

Influencia del estímulo musical sobre la percepción de la claridad C_{80}



María Larrosa¹, Antonio Pedrero², Daniel de la Prida³

¹ Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

² Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Juan de Herrera 4, 28040, Madrid, España.

³ Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

E-mail: m.larrosa@upm.es

PACS: 43.66.Lj

Premio Luis de Camoens 2020

Resumen

La claridad C_{80} ha sido ampliamente utilizada para la determinación de la claridad musical de recintos desde su definición en 1974. A pesar de lo extendido de su uso, no se ha investigado en profundidad que este índice tenga una buena correlación con la percepción subjetiva de la claridad para cualquier entorno acústico. En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos del análisis de regresión entre el C_{80} y la percepción subjetiva para distintos estímulos y recintos. De especial interés es determinar el efecto que el estímulo musical utilizado en la evaluación tiene sobre la caracterización acústica de los recintos. Para ello se ha realizado un *listening test* en el que han participado dieciocho sujetos musicalmente entrenados y en el que se han evaluado cinco estímulos musicales y dieciocho respuestas al impulso obtenidas mediante la simulación de tres recintos. Los resultados muestran que el estímulo musical constituye un factor significativo sobre la percepción que los oyentes tienen de la claridad de una sala.

Palabras clave: Acústica de salas, test psicoacústico, índices acústicos objetivos, claridad, C_{80} .

Abstract

The acoustic parameter C_{80} has been widely used in the determination of the musical clarity of a venue since its definition in 1974. Despite its extended use, an exhaustive research has not been conducted which can conclude whether this index has a good correlation with the subjective perception of the musical clarity for every acoustic venue. The present communication shows the analysis of regression between C_{80} and the subjective perception of the clarity for various musical stimuli and multiple venues. The main focus of the analysis is to determine the effect that the musical stimuli used in the evaluation has on the acoustic characterization of a venue. The information about the subjective perception of the clarity has been obtained from a listening test carried out by eighteen musically-trained participants. The stimuli used were a total of five musical pieces and eighteen impulse responses obtained through the simulation of three acoustic halls. The results show that the musical stimuli were a significant factor in the perception of the clarity of a hall.

Keywords: Room acoustics, listening test, objective acoustic indices, clarity, C_{80} .

1. Introducción

El interés por el estudio del comportamiento acústico de las salas se remonta a principios del siglo XX con la definición del primer descriptor acústico por parte de W. C. Sabine, el tiempo de reverberación [1]. En los siguientes años se realizaron un gran número de investigaciones con la intención de entender qué propiedades de los recintos hacían que se consideraran óptimos y así poder crear nuevos espacios sonoros mejor adaptados al tipo de actividad que se va a realizar en ellos de manera predominante (salas de conciertos, de conferencias, de

cine, etc.) y mejorar el comportamiento acústico de los ya existentes. Son especialmente relevantes las aportaciones realizadas por Leo L. Beranek, que basándose en estudios realizados en más de 100 salas definió un total de 25 parámetros, que él denominaba atributos, que definían los aspectos más importantes de la música interpretada en la acústica de un recinto cerrado [2].

El avance que en las últimas décadas han tenido otras tecnologías como la electrónica y la informática han permitido un gran progreso en el campo de la caracterización acústica de salas debido a las mejoras en los equipos de

captación y tratamiento de señales [3]. Este desarrollo tecnológico, junto con el creciente interés en la percepción subjetiva de la acústica de los recintos, han dado lugar a la definición de parámetros objetivos que sean capaces de cuantificar las cualidades acústicas de las salas mediante la realización de mediciones o estimaciones. Algunos de ellos, como el tiempo de reverberación inicial (EDT), la fuerza sonora (G) y el tiempo central (T_g), se consideran fieles descriptores de las características acústicas de los recintos, lo que ha llevado a la estandarización de sus métodos de cálculo en normas ISO. El índice objetivo de interés en esta investigación es la claridad C_{80} , definido por primera vez en 1974 por Abdel-Alim [4]. La norma UNE-EN ISO 3385-1:2010 define la claridad como "... la relación entre las energías acústicas precoces y tardías. Se puede calcular para un límite precoz de 50 ms o de 80 ms, dependiendo de si los resultados se refieren a las condiciones de las salas de conferencia o de conciertos, respectivamente, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{te} = 10 \log \frac{\int_0^{t_e} p^2(t) dt}{\int_{t_e}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ dB}'' \quad (1)$$

Este parámetro se considera representativo de la claridad musical de un recinto y se calcula como el promedio de valor obtenido para las octavas de 500 Hz y 1 kHz. Cuanto mayor sea el valor de este índice más sensación de claridad presentará la sala, ya que predominará el sonido directo con respecto a la reverberación.

En [5] Bradley realiza un estudio crítico sobre los errores existentes en los cálculos y la interpretación de los parámetros objetivos definidos en la norma ISO 3385-1:2010. Considera que no se han realizado suficientes investigaciones que determinen cómo utilizar adecuadamente los parámetros para obtener la mejor correlación posible con la percepción subjetiva. El mayor problema encontrado por Bradley para los parámetros de claridad es la inexistencia de estudios que determinen el mejor método con el que obtener un valor único, debido a que actualmente sólo se tienen en cuenta dos bandas de frecuencia y este parámetro varía considerablemente en función de la misma. A pesar de ello, debido a la falta de estudios subjetivos que den mayor información sobre el comportamiento de estos índices de claridad, Bradley los considera como los más adecuados para determinarla.

