

EXPERIMENTACION SOBRE MODELOS DE BARRERAS ACUSTICAS CON OBJETO DE COMPROBAR LA IDONEIDAD DE DIFERENTES ALGORITMOS DE PREDICION.

J. Pfretzschner, M.A Martín.

Instituto de Acústica, (C.S.I.C) Madrid

1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la creciente necesidad de protección acústica frente al ruido de tráfico rodado, mediante la construcción de barreras anti-ruido cercanas a las vías de circulación.

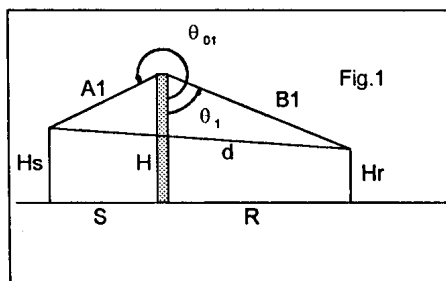
El gran número de investigaciones realizadas durante las últimas décadas, han conducido al desarrollo de diferentes algoritmos de cálculo basados en el estudio del fenómeno de la difracción a través de la teoría geométrica de la difracción (GTD) propuesta por J.B.Keller.

Los distintos algoritmos formulados parten de simplificaciones teóricas (campo libre, pantalla semi-infinita), que conducen a bajas correlaciones con los resultados obtenidos para determinadas situaciones experimentales..

La dispersión de resultados teóricos/experimentales, evidencia la necesidad de realizaciones de ensayos sobre modelos, con objeto de comprobar los límites de aquellos.

Por otra parte, y dada la gran complejidad que representa la construcción de un modelo a escala que cumpla las condiciones ideales impuestas en las expresiones simplificadas de los algoritmos de cálculo (longitud infinita), se ha hecho necesario el desarrollo de ecuaciones analíticas que determinen las características del campo sonoro difractado en el modelo objeto de estudio.

2. ALGORITMOS DE PREDICIÓN.



Los algoritmos de cálculo desarrollados a partir de la GTD, que van a ser objeto de un estudio comparativo con los resultados experimentales del modelo a escala, están basados en condiciones ideales de experimentación: pantalla semi-infinita de espesor despreciable frente a la longitud de onda, y condiciones de campo libre.

Algunas de las expresiones más utilizadas son las siguientes:

Maekawa: $ILM = 10 \log (20N)$; *Tatge*: $ILT = 10 \log (20N+3)$

Keller: $ILKe = 10 \log \frac{w_i^2 d^2 h_i^2}{8k\pi}$ *Kurze-Anderson*: $ILKu = 20 \log \frac{\sqrt{2N\pi}}{\tanh \sqrt{2N\pi}} + 5$

Siendo (fig. 1):

$$N_i = \frac{2}{\lambda} (A_i + B_i - d) \quad h_i = [A_i B_i (A_i + B_i)]^{-1/2} \quad w_i = \frac{1}{\cos(\frac{\theta_i - \theta_{oi}}{2})} + \frac{1}{\cos(\frac{\theta_i + \theta_{oi}}{2})}$$

3. REALIZACIÓN DEL MODELO A ESCALA.

Las condiciones de campo libre imponen la necesidad de realizar la experimentación en la cámara anecoica. Se descarta cualquier medida in situ, debido a la existencia de elementos perturbadores no contemplados por los diferentes algoritmos de cálculo, que podrían añadirse a las medidas experimentales (ruido ambiente, reflexiones en el terreno).

El factor de escala elegido para la realización del modelo, es función tanto de las dimensiones de la cámara anecoica como de la precisión en las medidas. Teniendo en cuenta que el intervalo de frecuencias preponderante en el ruido de tráfico rodado (evaluado según la curva de ponderación A), es el comprendido entre los 500-1000 Hz, conducen a una escala 1:6 como la más conveniente.

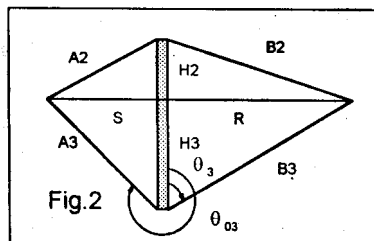
La pantalla se ha construido con madera aglomerada y plastificada de 19 mm de espesor, con altura y longitud de 0.4 m y 2.44 m respectivamente (acústicamente reflectante). Un sistema de arrastre mecánico controlado desde el interior del laboratorio, permite realizar barridos en función de la distancia receptor-pantalla. La altura del receptor se puede variar a voluntad.

Transductores empleados.

- *Emisor*. Como fuente puntual de ruido se ha utilizado un "tweeter" con sensibilidad de 0.185 Pa/Volt (1m), junto con un filtro paso bajo como protección a las bajas frecuencias. Esta fuente emisora proporciona un nivel sonoro suficiente (>78 dB a 6m) para conseguir una adecuada relación señal/ruido.

- *Receptor*. En recepción se ha utilizado un micrófono omnidireccional de electrete miniatura marca SENNHEISER con sensibilidad de 1.15 Volt/Pa con respuesta lineal en frecuencia.

4. MODIFICACIONES TEÓRICAS INTRODUCIDAS EN LOS ALGORITMOS DE CÁLCULO.



La realización de medidas experimentales en cámara anecoica imposibilitan dotar a la longitud de la pantalla acústica de dimensiones infinitas.

Como opción alternativa, se han desarrollado algoritmos en los que el valor asignado al campo acústico difractado tiene en cuenta las

contribuciones no solo de las ondas acústicas difractadas por el borde superior de la barrera, sino también las contribuciones de las difractadas por los bordes laterales.

