

DIFRACCION DE IMPULSOS POR BARRERAS Y DIEDROS: APLICACION A LA DETERMINACION DE LA RESPUESTA IMPULSIONAL EN MEDIO URBANO

REFERENCIA PACS: 43.50.Gf

A. Moreno, C. de la Colina, F. Simón, J. Pfretschner
Instituto de Acústica del CSIC
Serrano 144
28006 Madrid. España
E-Mail: iacma15@pinar2.csic.es

ABSTRACT

Acoustic pulses are re-open as a powerfull tool for studying diffraction around barriers as an approach to quantify the complex acoustic field in urban areas. Theoretical results are tested in scale models for a variety of obstacles focusing particularly thin and thick barriers. A tentative extrapolation to more comlicated situation is stated. Particular attention is paid to the foundations of a single number rating of noise barriers for both market and prediction of urban noise protection.

RESUMEN

En este trabajo de reabre el uso de señales impulsivas en el estudio de la difracción por barreras y obstáculos como aproximación al estudio y cuantificación de los fenómenos de difracción en el complejo medio urbano.

Se presentan comparativamente resultados teóricos y experimentales para diferentes configuraciones de obstáculos con especial aplicación al caso de barreras volúmicas de dimensiones finitas y se compararan a las soluciones analíticas de casos conocidos.

Finalmente se plantean aspectos en relación a la incidencia de este tipo de modelo en la descripción de índices de valoración global y su aplicabilidad en problemas de predicción del ambiente acústico en ciudades.

INTRODUCCION

Es altamente improbable, en ambientes urbanos, encontrar impulsos de muy corta duración entre las señales significativas de molestia para el ciudadano. Sin embargo el interés de estas señales es grande debido a la información directa que pueden aportar en la obtención de la respuesta impulsional de sistemas y en la ponderación relativa de la contribución de cada uno de estos en el campo acústico resultante de la interacción de todos: número de reflexiones a considerar, orden de difracciones sucesivas significativas, tamaño mínimo de obstáculos a considerar etc.. Paralelamente el formalismo de la respuesta impulsional puede facilitar, por aplicación iterativa (convolución iterativa) de las correspondientes a los obstáculos o subsistemas que intervienen en un proceso de propagación, el conocimiento del campo sonoro resultante en las zonas de interés :

$$s(t, r) = s(t, r_0) \otimes \prod_1^N h(t, r_j, r_{j-1}) \otimes h_j(t)$$

siendo $s(t, r_0)$ la señal en la emisión, $h_j(r_{j-1}, r_j)$ la respuesta impulsional correspondiente a la propagación entre los obstáculos o subsistemas $j-1$ y j , y $h_j(t)$ la respuesta impulsional del subsistema j , y \otimes el producto de convolución. Este formalismo mantiene la esencia de la teoría geométrica de Keller de la difracción por un semiplano

Desde un punto de vista experimental interesan señales lo mas parecidas a la función δ de Dirac. Es decir señales de muy corta duración cuyo contenido espectral sea de banda muy ancha. Contempladas espacialmente deben presentar figuras de radiación suficientemente esféricas. Cumpliendo estas condiciones en grado suficiente se pueden obtener aproximaciones de interés de los problemas estudiados.

En este trabajo aplicaremos este tipo de señales en el estudio de la influencia de barreras en el campo sonoro resultante, como elementos de base en la configuración del medio urbano. Analizaremos la información que esta metodología suministra sobre la diferenciación de las propiedades de los obstáculos por su geometría y propiedades acústicas, particularmente en las cumbreras de barreras, y su capacidad respecto a la definición de un índice global de caracterización.

CONSIDERACIONES TEORICAS

Las teorías de la difracción por barreras han sido desarrolladas en un numero elevadísimo de publicaciones. Una amplia bibliografía sobre el mismo puede encontrarse en [1].

Desde el punto de vista que aquí nos interesa, sobre todo en relación a la respuesta impulsional de barreras para fuentes puntuales, citaremos dos niveles fundamentales:

- a) la teoría de Maekawa-Kurtze-Anderson
- b) la teoría ondulatoria de Pierce.

