

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL, CONFORME A LAS NORMAS ISO 140-3 E ISO 3382.

Antonio Pérez López; Santiago Jesús Pérez Ruiz; Elia Palacios González.
Laboratorio de Acústica y Vibraciones (LAV).
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET).
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., Del. Coyoacán, C.P. 04510.
Tel. 56228602 ext. 1193, apl@aleph.cinstrum.unam.mx, Fax. 56228675.
jesper@aleph.cinstrum.unam.mx, eliapalaciosg@yahoo.com.mx

Resumen: Se describe el diseño, construcción y la evaluación inicial de un prototipo de Fuente Sonora Omnidireccional, desarrollada en el Laboratorio de Acústica y Vibraciones del CCADET-UNAM, conforme a las normas internacionales ISO 3382 e ISO 140-3. La evaluación inicial, muestra que las características del prototipo de Fuente Sonora son comparables con las de algunos equipos comerciales de este tipo, lo que la puede hacer competitiva en comportamiento acústico; además, de tener con un costo financiero relativamente bajo.

1. INTRODUCCIÓN.

La Fuente Sonora Omnidireccional ideal es una esfera pulsante que al expandirse y contraerse genera ondas sonoras que se propagan de igual manera en todas direcciones. Esto implica que a una misma distancia, con respecto de la fuente, y en cualquier dirección el nivel de presión sonora (NPS) sea el mismo en condiciones de campo libre.

Lo que se ha hecho para aproximarse a las características de una fuente sonora omnidireccional ideal, es colocar altavoces, de iguales características y tantos como sea posible, en un compartimiento esférico y hacerlos funcionar en fase. Para lograr esta aproximación se han utilizado compartimientos de diferentes formas geométricas, como son los poliedros regulares (por razones prácticas de funcionamiento y de construcción), siendo el dodecaedro el que se ha ajustado mejor a las necesidades de medición [1, 2, 3, 4].

No obstante que la geometría del dodecaedro ha sido la mejor opción para la construcción de Fuentes Sonoras Omnidireccionales, sus patrones de radiación tienen variaciones de NPS (en función del ángulo de observación y la frecuencia de la señal de excitación) que pueden ser significativas en altas frecuencias. Esto se debe a las características de radiación de los altavoces y a los efectos de difracción e interferencia acústica ocasionados por su colocación, como se puede ver en la Figura 1.

Se debe mencionar que existe otro tipo de fuente sonora omnidireccional, la *OmniSource*TM 4295 [5], que tiene forma de tubo cónico, y aunque el NPS que produce está por debajo de la fuente dodecaédrica *OmniPower*TM [1], tiene un espectro más uniforme en el intervalo de frecuencias medias-altas. Si bien, las características de los altavoces son muy importantes, tanto en las fuentes dodecaédricas [1, 2, 3, 4], como en el caso de la *OmniSource*TM 4295 [5], en esta última la potencia, sensibilidad y tamaño son mas exigentes [6, 7]. Esto podría implicar la realización de una búsqueda exhaustiva del altavoz adecuado o, en caso extremo, diseñarlo y construirlo especialmente.



Fig. 1 Prototipo de Fuente Sonora Omnidireccional, en forma de Dodecaedro, desarrollada en el LAV-CCADET-UNAM.

Para verificar que el comportamiento de una fuente sonora sea omnidireccional, la International Standards Organization (ISO) ha creado normas que establecen los valores de las variaciones máximas permisibles del NPS radiado, en función de la frecuencia, como son la ISO 140-3 [8] y la ISO 3382 [9].

En este trabajo, se presentan las consideraciones de diseño, las características de construcción y los resultados de la evaluación inicial realizada a un prototipo de Fuente Sonora Omnidireccional dodecaédrica, de pequeñas dimensiones, desarrollada en el LAV-CCADET-UNAM, para que cumpla con los requisitos de omnidireccionalidad especificados en las normas [8] y [9], y proporcione un NPS aceptable, en el espectro de 1/3 de octavas de 100 Hz a 5 kHz, comparado con el que logran los equipos comerciales.

