

## CARACTERIZACIÓN DE DIFUSORES EN CÁMARA ANECOICA

PACS:43.55.Jz

Redondo Pastor, Javier; Ramis Soriano, Jaime; Alba Fernández, Jesús  
Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia.  
Carretera Nazaret-Oliva s/n  
46730 Gandía. Valencia  
Tel: 962 849 314  
Fax: 962 849 309  
E-Mail: fredondo@fis.upv.es

### ABSTRACT

In this work we have use the traditional procedures for anechoic chambers in order to characterise a diffuser surface. The scattering coefficients have been obtained for the diffuser and for a flat surface with the same dimensions. We discuss the results for the different scattering coefficients in both the two cases evaluating the dispersion power of the diffuser

### RESUMEN

En este trabajo hemos utilizado las técnicas tradicionales para caracterizar superficies difusoras en cámara anecoica. Los coeficientes de dispersión han sido obtenidos tanto para un difusor como para una superficie plana. Se discuten los resultados para los diferentes coeficientes de dispersión en ambos casos evaluando el poder dispersor del difusor.

### INTRODUCCION TEORICA

Las características acústicas de cualquier superficie vienen dadas por el valor del coeficiente de absorción,  $\alpha$  y el coeficiente energético de difusión o dispersión,  $d$ . Dichos coeficientes son utilizados habitualmente por programas de simulación basados en la acústica geométrica. El modo de operación de estos programas en lo que se refiere a superficies difusoras es el siguiente: cuando un rayo acústico incide sobre una superficie difusora el programa genera un número aleatorio. Si dicho número es menor que el coeficiente de dispersión,  $d$  además de generarse el rayo correspondiente a la reflexión especular se genera un segundo rayo con dirección aleatoria. La intensidad de los rayos reflejados se determina a partir del coeficiente de absorción,  $\alpha$  tal y como se hace habitualmente para superficies no difusoras. En definitiva, la simulación de la difracción requiere el conocimiento del coeficiente de dispersión,  $d$

Existen diferentes técnicas para obtener el coeficiente de dispersión. El método tradicional consiste en la medida directa de  $d$  en Campo Libre. Para ellos se realizan medidas del sonido incidente y reflejado para una serie discreta de ángulos de reflexión. Dichas mediciones deben realizarse en un ambiente anecoico o al menos en ausencia de reflexiones tempranas que

podieran enmascarar las reflexiones en la muestra. Se introduce en el recinto una fuente acústica, el difusor y un micrófono unido a un goniómetro, o una serie de micrófonos situados en un arco de circunferencia, tal y como se representa en la figura 1 (Algunos investigadores prefieren sustituir la serie de micrófonos en arco por un array lineal de micrófonos o un micrófono móvil en una dirección paralela a la superficie del difusor ([FZC], [Far00b]). Como señales de prueba pueden utilizarse o bien pulsos de muy breve duración y con diferentes frecuencias centrales, o bien detonaciones o cualquier técnica que permita evaluar la respuesta al impulso del sistema. Para tal fin suelen utilizarse técnicas TDS (Time Delay Spectrometry) aunque en los últimos años dichas técnicas han dado paso a otras como las MLS.

La medida de sonido reflejado se realiza para todos los ángulos de reflexión desde  $-90^\circ$  hasta  $90^\circ$  a intervalos de  $5^\circ$  grados o más. Dicha resolución es suficiente para evaluar la difracción por reflexión a bajas y medias frecuencias, por debajo de 2000Hz. Esto es debido a que la variación de los patrones de difracción es más suave cuanto mayor sea la longitud de onda. Si se pretende evaluar el comportamiento dispersor a altas frecuencias se deben realizar medidas con intervalos angulares inferiores a los citados.

