

## APLICACIÓN DEL MÉTODO MEC-ACOPLAMIENTO PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE OSTÁCULOS EN LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN EXTERIORES

PACS 43.28. Fp.

González J.<sup>(1)</sup>; García I.<sup>(2)</sup>; Gallardo O.<sup>(2)</sup>; Tarrero A.<sup>(2)</sup>; Martín M.A.<sup>(2)</sup>; Quirós S.<sup>(1)</sup>; Machimbarrena M.<sup>(1)</sup>; Lorenzana T.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Dto de Física, ETS Arquitectura, U. de Valladolid. Avda Salamanca s/n.  
47014- Valladolid. España.

E-mail: juliog@opt.uva.es

<sup>(2)</sup> Dto de Física, EU Politécnica, U. de Valladolid. España.

E-mail: ana@sid.eup.uva.es

<sup>(3)</sup> Dto de Física, EU de Arquitectura Técnica, U. de Coruña. España.

E-mail: lorezan@udc.es

### ABSTRACT

Studies about outdoor sound propagation models are one of the subjects that different research teams are developing since time ago. As known, in the process of outdoor sound propagation, the ground, the presence of obstacles and the atmospheric conditions have an influence. One of the MODELS that takes into account the existence of certain kind of obstacles, like in the case of ditches and/or barriers, is resolved applying the Boundary Element Method (BEM) by coupling an interior (ditch) and an exterior (barrier) sound propagation problems by means of a fictitious surface. This technique has been used in the present work to determinate the influence with four kind of obstacles: hole (ditch), small barrier, hole + barrier and building.

### RESUMEN

El estudio de los modelos de propagación del sonido en exteriores es uno de los temas que vienen desarrollando diferentes equipos de investigación desde hace tiempo. Como es conocido, en el proceso de la propagación en exteriores influyen principalmente el suelo, la presencia de obstáculos y las condiciones atmosféricas. Uno de los modelos que tiene en cuenta la existencia de cierto tipo de obstáculos, como es el caso de cunetas y/o barreras, se resuelve aplicando el método de los elementos de contorno (MEC) a un problema interior (cuneta) y a un problema exterior (pantalla) acoplados mediante una superficie ficticia. En nuestro caso hemos utilizado esta técnica para determinar la influencia por cuatro tipos de obstáculos: valle (cuneta), pequeña barrera, valle + barrera y un edificio.

### INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata de estudiar la eficiencia del modelo MEC-Acoplamiento [1], para determinar la reducción del nivel de sonido cuando en el terreno existen ciertos obstáculos. En los modelos de propagación tradicionales no se contempla la existencia de irregularidades en el suelo que pueden contribuir a modificar significativamente las condiciones de propagación. El esquema principal de la propagación del sonido en exteriores, en presencia de suelo, sin otro tipo

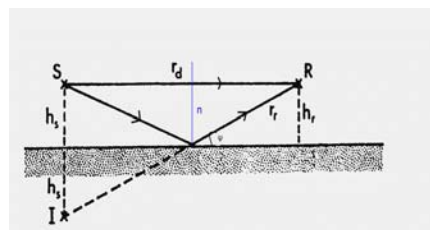


Fig. 1 : Trayectoria de los rayos directo  $r_d$  y reflejado  $r_r$

de obstáculos, lo representamos en la figura 1, según la teoría de rayos. El punto S, situado a una altura  $h_s$  respecto del suelo, representa la posición de la fuente de sonido y al punto receptor R, situado a una altura  $h_r$ , respecto del suelo, llegan el sonido directo siguiendo la recta  $r_d$  y el rayo  $r_r$ , que una vez reflejado en el suelo pasa por el mismo punto R. El rayo reflejado es afectado por las características del suelo mediante su impedancia  $Z$  y por tanto en R interfieren los dos rayos produciendo un nivel de presión que depende las amplitudes y de las diferencias de fase de ambos rayos. En este punto R, al incidir los dos rayos, el directo y el reflejado, la interferencia es positiva para unas frecuencias mientras que para otras es negativa. Para distancias entre fuente y receptor pequeñas, no superiores a 200 m, y para pequeñas alturas de la fuente y el receptor, no superiores a 2 m, la interferencia negativa (se restan las aportaciones del sonido directo y reflejado), se produce a una frecuencia comprendida entre 200 y 600 Hz. La posición de este mínimo depende de las condiciones del suelo y será un dato importante, según veremos posteriormente, cuando analicemos los resultados. Para esta composición de los rayos se han formulado distintos modelos de propagación en función de la impedancia del suelo pero sobre la propagación influyen otros factores, no contemplados en estos modelos, que están presentes en las situaciones reales de forma habitual como es la existencia de obstáculos o discontinuidades de muy diferentes geometrías y conformaciones. En este trabajo estudiaremos los casos en que los obstáculos son:

- 1) Una concavidad o valle (cuneta)
- 2) Pequeña Barrera / Pantalla
- 3) Situación compuesta de 2 discontinuidades (concavidad y barrera)
- 4) Un edificio

Estas discontinuidades en el suelo, se simularán geoméricamente para incluirlas en el modelo numérico de cálculo MEC-Acoplamiento, basado en el Método de los Elementos de Contorno (MEC). Los valores calculados a partir del modelo, para intervalos de frecuencia en tercios de octava, son comparados con los valores obtenidos haciendo medidas. De esta forma los resultados experimentales podrán validar el modelo o predecir hasta qué punto se aproximan los valores calculados y medidos. Los cálculos se efectuaron en el entorno de **Matlab**. Cabe indicar que el tiempo de cálculo en ordenadores personales o de uso ordinario es muy prolongado.

## PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN EXTERIORES

En la propagación del sonido en exteriores, además de las condiciones inherentes a las ondas, influyen otros factores relativos al medio de propagación. Con carácter general estos factores los podemos agrupar en tres apartados: Suelo, atmósfera y obstáculos. La existencia del suelo se tiene en cuenta mediante su impedancia  $Z$ . La influencia de la atmósfera se manifiesta de múltiples formas: refracción, absorción, turbulencia. La presencia de obstáculos, dependiendo de su configuración geométrica, su composición y ubicación, es un factor que también da lugar a fenómenos de difracción, absorción, etc. En la actualidad no existe ningún modelo de propagación que tenga en cuenta todos los factores, en conjunto, que se presentan al propagarse el sonido en situaciones reales. Existen modelos que prevén la influencia de estos factores suponiendo que los otros no están presentes pero no existe ninguno en el que aparezcan involucrados todos los factores simultáneamente. Un modelo particularmente útil para estimar simultáneamente la influencia de concavidades y barreras en el suelo, es el que se obtiene a partir del Método de los Elementos de Contorno, discretizando, en función de la frecuencia, las superficies que influyen en la propagación. La aportación del modelo, denominado **MEC-Acoplamiento**, consiste en una superficie ficticia que acopla el problema interior que encierran la concavidad y la propia superficie ficticia, al problema exterior consistente en el espacio de propagación sobre el suelo y sobre las barreras que apoyan en él. Para más detalles véase [1].

### Influencia de la Atmósfera

El modelo que nosotros vamos a utilizar no tiene en cuenta la atmósfera y por tanto, dado que el sonido se propaga en este medio, el estado de la atmósfera tiene que ser un factor importante a considerar y en consecuencia las predicciones del modelo serán tanto más precisas cuanto menos influyan las condiciones atmosféricas, pero en ningún caso tales predicciones

podrán ser exactas. La influencia de la atmósfera se manifiesta en fenómenos de absorción, refracción y scattering o dispersión originados por la turbulencia. La absorción de la energía sonora por el aire es poco significativa para distancias cortas como son las que nosotros estamos tomando. Por tanto la absorción podemos considerar que es poco significativa en nuestro desarrollo. Sin embargo, la refracción o curvatura de los rayos sonoros emitidos por la fuente, por variar el índice de refracción para las diferentes capas de la atmósfera, como consecuencia de variar la temperatura y el valor de la velocidad de viento horizontal con la altura, es un fenómeno que puede influir decisivamente en la propagación. Ambos factores, variación de la temperatura y de la velocidad del viento con la altura, modifican la velocidad del sonido y se deduce que su expresión cuando el gradiente de temperatura es positivo y negativo el de velocidad es de la forma  $c(z) = \frac{c_0}{\sqrt{1-2az}} \approx c_0(1+az)^{(1)}$  y