Esta fuente sonora será utilizada, en principio, para mediciones de absorción acústica de materiales y de aislamiento acústico de cabinas, dentro de la Cámara Reverberante del LAV-CCADET-UNAM donde el ruido de fondo es bajo. Por otra parte, se espera utilizarla, una vez que se optimice, para mediciones de tiempo de reverberación en recintos y aislamiento acústico insitu.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

Para el diseño de la fuente se consideraron los siguientes puntos:

- Cumplir con los requisitos especificados en las normas ISO 140-3 e ISO 3382.
- Emitir un NPS suficiente, para utilizarla en mediciones de absorción y aislamiento acústicos en la Cámara Reverberante del LAV-CCADET-UNAM.
- Forma dodecaédrica.
- El menor tamaño posible.
- Robusta y resistente.
- Montaje en tripie.
- Buena apariencia.
- Costo relativamente bajo, respecto a los equipos comerciales.

2.1. Construcción del dodecaedro.

Las dimensiones del dodecaedro se definieron en función del tamaño de la canastilla de los altavoces y del volumen equivalente (V_{AS}) de los mismos. El V_{AS} , es el volumen de aire, contenido en una caja, que tiene la misma compliancia que la suspensión

del altavoz [10]. Por lo tanto, el volumen libre interior del dodecaedro debe ser, por lo menos, el V_{AS} de los altavoces para no elevar la frecuencia de resonancia (f_S) y mermar el desempeño en bajas frecuencias de los mismos, de acuerdo a la siguiente relación:

$$\eta_0 = 9.6 \times 10^{-10} \frac{V_{AS} f_S^3}{Q_{ES}}$$

donde η_0 es la eficiencia de referencia y Q_{ES} es el factor de calidad eléctrico del altavoz.

Para la construcción del dodecaedro se maquinaron 12 pentágonos regulares de 9.0 cm por lado, con los cantos biselados a 57.5°, para facilitar las uniones, y con un orificio de 8.0 cm de diámetro al centro para colocar el altavoz. El diámetro de la esfera en la cual está inscrito el dodecaedro, es de 26 cm, aproximadamente, y su peso es de 859.6 g sin altavoces y de 5417.2 g con altavoces. El volumen interior neto del dodecaedro, considerando el cableado y altavoces colocados es de 3.5 litros, aproximadamente. El material que se utilizó en su elaboración fue madera de caoba (por su dureza y densidad) de 3/4" de espesor, silicón como pegamento y barniz transparente como protección y para darle una mejor apariencia. En la Figura 1, se muestra el dodecaedro con los altavoces montados.

2.2. Características de los altavoces.

Los altavoces, marca THUMP y modelo T8351, según el fabricante, son de respuesta en frecuencia extendida (full-range), de 3 1/2" de diámetro, de 4 Ω de impedancia nominal, soportan una potencia de 50 W, tienen una sensibilidad de 87 dB y una respuesta en frecuencia de 120 Hz a 16 kHz. Este último parámetro se verá mermado, sobre todo en el intervalo de frecuencias medias-altas, debido a los efectos de difracción e interferencia que ocurren al interaccionar acústicamente de los altavoces montados en el dodecaedro.

El V_{AS} obtenido del promedio de la medición de los 12 altavoces fue de 0.3 litros, aproximadamente. Por lo tanto, se espera que la compliancia del volumen interior del dodecaedro permitirá un funcionamiento adecuado de los altavoces.

2.3. Conexiones y puesta a punto de la fuente.

Los altavoces no están conectados en arreglos serie-paralelo como los equipos comerciales; es

decir, cada altavoz, del prototipo de fuente sonora, es manejado por su propio amplificador y la distribución de la señal de excitación se realiza en baja potencia; por lo tanto, cada altavoz reproduce la misma señal al unísono y por ende están en fase.

Los amplificadores de potencia se diseñaron y construyeron utilizando el circuito integrado LM1876, de National Semiconductors, el cual contiene en un mismo encapsulado dos amplificadores, los cuales se configuraron para entregar una potencia máxima 15 W c/u en un intervalo de frecuencias de 20 Hz a 20 kHz.