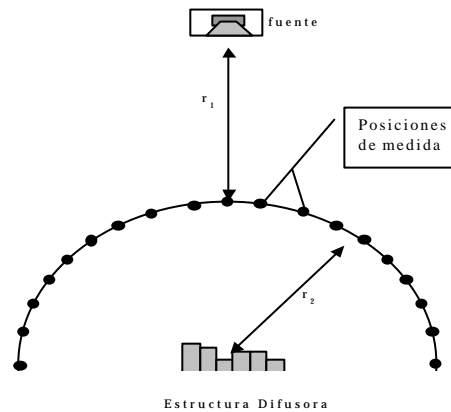


Fig. 1. Dispositivo experimental para la medida de  $d$  en cámara anecoica

De este modo se pueden obtener patrones de difracción polares de la presión sonora reflejada en los difusores. A partir de éstos se puede, finalmente, obtener los coeficientes de absorción y dispersión de la muestra. Basta con realizar los siguientes cálculos a partir de las definiciones del coeficiente de dispersión:

$$d \equiv 1 - \frac{\mathbf{r}_{E \text{ reflejada especular}}}{\mathbf{r}_{E \text{ reflejada}}} \cong 1 - \frac{\sum_{\text{zонаesp}} p_i^2}{\sum_{\text{total}} p_i^2}$$

donde  $\mathbf{r}_E$  es la densidad de energía acústica y  $p_i$  es la presión sonora medida en la posición  $i$ -ésima dentro de la semicircunferencia de. Nótese que el sumando del numerador se extiende tan solo a las posiciones de medida que se encuentran en el interior de la zona de reflexión especular (véase figura 2)

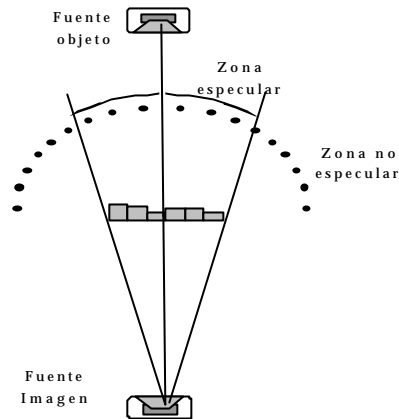


Fig. 2. Zona especular en el dispositivo experimental para la medida de  $d$  en cámara anecoica

Resulta conveniente que la zona especular sea lo más pequeña posible si lo que se desea es obtener el valor del coeficiente de dispersión en campo lejano [HLA98]. En la práctica se suele tomar un máximo de un 25 por ciento de las medidas en la zona especular.

Existe una variante del método descrito hasta ahora, en la que se repiten las medidas para diferentes ángulos de incidencia. Para ello se desplaza el altavoz de tal manera que se miden todos los ángulos de reflexión para diferentes ángulos de incidencia. De este modo puede evaluarse el coeficiente de dispersión para incidencia aleatoria, promediando, de manera ponderada, todos los ángulos de incidencia. El coeficiente de dispersión así obtenido resulta de mayor interés dado que, en situaciones reales, el sonido incide sobre el difusor desde diferentes direcciones.

### Otros Métodos De Caracterización De Difusores

Existen otros métodos que permiten obtener el coeficiente de dispersión. Entre ellos destacan los siguientes:

1.- Método de Mommertz y Vorlander: Este método [Mom00] se basa en que el sonido reflejado de manera difusa es incoherente con respecto a la señal incidente, al contrario del sonido reflejado de manera especular que es coherente con la misma. Existen dos variantes del mismo. En la primera las mediciones se hacen en ambiente anecoico. En la segunda, se hacen en un ambiente reverberante. En esta última se estima el valor del coeficiente de dispersión a partir del promediado para varias posiciones del difusor de las curvas de caída desde el estado estacionario.

2.- Holografía Acústica: Este método [Kle89] se basa en la holografía acústica de campo cercano (NAH, Near-Field Acoustic Holography). Consiste en medir el sonido reflejado por un difusor en un ambiente anecoico. Para ello se hace incidir un frente de ondas plano sobre el difusor, es decir se sitúa una fuente sonora a una distancia suficientemente grande. Se mide la presión sonora reflejada en diferentes puntos, tal y como se hace en el primer método comentado, pero dichas medidas se realizan en un plano y no en un hemisferio. El único requisito es que las medidas en el plano sean simultáneas o con una relación de fase constante. A partir de las medidas en dicho plano, conocido como plano de holografía, muy cercano al difusor, se puede calcular la presión sonora reflejada en cualquier punto del espacio, y en particular, en un plano, habitualmente denominado plano de la transformación a una cierta distancia  $z$  del plano de medida, pudiendo extenderse los cálculos a campo lejano o a campo cercano según se precise. A menor distancia entre el plano del holograma y el difusor, mayor será la resolución angular del patrón de difracción calculado.