La teoría de Maekawa-Kurze-Anderson, de importancia por su utilidad en problemas de propagación exterior a nivel de ingeniería [2 , 3, 4] puede resumirse en la archiconocida ecuación:

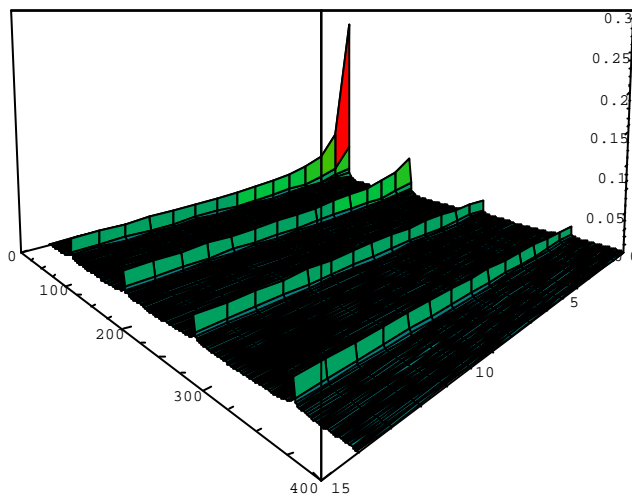
$$IL = 5 + 10 \lg \frac{tgh\sqrt{2pN}}{\sqrt{2pN}} \therefore N = 2d/l$$

donde los símbolos tienen el significado bien conocido. Solo da información del módulo del efecto de la barrera combinado con la geometría de las posiciones de la fuente de ruido, receptor y barrera. Siempre sin delimitar el efecto independiente de la barrera, permite el cálculo de la respuesta impulsiva si se hace una hipótesis suplementaria sobre la fase.

Para barreras de espesor finito, combina la fórmula anterior en dos sumandos sucesivos: en el primero contabiliza el efecto de la cara anterior de la barrera tomando el número de Fresnell

N1 que resulta de situar la fuente a la misma distancia de la barrera pero a la misma altura que la cumbre de ésta; en el segundo se contabiliza el efecto de la cara posterior de la barrera tomando el número de Fresnell N2 que resulta situando el receptor a la altura de la cumbre y manteniendo su distancia a esta. El cálculo resulta por tanto algo mas laborioso.

En la figura que sigue se reproducen las respuestas impulsivas que la teoría anterior proporciona para una barrera consistente en un semiplano con el ápice situado en (0.3, 0.4, 0) respecto al emisor situado en el origen (0, 0, 0). El receptor se ha situado en líneas paralelas a la perpendicular del emisor al semiplano, a alturas 0.5, 0.4, 0.2 y 0, y a distancias del emisor 0.4 0.5 0.63 0.8 1 1.25 1.6 2 2.5 3.15 4 5 6.3 8 10.



Pierce[5], siguiendo expresamente la línea deductiva de Keller, en su teoría geométrica de la difracción, obtiene para la relación entre la señal difractada por la barrera (semiplano) y la señal directa en ausencia de barrera la expresión:

$$(p/p_0) = e^{-jk(L-L_0+0.25p)} (L_0/L\sqrt{2}) [A_D(X_+) + A_D(X_-)]$$

$$A_D(X) = sig(X) [f|X| + jg|X|]$$

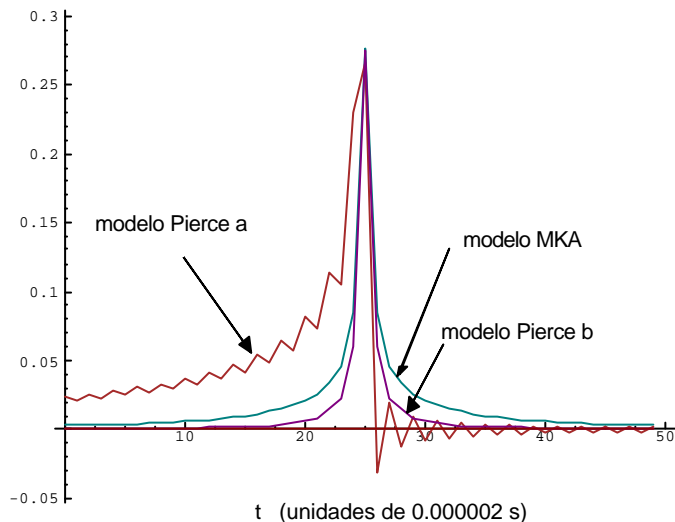
$$X(\mathbf{J}) = (2r \frac{r_0}{L})^{1/2} \frac{\cos(1/\mathbf{b}) - \cos(\mathbf{pJ}/\mathbf{b})}{(\mathbf{p}/\mathbf{b}) \sin(1/\mathbf{b})}$$

