

EVALUACIÓN DEL USO DE PANALES MULTIACTUADORES ACÚSTICOS COMO PANTALLAS DE REPRODUCCIÓN AUDIOVISUAL.

PACS 43.38.-p

Juan Miguel Navarro¹; José Francisco Castejón-Mochón¹; Juan Emilio Noriega¹; Basilio Pueo²; Fernando Vargas-Martín³; José Javier López⁴

1 Universidad Católica San Antonio de Murcia
Avda. de los Jerónimos, s/n. 30.107, Guadalupe, Murcia, España.

E-Mail: jmnavarro@ucam.edu

2 Universidad Alicante. Ap. de Correos, 99, 03.080, Alicante, España.

E-mail: basilio@ua.es

3 Universidad de Murcia

Departamento de Física. 30.100 Murcia, España.

E-mail: vargas@um.es

4 Universitat Politècnica de Valencia

Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia, 46022, Valencia, España.

E-mail: jlopez@dcom.upv.es

ABSTRACT

Multiactuators Acoustical Panels are flat geometry loudspeakers that generate acoustic waves by mechanical actuators transferring acoustics energy to the environment. They are capable of generating a wide range of frequencies over directions of propagation. The surface of these panels could act as a projection screen properly treating it. It must ensure that its reflective properties are appropriate and check that the vibration of the surface itself does not affect the image quality. In this paper we have experimentally evaluated its suitability as audiovisual playback screen.

RESUMEN

Los Paneles Multiactuadores Acústicos son altavoces de geometría plana que generan ondas acústicas mediante actuadores mecánicos que transfieren al ambiente. Son capaces de generarlas con un amplio margen de direcciones de propagación y frecuencias. La superficie de los mismos podría actuar como pantalla de proyección tratándola adecuadamente. Se debe lograr que sus propiedades de reflexión sean adecuadas y hay que comprobar que la vibración de la propia superficie no afecte a la calidad de la imagen. En este trabajo se ha evaluado experimentalmente su idoneidad como pantalla de reproducción audiovisual.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de unir audio y video en un mismo sistema se viene persiguiendo desde la inmersión de las nuevas tecnologías en el ámbito de las comunicaciones. El motivo es simple, se pretende acercar lo máximo posible al modelo de comunicación directa, que se da entre individuos dentro del mismo contexto temporal y espacial, otro tipo de comunicación: la indirecta, aquella que requiere entre medias del emisor y el receptor, una herramienta o instrumento para que la comunicación sea posible. Y es que, mientras en la comunicación directa el concepto "audiovisual" viene implícito, en la indirecta no es estrictamente necesario.

Los Paneles Acústicos Multiactuadores [1], conocidos en la literatura técnica como MAP son altavoces planos que irradian sonido al generar en su superficie ondas de flexión mecánicas que son transferidas al ambiente con mínima elongación. Dicha superficie puede actuar, si se requiere, como pantalla de proyección.

La característica fundamental de estos radiadores, derivados de los altavoces de modos distribuidos (DML) es la capacidad de generar sonido en un amplio margen angular para un conjunto extenso de frecuencias. A esto se le añade la no existencia de caja de acústica lo que provoca sus pequeñas dimensiones de profundidad.

Su superficie plana permite pensar en la posibilidad de integrar en un único dispositivo tanto el elemento generador de sonido como reproductor de imagen. Para ello, se emplearían los MAPs como generadores integrales audiovisuales en los que la vibración produce sonido radiado y, a su vez, su superficie permite la proyección de imagen dada su mínima vibración.

En gran parte esta afirmación es cierta, sin embargo, puesto que la elongación del panel debe adaptarse al nivel de presión sonora deseado y dado que las distancias de visionado pueden cambiar para adaptarse a las distintas configuraciones de sala, la proyección de imagen podría verse comprometida en algunos casos, de ahí el objeto de este estudio. El objetivo principal de este trabajo es la realización del análisis de idoneidad de reproducción audiovisual sobre un MAP del que se requiere una emisión audiovisual completa para futuras aplicaciones de carácter multimedia.

