

INFLUENCIA DEL TERRENO EN LA TRANSMISIÓN DEL RUIDO DE TRÁFICO.

F. Simón, J. Pfretzschner, C. de la Colina, M. A. Martín, A. Moreno.

Instituto de Acústica (C.S.I.C.)
Serrano 144.
28006 Madrid.

INTRODUCCIÓN.

La carestía del suelo, así como la búsqueda, por parte de la población de una mayor tranquilidad y de zonas menos contaminadas, han conducido en nuestro país, a una creación, cada vez mayor, de zonas residenciales en la periferia no sólo de las grandes ciudades sino también alrededor de las pequeñas urbes. Este aumento de las dimensiones de las ciudades trae consigo la proliferación de vías de circulación rápida que constituyen uno de los mayores agentes de producción de ruido en la actualidad.

La correcta planificación urbanística y de construcción de viviendas requiere el conocimiento previo no sólo de las características físico-acústicas del terreno donde va a tener lugar, sino también de las características del ruido ambiental. En la actualidad existe abundante literatura que relaciona las propiedades acústicas de un ruido con las de su propagación y las del tipo de terreno circundante.

En este trabajo se realiza un estudio teórico sobre la variación del espectro y nivel global del ruido de tráfico en función de los mencionados factores, así como de las características geométricas involucradas.

MODELO TEÓRICO.

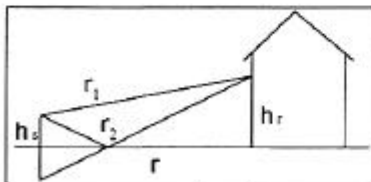


fig. 1

La fig. 1 muestra una disposición geométrica en la que, para una mayor simplificación, se supone que el terreno es horizontal, el vehículo se representa por una fuente puntual, S, que radia una onda esférica divergente, cuyo origen coincide con el centro acústico del mismo, situado a una altura h_s sobre el terreno. La altura del receptor, h_r , puede representar a una persona o las superficies acústicamente más sensibles

de una vivienda. Se supone así mismo que el terreno que separa las posiciones del emisor y el receptor es homogéneo en toda su extensión.

Está generalmente aceptado, situar el centro acústico de los vehículos ligeros a medio metro del suelo; teniendo en cuenta que para una circulación fluida, en el ruido de tráfico predomina el de rodadura.

Con la disposición de la fig. 1 el potencial total de velocidades de las ondas acústicas que llegan al punto de recepción viene descrito por la ecuación de Van der Pol [1]

$$\phi \propto \frac{e^{jk_1 r_1}}{r_1} + Q \frac{e^{jk_2 r_2}}{r_2} \quad \text{donde } Q = Rp + (1-Rp) F(\omega) \quad \text{y:}$$

$Rp = Z \sin \varphi - \sqrt{1 - (k_1/k_2 \cos \varphi)^2} / Z \sin \varphi + \sqrt{1 - (k_1/k_2 \cos \varphi)^2}$ que es el coeficiente de reflexión para ondas planas incidentes sobre un terreno caracterizado por su impedancia acústica característica Z , según el modelo de reacción extendida. En esta expresión k_1 y k_2 representan los números de onda en el aire y en el suelo respectivamente. La función de pérdidas, $F(\omega) = 1 + j\sqrt{\pi} e^{-\omega^2} \operatorname{erfc}(-j\omega)$ ha sido estudiada en profundidad en los últimos veinte años e incluye la denominada "distancia numérica":

$$\omega = (1 - k_1/k_2 \cos \varphi)^2 \sqrt{2j k_1 r_2 / (Z(1 - Rp))}$$

La modelización más aceptada de la impedancia acústica del terreno, corresponde a la de un medio poroso expresable en función de la resistencia al flujo del aire en la superficie del mismo (σ), mediante la fórmula empírica propuesta por Delaney y Bazley [2]

$$Z = Z_2/Z_1 = 1 + 9.08(f/\sigma)^{-0.75} + j11.9(f/\sigma)^{-0.73}$$

Análogamente, se acepta para la relación entre los números de onda de los dos medios, la expresión:

$$k_2/k_1 = 1 + 10.8(f/\sigma)^{-0.70} + j10.3(f/\sigma)^{-0.59}$$

La valoración de la complicada función de pérdidas $F(\omega)$ se ha realizado a través de los desarrollos en serie propuestos por Chien y Soroka [3].

ESTUDIO ESPECTRAL

Caso de una fuente puntual de ruido blanco.

