

## EVALUACIÓN DE CONFIGURACIONES DE SISTEMA DE AUDIO ESPACIAL AMBISONIC PARA SU USO EN AMBIENTE DOMESTICO

PACS: 43.55.Jz

Navarro, Juan M.; San Millán, Álvaro; Marsilla, José  
Universidad Católica San Antonio de Murcia  
Avd. de los Jerónimos, s/n  
30107 Guadalupe. Murcia. España  
Tel: +34 968 278 825  
Fax: +34 968 278 581  
E-Mail: jmnnavarro@pdi.ucam.edu

### ABSTRACT

This paper presents some preliminary evaluations about the performance of a spatial sound system to reproduce sound field in a home room environment, as a living room. Ambisonic is a well-known multichannel surround sound system that has been mainly used in educational, entertainment and research purposes. Several experiments have been done using different setups of a third order ambisonic system with eight loudspeakers. Psychoacoustic tests have been carried out with non-expert listeners in order to obtain a suitable and easy to configure setup for a home customer but maintaining its good properties.

### RESUMEN

Este artículo presenta algunas de las evaluaciones preliminares realizadas sobre el rendimiento de un sistema de sonido espacial para reproducir el campo sonoro en un ambiente de habitación de vivienda, como puede ser un comedor. Ambisonic es un sistema de sonido envolvente multicanal conocido que ha sido utilizado principalmente para propósitos educativos, entretenimiento e investigador. Se han realizado varios experimentos usando diferentes configuraciones de un sistema ambisonic de tercer orden usando ocho altavoces. Se han llevado a cabo pruebas psicoacústicas con oyentes no expertos con el objetivo de obtener una configuración adecuada y fácil de instalar para un usuario doméstico pero manteniendo sus buenas características.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, son cada vez más habituales las instalaciones audiovisuales en los salones de nuestras casas donde se aglutinan varios equipos de sonido e imagen con el objetivo de ofrecer al espectador las sensaciones más realistas. Dentro del apartado sonoro se ha extendido el uso de sistemas de audio envolvente donde se aumenta el ángulo de recepción o escucha a los 360°, normalmente en el plano horizontal. Las grabaciones de sonido envolvente convencional localizan las fuentes de sonido simplemente por medio de diferencias de nivel,

aunque al reproducirse por altavoces situados en diferentes posiciones, los oídos interpretan las señales recibidas de varias direcciones proporcionando información de localización. Estas tecnologías, como por ejemplo las tecnologías Dolby Surround [1], requieren para su correcta reproducción una configuración y situación de los altavoces fijada por normas ITU [2]. Además, la sensación de espacialidad se define solamente por el funcionamiento aislado de cada altavoz, produciendo un efecto débil sobre todo en los laterales y detrás del oyente. Últimamente, tras la implantación de los televisores 3D en el hogar están apareciendo desarrollos que modifican los sistemas envolventes convencionales, como el Dolby Pro Logic Ilz para añadir sensación de sonido envolvente en el plano vertical [3].

Ambisonic es un sistema de sonido que permite la captación y reproducción de sonido espacial mediante información de amplitud y dirección del sonido. El objetivo de esta tecnología es conseguir reproducir un campo sonoro, solo en plano horizontal o pantofónico, o tanto en plano horizontal como vertical conocido como perifónico, a lo largo de una amplia zona de recepción. Este sistema ha sido principalmente utilizado en entornos de entretenimiento, educativos o investigadores, aunque en los últimos tiempos está empezando a introducirse en las casas a través del campo de los videojuegos [4].