### Otros Coeficientes De Dispersión

Recientemente se han propuesto nuevos parámetros que den cuenta de las características dispersoras de un dispositivo o material. Hargreaves *et al* [HLA98] han sugerido la utilización de un nuevo parámetro de dispersión pensado con el fin de evaluar la homogeneidad espacial de la dispersión de la siguiente manera:

$$d_{uc} = \frac{(\sum p_i^2)^2 - \sum (p_i^2)^2}{(n-1)\sum (p_i^2)^2}$$

donde  $p_i$  es la presión sonora en la posición  $i$ -ésima de medida y  $n$  es el número de posiciones (ángulos) de medición. El nuevo parámetro definido,  $d_{uc}$ , es conocido como *coeficiente de uniformidad de la dispersión* o *coeficiente de dispersión direccional* (scattering uniformity coefficient). Según Farina [Far00a],  $d_{uc}$  es susceptible de ser utilizado en programas de simulación, rediseñados a tal efecto, con mayor éxito que las simulaciones tradicionales que hacen uso de la habitual definición de coeficiente de dispersión. Por otra parte, este parámetro puede ser utilizado para la optimización de difusores.

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

Con el fin de diseñar y optimizar difusores se ha elaborado un programa ejecutable bajo MATLAB®. Dicho programa diseña el difusor y posteriormente muestra el patrón de difracción predicho por la solución de campo lejano de Fraunhofer de la ecuación de Helmholtz-Kirchhoff. Utilizando este programa se ha diseñado un difusor difractal a partir de una secuencia de residuo cuadrático de longitud 7 (ver figura 3) que posteriormente hemos construido en madera lacada. El diseño se ha pensado para que quede cubierto el rango frecuencial de mayor interés para el oído humano. En particular, la frecuencia de diseño es de 400 Hz y dada la dimensión fractal del mismo es de esperar que mantenga su poder dispersor hasta los 8000 Hz. El difusor construido tiene 1 m. de ancho por 2'5 m. de alto. El espesor es de unos 30 cm.

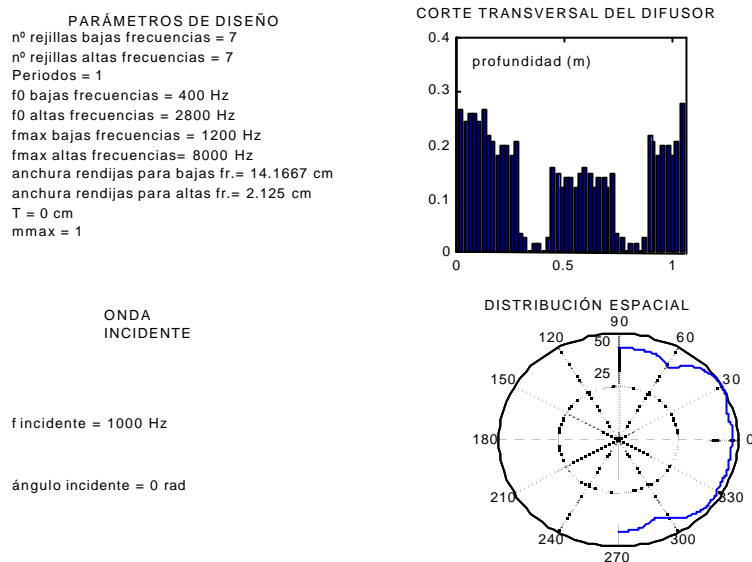


Fig. 3. Resumen del diseño de un difusor unidimensional (difractal)

Una vez diseñado y construido el difusor se ha utilizado el método tradicional de caracterización en campo libre para obtener los diferentes coeficientes de dispersión del mismo. Se ha obtenido la respuesta al impulso del difusor utilizando técnicas MLS. A partir de dichas respuestas se ha medido el nivel de presión sonora correspondiente a las reflexiones sobre el difusor para una serie de ángulos de reflexión, en nuestro caso, entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$  a intervalos de  $5^\circ$ , repitiéndose dichas mediciones para una serie de ángulos de incidencia, en nuestro caso, entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$  a intervalos de  $5^\circ$ .