El algoritmo desarrollado (ec. 1) a partir de la expresión de Keller, permite calcular las interacciones cruzadas de los potenciales de velocidad de los campos acústicos difractados por el borde superior y los bordes laterales de la barrera.

$$IL = -10 \log \frac{d^2}{8\pi k} \left(\sum_{i=1}^3 O_i^2 + \sum_{i=1}^3 P_i \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Siendo:

$$P_1 = 2O_1O_2 \cos(z_1 - z_2); P_2 = 2O_1O_3 \cos(z_1 - z_3); P_3 = 2O_2O_3 \cos(z_2 - z_3)$$

con:

$$O_i = w_i h_i; \quad z_i = k(A_i + B_i) + \frac{\pi}{4}$$

en donde i , tomará los valores 1, 2 y 3 para los rayos que pasan sobre el borde superior y los bordes laterales de la pantalla respectivamente.

El tratamiento del problema, a partir de las expresiones de Maekawa, Tatge y Kurze-Anderson, solo permiten consideraciones energéticas, como suma de la aplicación de los respectivos algoritmos a los tres bordes que intervienen en la difracción (aplicación usual propuesta en diferentes manuales).

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

La experimentación con tonos puros produce marcados fenómenos de interferencia, que dificultan la interpretación. Para paliar en lo posible este inconveniente, se ha recurrido a la emisión de bandas de ruido rosa (1/3 octava) centradas en la frecuencia de interés.

Por conveniencia, al tratarse de un modelo a escala donde el ruido de tráfico es simulado a partir de una fuente puntual, se han realizado las medidas situando emisor y receptor centrados respecto a los bordes de la pantalla (en las expresiones del apartado anterior corresponde al caso $H_2=H_3$).

Mediante esta disposición, se han realizado un gran número de ensayos, variando los parámetros geométricos que entran en juego, con objeto de evidenciar los límites de aplicación de los distintos algoritmos.

Las figuras 3 y 4, muestran dos casos representativos. En la primera, cuyos datos geométricos son $H_s=0$, $S=30$ y $H_r=20$ cm, (valor de $N>1$). Para esta situación, todos los algoritmos deben tener un comportamiento similar. Sin embargo, existen diferencias notables entre ellos, dando valores de IL más optimistas cuando el cálculo se realiza a través del plantamiento energético (Kurze, Maekawa, Tatge), lo que indica una gran influencia de las difracciones por los bordes laterales.

La figura 4 ($H_s=37$, $S=50$ y $H_r=38$ cm), corresponde a valores de $N \approx 0$. En este caso los algoritmos de Keller y Maekawa, presentan grandes desviaciones respecto a los valores experimentales, explicables ya que la expansión asintótica de Keller se desarrolló para altos valores de kR (o lo que es equivalente $N>1$). Esta limitación que Kurze obvia mediante su algoritmo, función de la tangente hiperbólica de N , permite una buena correlación entre los valores experimentales y los teóricos para este caso particular de incidencia cuasi-rasante, en la que las interferencias entre los campos acústicos difractados por el borde superior y los laterales son de escasa relevancia.

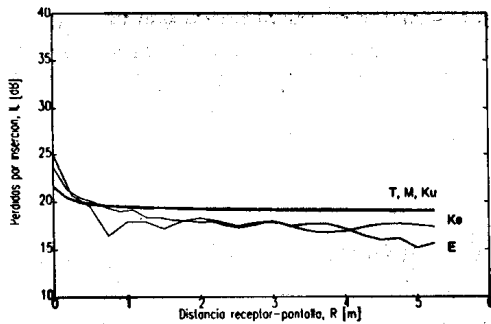


Fig.3

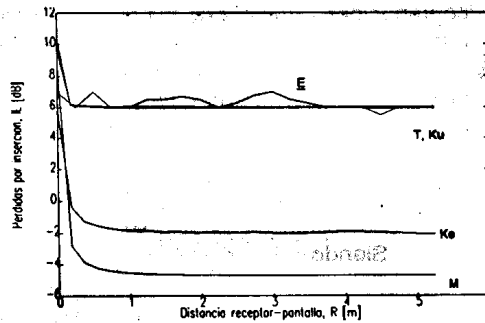


Fig.4

6. CONCLUSIONES.

La realización de un modelo experimental con buen grado de aproximación a las condiciones ideales del tratamiento físico-matemático de las pérdidas de inserción por difracción de pantallas acústicas, permite poner en evidencia:

La existencia de una buena correlación entre los resultados experimentales y los teóricos, con distancias óptimas de medida (en nuestro caso), entre 1 y 4 m (error < 1 dB).

Las dispersiones esperables entre los valores de IL calculados a partir de la suma energética de los campos difractados (error esperado 3 dB) y los calculados a partir de los potenciales de velocidad, para valores de N en los que los algoritmos son equivalentes.

Las limitaciones de aplicabilidad del algoritmo desarrollado por Keller a valores de $N > 1$.

La buena correlación entre el algoritmo propuesto (ec. 1) y los resultados experimentales para $N > 1$.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J.B.Keller. "Diffraction by an aperture". J.Applied Physics. 1957
- [2] U.J.Kurze. "Sound attenuation by barriers" Applied Acoustics .1970
- [3] Norma VDI 2720 Schallschutz durch Abschirmung im Freien.

8. AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo se encuentra dentro del proyecto PB91-0884, financiado por la DGICYT.