$$X_+ = X(\mathbf{J} + \mathbf{J}_0); X_- = X(\mathbf{J} - \mathbf{J}_0)$$

siendo L_0 y L las distancias emisor receptor directa y mínima de difracción respectivamente; r_0 y r las distancias de la cumbre a la fuente y al receptor sobre el rayo difractado ($L=r_0+r$); $f|X|$ y $g|X|$ las funciones auxiliares de Fresnell; β el ángulo complementario al del diedro difractor ($\beta=2\pi$ para un semiplano); θ_0 y θ los ángulos que forma el semiplano, lado del receptor, con el rayo incidente y el mínimo difractado respectivamente.

Para una barrera gruesa la formula resultante se complica algo pero queda todavía muy asequible al cálculo.

En la figura que sigue se comparan las respuestas impulsivas de los modelos MKA y P, para el emisor situado en (0,0,0), el ápice de la barrera en (0.3,0.4,0) y el receptor en (0.4,0.5,0). Para otros puntos se obtienen resultados cualitativamente equivalentes. La curva indicada *modelo Pierce a* corresponde a tomar antisimétrica la parte imaginaria de la función de transferencia y multiplicar por 4.7; para el resultado indicado con *modelo Pierce b*, se han tomado simétricas la parte real y la imaginaria con una amplificación 5.5. La envolvente de las dos curvas obtenidas con el modelo de Pierce resulta prácticamente simétrica y se usara en las comparaciones que siguen.

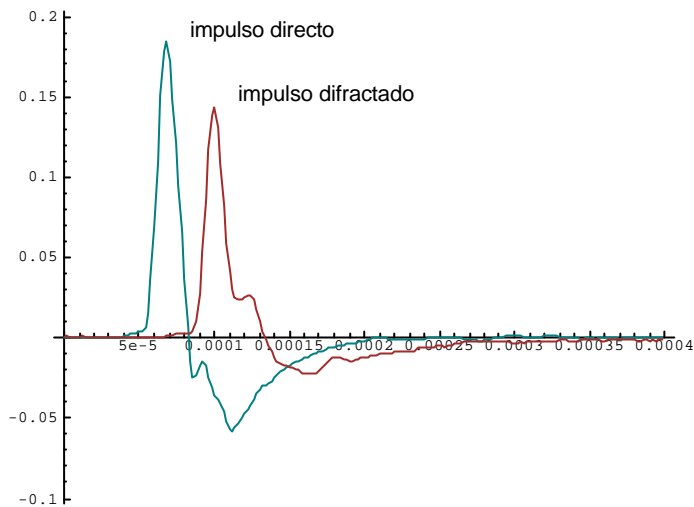


RESULTADOS EXPERIMENTALES EN MODELOS A ESCALA

Con fines comparativos hemos realizado un conjunto amplio de experiencias en maquetas con una relación de escala en torno a 1:10, simplificando los elementos difractoros a su mínima expresión.

Como señales sonda se han utilizado impulsos acústicos emitidos por un dispositivo electrónico de baja tensión la descarga de cuyos condensadores genera chispas controladas en el elemento detonador [6].