En este artículo se presenta una evaluación preliminar realizada sobre este sistema de sonido espacial estudiando su comportamiento en entornos domésticos. Esta evaluación se ha llevado a cabo mediante la realización de varias pruebas a usuarios experimentando diferentes configuraciones de altavoces, tanto ideales como en posiciones más habituales similares a una habitación o salón de vivienda. Estas pruebas intentan mostrar las similitudes o diferencias entre la escucha de un sistema multicanal de ocho canales y un sistema ambisonic de tercer orden, así como su posible adecuación al uso en entornos domésticos. De esta forma se ha comprobado si la pérdida de calidad sufrida por un posicionamiento irregular de los altavoces afecta psicoacústicamente al oyente en su experiencia sonora. En primer lugar se presentan brevemente las bases del sistema ambisonic y se describen sus principales ventajas con respecto a los sistemas envolventes convencionales. Seguidamente se presentan los diferentes experimentos realizados y los resultados obtenidos de los mismos. Finalmente se redactan las conclusiones.

## 2. AMBISONIC

Ambisonic es una técnica de grabación y reproducción sonora que utiliza cuatro canales de grabación, una de amplitud y tres de velocidad y un número limitado de canales de reproducción que depende del orden de aproximación que queramos implementar. Este sistema permite reconstruir un campo acústico en 3D donde se pueden mover varias fuentes sonoras simultáneamente. Fue presentado originalmente por Gerzon [5] y está basado en la descomposición del campo sonoro mediante armónicos esféricos. Mas detalles sobre ambisonic se han publicado en [6-9]. Se ha demostrado que la técnica de reproducción ambisonic consiste en representar el campo sonoro como una superposición de ondas planas.

Teóricamente, es posible recrear de forma perfecta el campo sonoro original mediante un número infinito de altavoces colocados en una disposición cerrada. De modo que, usando un número finito de altavoces situados en forma de esfera se consigue una buena aproximación del campo sonoro original y este puede sintetizarse en una zona finita conocida como punto dulce (sweet spot) de mayor tamaño que en los sistemas envolventes convencionales. Por lo tanto, el campo sonoro recreado varía poco en función de la posición de los oyentes llegando incluso a poder ser apreciado en posiciones externas a la configuración de altavoces. El límite inferior de altavoces necesario depende del número de canales sonoros transmitidos, los cuales vienen definidos por el orden de aproximación de ambisonic. Por lo tanto, cuanto mayor sea el orden del sistema ambisonic utilizado, aumentará la precisión y el tamaño del punto dulce. La configuración mínima es de cuatro altavoces para un sistema pantafónico y de ocho para un sistema perifónico.

A diferencia de los sistemas de sonido envolventes convencionales, cuando se realiza una codificación en ambisonic, no es necesario conocer la posición de los altavoces al ser un proceso independiente, es decir, una misma grabación ambisonic puede reproducirse en diferentes configuraciones de altavoces. Cuando ambisonic se decodifica todos los altavoces cooperan para localizar la posición correcta del sonido, así los altavoces contribuyen a la creación de un campo de sonido único y coherente. Esto hace que ambisonic mejore mucho la reproducción de sonido envolvente sobre todo en los laterales y detrás del oyente. Además, como característica principal ambisonic se basa en la fase de la señal junto con su nivel, para proporcionar información de localización. Como resultado, es menos sensible a la posición del oyente. Teóricamente, es necesario colocar los altavoces en una configuración cerrada y formando un polígono regular. Sin embargo, es posible utilizar estos sistemas en locales de grandes dimensiones y con distribuciones de altavoces irregulares con prestaciones satisfactorias [10]. En el sistema ambisonic los sonidos procedentes de todas las direcciones son tratados equitativamente, en oposición a la mayoría de sistemas envolventes que asumen que la fuente principal de sonido es frontal y que los canales traseros son solo para recrear ambientación y efectos sonoros. Finalmente, es importante resaltar que el sistema ha quedado libre de patentes y existen codificadores y decodificadores implementados a disposición del usuario con la posibilidad de ser modificados.

