

ESTUDIO OBJETIVO Y SUBJETIVO DEL EFECTO DE LOS DIFUSORES BASADOS EN CRISTALES DE SONIDO

PACS: 43.55.+p , 43.55 Br, 43.55 Ka

A. Quintana¹, B. Hervás³, I. Pérez³, J.V. Sánchez-Pérez², J. Redondo¹

¹Instituto para la Gestión integral de Zonas Costeras.-Universitat Politècnica de València. Campus de Gandía. C. Paranimf, 1. Grao Gandía (Spain) fredondo@fis.upv.es

²Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica.-Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. Valencia (Spain)

³Dpto. de Comunicación Audiovisual, Documentación e Historia del Arte, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n. Valencia (Spain)

ABSTRACT

This dissertation deals with the study of the efficiency of Sonic Crystal placed on the walls of a room from two stand points: the objective point of view and the perceptive point of view. It is intended to correlate the different traditional acoustic parameters with new ones to estimate the diffuseness degree. The different parameters have been obtained through the simulation technique FDTD (Finite Differences in Time Domain) in different conditions. The preliminary results ensure that the effect produced by the studied diffusors can be perceived by professional musicians.

RESUMEN

Este trabajo explora la eficiencia de cristales de sonido dispuestos sobre las paredes de una sala desde dos puntos de vista, el punto de vista objetivo y el punto de vista perceptivo. Se pretenden correlar diferentes parámetros tradicionales para estimar el grado de difusión con nuevos parámetros perceptivos que cuantifiquen el efecto de los difusores basados en cristales de sonido. Para obtener ambos grupos de parámetros se ha realizado una simulación mediante la técnica FDTD (Diferencias finitas en dominio temporal) de una sala con diferentes acondicionamientos. Los resultados preliminares permiten aseverar que los difusores estudiados producen un efecto fácilmente perceptible por oyentes entrenados.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de las representaciones teatrales y musicales, la homogeneización de la experiencia en toda la superficie de audiencia ha sido un punto de una importancia capital. Distintas geometrías en los recintos así como los materiales presentes en el mismo no siempre facilitan que esto sea así, sobretodo en baja frecuencia. Para conseguir un sonido más difuso en la sala se vienen utilizando los conocidos difusores de Schroeder [1]. El problema con estos difusores radica en que para conseguir dicha difusión en baja frecuencia, hacen falta espesores del orden de medio metro, lo cual no resulta adecuado para instalar en muchos espacios arquitectónicos. Como respuesta a ello aparecen los difusores basados en cristales de sonido (SCSD), los cuales pueden producir scattering a baja frecuencia con menores espesores [2]. A través de la continua investigación presente en esta materia, aparecen también los SCSD optimizados [3], creados a partir de algoritmos genéticos, los cuales producen una mejor respuesta en baja frecuencia que los SCSD no optimizados.