La integración de la imagen y sonido mediante el uso de DML o MAP no es un concepto nuevo. Alrededor del año 2000, esta idea fue por primera vez propuesta como solución a videoconferencias mediante DML de un excitador [2]. Más tarde, se propusieron otras ideas como una combinación de Wave Field Synthesis y proyección de vídeo 2D [3]. Sin embargo, para obtener una mejor inmersión para una gran audiencia, el tamaño de la pantalla debe ser moderadamente alto. El objetivo del primer estudio [2] no era cubrir una gran área de escucha, sino un grupo pequeño de personas para una videoconferencia. En el segundo estudio [3], el panel no se usaba como pantalla de proyección, sino solo como una agrupación de altavoces dinámicos que estaban detrás de una pantalla acústicamente transparente. Esta aplicación de los MAP como pantalla de proyección fue tan solo sugerida, de ahí la importancia de las conclusiones que se puedan sacar de esta investigación, para futuras aplicaciones.

El objetivo principal de trabajo es la realización del análisis de idoneidad de la reproducción audiovisual para grandes audiencias sobre un MAP. Por lo tanto, se requiere una inmersión audiovisual completa para futuras aplicaciones de carácter multimedia. Para ello, se ha realizado una evaluación objetiva a través de mediciones tanto acústicas como ópticas.

Este documento está organizado de la siguiente forma. En el apartado siguiente se realizará una breve introducción a la tecnología MAP y se presentará nuestro prototipo de grandes dimensiones. Posteriormente se describe el entorno de mediciones para después presentar y discutir los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

2. PANELES ACÚSTICOS MULTIACTUADORES

Un MAP es panel que incluye un conjunto o array de altavoces excitados individualmente, encerrados en una estructura específicamente diseñada para facilitar la distribución del sonido a lo largo de la misma. Esta estructura se puede utilizar para la integración de la imagen y el sonido. De esta forma, los estímulos visual y auditivo se aúnan en un solo dispositivo [1]. La premisa de partida de este trabajo se basa en que los MAP

presentan grandes superficies en las cuales realizar la proyección de imágenes sin distorsión de las mismas debido a la poca vibración producida por los altavoces. Dicho de otro modo, suponemos que la vibración del panel es lo suficientemente baja como para ser imperceptible al ojo humano. Esto se comprobará mediante mediciones objetivas.

En lo que a la reproducción de audio se refiere, los MAP son considerados una evolución de los llamados DML, o Altavoces de Modo Distribuido [4]. Un DML consiste básicamente en un pequeño y fino panel que vibra en un patrón complejo por toda su superficie por medio de un transductor electro-mecánico llamado excitador. El panel vibrador y el excitador se encierran en un marco de material variable. Se ha comprobado que los DML tienen una respuesta en frecuencia muy pobre debido a la falta de modos excitados para ciertas regiones de frecuencias, lo que generaba una mala calidad de sonido [3]. Sin embargo los mismos resultados mostraban la opción optimista de extender esta tecnología DML a un panel con múltiples excitadores, pero cada uno controlado por una señal independiente. Es ahí donde nació el concepto de MAP, pues estos no son más que un único panel controlado con múltiples excitadores de forma individual.

El desarrollo de paneles multiactuadores fue posible, en parte, gracias al proyecto europeo conocido como "Carrouso" [5]. Son cuatro los modelos más importantes fabricados con fines experimentales, todos ellos de diferentes tamaños, tal como se muestra en la Figura 1:

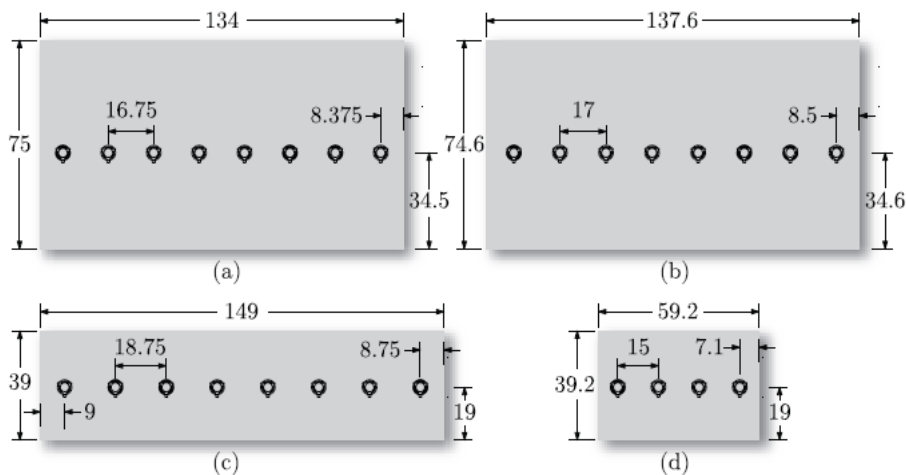


Figura 1. Prototipos de Paneles Multiactuadores anteriores. Dimensiones en centímetros.

El MAP con 8 excitadores en la Figura 1(a) fue diseñado en la Universidad Tecnológica de Delft, Holanda, usando como material del panel PVC de 5 mm con núcleo de Foamboard [6]. En el Laboratorio de comunicaciones multimedia y procesado de señales de la Universidad de Erlangen-Nueremberg, Alemania [7], desarrollaron un panel de ocho excitadores (Figura 1(b)). Es casi igual al creado en Delft pero con una pequeña diferencia en la distancia entre excitadores. Los presentados en la Figura 1(c) y 1(d) surgieron de la colaboración llevada a cabo por el IRCAM de París y *Sonic Emotion* AG de Suiza [8]. Al contrario que los modelos previos, estos modelos son comercializados por *Sonic Emotion* bajo el nombre de "Paneles M3S". La mayor innovación con respecto a los últimos diseños es la introducción de pequeños paneles de cuatro excitadores. Además, dichos paneles son construidos con papel del tipo panel de abeja laminado el cual es mucho más eficiente que el *Foamboard* utilizado anteriormente.

El requisito principal para la construcción de nuestro prototipo de MAP es el tamaño del mismo. Se intentó diseñar un MAP grande pero práctico que pudiera ser transportado con

relativa facilidad. Por esta razón se establecieron unas dimensiones de 122 cm de alto por 244 de ancho, para un buen ajuste de la relación de aspecto y para acercarse lo más posible a los 2,5 m que se presuponían ideales para distribuir 13 excitadores centrales de manera eficiente. La separación de estos altavoces centrales entre sí se fijó en 18 cm, dado que la frecuencia de aliasing que se daba de esta manera rondaba aproximadamente 1 kHz, tal como se había experimentado con anterioridad [1]. En la Figura 2 se muestra una fotografía del estado original del MAP en mayor detalle.



Figura 2. Prototipo MAP empleado en esta investigación antes del proceso de pintado.

El panel fue diseñado en un inicio para cumplir las demandas de aplicaciones de audio inmersivo, por lo que se añadieron dos agrupaciones más de altavoces encima y debajo de la fila central. Ambas agrupaciones son de 5 altavoces, lo que hace un total de 23 altavoces distribuidos por todo el panel, y que podrían ser posteriormente controlados de manera sencilla por una tarjeta de sonido de 24 canales.

A la hora de escoger los materiales del MAP, se hizo pensando en la eficiencia, robustez y durabilidad de los mismos. Para la carcasa exterior, se escogió el contrachapado de madera debido a su resistencia y su gran dureza. La superficie del panel es un emparedado de una película de poliéster y papel del tipo panal de abeja de 5 mm de grosor, pegados usando un adhesivo termoplástico. Todo ello enfocado a una mejor resonancia por el comportamiento que estos materiales muestran para ciertas frecuencias. En cuanto a los altavoces, son transductores dinámicos con un diámetro de 25 mm, adheridos al panel y que fueron escogidos por presentar en pruebas previas un espectro de frecuencias muy preciso [1].

3. CONFIGURACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para comprobar la viabilidad de uso de un MAP como sistema audiovisual se han realizado varios experimentos. En este apartado se describen el instrumental utilizado y la metodología aplicada a las mediciones objetivas. En concreto, se realizaron pruebas acústicas y ópticas.

Todos los experimentos se han llevado a cabo en una sala acústica y ópticamente acondicionada para poder obtener unos resultados con precisión. Entre los equipos utilizados destacar para la parte de audio: la controladora de sonido de la marca M-audio modelo Fast Track, amplificadores Behringer Europower EPQ304, micrófonos de condensador Behringer ECM8000 y sonómetro integrador Rion NL-05. En la parte de imagen el proyector marca Vivitek D510 y medidor de luminancia Konica Minolta LS-10.

Tal y como se puede observar en la Figura 2, la superficie original del MAP es transparente, reflejaba una cantidad de luz excesiva y no tenía un color adecuado como superficie de proyección. Por lo tanto, para su uso como pantalla de proyección era necesario un proceso de pintura previo del MAP mediante pintura especial de color blanco mate. Su aspecto final se presenta a continuación en la Figura 3.



Figura 3. Prototipo MAP empleado en esta investigación después del proceso de pintura.

Antes y después de cada sesión de mediciones se han realizado los ajustes previos de ganancias de canal de amplificación, la calibración del proyector y sonómetro. En estas pruebas sólo se han utilizado los altavoces de la línea central del MAP. Se ha utilizado una parte de la totalidad del MAP, abarcando un área de 157 cm de ancho por 118 cm de alto y comprende 8 altavoces de la línea central. Estas medidas proporcionan una diagonal de 76 pulgadas, escogidas para conseguir una relación de aspecto 4:3, que será la dimensión de la pantalla de proyección.

Los procedimientos de medición para cada tipo de experimento se describen a continuación.

Para las mediciones acústicas se fija una distancia de 2 m desde el micrófono a la superficie del panel, evitando tener menos de 1,5 m a cualquier otra superficie. Se realizaron dos configuraciones de mediciones: una colocando el micrófono apuntando al punto medio de la línea central de altavoces; otra colocando el micrófono perpendicular a cada uno de los altavoces. En ambas configuraciones se reproducía una señal sweep ordenadamente en cada altavoz con el objeto de obtener su respuesta en frecuencia.

Para las mediciones ópticas se usó una distancia de 3,3 m de distancia de proyección. Se procedió a obtener 4 características importantes: la ganancia de la pantalla, la luminosidad del proyector respecto a la pantalla, la relación de contraste y el ángulo de visión.

Con objeto de calcular la ganancia de la pantalla se siguió el estándar BS 5550-7.2.5 [9] empleado en cinematografía y recomendado por empresas especializadas que trabajan con pantallas de proyección. El método consiste en tomar dos medidas sobre el punto central de la pantalla de proyección con el medidor de luminancia montado en un trípode, orientado de manera totalmente perpendicular a la pantalla y de forma que el ángulo de incidencia y de reflexión sea el mismo. Con la sala totalmente a oscuras y el proyector emitiendo luz blanca

sobre la superficie, se realiza la primera de las dos mediciones. El resultado obtenido expresado en candelas por metro cuadrado (unidad del S.I) se considerará como L1. A continuación se procede a la segunda medición desde la misma distancia, empleando una superficie de referencia para la que se considera un valor 1,0 de factor de ganancia. Para ello se ha empleado una superficie de carbonato de magnesio. Este material es el que se toma como referencia en la fabricación de pantallas de proyección pues refleja la práctica totalidad de la luz que recibe. A este resultado se le llama L2. Para calcular la ganancia de la pantalla simplemente se ha de dividir el valor L1 entre el valor L2.