### 3. EXPERIMENTOS

#### 3.1. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIONES

Con objeto de evaluar las sensaciones acústicas creadas por el sistema ambisonic se han realizado una serie de experimentos con sujetos receptores usando diferentes configuraciones de altavoces. Los experimentos han sido realizados con un sistema de tercer orden de ambisonic usando ocho altavoces instalados en una sala de planta 3 x 3,5 m y 2,85 m de alto. Para unos resultados óptimos, el posicionamiento preciso de los altavoces es completamente necesario. De ahí que a la hora de plantear un montaje de un sistema ambisonic debe prestarse particular atención en posicionar los altavoces en un polígono regular o, en el caso tridimensional, de poliedro siempre que sea posible. Si esta disposición regular no es posible como suele ocurrir en una habitación común de vivienda, son preferibles variaciones ligeras en la distancia antes que disposiciones angulares del azimut incorrectas, ya que estas variaciones en la distancia pueden ser corregidas mediante pequeños retardos sin que afecte significativamente a los coeficientes de la matriz de decodificación. En cualquier caso, cada altavoz debe tener uno diametralmente opuesto.

Se ha definido el concepto "Set" como una configuración de altavoces concreta y se han numerado para poder identificarlos a la hora de la realización de las pruebas. Los diferentes sets se basarán sobre todo en cambios geométricos relacionados con la disposición de los altavoces en la sala.

Un total de 4 sets se han diseñado, los dos primeros pantafónicos y los otros dos perifónicos, basándose en las configuraciones más adecuadas en cuanto a calidad del sistema y por otro lado en el posible uso doméstico de este sistema.

- **Set 1** - Configuración octógono regular.
  - Es la configuración inicial utilizada. Se basa en la colocación de todos los altavoces a la misma altura (aproximadamente 1,5 m) formando un octógono regular con un radio de 1,5 m. En la Fig.1 se muestra una imagen de la sala utilizada con esta configuración de altavoces instalada.
- **Set 2** - Configuración rectángulo regular (uso en vivienda)
  - Parte de la misma configuración de octógono pero con todos los altavoces cercanos a la pared formando un rectángulo regular mediante ocho altavoces a

la misma altura. La Fig 2. Se observa una recreación de la disposición de los altavoces en esta configuración.

- **Set 3** - Configuración cubo regular.
  - Esta configuración representa un cubo, es decir en lugar de los ocho altavoces en el mismo plano como las anteriores configuraciones esta tiene cuatro altavoces a 1m de altura y otros cuatro justamente encima a 1,80m.
- **Set 4** - Configuración paralelepípedo regular (uso en vivienda)
  - La misma configuración anterior de cubo pero con los altavoces colocados en su posición real, en un comedor, cercanos a la pared.

Se ha diferenciado siempre entre la configuración ideal y la real. La ideal, sets 1 y 3, responde siempre a la disposición donde los altavoces están todos equidistantes del centro. La configuración real, sets 2 y 4, está pensada como la configuración que se podría implementar en el comedor de un hogar con una disposición de altavoces frontales y traseros cercanos entre ellos, y una mayor distancia entre los altavoces frontales y traseros como se puede observar en la Fig. 2.