Está claro que, para una fuente puntual emitiendo ruido blanco en el margen de frecuencias de interés, aparecerán máximos y mínimos en el espectro, debidos a las diferencias de fase entre las ondas incidente y reflejada en el terreno que incluye también el desfase introducido por el coeficiente de reflexión complejo.

El nivel de presión sonora, referido al que produciría una fuente de iguales características en campo libre, vendrá dado por:

$$L = 10 \log \left\{ 1 + (r_1/r_2)^2 |Q|^2 + 2r_1/r_2 |Q| \cos(k_1(r_1 - r_2) + \arg(Q)) \right\} \quad (1)$$

En [4] se ofrecen los valores de σ según el tipo de terreno; para este estudio se han elegido los valores correspondientes a terrenos de hierba y pastos ($\sigma = 300$) y a pavimentos ($\sigma = 30000$) por ser dos casos extremos (σ en Rayls c.g.s./cm).

Caso de ruido de tráfico.

Para la elección del espectro del ruido de tráfico de partida nos hemos basado en la norma ISO 717/2. Debido a las grandes distancias de propagación consideradas hemos tenido en cuenta la absorción en el aire

Valorando energéticamente todos estos factores se obtiene el nivel de presión sonora para la frecuencia i , referido al que produciría una fuente ideal en campo libre, dado por:

$$LT_i = L_i - RT_i + r_m Ab_i \quad (2)$$

donde RT_i es el espectro de ruido de tráfico, Ab_i es la absorción del nivel sonoro debida al aire y r_m la media de r_1 y r_2 , (fig. 1).

En las fig. 2 y 3 se representa espectro de nivel de una fuente de ruido de tráfico para varias condiciones geométricas, en las cuales se ha mantenido siempre $hs = 0.5 m$ y $hr = 1.5 m$. Según las condiciones del modelo empleado, ec(1), la curva correspondiente al nivel de una fuente ideal, propagándose en campo libre, sería una recta horizontal situada en un nivel de $0 dB$. Los mínimos que se observan en todos los gráficos tienen su origen en la diferencia de caminos recorridos por los dos rayos que llegan al punto receptor (rayo directo y rayo reflejado en el suelo), así como al desfase introducido por el coeficiente de absorción complejo asociado al terreno.

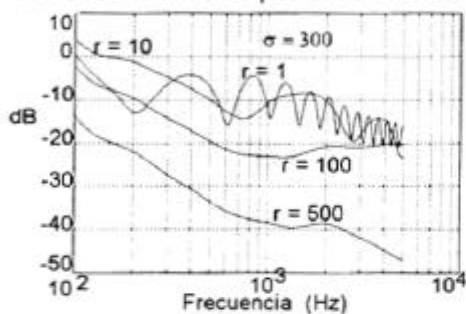


fig. 2

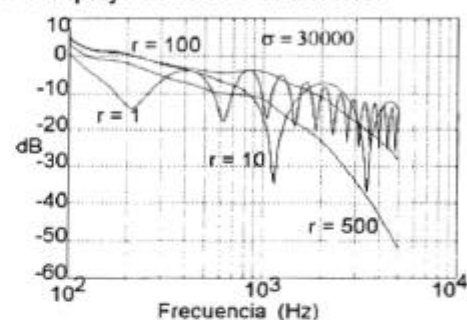


fig. 3

Para distancias muy cortas ($r=1m$) se observa la aparición de una gran cantidad de mínimos debido al desfase anteriormente descrito, primando la diferencia $k(r_1-r_2)$ frente al argumento de Q . También puede observarse que en el caso de terrenos absorbentes el valor de las amplitudes de las oscilaciones que se producen tiende progresivamente a cero, mientras que en terrenos acústicamente reflectantes permanece prácticamente constante. A medida que la distancia aumenta, el primer mínimo se desplaza hacia la derecha y los mínimos tienden a separarse entre sí, manteniéndose el resto de las características descritas en el párrafo anterior.

Para distancias grandes ($r > 100 m$), en el caso de suelos absorbentes se conjugan varios fenómenos; por un lado el ensanchamiento del mínimo principal, por otro un desplazamiento de los valores extremos de nivel hacia altas frecuencias y por otro la pérdida de frecuencias agudas debido a la absorción por el aire, que ya se hace patente. Ello explica el cambio en la sonoridad del ruido de tráfico que se vuelve más grave a medida que nos alejamos de la fuente. En suelos reflectantes el espectro mantiene toda su riqueza de frecuencias medias y sólo perderá frecuencias altas debido, principalmente, a la absorción en el aire. No se observan mínimos ya que estos están tan desplazados hacia la parte derecha del espectro que salen fuera del intervalo de frecuencias considerado ($100 - 5000 Hz$).

