de la música 1 sí se aprecia que al ser menor la claridad, no se alcanzan valores tan altos de proporción de respuestas, a pesar de que el LG sea máximo. Para estudiar más profundamente la relación del C_{80} y el LEV se realiza el experimento 3.

5. EXPERIMENTO 3

Asumiendo la relación directa entre el LG y el LEV, en este experimento, se pretende obtener el umbral diferencial para el LG. Se reproducen 5 campos sonoros diferentes, con valores de LG desde -11 a 1 dB separados cada 3 dB. El umbral diferencial se calcula en dos situaciones extremas de la claridad (-5 y 7 dB) y manteniendo constante el valor de G. De esta manera, será posible conocer si la claridad del campo sonoro influye en la percepción del LEV al aumentar el LG.

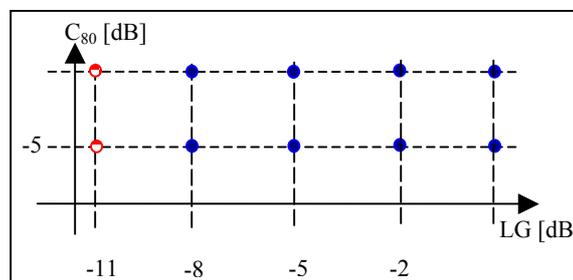


Figura 6. Campos sonoros del experimento 2.

El experimento se realiza para las dos piezas musicales y la pregunta que se plantea es: ¿cuál de los dos campos sonoros es percibido con mayor LEV?”. Se ejecutan 14 realizaciones del experimento, usando 12 personas. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Δ LG [dB]		0	3	6	9	12
Música 1	C_{80} :7dB	6/14	8/14	10/14	9/13	13/14
	C_{80} :-5dB	7/14	8/14	8/14	8/14	6/14
Música 2	C_{80} :7dB	8/14	9/14	9/13	11/14	11/14
	C_{80} :-5dB	7/14	9/14	9/14	10/14	10/14

Tabla 2. Resultados del experimento 3.

(nº de respuestas afirmativas/ nº total de respuestas).

debido a la pregunta que se plantea ya que cuando los dos estímulos son iguales los oyentes no disponen de información y responderán aleatoriamente por lo que se obtiene una proporción en torno a 0.5. Las funciones psicométricas obtenidas se muestran en la figura 7.

Para la música 1, el umbral diferencial en el caso de mayor claridad es de 8.47 dB. Mientras tanto, para la claridad de -5 dB, los resultados obtenidos son inconsistentes ya que al aumentar el LG, el LEV percibido no aumenta. De esta manera, el umbral obtenido es de 18 dB, aunque

la función que se dibuja carece de sentido, por lo que se puede entender, que los individuos no son capaces de percibir cambios en el LEV y que las respuestas dadas son fruto del azar y, por tanto, se encuentran en torno a 0.5.

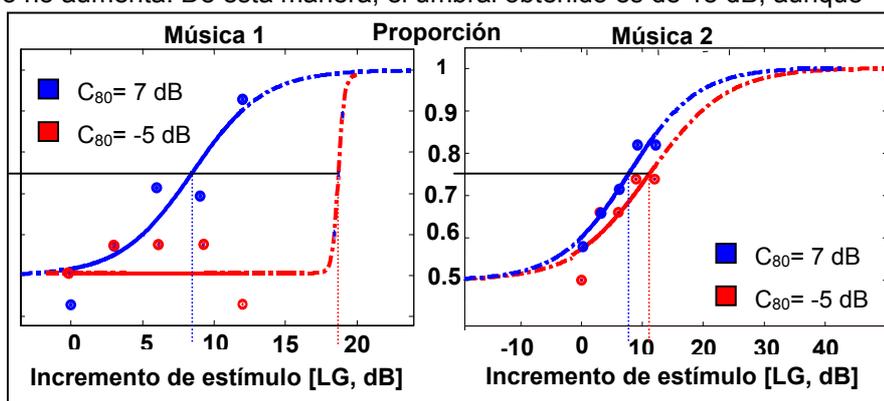


Figura 7. Resultados del experimento 3.

