

UN ENFOQUE APROXIMADO DEL PROCESO DE CALCULO TEORICO DE LAS PANTALLAS ANTIRRUIDO

ANTONIO BELLO-MORALES MERINO (*)

RESUMEN. El ruido del tráfico urbano supone hoy día más del 80 % del percibido por el ciudadano de una gran urbe. La lucha contra este tipo de contaminación acústica es una tarea a que se enfrentan políticos, técnicos y ediles municipales. Las pantallas antirruído suponen hoy en día una manera muy eficaz de protección frente a ruidos sonoros inadmisibles. El cálculo acústico de las pantallas delgadas, aunque ya abordados por investigadores del pasado (Fresnel, Kirchhoff, etc.) supone una gran dificultad teórica en la medida en que se trate de resolver con rigor la influencia de la refracción en el borde de la pantalla. La geometría del sitio, las características del material, las posiciones relativas en planta y alzado de fuente y receptor y, por supuesto, la composición y cuantificación del tráfico constituyen parámetros básicos para el cálculo de la geometría de la pantalla. En este artículo se expone, sin ánimo de exhaustividad, unas consideraciones teóricas que sirven de punto de apoyo para el cálculo de las pantallas antirruído en carreteras.

ABSTRACT. In a big city, traffic accounts for more than 80 % of the noise heard by its inhabitants. The fight against such acoustic contamination involves politicians, technicians and local government officials. One very efficient way of dealing with intolerable noise levels is the use of anti-noise screens. The acoustic calculations of thin screens, although it has already been approached by researchers (Fresnel, Kirchhoff, etc.) still presents considerable, theoretical difficulties, as far as attempting to rigorously solve the refraction at the screen-edge is concerned. The geometry of the site, the characteristics of the material, the relative positions of the source and receiver and, of course, the nature and quantity of traffic constitute the main parameters for calculation the geometry of the screen. Some theoretical considerations are explained in this article so that they can be of assistance in the calculating of these screens on roads; these considerations are not intended to be exhaustive.

Para abordar los problemas específicos del impacto sonoro del tráfico viario y su atenuación sobre las zonas urbanas habitadas es preciso, ante todo, estudiar las características de propagación del ruido analizando el decrecimiento del nivel de presión acústica a partir de la fuente sonora bidireccional del tráfico, considerando las superficies homotéticas de niveles generados suponiendo los lugares geométricos de niveles sonoros de igual intensidad que envuelven el semiespacio vial en donde se desplaza la fuente. Es preciso, además, tener en cuenta las diferentes condiciones topográficas exteriores y los fenómenos atmosféricos que pueden incidir aumentando o disminuyendo un nivel acústico específico en un receptor dado.

Cualquiera que sea la naturaleza de la vía de comunicación terrestre (ferrocarril o carretera) y suponiendo un tráfico homogéneo y continuo se puede adoptar la hipótesis de una serie continua de fuentes sonoras lineales puntuales generando un nivel acústico con las características anteriormente mencionadas (fig. 1).

La determinación exacta del nivel acústico obtenido a partir de las anteriores consideraciones es un proceso teóricamente muy complejo. Kurze y Beranek han propuesto la expresión siguiente:

$$N_{dB(A)} = N_{s(s)} + 10 \log \left(\frac{a_n - a_1}{bd} \right) + \Delta N - 8 \quad (1)$$

con:

$$\Delta N = 10 \log \left[\frac{b}{d} \frac{\cos^2 \alpha_1}{\alpha_n - \alpha_1} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{1 + (n-1) \frac{b}{d} \cos \alpha_1 \left[(n-1) \frac{b}{d} \cos \alpha_1 + \sin \alpha_1 \right]} \right]$$

en donde:

α_1 = Angulo que abarca la perpendicular del observador a la vía de circulación contemplando éste el primer vehículo.

(*) Ingeniero y Urbanista del Gabinete de Formación y Documentación del CEDEX (MOPL).



FIGURA 1. Triple sistema de pantallas en autopista.

- α_v = El mismo ángulo anterior pero referido al vehículo $n_{v(i)}$.
 d = Distancia del observador al eje de la vía.
 b = Espacio medio entre las fuentes sonoras.
 $N_{v(i)}$ = Nivel de presión acústica de cada fuente correspondiente aquí al nivel medio emitido por cada uno de los vehículos particulares.