El método de abordar la relación existente entre los parámetros objetivos y la percepción subjetiva de los oyentes es mediante la realización de *listening test*. En la revisión de *listening test* realizada en [6] se ha podido observar que la mayoría de test realizados en relación con el C_{80} se basan en la determinación de su umbral diferencial (JND). En esta revisión se pudo observar que existen tres

características de los test de especial importancia: en primer lugar, el procedimiento para la realización del *listening test*, ya que en [7] se observó que diferentes procedimientos dan lugar a resultados distintos; en segundo lugar, la forma en la que se pregunta a los participantes y cómo estos interactúan con los diversos estímulos; y, por último, el número de estímulos que se van a utilizar y sus características. Este último punto presenta una gran importancia para la actual investigación. El número de total de estímulos utilizados entre todos los estudios evaluados en [6] es nueve, pero sólo dos de ellos han sido utilizados en diferentes test. Es relevante mencionar además que el número de estímulos utilizados en cada *listening test* es muy bajo, siendo habitualmente uno o dos, excepto en el caso de [7] donde se han utilizado cuatro. A pesar de que en algunos casos se ha justificado la selección de los estímulos no se han encontrado antecedentes claros que sostengan estas elecciones.

El objetivo de esta investigación es determinar la correlación existente entre el parámetro C_{80} y la percepción subjetiva en función del estímulo musical. La caracterización de la percepción subjetiva se realizó a través de un *listening test* en el que participaron 18 músicos profesionales y para el que se utilizaron 18 respuestas al impulso obtenidas mediante simulaciones. Se utilizaron cinco estímulos musicales de diferentes *tempos*, estilos y características seleccionados tras la realización de un estudio de la modulación musical cuyos resultados se encuentran más allá del alcance de esta comunicación.

2. Metodología

Con la intención de caracterizar la percepción subjetiva en función del estímulo se realizó un *listening test* dividido en tres partes en el que los participantes tuvieron que evaluar un total de 90 muestras sonoras. Estas señales se obtuvieron de la convolución de los estímulos musicales con las respuestas al impulso simuladas a partir de los modelos acústicos de tres salas de distintas características y tamaños (una sala de conciertos, una sala de cámara y una iglesia). Los participantes tuvieron que indicar el grado de claridad que percibieron en cada muestra mediante una escala de valores de cinco posiciones. En este apartado se explicará la implementación y diseño del *listening test*, el procedimiento seguido para la realización del mismo y el método de análisis empleado para la evaluación de los resultados obtenidos.

2.1. Diseño del *listening test*

Como se ha expuesto anteriormente el método y los estímulos utilizados para la realización del *listening test* pueden tener una gran influencia en los resultados. Por lo tanto, a la hora de realizar una evaluación subjetiva, el di-

seño del test presenta especial relevancia, a fin de reducir posibles fuentes de sesgo que pueda afectar a la calidad de los resultados. Los tres elementos más significativos son qué se va a evaluar, qué estímulos se van a utilizar y el método de evaluación. En la presente investigación, el elemento a evaluar fue el nivel de claridad subjetiva, los estímulos fueron cinco fragmentos musicales y el tipo de test utilizado fue una escala de Likert de cinco puntos.

Muestras sonoras

El propósito del *listening test* es la evaluación de la correlación existente entre el nivel objetivo de claridad C_{80} y la percepción subjetiva en función del estímulo musical. El primer paso a la hora de obtener las muestras sonoras a utilizar en el estudio fue determinar la variación de niveles de claridad que quería evaluarse. La selección del número de respuestas al impulso a utilizar y los saltos en nivel de claridad C_{80} se basaron en la investigación de Bradley para determinar el JND del C_{50} [8], donde se utilizó una respuesta al impulso base y señales con saltos de nivel del C_{50} de 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 y 4.0 dB respecto a la señal base.

Con el fin de obtener las respuestas al impulso con los saltos de claridad deseados y, además, estudiar variaciones de claridad muy elevadas, se seleccionaron tres recintos de características acústicas muy diferentes cuyas respuestas al impulso se consideran las señales base. Estos recintos son una sala de conciertos (Jönköpin, Suecia), una sala de cámara (Auditorio del Campus Sur de la UPM, Madrid) y una iglesia (San Cebrián de Mazote, Valladolid). Partiendo del modelo acústico de estos recintos se realizaron modificaciones en las absorciones de los materiales de las salas para hacerlas más absorbentes y obtener los saltos de claridad deseados. En la Tabla 1 se muestran los valores de claridad C_{80} y del T_{30} de todas las respuestas al impulso utilizadas en el *listening test*.