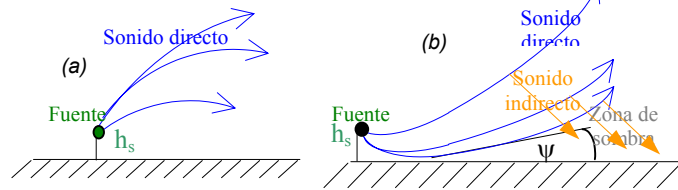


Fig.2.- Situación de refracción (a) descendente y (b) ascendente y la creación de una zona de sombra.

por tanto la velocidad del sonido aumenta con la altura, lo que origina un gradiente positivo de la velocidad que hace curvar los rayos sonoros hacia abajo. En el caso de gradiente negativo de la temperatura la expresión para la velocidad del sonido es de la forma:  $C(z) = \frac{c_0}{\sqrt{1+2az}} \approx c_0(1-az)$

;donde:  $a=(1/c_0) |dc/dz|_0$  ; con  $c_0$  la velocidad del sonido en la superficie del suelo, y por tanto, el gradiente de la velocidad del sonido es negativo y los rayos se curvan hacia arriba. De esta forma, en periodos de estabilidad atmosférica en los que la temperatura se incrementa con la altura en las proximidades del suelo, los rayos sonoros se curvan hacia abajo y existen puntos más alejados de la fuente en que hay más energía sonora que en otros más próximos. Por el contrario cuando la temperatura disminuye con la altura (gradiente de temperatura negativo), que son las condiciones más habituales a lo largo del día, salvo en horas próximas al amanecer o en situaciones de mucha estabilidad atmosférica, los rayos sonoros que salen de la fuente son curvados hacia la altura ocasionando zonas de sombra. En la figura 2 se esquematizan ambas situaciones. Además de estos fenómenos de difracción también se producen fenómenos de dispersión por las turbulencias y ello hace que los rayos sonoros no sigan una curva totalmente definida. En la figura 2, gráfica (b) se indica la dispersión mediante flechas inclinadas, que están apuntando en distinta dirección de la marcha del rayo. Una de las direcciones posibles es hacia abajo.

Para tratar de explicitar cualitativamente la influencia de estos fenómenos se considera dividido el espacio en tres regiones poniendo el origen en la posición de la fuente: en la región 1, que abarca desde el origen hasta los 100 m, no se producen fenómenos de sombra. En la región 2 de transición, que abarca desde los 100 m hasta los 200, empieza a aparecer la zona de sombra. En la región 3, desde los 300 m en adelante ya es totalmente zona de sombra. Estas distancias son aproximadas y en algunos trabajos [2] se observa que la zona de sombra comienza en torno a los 60 m. Por otra parte también habría que tener en cuenta la dirección del viento como factor independiente y añadido a los anteriores. En distintos trabajos [3] se ha estudiado la influencia de la dirección del viento en la propagación y se comprobó que no es muy significativo respecto de los fenómenos de refracción, para distancias cortas pero sí es importante cuando el receptor está muy alejado de la fuente.

**LUGAR DE MEDIDA Y MONTAJE EXPERIMENTAL**

Para disponer de los valores de las variables meteorológicas las medidas acústicas se realizaron en el CIBA (Centro de Investigación de la Baja Atmósfera) situado en La Mudarra a unos 35 km de Valladolid (Spain) en dirección noroeste, o en las proximidades.

(1) El efecto de los gradientes de temperatura y velocidad del viento sobre el perfil de velocidad del sonido es contrario uno del otro y lo que se expresa en la ecuación es el efecto conjunto.

## **Toma de Datos Meteorológicos**

Este lugar tiene la ventaja de que se conocen las variables meteorológicas de interés para nosotros y además no hay fuentes de ruido importantes en las inmediaciones. En este centro hay una torre meteorológica fija de 100 m de altura en la que están instaladas de forma permanente sondas de velocidad del viento (anemómetros) y temperaturas (termómetros) a distintas alturas logarítmicamente distantes desde 6 a 100 m además de veletas y otros sensores para conocer flujo de calor, presión atmosférica, etc. Los datos tomados por las sondas son enviados a una unidad central de procesamiento. La figura 3 es una foto de la torre donde se puede ver la disposición logarítmica de algunas de las sondas.