En la figura 4 se ilustran los patrones de difracción por reflexión obtenidos para el difusor. En dicha figura se representa, juntos con los resultados experimentales, las predicciones obtenidas mediante un algoritmo basado en el principio de Huygens modelando el difusor como una serie de elementos según la *teoría de elementos finitos*. Cabe destacar la excelente coincidencia entre los resultados experimentales y las predicciones teóricas salvo en casos aislados. Con el fin de evaluar si la dispersión es provocada por el tamaño finito del dispositivo o, por el contrario, es debida a su peculiar estructura se han repetido las medidas para una superficie plana. (Para mayor brevedad no se muestran los patrones de difracción obtenidos para dicha superficie)

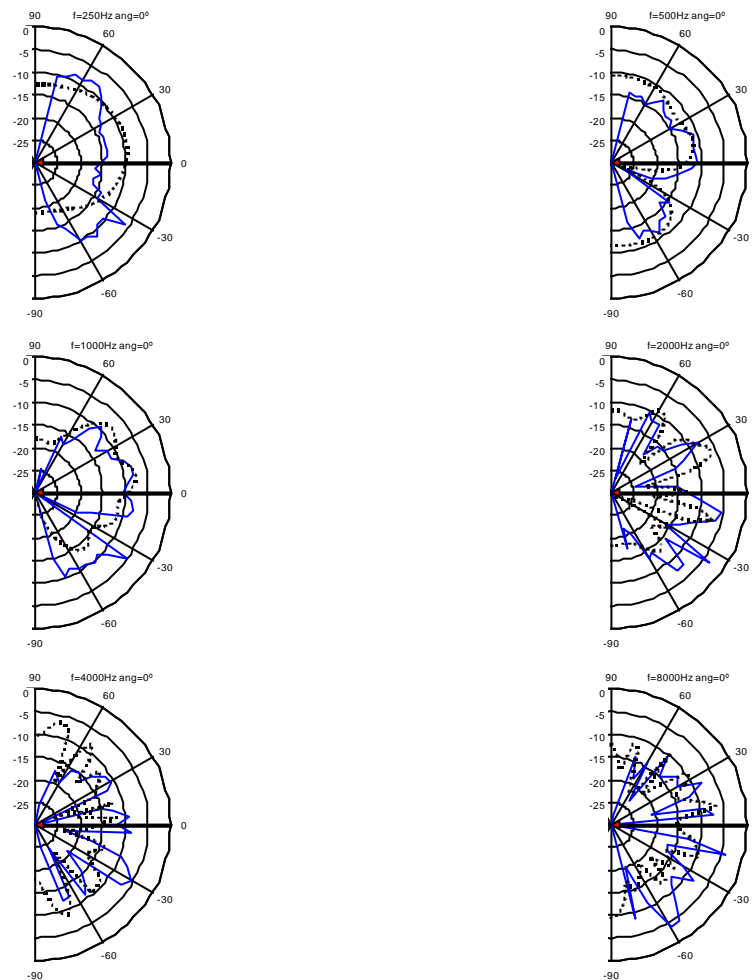


Fig. 4. Diagramas polares del patrón de difracción del difusor (Línea continua). Predicción por elementos finitos (Línea discontinua). Incidencia normal (frecuencia=250,500,1000,2000,4000,8000Hz)

A partir de los valores de la presión sonora reflejada en función del ángulo de incidencia y de reflexión se han calculado los coeficientes de dispersión anteriormente citados. Dichos cálculos se han realizado para bandas de tercios de octava. Es habitual el cálculo del coeficiente de dispersión midiendo solamente en el caso de incidencia normal. La figura 5 ilustra los resultados que habrían sido obtenidos de ese modo y los obtenidos promediando adecuadamente todas las direcciones de incidencia. Es evidente el error que ello implica en la estimación de dicho coeficiente de dispersión. Se hace necesario, pues, la medida de varios ángulos de incidencia para estimar de manera adecuada el coeficiente de dispersión.