El siguiente paso es la medición de la luminosidad total del proyector y la pantalla de proyección. Para ello se empleará el procedimiento conocido como “método ANSI” definido en el IEC 61947-1 [10]. Dicha normativa, especifica que las lecturas de luz se han de realizar en nueve puntos de la superficie de la pantalla proyectando una imagen blanca (ver Figura 4(b)). Estos puntos habrán de ocupar un lugar muy preciso en el centro de nueve rectángulos formados al dividir vertical y horizontalmente la imagen en una cuadrícula de 3 x 3. Al realizar este tipo de medición, las unidades de la salida luminosa de un sistema de proyección frontal se conocen universalmente como “lúmenes ANSI” y se precisará de un patrón como el que se muestra en la Figura 4(a) para realizar las medidas con la máxima precisión.

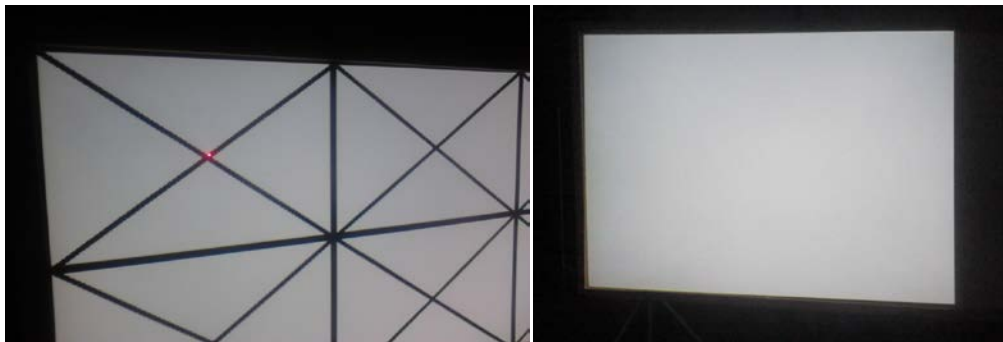


Figura 4. a) Patrón cuadrícula b) imagen blanca proyectada para medidas de luminancia.

Posteriormente se procedió a la medición de la relación de contraste, es decir, la relación entre los blancos y los negros que el proyector es capaz de conseguir. Para la obtención del contraste se siguió el método de medida, también definido por la norma IEC 61947-1 [10], conocido como método “ANSI CR”. En este caso se muestra un patrón de prueba, que divide la imagen en una cuadrícula de 4 x 4 de rectángulos blancos y negros dispuestos alternativamente como en un tablero de ajedrez como muestra la Figura 5. Las lecturas de luz se realizan en el centro de cada rectángulo. La suma de las mediciones de los rectángulos blancos se divide entre la suma de los rectángulos negros. El valor obtenido se conoce como ANSI CR (Contrast Ratio).

Un último punto, a tener en cuenta durante esta parte óptica, es el cálculo del ángulo de visión que se puede obtener fácilmente conociendo la distancia de visionado y la diagonal de la pantalla.