## **Instrumental de Medidas de los Niveles de Sonido**

Las unidades fundamentales para las medidas acústicas son el analizador investigador modelo 2260 de Brüel & Kjær y la fuente de sonido modelo 4224 de Brüel & Kjær emitiendo ruido rosa. La sistemática de medida consistía en ubicar la fuente en las proximidades del obstáculo a distintas alturas y distintas distancias y el analizador al otro lado del obstáculo también a distintas distancias y alturas para cada obstáculo. Se realizó la medida en tres ocasiones para cada posición y el ruido de fondo. Para puntos alejados de la fuente el ruido de fondo era significativo, respecto de la emisión de la fuente para algunos casos, y se desestimó la medida.



Fig. 3.- Detalle de la torre meteorológica

## **SITUACIONES DE LOS OBSTÁCULOS Y POSICIONES DE MEDIDA**

Los lugares de medida se seleccionaron de tal forma que no estuvieran muy alejados del CIBA. Así en uno de los casos, se tomó un edificio del propio centro y para los demás se aprovechó la presencia en el entorno de un socavón en el terreno y un apilado de piedras calizas con algo de tierra cercano al socavón para aplicar el acoplamiento concavidad-elevación del terreno del modelo.

### **Caso de una Concavidad o Valle (Cuneta)**

El obstáculo, valle, concavidad o cuneta, lo tomamos en una excavación que se realizó para la extracción de piedra. Esta excavación se efectuó en campo libre, totalmente plano, y sus dimensiones aproximadas son: 11.8m en su parte interior y 15.4m en su parte exterior, con unos flancos de 1.8m de ancho en cada lado que forman un ángulo aproximado de 30°. Su profundidad es de 1m. En la figura 4 se expone una fotografía del socavón y se añadieron los símbolos de las posiciones de la fuente y receptor.



Fig. 4.- Configuración del valle

### **Caso de un Acoplamiento Valle-Barrera**

Otra situación analizada es el caso de un valle y una barrera próxima. En esta ocasión el valle es el mismo que en el caso anterior y la barrera es un apilado de piedras y tierra. Se hizo la medida para esta barrera de forma individualizada pero no exponemos su fotografía particular por aparecer en el obstáculo valle-barrera conjunto. En la figura 5 aparece la fotografía del lugar seleccionado para hacer la medida. Esta configuración se suele representar de forma esquemática y bidimensional mediante una cuneta triangular y una barrera,



Fig. 5.- Configuración del valle- barrera

también triangular, separadas mediante un trozo plano. Una aproximación geométrica más precisa requiere mucho tiempo de cálculo lo que obliga a hacerlos en ordenadores muy potentes que normalmente son de uso restringido y por facilidad operativa preferimos hacer este tipo de aproximaciones antes de tener que recurrir a una herramienta no disponible de forma continuada aun a sabiendas de que los valores obtenidos, con el modelo, solo pueden llegar a un cierto grado de aproximación.

### **Caso de un Edificio**

Una tercera configuración, figura 6, es el caso de la presencia de un edificio contemplado como barrera. El edificio es una de las casetas del propio centro. Aquí, al igual que en el caso anterior, fue preciso hacer una simulación geométrica muy sencilla por razones de tiempo en el cálculo.



Fig.6.- Edificio como barrera

### **VALORES OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el modelo de predicción uno de los parámetros que interviene es la impedancia acústica del suelo. El modelo de suelo más sencillo, que se suele utilizar, es el conocido como *Modelo de un parámetro de Delany-Bazley* que nos da la impedancia en función de la frecuencia  $f$  teniendo como parámetro la resistividad al flujo  $\sigma$ :

$$Z = 1 + 9.08 \cdot \left( \frac{1000f}{\sigma} \right)^{-0.75} + 11.9j \cdot \left( \frac{1000f}{\sigma} \right)^{-0.73}$$

La resistividad al flujo es una propiedad característica del suelo, independiente de la frecuencia, que depende de su composición y de sus condiciones.