Para obtener las muestras sonoras a utilizar en el test, las respuestas al impulso simuladas se convolucionaron con cinco fragmentos de piezas musicales grabadas en

cámara anecoica. En total los participantes evaluaron 90 muestras sonoras repartidas entre las tres partes del test. Los estímulos musicales se seleccionaron en función de sus diferencias de instrumentación, *tempo* y estilo, con el fin de comprobar si el estímulo musical se trata de un factor relevante a la hora de percibir la claridad de un recinto. Las piezas utilizadas en la realización del test fueron:

1. Concierto para flauta No. 1 en Sol Mayor KV 313 de Wolfgang Amadeus Mozart: fragmento de flauta solista de *tempo* rápido. La duración del estímulo es de 24 s.
2. Elegía op. 24 para violonchelo y orquesta de Gabriel Fauré: pasaje de chelo solista de *tempo* lento. La duración del fragmento es de 18 s.
3. Preludio de *La Traviata* de Giuseppe Verdi: pasaje de *tutti* orquestal de *tempo* lento y línea de bajo muy marcada. La duración es de 20 s.
4. Canto litúrgico de duración de 14 s. Se trata de una pieza musical del repertorio de canto hispánico donde un cantante solista interpreta la melodía y es contestado por un coro.
5. Novena Sinfonía en Re Menor op. 125 de Ludwig van Beethoven: fragmento formado por los siete primeros compases del cuarto movimiento, consistente en un fragmento orquestal de *tempo* rápido. La duración del estímulo es de 8 s.

La distinta duración de los estímulos se debe a que se seleccionaron pasajes musicales que terminasen en una cadencia conclusiva. Esta decisión se tomó debido a que el corte del fragmento a mitad de una frase musical podría haber producido una tensión involuntaria en los participantes, influenciando así su concentración y la correcta realización del test.

Método de listening test

El objetivo del *listening test* fue obtener información sobre la claridad percibida por los oyentes para los dis-

Tabla 1. Claridades C_{80} y tiempos de reverberación T_{30} de las respuestas al impulso calculadas.

Iglesia San Cebrián		Sala de conciertos Jönköpin		Auditorio Campus Sur	
C_{80} (dB)	T_{30} (s)	C_{80} (dB)	T_{30} (s)	C_{80} (dB)	T_{30} (s)
-5,90	2,88	-1,75	1,99	2,75	1,11
-5,40	2,64	-1,25	1,98	3,30	1,01
-4,90	2,44	-0,70	1,74	3,80	1,02
-4,40	2,27	-0,20	1,64	4,25	0,95
-3,35	1,96	0,80	1,36	5,25	0,86
-1,90	1,61	2,30	1,14	6,75	0,73

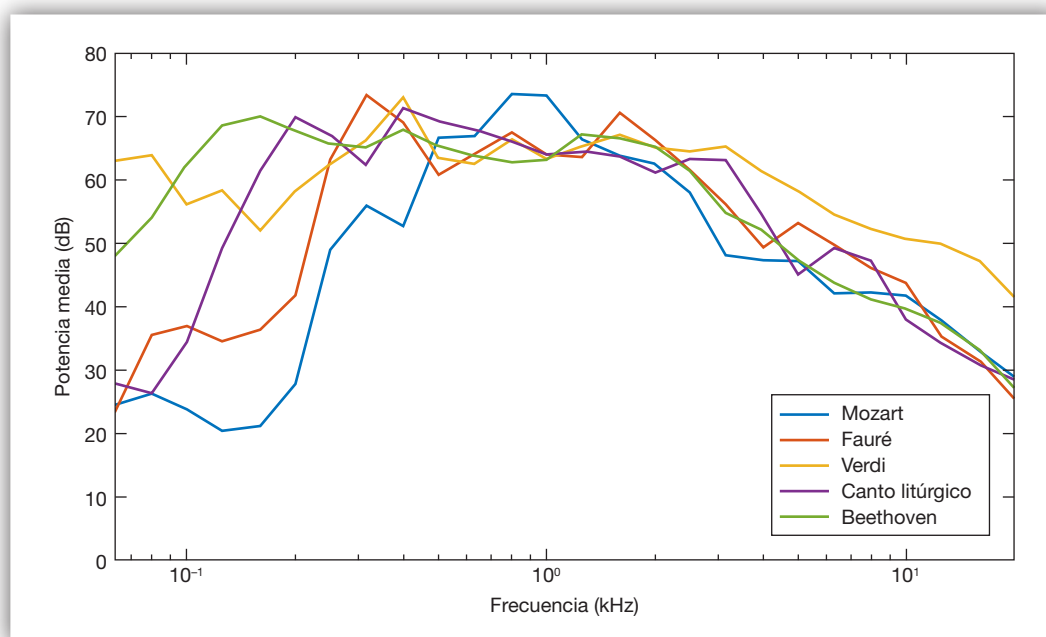


Figura 1. Espectros en tercios de octava de los estímulos musicales utilizados en el *listening test*.

tintos niveles de claridad C_{80} y para todas las piezas seleccionadas. Se decidió dividir el test en tres partes, una para cada uno de los recintos evaluados, y que en cada parte se evaluaran los estímulos musicales de forma independiente para todos los niveles de claridad C_{80} .