Suponiendo una fuente lineal infinita ($\alpha_v = \alpha_j$) = π radianes, la ecuación (1) se transforma en las expresiones:

$$N_{v(i)} = N_{v(i)} - 10 \log db - 3 \quad \text{para } d > b/\pi \quad (2)$$

$$N_{v(i)} = N_{v(i)} - 20 \log d - 8 \quad \text{para } d < b/\pi \quad (3)$$

La expresión (2) corresponde al caso general de una autopista con fuerte tráfico, y la segunda corresponde a una vía de menor circulación.

En el modelo precedente no se tiene en cuenta parámetros muy importantes como las características del suelo y la situación atmosférica.

La normativa alemana emplea un proceso muy riguroso y sistemático para deducir los niveles acústicos de un tráfico dado estableciendo una serie de condiciones en donde interviene la proporción de vehículos pesados.

A partir de los niveles acústicos obtenidos a una distancia tipificada (25 m del eje) se obtienen los niveles bases que sirven de cálculo de los niveles en el receptor (fachada de edificios). A estos niveles hay que aplicar las correcciones siguientes:

- Condiciones de la calzada.
- Corrección por velocidades.
- Correcciones por la existencia de cruces y semáforos.
- Correcciones por pendientes longitudinales.

Para determinar el nivel definitivo se obtiene la separación entre receptor y eje de la calzada, así como la diferencia de cotas entre fuente y receptor. Así la ecuación general adopta la forma:

$$L_{re} = L_{v(i)} + \Delta L_{e1} + \Delta L_g \quad (4)$$

con

$$L_{v(i)} = U_{v(i)}^{(25)} + \Delta L_e + \Delta L_v + \Delta L_k + \Delta p$$

que sustituida en (4) da:

$$L_{re} = U_{v(i)}^{(25)} + \Delta L_e + \Delta L_v + \Delta L_k + \Delta p + \Delta L_{e1} + \Delta L_g$$

en donde:

$U_{v(i)}^{(25)}$ = Nivel Leq de una carretera infinita tomado a 25 m del eje.

ΔL_e = Factor comprendido entre 0 y 4 en función del tipo de pavimento.

ΔL_v = Factor comprendido entre -6 y +2 en función de las velocidades.

ΔL_k = Factor comprendido entre +1 y +3 en función de la situación del tráfico (semáforos, cruces, etc.).

ΔL_p = Factor de pendiente (entre 0 y +3).

ΔL_{e1} = Corrección de distancia al eje de la vía.

Este factor puede calcularse según la expresión:

$$\Delta L_{e1} = 13,8 - 3,5 X - \frac{X^2}{2}$$

en donde:

$$X = \log (S_{1,a}^2 + H^2)$$

con:

- $S_{1,a}^2$ = Distancia horizontal entre receptor y fuente.
 H = Diferencia de cotas entre fuente y receptor.
 AL_H = Corrección según condiciones topográficas variables entre +1 y +6.

El cálculo definitivo del nivel en fachada L_{fa} sirve de parámetro básico para dimensionar la pantalla.

Hasta la fecha los teóricos de la acústica vial han empleado profusamente el ábaco de MAEKAWA para el cálculo de la altura en donde se comprueba la atenuación teórica de una pantalla dada empleando el número de FRESNEL obtenido por la expresión:

$$N = \frac{2}{\lambda} S \quad (5)$$

en donde

$$S = A + B - D \quad (6)$$

es decir, diferencia de recorrido de la onda acústica (figs. 2 y 3).

Puesto que las bases de cálculo de las pantallas toman como punto de apoyo el fenómeno físico de la di-

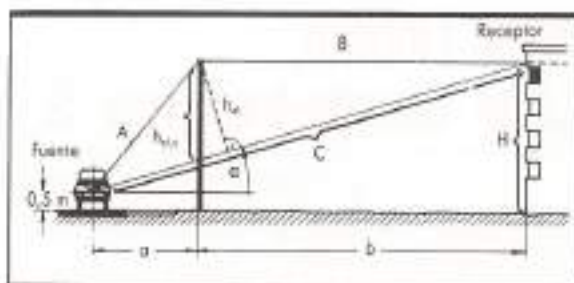


FIGURA 3. Determinación de la diferencia de recorrido.

fracción se deberá hacer referencia a los diferentes trabajos realizados en este campo. Los valores obtenidos con la teoría de la difracción de KIRCHHOFF para pantallas delgadas, dan atenuaciones mayores que las conseguidas experimentalmente por MAEKAWA. En todo caso, suponen excelentes aproximaciones de tanteo de alturas de protección que deberán confirmarse por modelos más actuales e incluso, cuando la situación concreta así lo aconseje, con la construcción de modelos reducidos, en donde se reproducen mediante maquetas la situación real de una pantalla acústica atenuadora de un nivel sonoro dado.