### **Determinación del $\sigma$**

La determinación del valor de  $\sigma$  se puede hacer experimentalmente en el laboratorio pero las condiciones del material en el suelo son difíciles de reproducir en el laboratorio y por tanto se hace necesario estimar su valor mediante la medida en las condiciones específicas del suelo en el instante de medir. El procedimiento que se suele utilizar es representar los valores experimentales medidos en un punto, según el esquema de la figura 1, frente a los obtenidos a partir del modelo dando valores a  $\sigma$  hasta que coincidan en la misma frecuencia los valores del primer mínimo de las curvas teórica y experimental de los niveles respecto de campo libre en función de la frecuencia. Por tanto, tomaremos para  $\sigma$  el valor que hace coincidir la situación, respecto de la frecuencia, del mínimo del modelo con el experimental.

### **Influencia de los Obstáculos**

En los tres casos analizados se han realizado medidas con diferentes distancias y alturas tratando de observar si hay diferencias significativas para distintas posiciones de la fuente y el receptor.

## CASO DE UNA CONCAVIDAD O VALLE (CUNETA)

En la tabla I exponemos los resultados obtenidos para el valor de  $\sigma$  en diferentes situaciones del emisor y receptor. En este caso la fuente se dispuso a las distancias de 5 y 10 metros de un borde de la cuneta y el analizador a 12 y 24 metros del borde opuesto de la cuneta. Para las mismas distancias horizontales se colocaron, fuente y receptor a distintas alturas. De esta forma cuando la fuente está a 5 m de distancia horizontal y a una altura de 0,7 m y el receptor está a una distancia horizontal de 12 m y a una altura de 0,8 m el valor de  $\sigma$  obtenido es  $170 \cdot 10^3$

(S.I.). Sin embargo, para la misma posición de la fuente y el analizador a 12 m de distancia y una altura de 1,6 m el valor obtenido es de  $60 \cdot 10^3$  (S.I.). Si nos fijamos en la última columna de la tabla, que se corresponde con la posición de la fuente a una distancia de 10 m y a una altura de 1,3 m, con diferentes posiciones del analizador, encontramos valores bastante parecidos. De igual forma si nos fijamos en la última fila, que se corresponde con la posición del analizador a 24 m de distancia y 1,6 m de altura, los valores también son generalmente muy parecidos aunque en algún caso el valor difiere en alguna medida de los demás. Estas variaciones pueden ser debidas a muchos factores como puede ser el caso de poca definición en cuanto a la posición del mínimo, presencia de factores meteorológicos diferentes, etc. En las gráficas (a) y (b) de la figura 7 representamos los valores de los niveles respecto de campo libre en función de la frecuencia para la fuente situada a una distancia de 5 m y a una altura de 0,7 m con el analizador a una altura de 0,8 m y a las distancias de 12 m, gráfica (a) y de 24 m, gráfica (b). Según puede observarse en estas gráficas, las curvas son significativamente semejantes apareciendo un mínimo muy definido para el modelo (línea roja —) en la frecuencia 250 Hz y algo menos profundo y más ancho en la curva experimental (línea azul —) entre las frecuencias 250-315 Hz. La curva teórica está por debajo de la experimental, o sea valores menores, sobre todo en la zona del mínimo. Este diferencia es explicable si tenemos en cuenta que en la atmósfera se producen fenómenos de turbulencia que no se contemplan en el modelo y sus efectos tienden a disminuir la coherencia entre los rayos directo e indirecto o reflejado y por tanto la interferencia destructiva es menos pura, y por ello el mínimo es menos mínimo que si no se produjeran estos efectos turbulentos.