La ganancia de cada amplificador se ajustó para que los 12 altavoces emitan el mismo NPS, a 1.5 m de distancia del centro geométrico del dodecaedro en el intervalo de frecuencias de interés. También se midió el espectro de fase, compensando el retardo por la distancia entre el micrófono y cada altavoz, resultando muy similares en todos los altavoces.

En las Figuras 1 y 2, se muestra la Fuente Sonora Omnidireccional desarrollada en el LAV-CCADET-UNAM con la apariencia que tiene actualmente. En la Figura 1, se aprecia el cable de conexión y la base con la cual se monta en un tripie.



Fig. 2 Fuente Sonora Omnidireccional montada en un tripie y partes que la conforman.

3. RESULTADOS.

3.1. Equipo utilizado.

Las instalaciones y el equipo utilizado, para la evaluación preliminar del prototipo de Fuente Sonora Omnidireccional, fue el siguiente:

- Cámara Anecóica del LAV-CCADET-UNAM.
- Analizador de frecuencias, Brüel & Kjær tipo 2133.
- Analizador de frecuencias, Brüel & Kjær tipo 2034.
- Micrófono de 1/2", Brüel & Kjær tipo 4166.
- Calibrador, Brüel & Kjær tipo 4230.
- Cables, conectores y adaptadores

3.2. Evaluación inicial.

Una vez calibrada la cadena de medición, se monto la fuente en un tripie y se ubicó en el centro de la Cámara Anecóica. El micrófono se colocó sobre el plano horizontal de la fuente, dirigiéndolo hacia el centro geométrico de la misma, a una distancia de 1.5 m [8, 9].

La evaluación inicial, tanto del NPS como de la variación direccional, se realizó girando la fuente 360° en su eje vertical a intervalos de 5° [8, 9]. En cada intervalo se midió un espectro en 1/3's de octava, desde la banda de 100 hasta la de 5000 Hz [8], obteniéndose 72 espectros. Como señal de excitación se utilizó ruido rosa [8, 9].

Los espectros obtenidos durante las mediciones, se almacenaron en disco magnético de 3 1/2", para posteriormente procesar y analizar la información y realizar las graficas, con una computadora personal (PC) utilizando MATLAB®.

3.2.1. Medición del NPS.

El espectro en bandas de 1/3's de octava de la fuente prototipo se obtuvo promediando los 72 valores de NPS para cada banda de frecuencia. En la Figura 3, se muestra la comparación entre los espectros de las fuentes *OmniPower*TM [1] y *OmniSource*TM [5] y el espectro promedio de la fuente sonora prototipo. Los NPS totales desde la banda de 100 a la de 5000 Hz fueron de ~134 dB, ~118 dB y ~104 dB, respectivamente. Estos NPS totales se obtuvieron convirtiendo los NPS de cada banda a presión, sumando las presiones de las 18 bandas y por último convirtiendo esa presión a NPS, para cada espectro.

3.2.2. Medición de la variación direccional.

De acuerdo al procedimiento de cálculo, para determinar las variaciones, y a los límites máximos de variación de NPS para omnidireccionalidad, que establecen las normas [8, 9], se obtuvieron los resultados que se presentan en las gráficas de las Figuras 4 y 5. En la Figura 4, se muestra las variaciones de la fuente prototipo junto con los

límites máximos que establece la norma ISO 140-3 y, en la Figura 5, de acuerdo a la norma ISO 3382.