Figura 1. Imagen disposición de altavoces en set 1

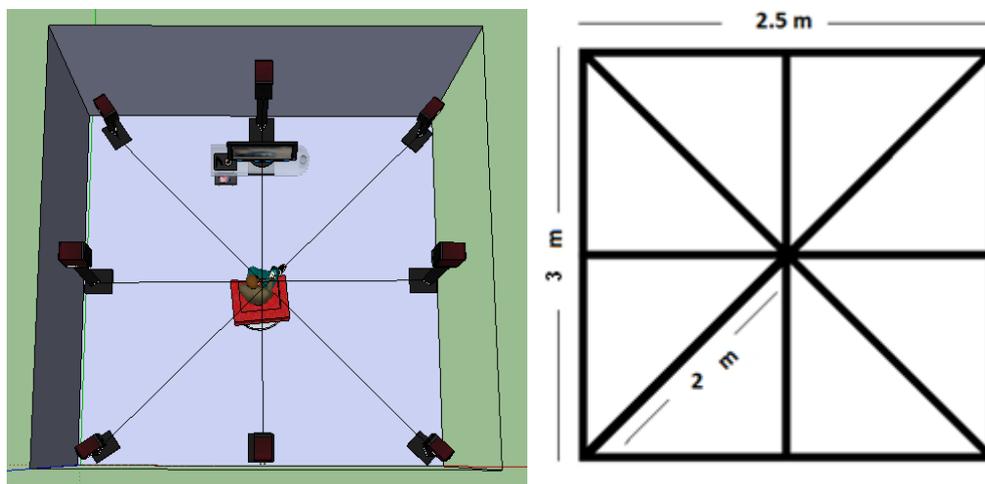


Figura 2. Disposición de altavoces en set 2

### 3.2. PRUEBAS REALIZADAS

Para cada uno de los sets de altavoces se prepararon una serie de pruebas que buscan revelar diferentes aspectos y comportamientos del sistema ambisonic. Se contó con un grupo de veinte oyentes no familiarizados con el sistema para someterlos a las audiciones de las diferentes pruebas y contestar una encuesta de puntuación sobre su percepción subjetiva del campo sonoro en cada set. A continuación se describen brevemente los grupos de pruebas realizados:

- **Test 1.** Reproducción ambisonic de espacios sonoros interiores y exteriores
  - Mediante una unidad de grabación portátil formada por un ordenador Macintosh Powerbook G4 portátil, un micrófono Soundfield ST350 y su previo se realizaron captaciones de espacios sonoros exteriores, situados en un centro comercial, y en los interiores de alguna tienda de este mismo centro. Estas grabaciones se mostraron a los encuestados realizando cuestiones referentes a la sensación de espacio sonoro, posicionamiento de fuentes y calidad de la sensación sonora en cada set.
- **Test 2.** Síntesis de fuentes sonoras.
  - Mediante un codificador ambisonic de señales monofónicas que permite el posicionamiento de las mismas, se crearon una serie de fuentes sonoras de prueba que comprendían frecuencias de 100 Hz, 1 kHz y 4 kHz y varios instrumentos musicales. Seguidamente, se iban desplazando alrededor del oyente y fijando su posición en diferentes puntos. Estas fuentes sonoras sintetizadas se reprodujeron a los encuestados realizando preguntas de posicionamiento de fuentes tanto en el plano horizontal como en el plano vertical y calidad de la sensación sonora en cada set.
- **Test 3.** Música de sistema multicanal frente a ambisonic.
  - Utilizando los archivos multipista de la canción Bohemian Rhapsody del grupo Queen, se ha creado una versión donde se fijan los instrumentos y voces en diferentes posiciones y se realizan desplazamientos de los mismos durante su reproducción. Esta versión se mezcló para un sistema multicanal de ocho canales y se codificó para el sistema ambisonic que solo necesita cuatro canales. Las pruebas de escucha realizadas consistían en preguntar sobre la posible existencia de diferencias entre versiones y el posicionamiento de fuentes.
  -

### 3.3. RESULTADOS PARA PRUEBAS DE REPRODUCCIÓN

Los grupos de pruebas permitían al voluntario evaluar las sensaciones obtenidas mediante una puntuación entre 1 y 10 para las preguntas realizadas, siendo 1 negativo y 10 positivo. El total de preguntas realizadas fueron quince, cinco en cada test, pudiéndose ver a continuación una muestra de ellas:

- ¿Tienes la sensación de estar escuchando un espacio sonoro real?
- ¿Eres capaz de distinguir la posición de las distintas fuentes sonoras?
- Tras escuchar el mismo archivo en los distintos sets ¿cuál es el que te transmite mejor la sensación de un campo sonoro tridimensional?

Para las preguntas sobre localización de fuentes, los encuestados contaban con un diagrama polar donde poder señalar la dirección y posición aproximada de la fuente sonora. Tras evaluar todas las valoraciones que se han recopilado con el análisis estadístico de los resultados que nos han expresado los distintos voluntarios, a continuación se procederá a unificar las conclusiones generales a las que se han llegado en las diferentes pruebas.