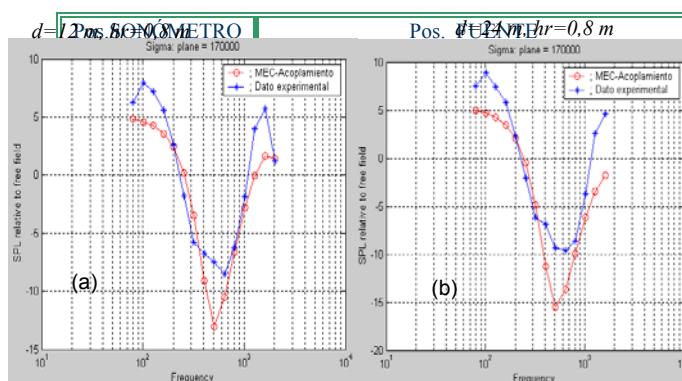


Fig.7.- Variación del SPL, frente a campo libre, con la

## ACOPLAMIENTO VALLE-BARRERA

En el caso del perfil valle-plano-barrera esquematizado en la figura 5, hay que determinar los valores del  $\sigma$  de cada superficie individual. Por ello, previamente a la medida para el caso del valle y barrera conjuntamente, se efectuó la medida para determinar el  $\sigma$  de la barrera con la misma sistemática de medidas, o sea haciendo la medida para el caso de las piedras acumuladas de forma individual y se encontró que el valor está en torno a  $1 \cdot 10^8$  que es próximo al del hormigón. Es decir, material muy duro. Una vez encontrado el valor del  $\sigma$  para la barrera, hemos determinado de la misma forma, o sea tomando el valor del sigma que hace coincidir la frecuencia

a la que se produce el mínimo en la curva del modelo con la de la curva experimental. De esta forma hemos encontrado para el  $\sigma$  del terreno del valle y de la superficie plana, comprendida entre la fuente y el receptor, los valores de  $\sigma$  que se exponen en la tabla II. La sistemática de medida es la misma que en el caso anterior con la fuente y el receptor dispuestos a dos distancias (5 y 10 m para la fuente y 12 y 24 m para el receptor) y a dos alturas (0,7 m y 1,3 m para la fuente y 0,8 m y 1,6 m para el receptor). En esta ocasión hay más variación de los valores aunque parece que el valor  $90 \cdot 10^3$  es el principal. El terreno que media

Pos. SONÓMETRO		Pos. FUENTE			
DISTANCIAS		5 m		10 m	
	ALTURAS	70 cm	1.30 m	70 cm	1.30 m
12m	80 cm	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$190 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$
	1.60 m	$50 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$
	80 cm	$90 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$190 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$
24m	1.60 m	$60 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$

Tabla II. – Valores de  $\sigma$  (S.I.) para diferentes posiciones de la fuente y del receptor

entre fuente y receptor, aparte del valle y de la barrera es un trozo plano con algunas hierbas y plantas y por tanto es lógico que el valor sea algo diferente del encontrado para el valle y así ocurre aunque no difiere mucho. En las gráficas (a) y (b) de la figura 8 representamos los valores para el caso en que la fuente se ha situado 10 m antes del valle y a una altura de 0,7 m y el sonómetro a 12 m y a 24 m después de la barrera con altura de 0,8 m. Las medidas se realizaron en una situación de mucho viento. En esta configuración las curvas del modelo y la experimental son más diferentes que en el caso del valle solamente aunque su forma es bastante parecida. Los valores experimentales son menores que los teóricos en todo el rango de frecuencias excepto para las más graves. Es una situación lógica si tenemos en cuenta que hay bastante viento y su dirección no coincidía con la de la fuente al receptor. Por tanto, aunque no fuera muy significativa su influencia para estas distancias se pueden curvar, en alguna medida, los rayos en el plano horizontal, y por tanto el nivel de sonido es menor que si no hubiera viento.