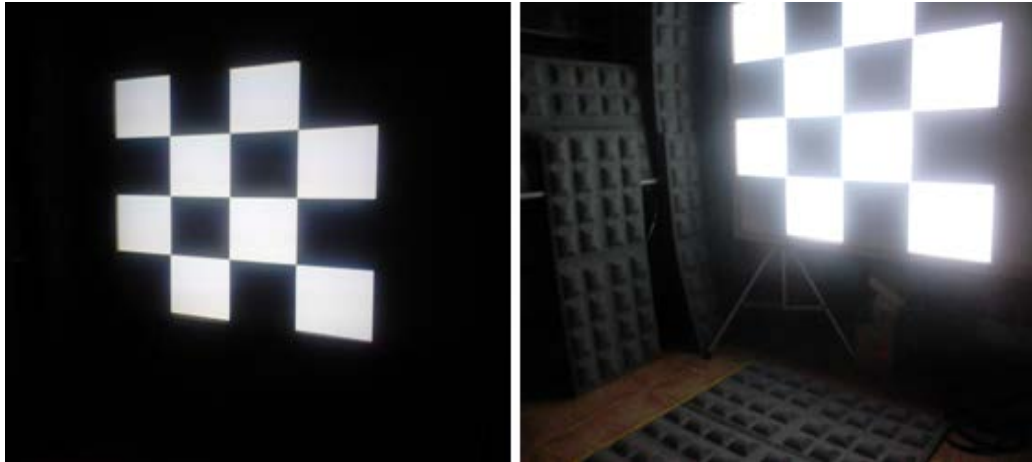


Figura 5. Patrón cuadrícula para medidas de relación de contraste.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los experimentos y se discuten las observaciones realizadas de los mismos. En primer lugar, en las Figuras 6 y 7 se muestran las respuestas en frecuencia de cada uno de los 8 altavoces de la línea central medidos con una configuración de micrófono axial centrado con respecto al MAP y con respecto a cada excitador, respectivamente.

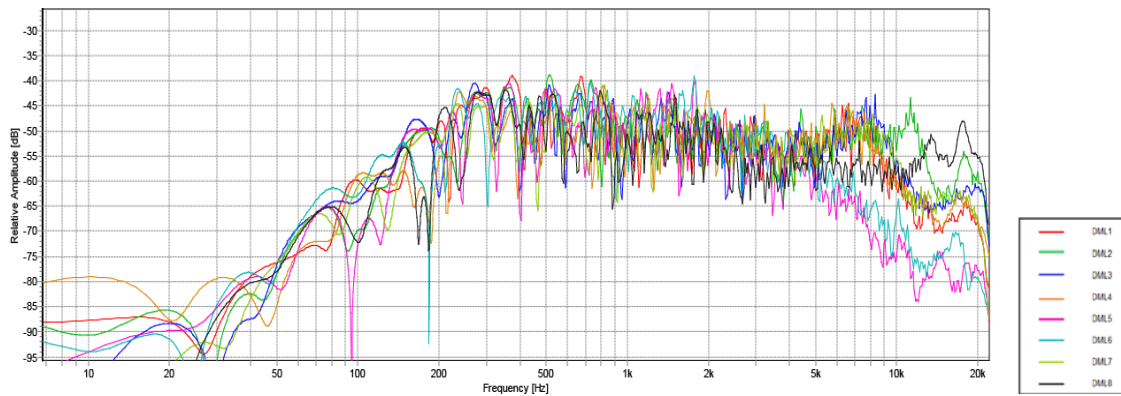


Figura 6. Respuesta en frecuencia de los altavoces tras el pintado del MAP, con micrófono centrado respecto al MAP.

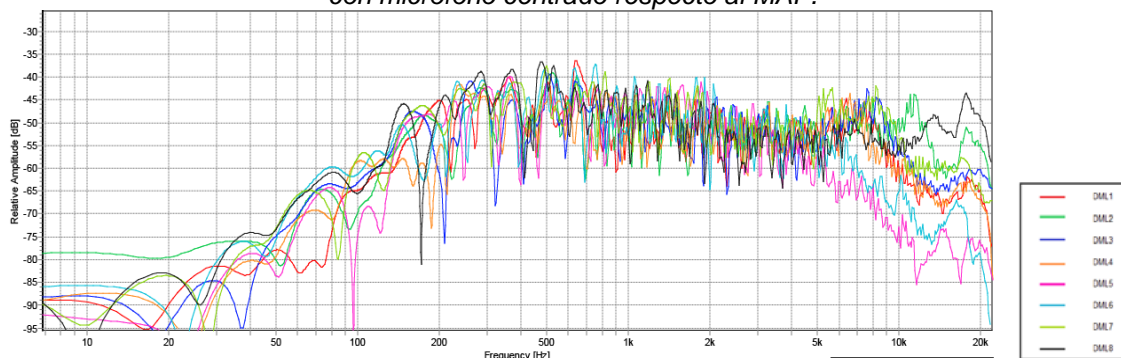


Figura 7. Respuesta en frecuencia de los altavoces tras el pintado del MAP, con micrófono centrado en cada excitador.