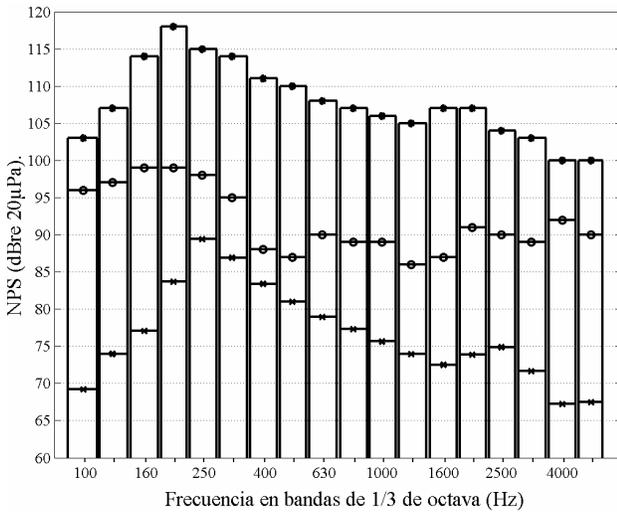


Fig. 3 Comparativo de los espectros, en 1/3's de octava, de las fuentes OmniPower™ (*), OmniSource™ (o) y la prototipo (x). El NPS total calculado para cada fuente es de ~134 dB, ~118 dB y ~104 dB, respectivamente.

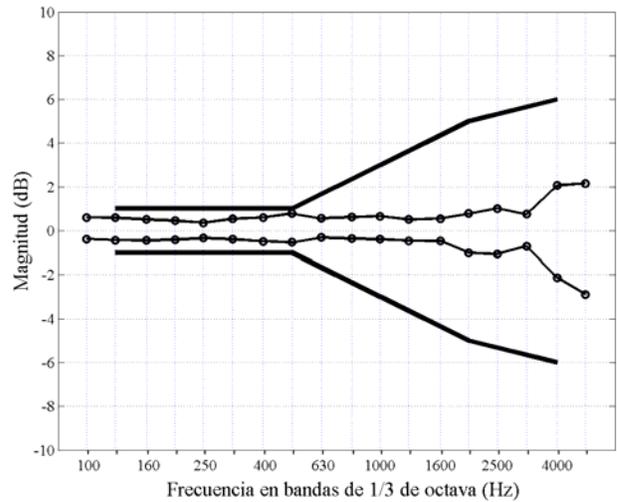


Fig. 5 Gráfica de la variación del NPS del prototipo de fuente junto con los límites máximos permitidos por la norma ISO 3382.

3.2.3. Patrón de radiación.

Para mostrar la direccionalidad de la Fuente Sonora se obtuvieron los patrones de radiación para todas las bandas de 1/3 de octava de frecuencia medidas. En la Figura 6, se muestra los patrones de radiación de las bandas de 1/3's de octava de 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz y 4 kHz.

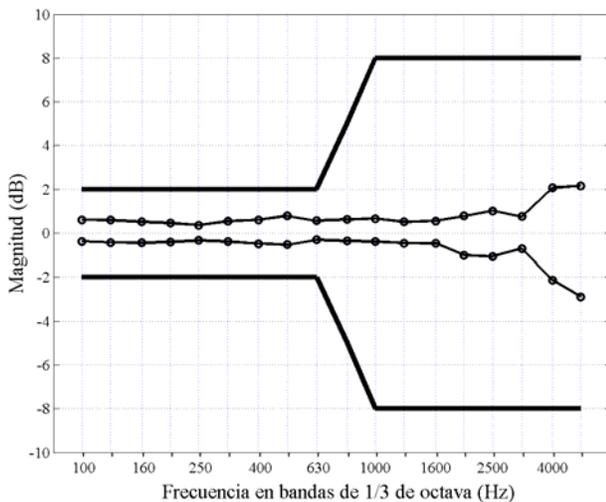
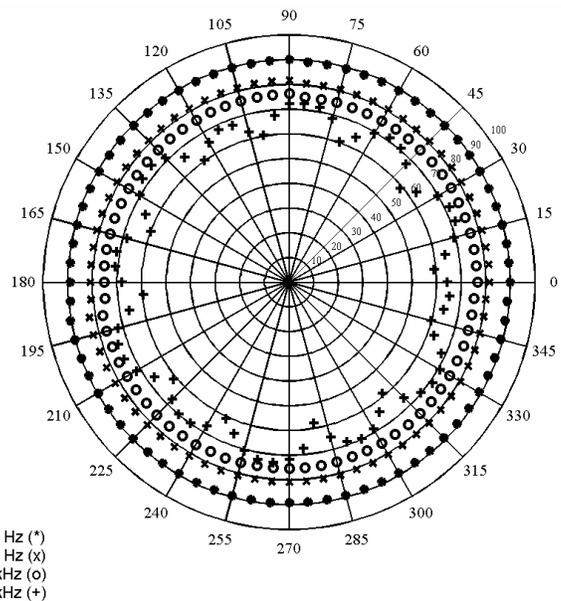


Fig. 4 Gráfica de la variación del NPS del prototipo de fuente junto con los límites máximos permitidos por la norma ISO 140-3.