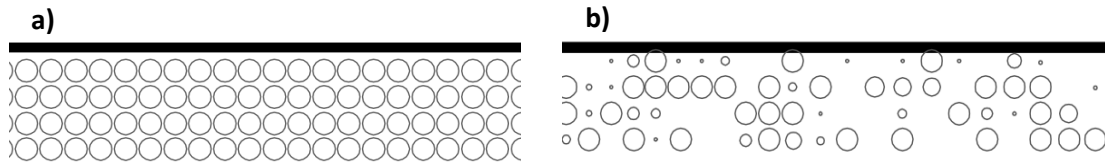


Figura 1. a) SCSD no optimizados. b) SCSD optimizados

En el presente trabajo se pretende estudiar la influencia de dichos difusores sobre una pequeña sala de 4,2x4,2 metros. Para llevarlo a cabo se utiliza la técnica FDTD, mediante la cual se simula la sala en 2 dimensiones en 3 situaciones distintas: con las paredes lisas, con SCSD no optimizados y con SCSD optimizados (para más detalles de la técnica utilizada véase por ejemplo [4]). El objetivo es calcular la respuesta impulsiva de las 3 salas para poder estudiar sus parámetros de difusión objetivos y sus parámetros subjetivos mediante una encuesta a músicos profesionales, pudiendo auralizar el sonido de un fagot dentro de cada una de las 3 salas. Para dicha auralización y para el cálculo del IACC simularemos una cabeza acústica con un micrófono a cada lado a modo de oído. Para el resto de parámetros se colocan 16 micrófonos omnidireccionales y 16 direccionales. El método utilizado para obtener dicha respuesta impulsiva es el Exponential Sine Sweep con un barrido hasta los 5000 Hz.