### 3.3.1. CONCLUSIONES TEST 1

En general, con una valoración de un 82% los oyentes expresan que los archivos que se reproducían se sentían como un espacio sonoro tridimensional natural. En la mayoría de los casos resultó ser una experiencia agradable. Un alto porcentaje de encuestados (80%), coincidían en que los espacios exteriores eran más claros y realistas que los interiores. En ellos podían distinguir las posiciones de las distintas fuentes sonoras principales, con una valoración de 80%, mientras que había otras secundarias que no podían localizar ya que parecían provenir de todas direcciones. Respecto a la coherencia y naturalidad de las captaciones, una observación importante indicaba que en espacios interiores estas parecían menores, posiblemente debido al efecto de campo cercano de los altavoces en reproducción y al pequeño tamaño del local grabado. Sin embargo, en los espacios exteriores había una gran sensación de espacialidad. En las pruebas sobre distintos sets, el que más gustó por su naturalidad y el carácter más envolvente fue el set 1, seguidos por los sets 2, 3 y 4 en este orden. Los sets 3 y 4 no mejoraban subjetivamente en los voluntarios la sensación de altitud de las fuentes sonoras.

### 3.3.2. CONCLUSIONES TEST 2

Una vez más, el set más valorado fue el numero 1 seguido en este caso por el 3. Para estos sets ideales, los voluntarios identificaron con un 75% de aciertos la zona donde se situaban los instrumentos musicales, incluso cuando se reproducían varios simultáneamente. Además al moverlos por la escena tridimensional la percepción era clara, y en la mayoría de casos, un 67%, no había ninguna duda de la dirección de la fuente al variar su posición horizontalmente. Sin embargo, al variar la posición verticalmente esta sensación de localización no quedaba tan clara y existió un porcentaje de aciertos cercano al 50%. Respecto a los tonos puros, como era de esperar el tono de 100 Hz resultó extremadamente poco direccional y difícil de localizar por los encuestados. El tono de 1 Khz fue el más claro pero produciendo mayor dificultad de posicionamiento que las fuentes musicales o complejas.

Sin embargo, para las pruebas realizadas en los sets 2 y 4 es importante comentar que, en este grupo de pruebas donde se reproducen fuentes aisladas los efectos de diferencias de fase provocados por el posicionamiento irregular de altavoces fueron detectados por el 35% de los encuestados en mayor o menor medida. Esto se reflejaba en los resultados de localización de fuentes de los oyentes resultando el porcentaje de acierto de un 45%, siendo menor que en los sets ideales.

### 3.3.3. CONCLUSIONES TEST 3

Tras comprobar la versión multicanal, la mayoría coincidieron que en el set 1 al comparar la versión multicanal con la versión ambisonic se producía una gran similitud dando un resultado muy natural con una valoración del 88%. El set 2 fue el siguiente más valorado (70%) sugiriendo que esta puede ser una configuración adecuada para el uso en entorno domestico.

Cabe destacar, que a diferencia de lo ocurrido en el test 2, en este grupo de pruebas donde se reproducía una composición compuesta por varias fuentes sonoras simultaneas la diferencias de fase introducidas por los sets reales 2 y 4 eran casi imperceptibles. Solo un 10% de los voluntarios sintió la sensación de incoherencia de fase en algunas fuentes.

#### 4. DISCUSIÓN RESULTADOS

Tras realizar gran cantidad de pruebas tanto en el proceso de captación como en el proceso de reproducción del sistema de sonido ambisonic, a continuación se discuten las conclusiones generales obtenidas sobre el mismo.

Hay que entender el sistema de reproducción ambisonic como un sistema de sonido espacial envolvente, evitando caer en la tentación de compararlo con un sistema de sonido multicanal en el que tendremos una señal distinta para cada altavoz de nuestra configuración. El sistema ambisonic solo necesita captar cuatro señales para recrear un espacio sonoro tridimensional. Además, las pruebas realizadas indican que se producen mejores resultados subjetivos de sensación sonora cuando se trata de espacios sonoros amplios de grandes dimensiones, tanto exteriores como interiores. Se ha observado que para los sets reales ambisonic produce mejores sensaciones en el oyente al recrear campos sonoros con varias fuentes complejas, como por ejemplo voces o sonidos de la naturaleza en general con mayor contenido espectral, que para fuentes simples como un tono senoidal puro o un instrumento aislado.