Como se puede observar, la respuesta es similar en todas las posiciones de los micrófonos. En la Figura 6 se aprecia que el excitador central (DML5) presenta una respuesta sensiblemente peor que el resto de excitadores. Este comportamiento es coherente con la teoría que describe la física vibratoria del panel: puesto que un panel multiexcitado ha de proveer de un conjunto distribuido de modos de vibración, la posición central de excitación provoca dos efectos perniciosos. Por un lado los modos de vibración de baja frecuencia se ven atenuados ya que las líneas nodales de esos modos tienen un movimiento restringido. Por otro lado, el objetivo de distribución homogénea de los modos en frecuencia se ve truncado al situar dos modos fundamentales en la misma frecuencia. Este comportamiento se puede observar igualmente en la Figura 7.

En segundo lugar, el comportamiento caótico de vibración de la superficie del panel se aprecia cuando se realiza un análisis en banda fina como el que se presenta en las figuras. Los cambios bruscos de amplitud locales pueden dar una apariencia de respuesta en frecuencia deficiente. Sin embargo, debido al efecto integrador del oído en bandas críticas, que corresponden de forma aproximada a bandas de tercio de octava, la respuesta percibida es continua y relativamente suave. Este efecto es común a los altavoces multiexcitados MAP y a los altavoces monoexcitados DML, los cuales se basan en la excitación y posterior integración por parte del sistema de percepción humana, de un número alto y equiespaciado de modos de vibración.

No obstante lo anterior, con el objeto de conseguir una respuesta global más plana, es posible aplicar técnicas de ecualización estándar que han resultado exitosas en prototipos MAP [11]. Para ello, se puede realizar una ecualización por excitador o incluso, con el objetivo de reducir la complejidad y, por lo tanto, la carga computacional, es posible abordar el problema mediante la aplicación de filtros comunes a pares de excitadores equiespaciados respecto al central.

Las mediciones de la ganancia de la pantalla muestran un resultado de $54,63/60,74 \text{ cd/m}^2 = 0,9$. Este valor es muy cercano al 1,0 de referencia lo que indica unas buenas prestaciones de la pantalla. Con respecto a los valores conseguidos sobre la luminancia de cada zona se muestra a continuación las cd/m^2 en la Figura 8.

41,6	48,04	43,53
46,02	54,4	48,94
41,43	49,83	42,52

Figura 8. Valores de luminancia (cd/m^2) para cada zona del panel MAP medido.

La media de la luminancia es de $46,25 \text{ cd/m}^2$, oscilando el rango idóneo recomendado por los British Standards entre 27 y 55 cd/m^2 . Cabe indicar que estas recomendaciones son

específicas para la proyección cinematográfica, no existiendo recomendaciones para proyección en salas de tamaño pequeño y mediano dedicadas a reuniones por ejemplo.

Si el valor medio de iluminación de la pantalla (medido en lux) se multiplica por el área de la superficie de proyección, se obtiene el valor correspondiente a los "lúmenes ANSI". De esta forma, $145 \text{ lux} \times 1,852 \text{ m}^2 = 268 \text{ lúmenes ANSI}$. Es importante saber, que cuando se tienen perfectamente ajustados los proyectores para una buena calidad de imagen la cantidad de lúmenes ANSI medidos estarán entorno los 200 y 500.

El siguiente punto a comentar son los resultados obtenidos para el cálculo de la relación de contraste o ANSI CR. Así pues los valores obtenidos son, en cd/m^2 , los que se muestran en la Figura 9:

38,52	0,9	43,52	0,84
0,93	48,56	1,17	46,26
39,6	1,21	52,55	1,03
0,79	45,4	0,91	42,8

Figura 9. Valores de luminosidad (cd/m^2) para medir contraste con el método ANSI CR.