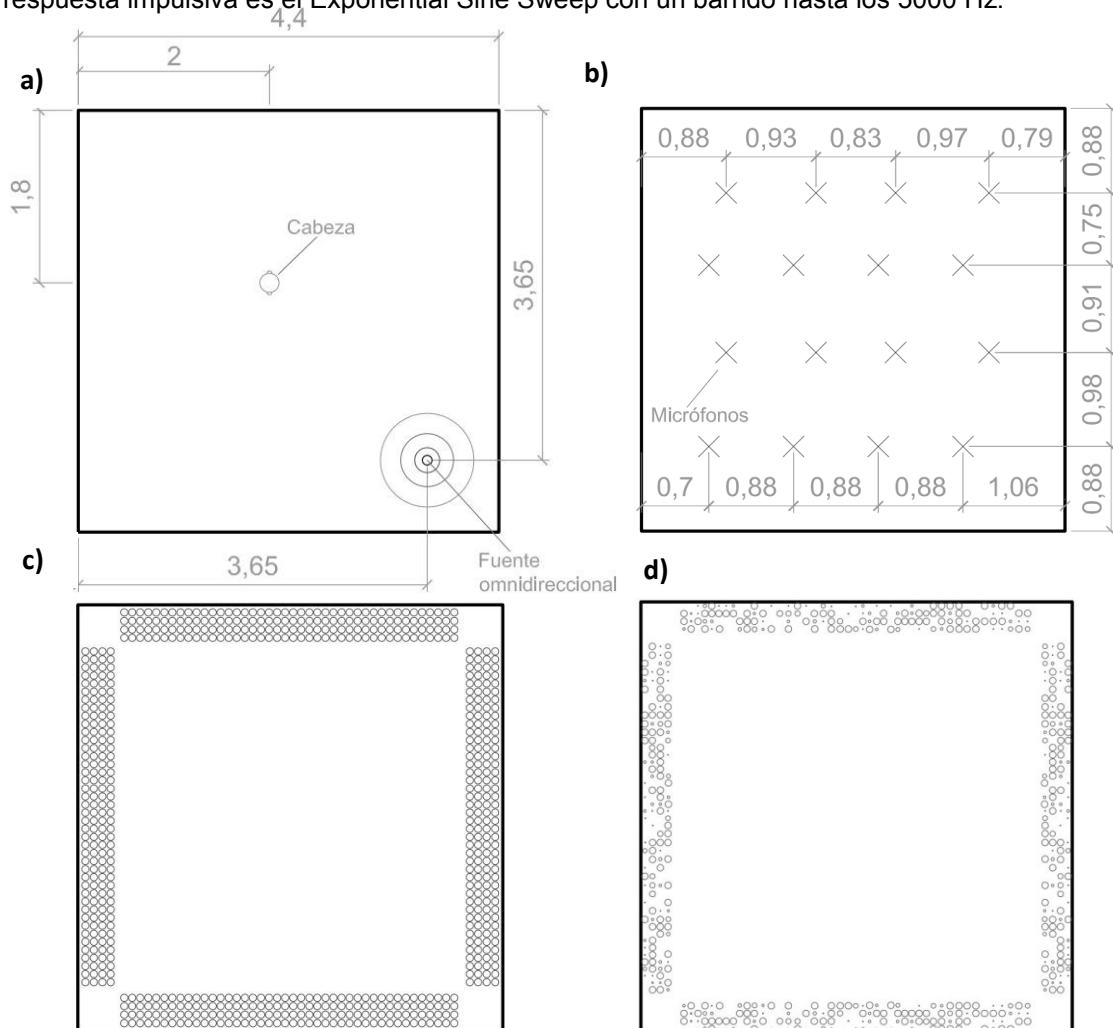


Figura 2. a) Medidas de la sala, posición de la fuente acústica y posición de la cabeza acústica;
b) Colocación de los distintos micrófonos; c) Sala con los SCSD no optimizados colocados ; d)
Sala con los SCSD optimizados colocados

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

– MEDICIONES OBJETIVAS

Los parámetros acústicos estudiados son el EDT, el T60, la Definición, el C80, el C50, el Tr1, el brillo y la calidez [5]. Los resultados son los siguientes:

Parámetros acústicos	Sin difusores	SCSD convencionales	SCSD optimizados	Unidades
	EDT	0,51	0,30	
T60	0,57	0,38	0,30	Segundos
BR	1,03	1,41	1,41	Cociente
Br	1,08	2,04	1,45	Cociente
Tr1	1,05	1,44	1,03	Cociente
C80	4,81	10,77	12,69	dB
C50	2,86	5,82	8,00	dB
D	-6,64	-5,09	-4,04	dB

Tabla 1. Resultados de los distintos parámetros acústicos

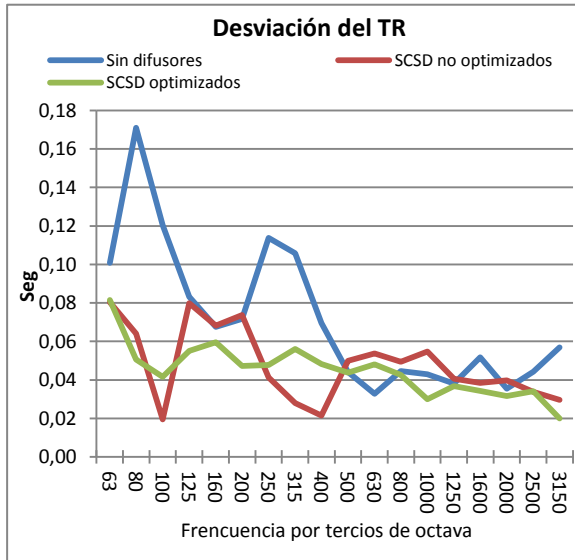
Como vemos en la Tabla 1, el tiempo de reverberación baja con el uso de los SCSD, especialmente con los optimizados, tanto en el EDT como en el T60. El brillo y la calidez aumentan también con el uso de SCSD, viendo el Tr1, vemos que la sala con difusores no optimizados resulta muy brillante, en cambio la sala con los difusores optimizados, siendo brillante, resulta más equilibrada. En lo que se refiere a la claridad, tanto musical como de palabra, esta aumenta con el uso de SCSD, especialmente los optimizados. Lo mismo ocurriría con la definición.

Excepto en el caso del brillo y la calidez, no podemos afirmar que los SCSD mejoren los parámetros acústicos estudiados, ya que su idoneidad dependerá del tipo de música que se interprete o reproduzca en dicha sala.