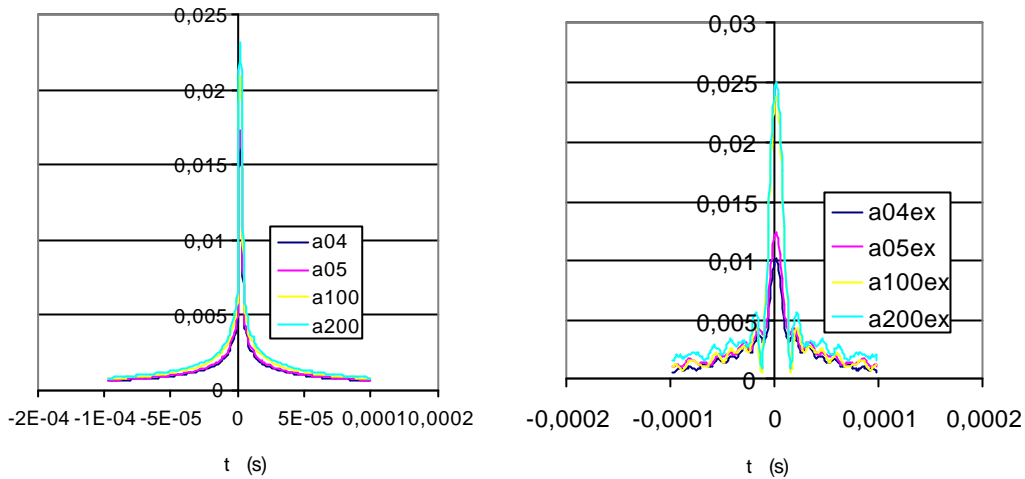
La figura siguiente presenta comparativamente una forma típica de impulso sin difractar y difractado (factor de amplificación = 5) por una barrera. El impulso difractado aparece ligeramente retrasado en el tiempo. El eje de tiempo esta graduado en segundos.



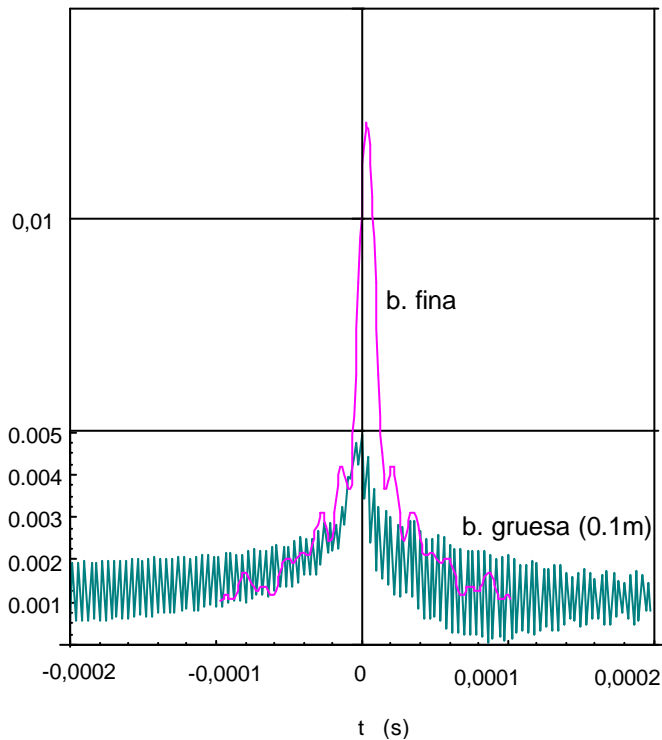
El diseño del detonador consigue que la directividad de esos impulsos pueda considerarse esférica, por lo cual favorecen unas condiciones experimentales particularmente favorables.

No obstante también presentan elementos de alinealidad que afectan la atenuación con la distancia. Para minimizar este efecto, así como las mínimas variaciones de forma temporal (se han hecho pruebas en las que se obtiene una enorme regularidad de formas y niveles al mantener las condiciones de dispositivos electrónico de emisión) los impulsos difractados se han referido siempre a los impulsos, sin difractar, captados en cada caso a la distancia mínima de difracción correspondiente.