Se consideró que el mejor modo para evaluar la claridad de cada muestra sonora era mediante evaluaciones individuales, por lo que el método de contestación elegido fue una escala de Likert [9]. Se fijó que la escala de categoría tuviera cinco posiciones con etiquetas que definieran la respuesta de cada posición. El número de posiciones se eligió basándose en el trabajo de Simms *et al.* [10] y Cocchi *et al.* [11], donde el primero comprobó que cuando se fijan más de seis posiciones en una escala de Likert los resultados no mejoran y, por el contrario, la sensación de fatiga aumenta, y el segundo comprobó tras la realización de un test de Likert de seis posiciones que la mayoría de los participantes intentaban marcar una posición central, por lo que lo ideal en este método de evaluación era utilizar un número impar de categorías. El orden de presentación y las etiquetas utilizadas en la escala de Likert se fijaron siguiendo la norma UNE-ISO 4121.

Como se pudo observar en las evaluaciones subjetivas realizadas en [11], el vocabulario utilizado para describir la cualidad subjetiva bajo evaluación es muy importante, dado que puede ocurrir que los acústicos y músicos interpreten el mismo término de forma diferente. El vocabulario utilizado en las preguntas y explicaciones se basaron en el glosario definido por Lindau [12]. La pregunta a contestar consiste en indicar cómo de alta se considera la claridad de cada una de las muestras sonoras

y las etiquetas de la escala de Likert de cinco puntos, de izquierda a derecha, son: “nada alta”, “algo alta”, “moderadamente alta”, “muy alta” y “extremadamente alta”.

Investigaciones realizadas por Micheyl *et al.* [13] y Oxenham *et al.* [14] han demostrado que existe una diferencia significativa en el desempeño de *listening test* entre participantes musicalmente entrenados y participantes sin formación musical. También comprobaron que los músicos aprenden más rápidamente el procedimiento del test. Por lo tanto, se tomó la decisión de que los participantes debían tener como mínimo un título de Grado Profesional de Música. De los 18 sujetos que participaron en el test seis contaban con un Título Superior de Música en la especialidad de Interpretación, uno con un Título Superior de Música en la especialidad de Dirección de Orquesta, y los restantes con un Título de Grado Profesional de Música. La media de años de formación musical de los participantes era de 11 años y medio y únicamente tres de ellos no se encontraban trabajando o estudiando música en el periodo de realización del test.

2.2. Realización del *listening test*

La realización del *listening test* tuvo lugar en una sala vacía de pequeño tamaño y con un bajo nivel de ruido de fondo. El equipo utilizado fue un ordenador portátil modelo HP-BS512NS y unos auriculares circumaurales de diadema abiertos Sennheiser HD-650. El nivel de volumen utilizado en los test fue el mismo para todos los participantes.

Tras el recibimiento de los participantes se les entregó una encuesta de datos demográficos en la que tenían que

rellenar algunos datos relativos a su edad, sexo, nivel educativo, etc. Esta encuesta tenía una doble finalidad: por un lado, que los participantes se aclimataran al entorno acústico donde se iba a realizar la prueba, y, por otro, disponer de información adicional para las posteriores etapas de análisis. Tras la encuesta se les entregaba una hoja de instrucciones en las que se detallaba el procedimiento del test y a qué tipo de pregunta se iban a enfrentar.

Previo a la realización del *listening test*, los participantes realizaron una sesión de entrenamiento, donde se familiarizaron con la interfaz utilizada, la pregunta a contestar y el método de respuesta. Este entrenamiento se realizó con el propósito de reducir un posible sesgo de interacción hombre-máquina y las muestras sonoras evaluadas fueron distintas a las utilizadas en el test principal.

Tras la finalización de la sesión de entrenamiento se daba paso a la realización del *listening test*. Éste se encontraba dividido en tres partes (salas) que estaban a su vez divididas en cinco pestañas, una para cada uno de los estímulos musicales bajo evaluación. Cada vez que el participante llegaba a una nueva pestaña se encontraba obligado a escuchar las seis muestras sonoras presentes en cada pantalla, consistentes en un estímulo musical convolucionado con todas las respuestas al impulso de la sala bajo evaluación, con el fin de obtener una referencia de la sala y evitar la aparición de sesgo debido a la no selección de las posiciones extremas de la escala. Posteriormente, el participante podía escuchar las muestras tantas veces como deseara y en el orden que considerase adecuado. Las partes del test se encontraban separadas por un periodo de descanso de entre cinco y diez minutos. El orden de presentación de las salas, los estímulos y las claridades C_{80} era aleatorio para cada participante, asegurando así una independencia estadística de las respuestas.

2.3. Análisis de los resultados

El análisis estadístico de los resultados tuvo como propósito comprobar la hipótesis de que la claridad percibida por los participantes para un mismo recinto depende significativamente de la pieza musical interpretada. Para corroborar la validez de esta hipótesis se realizó un análisis de regresión, cuya intención era determinar el comportamiento de la percepción subjetiva de la claridad (variable dependiente) en función del nivel de claridad C_{80} (variable independiente) para cada estímulo musical. El análisis de regresión se realizó para cada conjunto de estímulo y sala de forma individual, con el fin de obtener una mejor representación del comportamiento de la percepción subjetiva.