En el caso de una pantalla acústica de sección no rectangular y gruesa (fig. 4), la determinación del valor S de la fórmula (6) es bastante más complicada al producirse varios bordes de difracción, y hay que proceder por aproximaciones sucesivas.

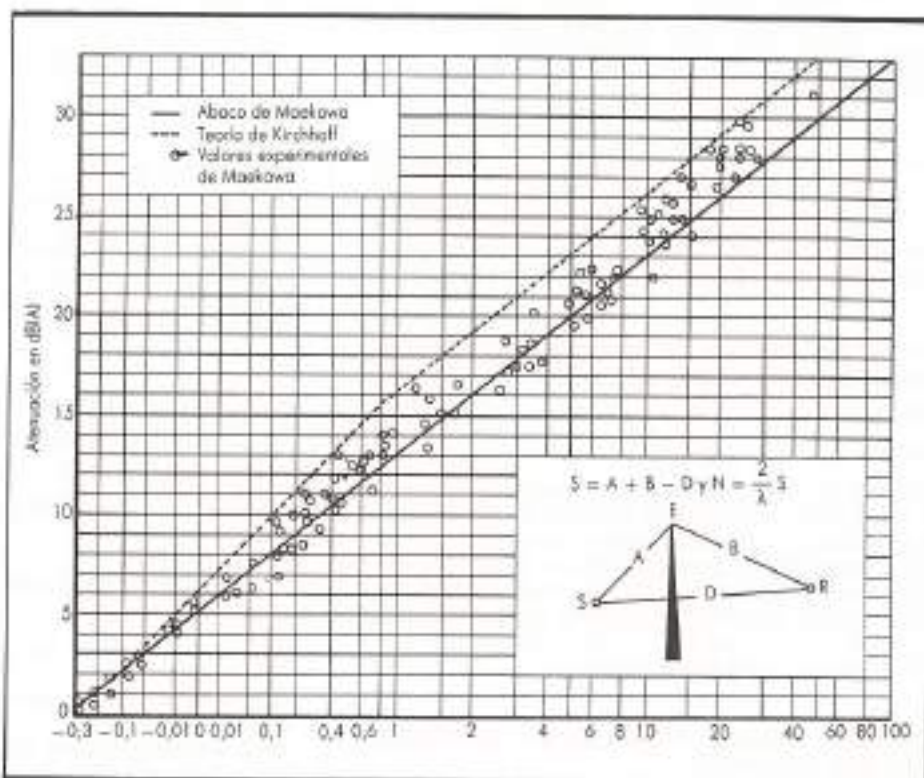


FIGURA 2. Cálculo de la atenuación en función de «N».



PEDIDOS: Contra reembolso ☐ — Cheque adjunto ☐

STRUCTURAL MATERIALS FOR HARBOR AND COASTAL CONSTRUCTION

Whiteneck, L.L. —8364—

1989 ed. 466 págs. 10.367 pts.

CONTENIDO: Material requirements for coastal structures. Stone. Earth. Portland cement concrete. Other types of concrete and grout. Structural and sheet piling. Wood. Plastics. Recycled and other materials. Protective systems for materials.

ADVANCED DAM ENGINEERING: For design, Construction, and Rehabilitation

Jansen, R.B. —12758—

1988 ed. 809 págs. 19.367 pts.

CONTENIDO: Lessons from notable events. Hydrology. Geology. Seismology. Materials. Cofferdams. Earthquake response analysis of embankments. Earthfill dam design and analysis. Earthfill dam construction and foundation treatment. Earthfill dam performance and remedial measures. Rockfill dam design and analysis. Rockfill dam construction and foundation treatment. Rockfill dam performance and remedial measures...

DEVELOPMENT OF DAM ENGINEERING IN THE UNITED STATES

Kollgaard, E.B. —11815—

1988 ed. 1072 págs. 40.280 pts.

CONTENIDO: Influence of some related technologies on technology of dams. Concrete gravity dams. Concrete arch dams. Concrete buttress dams. Earthfill dams. Rockfill dams. Dam safety engineering.

CONSTRUCTION AND DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE SEGMENTAL BRIDGES

Podolny, M. —8201—

1982 ed. 559 págs. 20.352 pts.