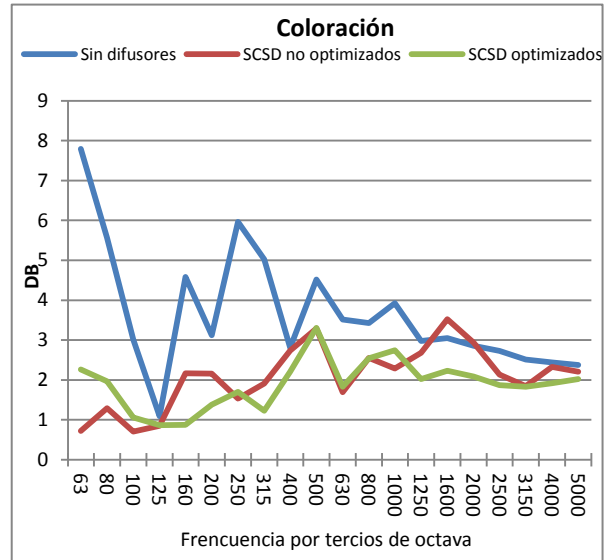
Además de dichos parámetros acústicos tradicionales se estudian los siguientes parámetros acústicos indicadores del grado de difusión [6]:

- Desviación del TR: Desviación estándar del tiempo de reverberación en los distintos puntos medidos de cada sala. A mayor desviación, menor difusión.
- Coloración: Desviación estándar entre los valores discretos de frecuencia de cada banda de tercio de octava en el total de los micrófonos de la sala.
- Factor de energía lateral (LEF): Coeficiente que expresa la relación entre la energía recibida por micrófonos omnidireccionales y direccionales.
- Eficiencia Energética (CEE): Medida similar al LEF, siendo un coeficiente obtenido mediante la comparación de micrófonos de distintas direccionalidades.
- Correlación cruzada interaural (IACC): Medido simulando una cabeza acústica, calcula un coeficiente que expresa el parecido entre las señales recibidas por los 2 oídos. Se puede estudiar con distintos intervalos temporales. En este caso se estudia el IACC early y el IACC late
- Linealidad de las curvas de caída: Coeficiente que compara la similitud entre las curvas de caída por frecuencias con una recta.

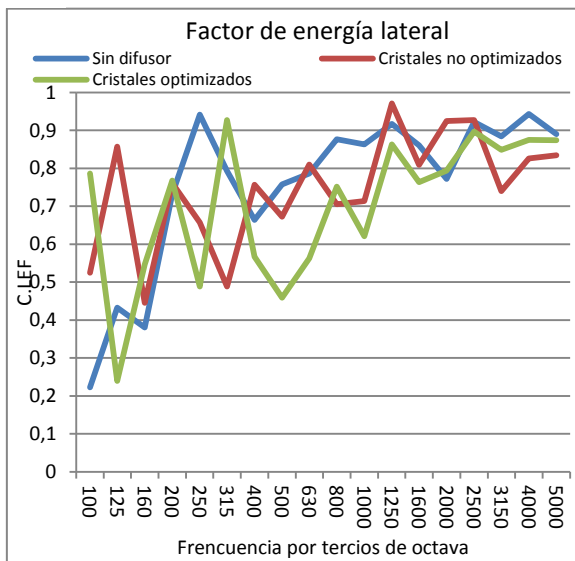
a)



b)



c)



d)

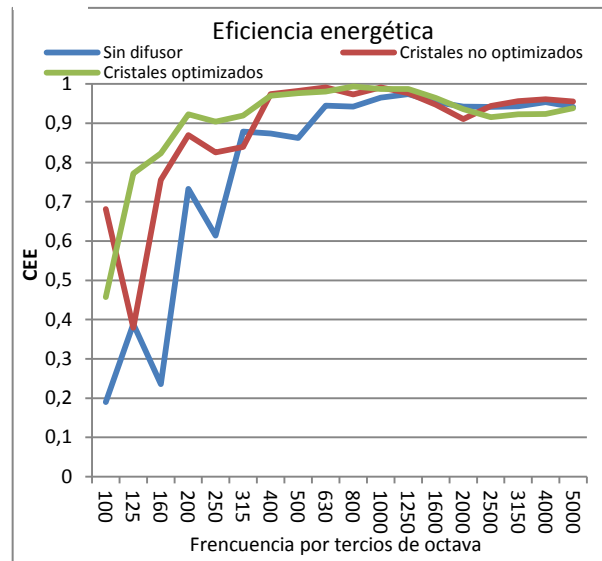


Figura 3. a) Resultados de la desviación del tiempo de reverberación; b) Resultados de la coloración; c) Resultados del factor de energía lateral (LEF); d) Resultados de la eficiencia energética (CEE).