VARIACIÓN DEL NIVEL GLOBAL DEL RUIDO DE TRÁFICO CON LA DISTANCIA

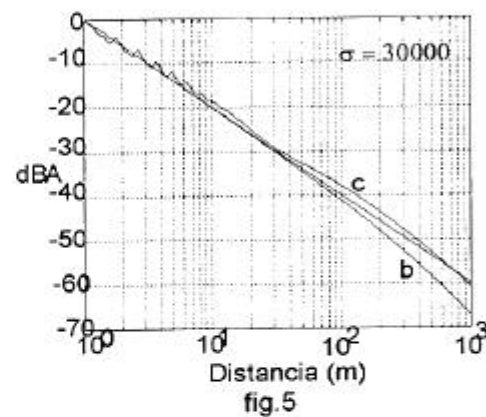
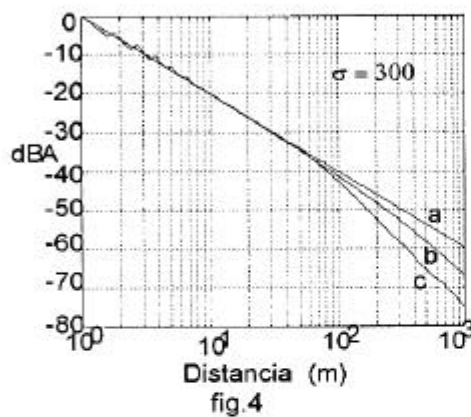
Después de tratar los aspectos relacionados con el espectro del ruido de tráfico y su propagación sobre un terreno más o menos absorbente, interesa determinar la evolución global de dicho ruido según nos alejamos de la fuente que lo produce.

Para ello parece oportuno utilizar un índice basado en la curva A de ponderación sonora. Con objeto de comparar las distintas curvas entre sí, éste índice se normalizará al nivel que posee a un metro de distancia de la fuente, quedando:

$$L_{w,tr} = 10 \log \sum 10^{0.1(L_r + RTA_i + r_m A b_i)} - 10 \log \sum 10^{0.1(L_i + r_m A b_i)}$$

donde todos los símbolos coinciden con los del apartado anterior.

En la fig. 4 se muestra la variación del nivel global con la distancia para propagación en campo libre, sin y con absorción atmosférica (curvas a y b de la gráfica respectivamente) y para una fuente de ruido de tráfico (curva c). En ella se observa que el nivel global de la fuente de ruido de tráfico decrece más rápidamente que según la ley de $1/r$, incluso teniendo en cuenta la absorción en el aire. La fig. 5 muestra la misma situación para un suelo con un σ alto; apreciándose que ocurre lo contrario. La curva correspondiente al ruido de tráfico se sitúa por encima de la curva de $1/r$ y sólo la interseca a muy grandes distancias; estando siempre por encima de la propagación en campo libre (b), en la que se ha tenido en cuenta la absorción.

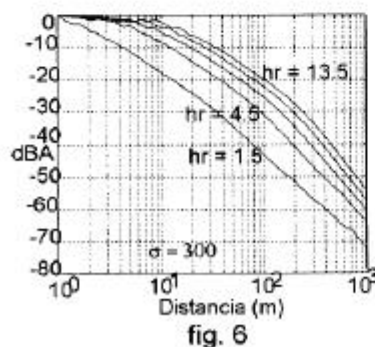


CONCLUSIONES

- La variación de los espectros en función del tipo de terreno (σ) a través de la ec(1) permite cuantificar los diferentes cambios en la sonoridad percibida con la distancia.

- La variación de $L_{w,tr}$ con la distancia y altura de recepción muestra que ésta se mantiene constante para $r < hr$, a partir de la cual caen aproximadamente con la misma pendiente, fig. (6).

- Establecer estimaciones a partir de la ley de $1/r$ puede dar lugar a errores de consideración tanto en la valoración del espectro como en el del nivel global del ruido de tráfico debidos a las características del terreno y a sus condiciones geométricas.



BIBLIOGRAFÍA

1. K. A. Attenborough. Appl. Acoust. 24, 289-319, 1988.
2. M. Delaney, E. Bazley. Appl. Acoust. 3, 105-116, 1970.
3. C. F. Chien, W. W. Soroka. 69(2), 340-343, 1980.
4. T. F. W. Embleton et al. J.A.S.A. 74(4), 1239-1244, 1983.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica, Proyecto nº PB91-0884.