Los juicios perceptuales se representaron mediante la moda de las respuestas dadas. Se tomó esta decisión ya que los participantes únicamente pudieron contestar en posiciones fijas que representan números enteros y el

empleo de la media implicaría la utilización de decimales que introducirían un sesgo en el estudio. Los resultados de la claridad percibida por cada participante se representan, por lo tanto, por un número entero entre 1 y 5.

3. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el análisis de regresión entre los valores objetivos de la claridad C_{80} y la claridad subjetiva percibida por los participantes del *listening test*. Los análisis se realizaron para cada una de las salas y cada uno de los estímulos por separado, ya que la evaluación subjetiva a través del test se realizó de la misma forma. Cada una de las salas se evalúa mediante una escala de valores de 1 a 5, independientemente de la claridad C_{80} de referencia de la sala. El estudio conjunto de los recintos no tendría sentido puesto que se atribuirían valores de claridad percibida muy similares a juicios con valores de claridad C_{80} muy diferentes.

Si se observan los valores de los coeficientes de determinación del análisis de regresión que se muestran en la tabla 2 se puede comprobar que la relación de dependencia existente entre la claridad C_{80} y la percepción subjetiva no se mantiene constante para todos los estímulos e, incluso, se puede percibir una variación dentro del mismo estímulo para diferentes recintos. Esta variación en la capacidad de determinar la claridad de un recinto se puede deber al estímulo musical utilizado y a las características que presenta, donde el *tempo*, la figuración o la instrumentación pueden ser factores determinantes.

La pieza de Mozart se trata del estímulo cuyo coeficiente de correlación presenta el comportamiento más estable en función de la sala. Se trata de uno de los estímulos con coeficientes más altos para todos los recintos, siendo el mayor de ellos el obtenido en la iglesia. Esta buena correlación se puede deber a que se trata de un fragmento de *tempo* rápido interpretado por una flauta solista con una figuración y articulación muy marcada, siendo posible percibir fácilmente variaciones en la claridad y el efecto que las características acústicas del recinto presentan sobre la pieza.

La pieza de Fauré es interpretada por un violonchelo solista y presenta una figuración larga y un *tempo* lento. Se puede destacar que para la sala de conciertos la discriminación de los niveles de claridad y la influencia que presentan sobre la pieza han sido perceptibles. En cambio, en el caso de la sala de cámara y de la iglesia, se tienen coeficientes de determinación más bajos, lo que nos da a entender que en márgenes muy altos (2.75 a 6.75 dB) o muy bajos (-5.9 a -1.9 dB) de claridad C_{80} la percepción de las variaciones de los niveles de claridad no son fácilmente detectables con este estímulo.

Tabla 2. Coeficientes de determinación para cada combinación de sala y estímulo en porcentaje.
 () $p > 0.15$; (*) $0.15 > p > 0.05$; (**) $0.05 > p > 0.005$; (***) $p < 0.005$.

	Sala de conciertos	Sala de cámara	Iglesia
Mozart	66,13**	78,68**	88,43**
Fauré	97,07***	29,13	49,81*
Verdi	51,04*	12,96	49,81*
Pieza litúrgica	83,76**	64,73*	91,16***
Beethoven	19,14	89,38***	79,68**

Las características musicales que presenta el fragmento de Verdi son una melodía fácilmente entendible, de figuración relativamente larga y un acompañamiento a negras muy marcado, todo en un *tempo* lento. La facilidad de entendimiento de las líneas musicales del estímulo pudo derivar en una peor percepción de la claridad del recinto donde se interpreta la pieza, razón por la que los niveles de claridad seleccionados por los participantes fueron los mismos para todas las salas independientemente del nivel de claridad C_{80} (como se puede observar en la figura 2), provocando así un bajo coeficiente de determinación para todos los recintos evaluados.

La pieza litúrgica tiene un comportamiento semejante al fragmento musical de Mozart. Se trata de un canto hispánico de figuración lenta interpretado por un cantante solista que entona la melodía y, a continuación, un coro de cinco personas contesta al canto. En todos los casos se obtiene un alto coeficiente de determinación, indicando que las características vocales de la pieza hacen que se perciba fácilmente el efecto que la reverberación de la sala tiene sobre ellas.

En último lugar se tiene el fragmento musical compuesto por Beethoven, correspondiente con un pasaje