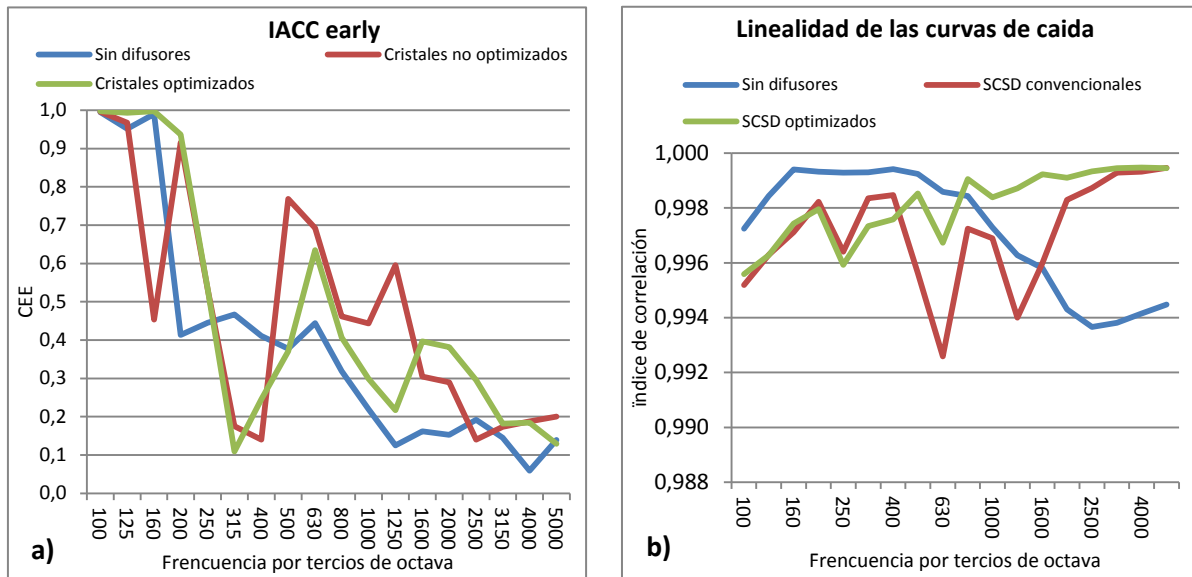


Figura 4. a) IACC early; b) Resultados de la linealidad de las curvas de caída;

Mediante la observación de las tablas de resultados de los distintos parámetros, podemos ver que los resultados de la sala con SCSD optimizados destacan en la mayoría de ellos, seguidos por los SCSD no optimizados, sobretudo en bajas frecuencias, donde como ya se ha comentado, es donde la actuación de estos difusores resulta importante. En el único parámetro donde no observamos mejor resultado con el uso de difusores es en la correlación de las curvas de caída hacia una recta, donde la sala sin difusores resulta ser la que mejores resultados obtiene. A modo de resumen, resulta interesante realizar la media en baja frecuencia (hasta 400 Hz) de los resultados de cada parámetro:

MEDIA BAJA FRECUENCIA	Sin difusores	SCSD convencionales	SCSD optimizados
Coloración de la señal	4,33	1,56	1,51
Desviación del rt	0,10	0,06	0,05
IACC early	0,67	0,60	0,69
IACC late	0,59	0,43	0,65
LEF	0,59	0,64	0,62
CEE	0,56	0,76	0,82
Curvas de caída	0,99891	0,99715	0,99687

Mejor resultado
 2º Mejor resultado

Tabla 2. Media en baja frecuencia de los resultados de los parámetros de difusión.