La media para todos los blancos es de: $44,65 \text{ cd/m}^2$. La media para todos los negros es de: $0,97 \text{ cd/m}^2$. De tal manera que el ANSI CR es de 46, por lo que el ANSI Contrast Ratio es de 46:1. Virtualmente, todos los proyectores de tecnología DLP son capaces de lograr un contraste ANSI de 200:1, de manera que el valor obtenido puede parecer un contraste bajo. Esta característica es un punto a mejorar para pasos futuros en la investigación.

Por último lugar, está el ángulo de visión que resulta $37,26^\circ$, un valor muy cercano a los 40° óptimos que establecen las recomendaciones THX

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se plantea la posibilidad de utilizar la superficie de un panel acústico multiactuador como pantalla de proyección con el objetivo de integrar imagen y sonido en un mismo dispositivo. Como primera aproximación al problema, se han realizado varios experimentos tanto acústicos como ópticos sobre un MAP con su superficie pintada de blanco mate. En general, los resultados conseguidos son satisfactorios indicando que el trabajo de investigación puede continuar con experimentos más detallados.

Los resultados obtenidos en las mediciones acústicas muestran que la respuesta de los altavoces mantiene sus valores originales después del proceso de pintado. Sin embargo, para obtener una respuesta global más plana, se recomienda el uso de técnicas de equalización.

Con respecto a los resultados de la mediciones ópticas cabe resaltar que tanto la ganancia como la luminosidad obtenidas cumplen los estándares de cinematografía que se emplean como referencia siendo el contraste la característica más susceptible de mejora en futuros desarrollos.

AGRADECIMIENTOS

Financiado por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación, proyecto TEC2012-37945-C01.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Pueo, "Analysis and enhancement of Multiactuator Panels for wave field synthesis reproduction" Valencia, 2008.
- [2] K. Chiao, N. Harris, and C. Kyriakakis. A New Approach to Speaker/Room Equalization. In 109th Conv. Audio Eng. Soc., number 5221, Los Angeles, USA, Sept. 2000.
- [3] W. de Bruijn and M. Boone. Application of Wave Field Synthesis in Life-Size Videoconferencing. In 114th Conv. Audio Eng. Soc., number 5801, Amsterdam, The Netherlands, Mar. 2003.
- [4] N. Harris and M. O. Hawksford. The Distributed-Mode Loudspeaker (DML) as a Broad-Band Acoustic Radiator. In 103rd Conv. Audio Eng. Soc., number 4526, New York, USA, Sept. 1997.
- [5] S. Brix, T. Sporer, and J. Plogsties. Carrouso - An European Approach to 3D-Audio. In 110th Conv. Audio Eng. Soc., number 5314, Amsterdam, The Netherlands, May 2001.
- [6] M. M. Boone. Multi-actuator panels (MAPs) as loudspeaker arrays for wave field synthesis. Journal of the Audio Engineering Society, 52(7-8):712-723, 2004.
- [7] D. Seuberth. Kompensation von Flachlautsprechern für ein Wellenfeldsynthesesystem. Master's Thesis, Multimedia Communications and Signal Processing, University of Erlangen-Nuremberg, Germany, 2003.
- [8] E. Corteel, K.-V. Nguyen, O. Warusfel, T. Caulkins, and R. Pellegrini. Objective and subjective comparison of electrodynamic and map loudspeakers for wave field synthesis. In AES 30th Int. Conf., Saariselka, Finland, Mar. 2007.
- [9] BS 5550-7.2.5:1980 Cinematography. Production and presentation. Screens and screen luminance. Specification for cinematograph screens (British Standard).
- [10] IEC 61947-1 Ed. 1.0 en:2002, Electronic projection - Measurement and documentation of key performance criteria - Part 1: Fixed resolution projectors.
- [11] B. Pueo, J.J. López, G. Ramos, J. Escolano, Efficient equalization of multi-exciter distributed mode loudspeakers, Applied Acoustics, Volume 70 (5), 737-746, May 2009