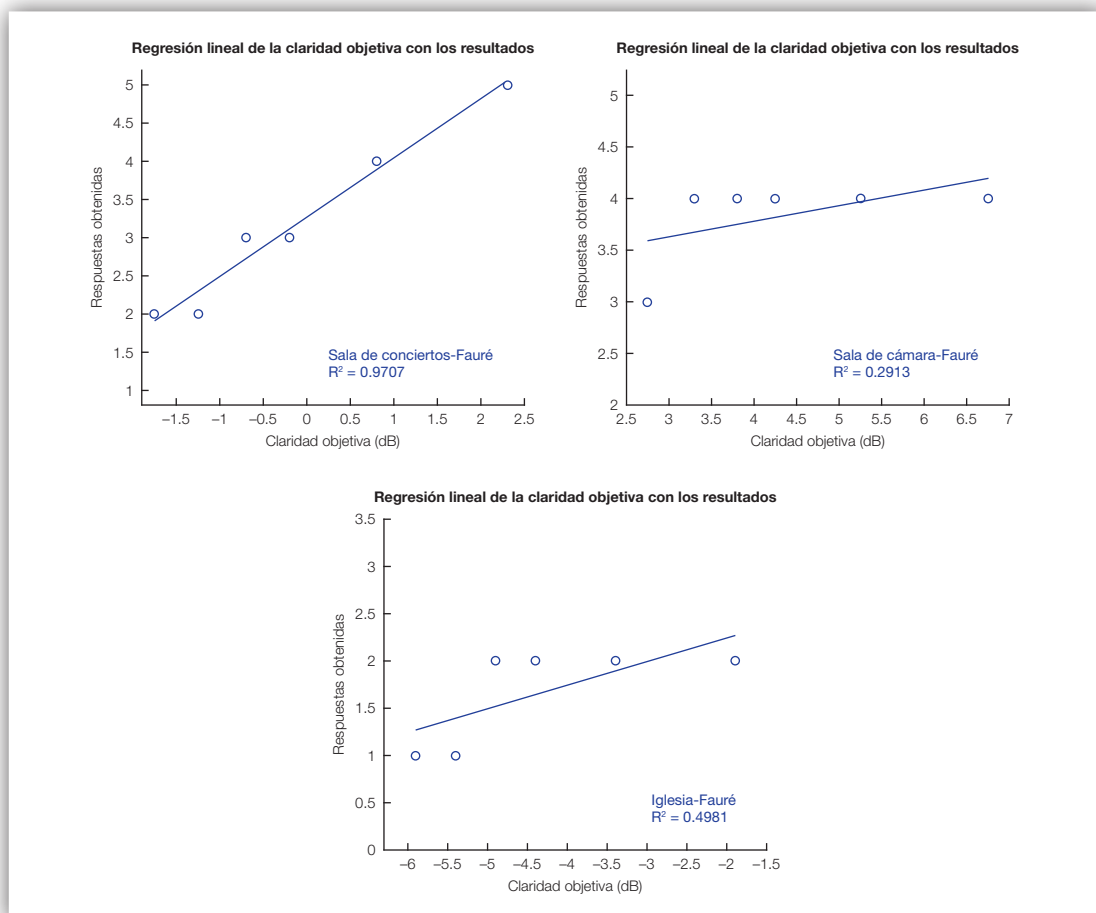


Figura 2. Nubes de puntos y rectas de regresión para el estímulo de Fauré en la sala de conciertos (izquierda), sala de cámara (centro) e iglesia (derecha).

orquestal rápido y complejo donde un gran número de instrumentos de distintas familias interpretan simultáneamente diferentes frases musicales con figuras de corta duración. En este caso se obtiene un coeficiente de determinación alto tanto para la sala de cámara como para la iglesia, mientras que en la sala de conciertos el coeficiente presenta un nivel muy bajo (19,14%). Este valor se puede deber a una mala diferenciación de la claridad en un entorno en el que la reverberación de la sala no se percibe como excesivamente alta ni excesivamente baja para la interpretación de este estilo musical; se trata del efecto contrario a lo que se pudo observar en la pieza de Fauré.

4. Conclusiones

Tras la realización del *listening test* a un grupo de participantes musicalmente entrenados y de la evaluación de los resultados de percepción subjetiva obtenidos mediante un análisis de regresión, se ha podido observar que la claridad percibida por dichos participantes para un mismo recinto depende significativamente del estímulo musical utilizado para la evaluación. Algunas de las características

de la pieza musical que parecen tener una mayor influencia sobre la percepción son el número de instrumentos que presenta la pieza y su tesitura, el *tempo* y las características de figuración y ritmo del fragmento.

Estas diferencias en la percepción de la claridad en función del fragmento musical utilizado implican que el estímulo con el que se determina la claridad debería ser tenido en cuenta a la hora de calcular su valor objetivo. Observando los p-valores expuestos en la tabla 2 se puede comprobar que las piezas de Verdi y Fauré no son favorables para la caracterización acústica de salas, debido a que sus p-valores son superiores en todos los casos a 0.05; mientras que la pieza de Mozart sí que podría considerarse adecuada para la realización de evaluaciones perceptivas.