CONTENIDO: Prestressed concrete bridges and segmental construction. Cast-in-place balanced cantilever girder bridges. Precast balanced cantilever girder bridges. Design of segmental bridges. Foundations, piers, and abutments. Progressive and Span-by-Span construction of segmental bridges. Incrementally launched bridges. Concrete segmental arches, rigid frames, and truss bridges. Concrete segmental cable-stayed bridges...

CONCRETE BRIDGE ENGINEERING: PERFORMANCE AND ADVANCES

Cope, R.J. —8950—

1987 ed. 346 págs. 14.310 pts.

CONTENIDO: Planning site investigations. Assessment of concrete in bridge structures. Assessment of load effects in reinforced concrete slab bridges. Repair and protection of reinforced concrete bridges. The thermal response of concrete bridges. Membrane enhancement in top slabs of concrete bridges. Modified concretes for use in bridge structures. Prestressed precast concrete bridges. Joints and substructures.

TRANSPORTS COLLECTIF URBAINS. (PP)

—12333—

1988 ed. 538 págs. 13.800 pts.

CONTENIDO: Transports et politique urbaine. Rapports institutionnels et financement. Choix des investissements. Le nouveau rapport à la clientèle. Communications tardives.

TEMA: TRAFICO TRANSPORTE

EDITORIAL: PRESSES L'ECOLE NATION. PONTS AND CHAUSES
29/11/88

INTERSECTIONS WITHOUT TRAFFIC SIGNALS

Brilon, W. —10125—

1988 ed. 328 págs. 8.962 pts.

CONTENIDO: Current and future Australian practices for the design of unsignalized intersections. The design of unsignalized intersection in the UK. Status of unsignalized intersection capacity research in the United States. Safety and design of unsignalized intersections in France. Research on traffic performance of major/minor priority intersections. Swedish research on unsignalized intersection.

DICTIONARY OF ROAD TRANSPORT TERMINOLOGY. English, French, German and Spanish

Internat. Road Transport Union (I.R.T.U.) —8308—

1988 ed. 351 págs. 25.838 pts.

CABLE STAYED BRIDGES

Walther, R. —1829—

1988 ed. 196 págs. 17.755 pts.

CONTENIDO: General design. Parametric study. Stay technology. Static design. Dynamic analysis. Examples of small and medium-span cable stayed bridges. Test of a scale model of a cable stayed concrete bridge with a slender deck.

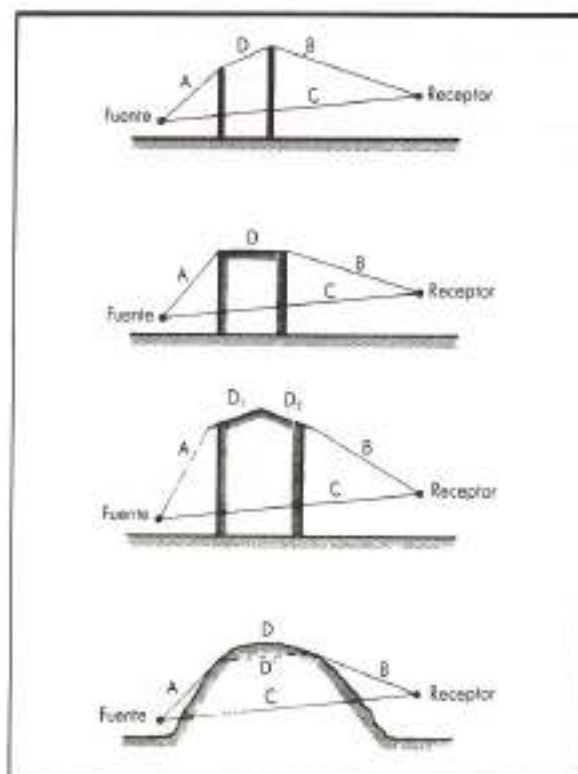


FIGURA 4. Diferentes casos de pantallas gruesas.

Por su parte el GREATER LONDON COUNCIL parte de la fórmula:

$$A(e) = 10 \log 20X$$

en donde X es el valor del número de FRESNEL ya empleado en el ábaco de MAEKAWA obteniendo las relaciones:

$$X = 2 \left[\frac{\sqrt{R^2 + H^2} - R + \sqrt{D^2 + H^2} - D}{\lambda \left(1 + \frac{H^2}{R^2} \right)} \right] = \frac{2\delta}{\lambda + \lambda \frac{H^2}{R^2}}$$

expresión muy similar a la (5) en el caso en el que la altura efectiva sea muy pequeña en relación a la distancia entre la fuente y la pantalla. La práctica no ha demostrado resultados satisfactorios en el uso de este modelo del G.L.C.