En la figura 6 se ilustran los resultados obtenidos para el coeficiente de dispersión direccional. Puede observarse que los valores obtenidos para este parámetro son mucho menores que

para el coeficiente de dispersión energético, siendo menos apreciables las diferencias entre las dos superficies evaluadas.

En los dos coeficientes de dispersión obtenidos resulta evidente que a frecuencias cercanas a la de diseño (400 Hz) el difusor dispersa el sonido por su tamaño finito. Esto hace que los valores de los coeficientes de dispersión para ambas superficies sean comparables. Para frecuencias por encima de la de diseño se observa un excelente comportamiento dispersor del dispositivo construido.

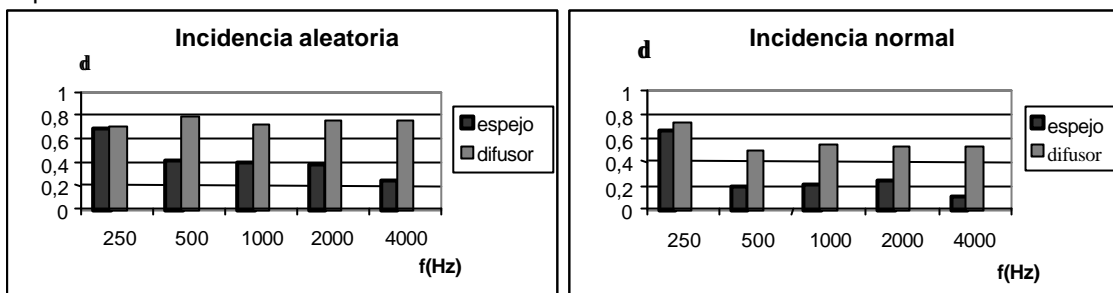


Fig. 5. Coeficiente de dispersión energético del difusor comparado con el correspondiente a una superficie plana (espejo) Incidencia normal en la parte inferior e incidencia aleatoria en la parte superior. (acumulación por octavas)

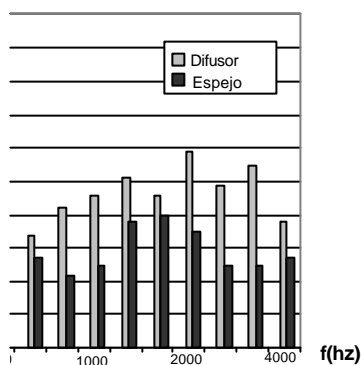


Fig. 6. Coeficiente de uniformidad de la dispersión del difusor comparado con el correspondiente a una superficie plana (espejo) (Incidencia Aleatoria) Acumulación por tercios de octava

## REFERENCIAS

[Far00a] A. Farina, *A new method for measuring the scattering coefficient and the diffusion coefficient of panels*. *Acustica*, **86**, 6 (928-942) 2000

[Far00b] A. Farina, *Measurement of the surface scattering coefficient: comparison of the Mommertz/Vorlander approach with the new Wave Field Synthesis method*, International Symposium on Surface Diffusion in Room Acoustics - Liverpool (GB) 16 2000.

[FZC00] A. Farina, M. Zanolin, E. Crema, *Measurement of sound scattering properties of diffusing panels through the Wave Field Synthesis approach*, 108th AES Convention, Paris, 2000.

[HLA98] T.J. Hargreaves, T.J. Cox, Y.W. Lam, P.D'Antonio, *Characterising scattering from room surfaces*, Proc 16th ICA y 135th Meeting A.S.A. Seattle WA, vol IV, Junio 1998.

[Kle97] Mendel Kleiner, Hans Gustafsson, Joakim Backman, *Measurement of directional scattering coefficients using Near-Field Acoustic Holography and Spatial Transformation of Sound fields*. *J. Audio Eng. Soc.* Vol 45, No. 5, Mayo 1997

---

[Mom00] E.Mommertz, M. Vorlander, Measurements of scattering coefficients of surfaces in the reverberation chamber and in the free field. 108th AES Convention, Paris, February 2000.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo forma parte de un proyecto financiado por la Consellería de Educación y Ciencia de la Generalitat Valenciana.