Finalmente se puede concluir que el parámetro objetivo C_{80} , a pesar de tener posibilidades de mejora mediante la determinación de ponderaciones frecuenciales más adecuadas que tengan en cuenta todo el rango frecuencial o mediante la inclusión del estímulo en su cálculo, presenta una buena correlación con la claridad perci-

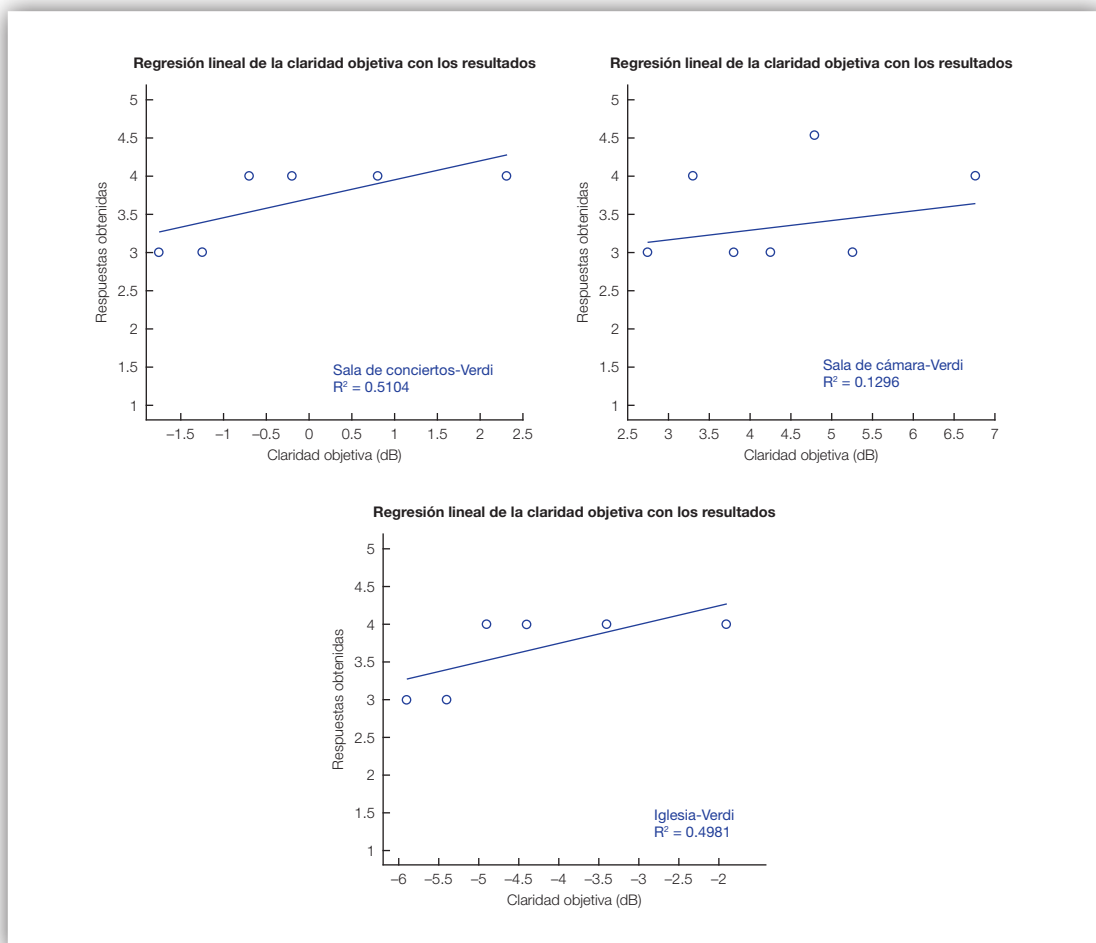


Figura 3. Nubes de puntos y rectas de regresión para el estímulo de Verdi en la sala de conciertos (izquierda), sala de cámara (centro) e iglesia (derecha).

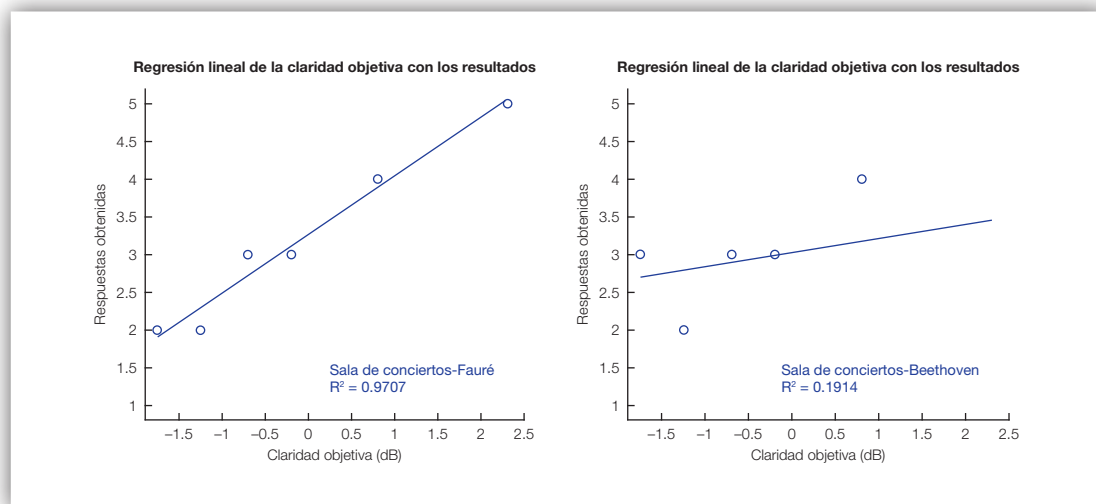


Figura 4. Comparativa de las nubes de puntos y rectas de regresión de las piezas de Fauré (izquierda) y Beethoven (derecha) para la sala de conciertos.

bida y que, como ya dijo Bradley en [5], se trata del mejor índice actual para determinar la claridad de un recinto.