Tras comprobar distintas configuraciones de altavoces según su posición, podemos concluir que las configuraciones de polígonos regulares son las más adecuadas, sobre todo en espacios de escucha reducidos. Sin embargo una pequeña variación de la posición de los altavoces como en el set 2 produce una sensación sonora calificada como satisfactoria por los encuestados cuando se reproducen señales complejas, aunque peor que la del set 1. Finalmente indicar que la variación horizontal de posición de una fuente sonora reproducida por el sistema ambisonic se percibe con mayor precisión que la variación vertical, en parte debido a las características psicoacústicas del ser humano.

#### 5. CONCLUSIONES

La reproducción de un campo sonoro 3D en el entorno domestico es una tendencia actual tras la implantación en el mercado y la penetración en los consumidores de los televisores y reproductores de imágenes 3D. Ambisonic es un sistema de grabación y reproducción del campo sonoro generalmente utilizado en entornos de entretenimiento e investigación.

En este artículo se presenta una evaluación preliminar sobre la posible utilización del sistema ambisonic en entornos domésticos. Para ello, se han realizado pruebas subjetivas a un grupo de voluntarios en diferentes configuraciones de posicionamiento de altavoces, tanto ideales en polígonos regulares, como más cercanos a la realidad de una habitación o comedor.

Aunque en general los oyentes manifiestan que el set 1 en octógono regular es la que produce una sensación más satisfactoria, la buena valoración obtenida por el set 2 en rectángulo regular en los test 1 y 3 para la reproducción de campos sonoros complejos sugieren que esta puede ser una configuración adecuada para uso domestico.

#### REFERENCIAS

- [1] Couling, John, "Dolby Digital Surround Systems" in Proc. AES UK 14th Conference: Audio - The Second Century. ASC-19. 1999.
- [2] ITU-R BS 775-1. "Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture," Rec., International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland. 1992-1994.
- [3] Tsingos, Nicolas; Chabanne, Christophe; Robinson, Charles; McCallus, Matt, "Surround Sound with Height in Games Using Dolby Pro Logic IIz", Proc. AES 41st International Conference: Audio for Games. Paper 4-2. 2011.

- [4] Horsburgh, Andrew J.; McAlpine, Kenneth B.; Clark, D. Fraser, "A Perspective on the Adoption of Ambisonics for Games", Proc. AES 41st International Conference: Audio for Games. Paper 4-3. 2011.
- [5] Gerzon, M. A., "Ambisonic in multichannel broadcasting and video", J. Audio Eng. Soc., vol. 33, pp. 859-871, 1985.
- [6] Nicol, R. and Emerit M., "3D Sound Reproduction over an Extensive Listening Area: A Hybrid Method Derived from Holophony and Ambisonics", Proc. AES 16th Int. Conf., pp. 436-453, 1999.
- [7] Poletti, M., "A Unified Theory of Horizontal Holographic Sound Systems", J. Audio Eng. Soc., vol. 48, no. 12, 2000.
- [8] Poletti, M., "The Design of Encoding Functions for Stereophonic and Polyphonic Sound Systems", J. Audio Eng. Soc., vol. 44, no. 11, pp. 1155-1182, 1996.
- [9] Daniel J., Rault J.-B. and Polack J.-D., "Ambisonics Encoding of Other Audio Formats for Multiple Listening Conditions", Proc. 105th Conv. Audio Eng. Soc., preprint 4795, 1998.
- [10] D G Malham, "Experience with Large Area 3-D Ambisonic Sound Systems", Proc. of the Institute of Acoustics, Volume 14, part 5, pages 209 to 215. 1992.