Como ya se podía entrever en las tablas, únicamente 2 parámetros de los 7 medidos, no otorgan mejores resultados en la sala con SCSD optimizados, como son la linealidad de las curvas de caída, en la cual tienen los peores resultados y en el LEF, donde los SCSD no optimizados, obtienen los mejores resultados seguidos por la sala con SCSD optimizados.

– MEDICIONES SUBJETIVAS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos extraídos de 20 encuestas realizadas a músicos profesionales, los cuales valoraron una serie de parámetros perceptivos (redondez, riqueza armónica, claridad, nitidez y brillo) en diferentes salas con y sin SCSD. En la Figura 5 se compara la variabilidad de cada parámetro en función de la sala con la desviación estándar representando en el eje de ordenadas la valoración de los sujetos (del 1 al 10) y en el eje de abscisas las diferentes salas: la Sala 1 hace referencia a la sala sin SCSD, la Sala 2 a la sala con SCSD no optimizados y la Sala 3 a la sala con SCSD optimizados. Así, se representa el valor medio otorgado por los sujetos para cada sala y para cada uno de los parámetros y la desviación estándar (representada como un segmento vertical).

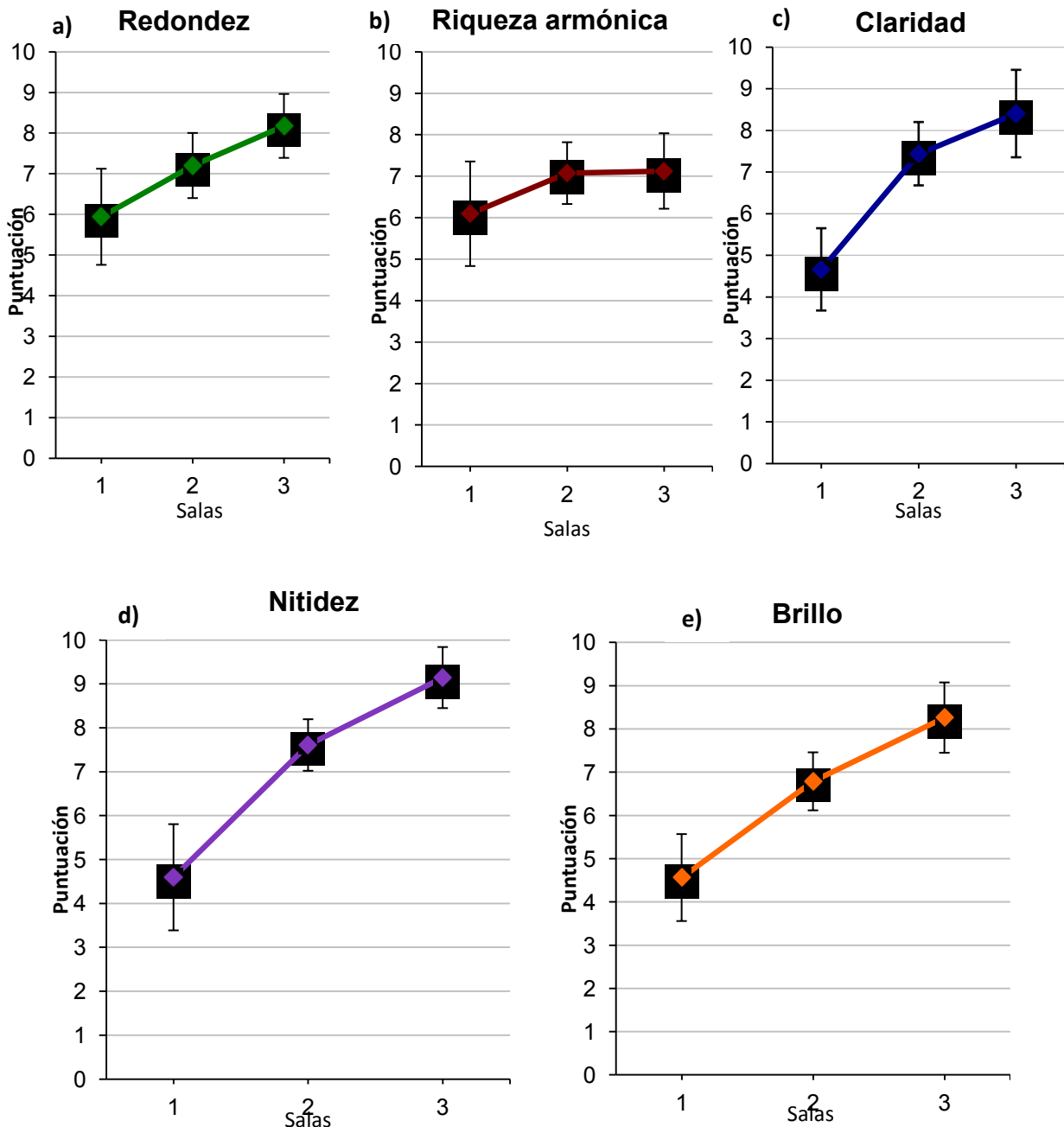


Figura 5. Resultados de los parámetros subjetivos. a) Redondez; b) Riqueza armónica; c) Claridad; d) Nitidez; e) Brillo