5. Bibliografía

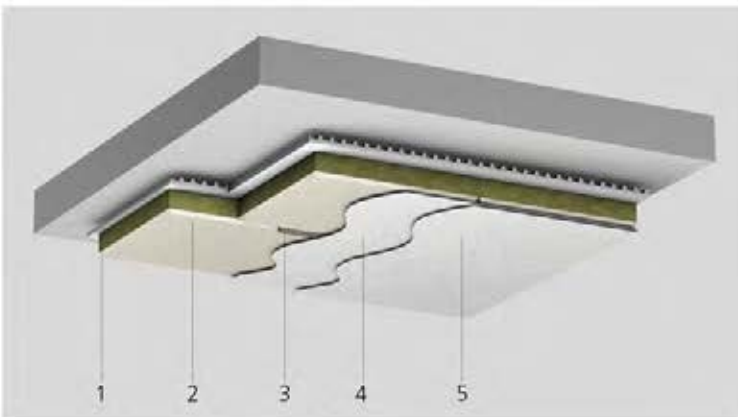
- [1] W. C. Sabine and M. D. Egan, "Collected papers on acoustics." Acoustical Society of America, 1994.
- [2] L. Beranek, *Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [3] R. Lacatis, A. Giménez, A. Barba Sevillano, S. Cerdá, J. Romero, and R. Cibrián, "Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 123, no. 5, p. 3198, 2008.
- [4] O. Abdel-Alim, "Dependence of time and register definition of room acoustical parameters with music performances," *Dresden TU Dresden*, 1973.
- [5] J. S. Bradley, "Review of objective room acoustics measures and future needs," *Appl. Acoust.*, vol. 72, no. 10, pp. 713–720, 2011.
- [6] D. de la Prida, A. Pedrero, L. A. Azpicueta-Ruiz, M. Á. Navacerrada, and C. Díaz, *Does the method matter? A review of the main testing methods for the subjective evaluation of room acoustics through listening tests*. Universitätsbibliothek der RWTH Aachen, 2019.
- [7] M. C. Vigeant and R. D. Celmer, "Effect of Experimental Design on the Results of Clarity-Index Just-Noticeable-Difference Listening Tests," in *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA*, 2010.
- [8] J. S. Bradley, R. Reich, and S. G. Norcross, "A just noticeable difference in C50 for speech," *Appl. Acoust.*, vol. 58, no. 2, pp. 99–108, Oct. 1999, doi: 10.1016/S0003-682X(98)00075-9.
- [9] R. Likert, "A technique for the measurement of attitudes," *Arch. Psychol.*, 1932.
- [10] L. J. Simms, K. Zelazny, T. F. Williams, and L. Bernstein, "Does the number of response options matter? Psychometric perspectives using personality questionnaire data.," *Psychol. Assess.*, vol. 31, no. 4, p. 557, 2019.
- [11] R. Cocchi, A. Farina, P. Fausti, and L. Tronchin, "Acoustic quality of theatres: correlation between experimental measures and subjective evaluations," 2009.
- [12] A. Lindau, V. Erbes, S. Lepa, H.-J. Maempel, F. Brinkman, and S. Weinzierl, "A spatial audio quality inventory (SAQI)," *Acta Acust. united with Acust.*, vol. 100, no. 5, pp. 984–994, 2014.
- [13] C. Micheyl, K. Delhommeau, X. Perrot, and A. J. Oxenham, "Influence of musical and psychoacoustical training on pitch discrimination," *Hear. Res.*, vol. 219, no. 1–2, pp. 36–47, 2006, doi: 10.1016/j.heares.2006.05.004.
- [14] A. J. Oxenham, B. J. Fligor, C. R. Mason, and G. Kidd, "Informational masking and musical training," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 114, no. 3, pp. 1543–1549, 2003, doi: 10.1121/1.1598197.

StoSilent Direct

Pared absorbente acústica continua



El sistema de acondicionamiento acústico StoSilent Direct en las fachadas de un atrio reduce la reverberación.
Una nueva estructura de acero y vidrio de gran resistencia reemplaza el techo de vidrio de los años 90.



Cliente

Cámara de comercio e Indústria de Múnich y Alta Baviera

Arquitecto

Anderhalten Architekten GmbH, Berlin, DE

Emplazamiento

Max-Joseph 2, Múnich, DE

Áreas de competencia Sto

Sistema acústico (StoSilent Direct) para techos y franjas superiores de paredes

Ejecución

BS Verputz GmbH, Múnich, DE

StoSilent Direct

Estructura del sistema (ejemplo sin juntas con StoSilent Top)

- 1 - Fijación con adhesivo con StoSilent Coll MW
- 2 - Panel acústico StoSilent Board MW 100
- 3 - Masilla StoSilent Filler
- 4 - Capa intermedia StoSilent Basic
- 5 - Capa de acabado StoSilent Top Finish