Para 250 Hz (*)
 Para 500 Hz (x)
 Para 1 kHz (o)
 Para 4 kHz (+)

Fig. 6 Patrón de radiación de la Fuente Sonora Omnidireccional en las bandas de 1/3 de octava para las frecuencias de 250 Hz (*), 500 Hz (x), 1 kHz (o) y 4 kHz (+).

4. DISCUSIÓN.

La evaluación inicial, satisfactoriamente, indica que la fuente cumple con las condiciones de variaciones máxima que las normas [8] y [9] permiten; como se puede observar en las gráficas de las Figuras 4 y 5, a pesar de que la norma [9] es mas estricta.

Aunque el NPS total de nuestro prototipo es relativamente bajo (~104 dB), comparado con el que ofrece la fuente comerciales dodecaédricas *OmniPower*TM [1] (~134 dB) y la fuente *OmniSource*TM [5] (~118 dB), podría ser suficiente para efectuar mediciones (como la de absorción acústica de materiales y aislamiento de cabinas) en recintos donde el ruido de fondo sea bajo, como es el caso de la Cámara Reverberante.

No obstante lo anterior, se está trabajando para mejorar el rendimiento de la etapa de amplificación, si los altavoces lo toleran.

Para que la respuesta en frecuencia sea mas uniforme o comparable con la de la fuente *OmniSource*, se está trabajando en la posibilidad de introducir una etapa de ecualización.

Por lo que concierne a los patrones de direccionalidad se puede observar, en la Figura 6, que la fuente tiene un funcionamiento muy bueno en frecuencias bajas y bastante aceptable en medias-altas.

5. CONCLUSIONES.

En este trabajo se presentó el desarrollo de un prototipo de Fuente Sonora Omnidireccional tipo dodecaedro de dimensiones pequeñas y de relativo bajo costo en su construcción.

La evaluación inicial muestra, que la fuente tiene un funcionamiento aceptable, al cumplir con los requisitos que exigen las normas internacionales [8, 9], a pesar de las limitaciones de NPS y respuesta en frecuencia que presenta.

Es importante señalar que, no obstante de las restricciones que presenta la fuente actualmente, se acerca a las características de funcionamiento de los equipos que existen en el mercado. Por lo tanto, los resultados de este primer intento de desarrollar un equipo de este tipo son muy alentadores, e indican que, una vez realizadas las adecuaciones necesarias, podría ser competitivo, en comportamiento y costo, si se introduce al mercado.

6. REFERENCIAS.

- [1] Brüel & Kjær, *OmniPower*TM Sound Source - type 4296, including Power Amplifier - type 2716. Product datasheet.
- [2] Norsonic, *Dodecahedron Loudspeaker - model Nor-270*. Product datasheet.
- [3] CESVA Acoustics Instruments, *Fuente de Presión -modelo FP120, que incluye un Altavoz Omnidireccional - modelo BP012 y un Generador de Ruido/Amplificador - modelo AP600*. Hoja de datos del Producto.
- [4] Acoustics Engineering, *Pyrite Omni-directional Sound Source*. Product datasheet.
- [5] Brüel & Kjær, *OmniSource*TM Sound Source - type 4295, including Power Amplifier - type 2716. Product datasheet.
- [6] J. D. Polack, L. S. Chistensen and P. M. Juhl. *An Innovative Design for Omnidirectional Sound Sources*. Acta Acústica, Vol. 87, 2001, pp. 505–512.
- [7] J. D. Polack, *Omnidirectional sound source*. Patente No. WO 96/11558, 1996.
- [8] ISO 140-3: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. Second edition, 1995-05-15.
- [9] ISO 3382: Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Second edition, 1997-06-15.
- [10] Joseph D'Appolito. *Testing Loudspeakers*. Audio Amateur Press, 1998.