Para cada uno de los parámetros acústicos evaluados, se observa que los valores otorgados por los sujetos son superiores en las salas con SCSD. En los casos de la claridad, el brillo y la nitidez, se aprecia claramente que la introducción de SCSD en la sala afecta mejorando la percepción de estos tres parámetros. Sin embargo, la desviación estándar indica que las valoraciones otorgadas para los SCSD optimizados y para los no optimizados son bastante similares, por lo que no se puede saber con certeza qué difusores mejoran la percepción de estos parámetros. Únicamente en el caso de la nitidez, se observa de forma clara que los SCSD optimizados mejoran este parámetro respecto de los no optimizados. En el caso de la redondez y la riqueza armónica, los valores medios y la desviación estándar indican que las valoraciones por parte de los sujetos son muy similares y muy dispersas, por lo que no se puede afirmar con certeza que la introducción de SCSD en la sala mejore estos dos parámetros.

También se les preguntó a los sujetos la sala preferida en lo que a sonido general percibido se refiere. La Figura 6 muestra los resultados de esta pregunta:

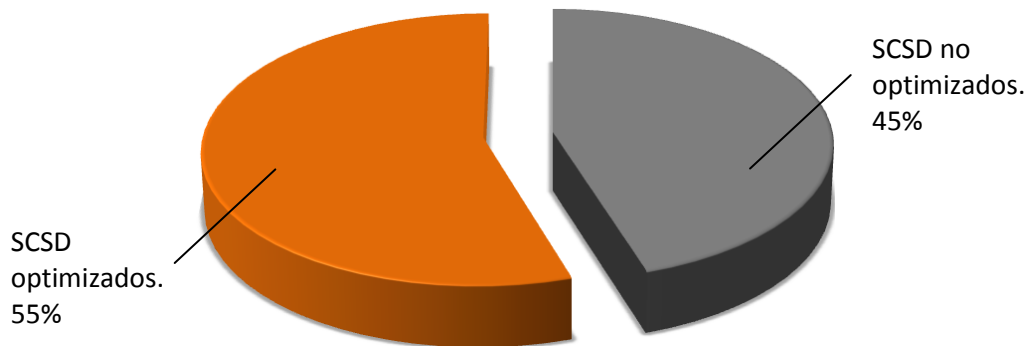


Figura 6. Resultados de los parámetros subjetivos sobre la sala favorita de los encuestados.

Como se observa en la Figura 6, ninguno de los encuestados optó por la sala sin difusores, lo cual indica que la introducción de SCSD en la sala proporciona un mejor sonido general en la misma. No obstante, no existe una gran diferencia de porcentaje entre la sala con SCSD optimizados y la sala con SCSD no optimizados. Para llegar a unas conclusiones más fiables, sería necesario realizar una encuesta a un número mayor de músicos profesionales entrenados.

CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

A través de los resultados obtenidos tanto en los parámetros subjetivos como objetivos, es posible alcanzar diversas conclusiones:

- El uso de SCSD tiene un efecto notable en los parámetros de difusión de una sala en baja frecuencia, sobretodo en el caso de los optimizados, mejorando todos los parámetros de difusión medidos excepto la linealidad de las curvas de caída a la sala sin difusores.
- El uso de difusores basados en cristales de sonido puede ayudar a mejorar ciertos parámetros acústicos, tales como el Brillo, la calidez, la claridad y la definición en una sala.
- La incorporación de SCSD en una sala puede ser percibida claramente por oyentes entrenados. Los cuales han experimentado mejora en todos los parámetros a nivel medio respecto a la sala sin difusores siendo especialmente notorio en los resultados

de la claridad, el brillo y la nitidez. En el caso del brillo y la nitidez, también resulta apreciable la diferencia entre los SCSD optimizados y los no optimizados. No se puede afirmar así mismo, que el uso de SCSD mejore la redondez del sonido y su riqueza armónica. Sería necesario una muestra mayor de músicos para llegar a mayores conclusiones.

- De los músicos encuestados, ninguno de ellos ha elegido como mejor sala a aquella sin difusores, siendo una mayoría aquellos que prefieren los SCSD optimizados. Siendo esta solo una diferencia del 10%, sería necesario realizar la encuesta a un número mayor de músicos para sacar conclusiones más válidas al respecto.
- En una valoración general entre parámetros objetivos y subjetivos, se puede concluir que los SCSD optimizados, obtienen los mejores resultados de manera general, seguidos de cerca en la mayoría de parámetros por los SCSD no optimizados.

Como líneas futuras de investigación se plantean las siguientes:

- Profundización sobre el efecto de los SCSD en salas de mayor tamaño y de distintas tipologías
- Ampliación de los parámetros subjetivos a estudiar añadiendo nuevos y aumento de la muestra estudiada de músicos profesionales para discernir con claridad el límite de la mejora sobre el oyente de parámetros tales como la redondez o la riqueza armónica.
- Ampliación de dicha encuesta a oyentes no entrenados, pudiendo usar distintos estilos y piezas musicales observar los efectos sobre los distintos tipos de instrumentos. Con ello se podría comprobar si verdaderamente las diferencias pueden ser percibidas por todo tipo de público, lo que serviría para valorar si realmente la introducción de SCSD en determinados recintos donde se practica música produce una mejora claramente perceptible de la calidad acústica de la sala.
- Valorar la posibilidad de conseguir realizar simulaciones en 3D usando lenguajes de programación basados en GPU, los cuales podrían reducir drásticamente el tiempo de cálculo que resulta necesario en Matlab.

REFERENCIAS

[1] M.R. Schroeder, "Diffuse Sound Reflection by Maximum Length Sequences", J. Acoust. Soc. Am. 57, No. 1, 149-150 (1975).

[2] Redondo, J.; Picó Vila, R. ;Sánchez-Morcillo, V. ; Woszczyk, W "Sound diffusers based on sonic crystals". JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA.13 (44412 – 4412) 2013

[3] J. Redondo, J. V. Sánchez-Pérez, X. Blasco, J. M. Herrero & M. Vörländer, "Optimización de difusores acústicos basados en cristales de sonido" Tecnica Acústica 2015 (Valencia-Spain)

[4] J. Redondo, R. Picó, B. Roig and M. R. Avis, Time domain simulation of sound diffusers using finite-difference schemes, Acta Acustica united with Acustica 93, 4, 611-622, (2007)

[5] UNE-EN ISO 3382(2001): Acústica. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos. (ISO 3382:1997).

[6] Spring, N. F.; Randall, K. E., The measurement of sound diffusion index in small rooms. Research Dep., Engineering Div., BBC, Kingswood Warren ; 1969