En las dos figuras que siguen se presentan las respuestas impulsionales experimentales y según el modelo MKA a lo largo de la trayectoria situada a -0.4m del vértice de la barrera, para las distancias 0.4, 0.5, 1 y 2 m. Para las respuestas experimentales hemos representado las envolventes para minimizar efectos singulares de fase. Cabría atribuir un carácter de fase mínima al caso experimental, probablemente por la elección de la posición temporal de las señales directa y difractada. Los valores absolutos en el caso experimental están influidos por tomar la señal de referencia para una distancia recorrida igual a la mínima de difracción. La corrección que debe ser del tipo $(1/r^g)$ con el factor de alinealidad g ligeramente dependiente de la frecuencia y decreciente con r pero siempre superior a 1 [7]. No se pretende aquí mas que un avance de resultados y la aplicación de esta corrección requiere una tabulación de g para todas las condiciones de experimentación, proceso que está en curso.



¿La respuesta impulsional puede diferenciar barreras de distinta geometría y naturaleza acústica?. La respuesta afirmativa se ilustra en la figura que sigue. En ella se presentan comparativamente los resultados experimentales de una barrera fina y una gruesa de 0.1m de espesor, para las mismas posiciones del emisor (0,0,0) y del receptor (0.5, 0.4, 0), haciendo coincidir la barrera fina con la cara anterior de la barrera gruesa. Se observa una diferencia notable entre los resultados para cada una de las barreras, principalmente en la cuantía y agudeza del máximo, lo que fundamenta la capacidad de la respuesta impulsional de diferenciar la protección acústica de una barrera dada.



VALORACIONES GLOBALES DE LA PROTECCION DE BARRERAS

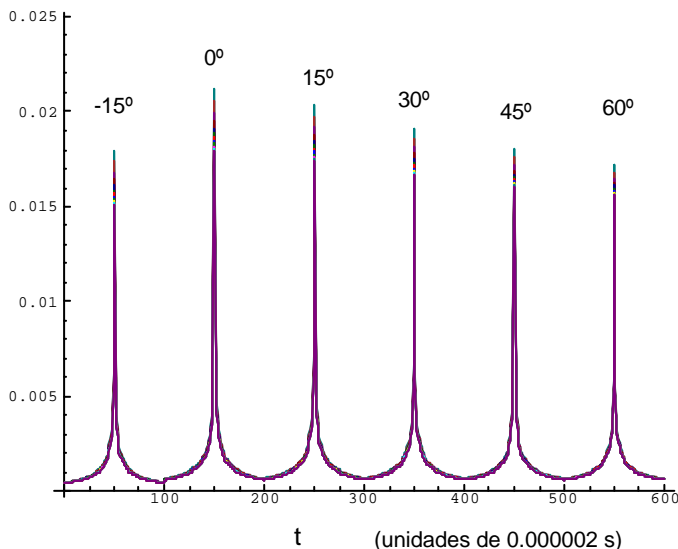
En este apartado consideraremos algunos elementos que el formalismo de la respuesta impulsional puede aportar en relación a los índices globales de valoración de barreras acústicas en cuanto a su fin específico cual es la protección frente al ruido exterior.

Un buen índice debe atender principalmente dos aspectos: uno relativo al mercado de productos clasificando las barreras por sus propiedades acústicas de protección en circunstancia de instalación análogas, otro relativo al cálculo predictivo del comportamiento acústico de las barreras en cualquier circunstancia de uso.

Con anterioridad hemos desarrollado un índice global que sería apto para el primer propósito, basado en propiedades asintóticas de la protección acústica[8]: a partir de una distancia no excesivamente grande la protección de la barrera se mantiene constante a efectos prácticos. Este valor, sin embargo, no da idea de la importancia de la protección para distancias inferiores ni de la extensión de esta zona. Su desarrollo implica una fuente puntual y aunque su fundamentación teórica se ha hecho para un semiplano debe funcionar bien para otro tipo de barreras que incorporen dispositivos especiales en la cumbre, o geometrías y naturaleza acústica distintas del semiplano.

En varias figuras del apartado anterior se puede apreciar sin dificultad cómo la respuesta impulsional mantiene el carácter asintótico de la protección acústica de barreras al aumentar la distancia a éstas.