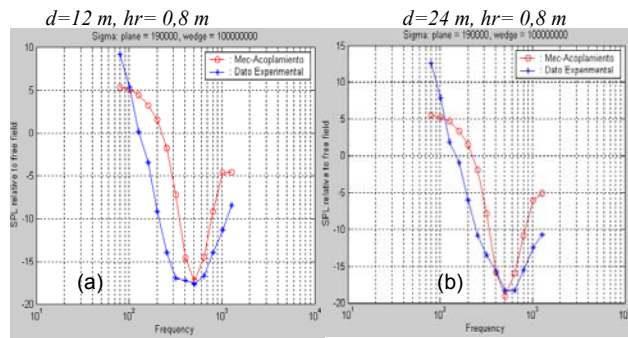


Fig. 8.- Variación del SPL, frente a campo libre, con la

### BARRERA, UN EDIFICIO

El tercer caso analizado fue el efecto que proporciona la presencia de una caseta prefabricada, entre fuente y receptor, en la propagación. Este tipo de barreras es un tanto particular y el tratamiento riguroso exigiría tener en cuenta la radición de los cerramientos dado que el interior es hueco y por tanto las paredes, incluyendo techo y suelo, vibran. En cualquier caso, aun teniendo en cuenta esta circunstancia hemos aplicado el modelo como si se tratara de una barrera maciza con el fin de observar las diferencias que se producirán. La sistemática de medidas es como en los casos anteriores y en la tabla III se exponen los valores del  $\sigma$  obtenidos. Según se desprende de estos valores aparecen diferencias muy sustanciales entre los valores teóricos y experimentales. El rango de valores abarca desde  $90 \cdot 10^3$  en la mayoría de los casos hasta  $2000 \cdot 10^3$  en uno de los casos. Estas diferencias son previsibles y por tanto este no es un método válido en stas circunstancias salvo si se modifica el modelo. En la figura 9 representamos los valores obtenidos en una de las situaciones: la fuente situada a 10 m de la barrera y a una altura de 0,7 m y el sonómetro a 12 m y a 24 m después de la barrera, variando su altura de 0,8 m a 1,60 m. Las medidas se realizaron un día de bastante viento y por tanto los valores también están afectados por este parámetro.

Pos. SONÓMETRO		Pos. FUENTE			
DISTANCIAS		5 M		10 M	
ALTURAS		70 cm	1.30 m	70 cm	1.30 m
12 m	80 cm	$400 \cdot 10^3$	$400 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$
	1.60 m	$1000 \cdot 10^3$	$2000 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$
24m	80 cm	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$
	1.60 m	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$

Tabla III. – Valores de  $\sigma$  (S.I.) para diferentes posiciones de la fuente y del receptor

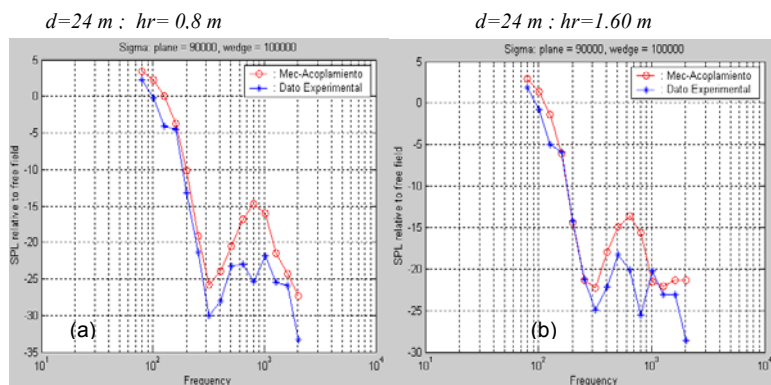


Fig.9.- Variación del SPL, frente a campo libre, con la frecuencia

## CONCLUSIONES MÁS SIGNIFICATIVAS

Las conclusiones principales que podemos deducir del estudio realizado se centran en que el modelo responde con bastante aproximación al caso de obstáculos en el suelo tipo cunetas y barreras aportando valores para el  $\sigma$  y para la influencia de obstáculos que no pueden ser evaluados mediante otros métodos.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] : “Validación de un modelo de propagación del sonido sobre terrenos complejos mediante MEC”. **Tesis Doctoral** de Susana Quirós y Alpera ;E.T.S. de Arquitectura de la U. de Valladolid ; 2003

[2] “Contribución al estudio de la influencia de las variables meteorológicas en la propagación del sonido en exteriores”. M. Arenal; J. González; P. González; A. Tarrero. **XXXI Congreso Nacional de Acústica –Tecniacústica 2000-**. Madrid. Octubre, 2000.

[3] “Contribución al estudio de la propagación del sonido en exteriores”. M. Arenal. J. González. P. González. A. Abascal. Comunicación **XXX Jornadas Nacionales de Acústica, Tecniacústica 99**; Avila, octubre, 1999

**Agradecimiento.** Se agradece la colaboración del CIBA en la realización de este trabajo.