La B.R.S. propone un polinomio ya más acorde con la realidad cuya expresión es:

$$A(e) = + 0,109 X + 0,815 X^2 + 0,479 X^3 + 0,3284 X^4 + 0,04385 X^5$$

Para la determinación práctica de $A(e)$ se disponen de ábacos muy manejables que facilitan su empleo.

Cualquiera que sea el método empleado para el cálculo de las pantallas, la sistemática es muy similar aún cuando los parámetros empleados difieran sensiblemente según las características físicas de ubicación y de los criterios adoptados para estimar el nivel sonoro inmisivo en el receptor.

El proceso a emplear en el dimensionamiento de la pantalla puede seguir, en síntesis, dos caminos diferentes:

Partir de un valor dado a la altura de la pantalla y calcular la diferencia de recorrido o altura eficaz h_{ef} o también, partiendo de la IMH del tráfico previsible o real con porcentajes de pesados, calcular los niveles $\sum dL$ que hay que atenuar, determinando por cálculo o mediante ábacos (sistema de la BAST)* la altura total de la barrera una vez conocidas la separación entre fuente y receptor S_e y diferencia de altura entre receptor y fuente (supuesta ésta 0,5 m sobre el pavimento).

En todo este proceso se deberán tener en cuenta los parámetros de reflexión o absorción, características del pavimento, condiciones meteorológicas, gradiente de la vía y desde luego la adecuada inserción de la pantalla en el medio de la carretera, estudiando su ubicación en planta, sección y alzado.

BIBLIOGRAFIA

- ADAC. Strassenverkehrslärm. 1979.
 BAUM, F. «Praxis des Umweltschutzes». Oldenburgverlag, Munich, 1979.
 BAUSCH Dieter. «Lärmschutz an Strassen». Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Colonia.
 BELLO-MORALES MERINO, Antonio. «Las nuevas Ciudades Residenciales». Editorial Dosat, Madrid, 1978.
 BELLO-MORALES MERINO, Antonio. «Tratamiento Estético, Paisajístico y Funcional de las Carreteras mediante Plantaciones». AIPCR, Madrid.
 BOHNY, Michel et al. «Lärmschutz in der Praxis». Oldenburgverlag, 1986.
 BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR (R.F.A.). «Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen». RLS-81, 1981.
 DIN 18005 «Schallschutz in Städtebau». 1976.
 FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN UND VERKEHRSWESSEN. «Empfehlungen für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Strassen». Colonia, 1985.
 FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN UND VERKEHRSWESSEN. «Richtlinien für die Anlagen von Strassen». Colonia, 1980.
 KRELL, Karl. «Handbuch für Lärmschutz an Strassen und Schienenwegen». Otto Asner Verlagsgesellschaft.
 GRUBER, H. «Geschwindigkeitsbeschränkung an Autobahnen. Lärmbekämpfung heute». 1978.
 MACHTEMES, A. «Schallschutz im Städtebau». 1980.
 MENSEBACH, Wolfgang. «Strassenverkehrstechnik». Werner Verlag, 1983.
 MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN. «Tijdschrift der Openbare werken van België». 6, 1975.
 ÖSTERREICHISCHES ARBEITSRING FÜR LÄRMBEKÄMPFUNG. «Lärmbekämpfung, Heute und Morgen».

(*) Bundesanstalt für Strassenwesen, Colonia.

REINHOLD, G. «Schalltechnische Anforderungen an Lärmschutzwände». Heft 2/75.

SÄLZER, Elmar. «Städtebaulicher Schallschutz». Bauverlag Wiesbaden-Berlin.

SCHIRMER, W. «Lärmbekämpfung». Tribüne Verlag Berlin, 1971.

STICH-TING STUDIE CENTRUM WEGENBOW. «Borren en Struiken Langs». Wegn, Delf, 1981.

ULRICH, S. «Zur Berechnung der Schutzwirkung von Tragbauwerken». Etero, 1977.

VDI 2714. «Schallausbreitung im Freien». (12/76).

VDI 2573. «Schutz gegen Verkehrslärm». (2/74).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. «Assessment of Noise Impact on the Urban Environments». Copenhagen, 1986.