Consideremos en lo que sigue que se barre el espacio protegido por la barrera en coordenadas polares con centro en el vértice de la barrera. Por facilidad de presentación consideraremos las direcciones -15, 0, 15, 30, 45 y 60 grados, con un eje horizontal, en el sentido de las agujas del reloj y observaremos los resultados en estas direcciones a las distancias 1 1.25 1.6 2 2.5 3.15 4 5 6.3 8 10 12.5 16 20 25. La figura que sigue presenta 100 puntos de cada respuesta impulsional agrupando las quince de cada ángulo explorado.



Todas las respuestas pueden reproducirse, aparentemente con suficiente precisión, a partir de una sola mediante una función sencilla dependiente del ángulo de observación respecto al ápice de la barrera y de una la función del tipo 1/d, en donde d representa la distancia al ápice de la barrera. Queda pendiente por estudiar la cuantía en decibelios de protección en que se

traducen estas pequeñas diferencias entre la respuesta impulsiva verdadera y la aproximada por este procedimiento.

Para cada punto de emisión cabe esperar una situación análoga la descrita. Resta por estudiar las variaciones en la respuesta impulsional debidas a este factor y si existe alguna dependencia suficientemente sencilla y precisa para las aplicaciones prácticas, o cabe algún otro tipo de simplificación.

Como la escala de tiempo presentada corresponde a un intervalo de muestreo de 0.000002 ms, significa que están suficientemente bien representadas las frecuencias hasta mas de 100 KHz o lo que es equivalente que factores de escala geométrica del orden de 10 son perfectamente admisibles ($f < 10$ KHz) y los resultados anteriores podrían aplicarse hasta distancias de 250 m que es un valor considerable.

¿Puede extenderse este resultado inicial a otros tipos de barreras?. Es esta una nueva pregunta importante cuya respuesta afirmativa permitiría afrontar con optimismo la solución de obtener un índice de valoración global equilibrado para diferenciar la calidad acústica de barreras pero apto simultáneamente para el diseño y previsión de la protección acústica de las mismas, que por su fácil integración en el formalismo de la respuesta impulsiva de sistemas lineales se podría aplicar al ambiente urbano.

CONCLUSIONES

El estudio presentado, un avance de un amplio estudio en curso, hace pensar en la idoneidad de la respuesta impulsional de barreras a efectos de definir una magnitud global de caracterización de la protección acústicas de las mismas, apta tanto para diferenciar unas de otras, con las consiguientes repercusiones de interés en el mercado, como para usarse a efectos de cálculo predictivo en planteamientos apriorísticos y de diseño de protección acústica.

Las verificaciones experimentales y las comparaciones con y entre las teorías comúnmente aceptadas apuntan en la dirección indicada. No obstante quedan pendientes de solución un conjunto de elementos significativo antes de estar apta para su aplicación en la práctica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Simón, Caracterización acústica de pantallas anti-ruido mediante un índice global, Tesis Doctoral, U. Complutense, Madrid 1996]
- [2] Z. Maekawa, Noise reduction by screens, Appl. Acoustics 1,(1968),157-173 ,
- [3] U. J. Kurze, Noise reduction by screens, J. Acoust. Soc. Am. 55, (1974), 504-518,
- [4] G. S. Anderson, U. J. Kurze, Sound propagation outdoors, Noise and Vibration Control Engineering, L. L. Beranek Ed. McGraw Hill, NY. 1992]
- [5] A. D. Pierce Diffraction of sound around corners and over wide barriers, JASA 55, (1974),941-955
- [6] C. de la Colina, Aproximacion de la fuente acústica ideal mediante impulsos de explosiones y descargas de condensadores eléctricos a baja tensión, U. Autónoma de Madrid, 1995)
- [7] A. Moreno, C. de la Colina, J. Pfretzschner, Nonlinear aspects on outdoor propagation of acoustic pulses produced by week explosions, 16th ICA Vol. 1,(1998)125-
- [8] J. Pfretzschner, F. Simón, C. de la Colina, A. Moreno, A rating index for estimating insertion loss of noise barriers under traffic noise conditions, Acustica/acta acustica 82,(1996),504-508

AGRADECIMIENTOS

Buena parte de este estudio ha sido financiado por el proyecto del Plan Nacional de Investigación Científica y Técnica (I+D), AMB98-1029-C04-01.