En el caso de la música 2, el umbral que se alcanza para la mayor claridad es de 7.6 dB. Para el valor de claridad mínimo, se obtiene un umbral de 11.12 dB. En este caso, las funciones obtenidas sí tienen sentido. Sin embargo, el umbral es mayor en el caso de la menor claridad.

Estos resultados parecen indicar que, para campos sonoros con claridad muy baja (mucho reverberación), se hace muy difícil, o imposible, percibir variaciones en el LEV. De esta

manera, se podría deducir que la claridad sí influye sobre la percepción del LEV ya que, al disminuir la claridad, aumenta la dificultad para percibir cambios en dicho LEV.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo, se han estudiado varios aspectos de la audición en salas de conciertos. En primer lugar, se ha intentado establecer el umbral diferencial de la claridad. El valor obtenido se sitúa entre 2 y 2.7 dB, siendo estos valores congruentes con resultados obtenidos en estudios anteriores [10]. También se ha podido comprobar la importancia de la señal musical usada como excitación. De esta manera, el umbral diferencial para la claridad es menor para una pieza musical con mayor articulación, lo que indica una mayor sensibilidad.

Mediante el segundo experimento, se ha podido confirmar la relación directa que existe entre el valor de LG del campo sonoro y el LEV percibido por los oyentes. En cuanto a la claridad, no es posible obtener una relación de proporcionalidad entre el LEV y la claridad.

Por último, un estudio más detallado de la influencia de la claridad, ha mostrado que para valores bajos de claridad se hace más complicado, e incluso imposible, percibir cambios en el LEV. De esta manera, es posible sugerir que al disminuir la claridad, se hace más difícil percibir variaciones en el LEV del campo sonoro.

En cuanto a la validez de los resultados y las funciones psicométricas obtenidas, se han realizado los pasos descritos en el método desarrollado por Wichman y Hill [8,9]. Siguiendo este método, se puede afirmar que la probabilidad de que los resultados estén en concordancia con las funciones psicométricas es suficientemente alta (entre un 65 y un 95 %), exceptuando los resultados en el experimento 3 para la música 1 y el valor de claridad de -5 dB.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Morimoto y Z. Maekawa, "Auditory spaciousness and envelopment". Proc. 13th International Congress on Acoustics, Belgrado, Vol. 2, pp. 215-218 (1989).
- [2] J. S. Bradley y G. A. Soulodre, "Objective measures of listeners envelopment", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 98, pp. 2590-2597 (1995).
- [3] G. Soulodre, M. Lavole y S. Norcross, "Objective measures of listener envelopment in multichannel surround systems", J. Audio Eng. Soc., Vol. 51, pp. 826-839 (2003).
- [4] G. Soulodre, "New objective measures of listener envelopment", ICA 2004, Vol. IV, 2465-2468 (2004).
- [5] T. Hanyu, K. Sekiguchi y Y. Kouzimi, "Effects of early reflections on listener envelopment", Forum Acusticum Sevilla (2002).
- [6] M. Morimoto, K. Iida y K. Sakagami, "The role of reflections from behind the listener in spatial impression", Applied Acoustics, Vol. 62, pp. 109-124 (2001).
- [7] ISO 3382, "Acoustics – Measurement of the reverberation time of room with reference to other acoustical parameters", International Standard Organization 3382 (1997).
- [8] F. Wichman y J. Hill, "The psychometric function: I. Fitting, sampling and goodness of fit", Perception & Psychophysics, Vol. 63, pp. 1293-1313 (2001).
- [9] F. Wichman y J. Hill, "The psychometric function: II. Bootstrap-based confidence intervals and sampling", Perception & Psychophysics, Vol. 63, pp. 1314-1329 (2001).
- [10] R. Höhne y G. Schroth, "Zur Wahrnehmbarkeit von Deutlichkeits- und Durchsichtigkeitunterschieden in Zuhörersälen", Acustica, Vol. 81, pp. 309-319 (1995).