

51 pte del Concejo Deliberante
Damian... De... Marico y demas Concejales
De... mi... consideracion

El problema del RUIDO en las autopistas conlleva a problemas psíquicos y físicos, todos sabemos que la relación entre equilibrio mental y decibeles es sumamente delicada, hasta puede desembocar en la violencia.

Para ello debemos abordar distintos tipos de soluciones, "saneamientos acústicos", desde la elección del tipo de superficie de la capa de rodamiento del pavimento, porosos o drenantes para evitar el efecto de hidroneo, a las barreras acústicas, así como el aislamiento hermético de las aberturas de las viviendas.

Las consecuencias que provoca el ruido sobre las personas si sobrepasa 80 decibeles implica establecer:

- .- Nivel de emisión de ruido de las fuentes móviles.
- .- Ubicación de zonas residenciales o rurales.
- .- Estudiar y buscar soluciones que permitan reducir el impacto a niveles aceptables.
- .- Atenuación del impacto sonoro en las carreteras.
- .- Utilización de distintos tipos de barreras que pueden ser :
reflectantes u absorbentes.
- .- Medición de ruido en asfalto liso o poroso.
- .- Medición de ruido con reducción de velocidad.
- .- Medición de ruido con asfalto poroso con pantallas acústicas.
- .- Selección de los puntos de medición.
- .- Zona densamente poblada.
- .- Zona con curvas o pendientes.
- .- Horario de determinación de ruido.

CONCEJO DELIBERANTE USHUAIA	
MESA DE ENTRADA LEGISLATIVA	
ASUNTOS INGRESADOS	
Fecha:	22/03/10 14:12
Numero:	246 Fojas:
Expte. N°	
Girado	152/84
Recibio	[Firma]

La variación del ruido con el tiempo es la característica principal del ruido ambiental ,en particular el ruido del tráfico.

Esta variación del nivel con el tiempo son debidas a :

- .-Existencia del tráfico con distintas características mecánicas.
- .-Distinta velocidad de los vehiculos.
- .-Fluidéz de tráfico.
- .-Trazado de la carretera.

Todas estas variables determinan el ruido ambiental.

Existen programas basados en la teoría acústica de rayos y valoraciones energéticas que tienen en cuenta los posibles canales de propagación acústica y distribuciones energéticas como consecuencia de atenuación por la distancia, reflexiones en obstáculos y difracciones en el caso de encontrarse o preveer la instalacion de pantallas antiruido; normalmente no se considera la difracción por diedros(como ocurre en las esquinas edificadas) o desniveles del terreno en forma de trinchera (que estos taludes en zonas habitadas suponen mas inconvenientes que ventajas)

Visto todo lo expuesto y

Considerando que una barrera acústica está diseñada para reducir la polución acústica es un método efectivo para la mitigación acústica en las carreteras..

Se debe tener en cuenta:

- .-bloquear el trayecto del haz de ruido hacia un particular receptor sensor.
- .- Las fuentes acústicas deben incluir : motor,ruedas,aerodinamia.
- .-Los beneficios : incluten menos desorden del sueño.
- .-Reducción de la interferencia del habla.

.-Menos riesgo de sordera.

.-Reducción de presión sanguínea.

Con la instalación de pantallas acústicas se logrará una mejor calidad de vida para los que elegimos vivir en esta zona austral tan querida.



Beatriz de Arma

D.N.I.:2.722.334

del Bosque 619 .B° La Colina

Ushuaia. Tierra del Fuego

El pedido es la instalación de PANTALLAS ACUSTICAS en carácter experimental sobre RUTA 3 desde la ROTONDA del Polivalente hasta la entrada del Barrio " La Colina" donde se encuentran gran cantidad de viviendas.

Por las dudas aclaro que estare en BsAs donde resido a partir del 5 de marzo 06/38/2010 - 09:59 - 4/18

----- Mensaje reenviado -----

De: Norberto Salvia <norbertosalvia@yahoo.com.ar>

Para: Angela beatriz de Arma <betty_dearma@hotmail.com>

Enviado: lunes, 1 de marzo, 2010 7:31:36

Asunto: Re: ruido en autopistas urbanas

Estimada Beatriz:

Le respondo desde un poco lejos Trinidad & Tobago por donde estamos ganando el

puchero.

en tierra de piratas de verdad.....

Para la zona de ruta fuera de la ciudad lo primero es hacer mediciones de ruido y luego se proyectan los distintos temas para bajar el ruido en la zona de viviendas (bajar velocidad, tipo de pavimento absorbente de ruido, pantallas acusticas y vidrios especiales en viviendas). En la zona urbana estaria el control de los ruidos de mal funcionamiento de vehiculos o el escape libre de motos y demas.

El trabajo a efectuar (el del proyecto y diseno de estas medidas previa medicion del ruido) lo debe encarar el Gobierno, contratando a una firma como nosotros

www.satsy.com.ar.

De cualquier manera como el tema es de mi agrado y recibio el premio en un Congreso de Caminos, estaria dispuesto a dar una charla alli, siempre que me manden el pasaje y gastos de estadia.

Un abrazo

Ing. Norberto Salvia

El ruido del tráfico

El ruido de tráfico generado por una vía de circulación, es una secuencia de sumas simultáneas de los niveles sonoros variables generados por los distintos vehículos que forman dicho tráfico. La **variación del ruido con el tiempo** es la característica principal del ruido ambiental y en particular del ruido de tráfico.

Si la intensidad de tráfico en una carretera es baja, la distancia media entre vehículos es grande y el paso de ellos es prácticamente independiente del resto, con notables periodos de tiempo durante los cuales el ruido se mantiene constante o casi constante, en el nivel de fondo.

A medida que la intensidad de tráfico aumenta, la distancia media entre vehículos disminuye y cada vez se escucha menos el ruido de fondo. *Cuando el tráfico es muy elevado el ruido es casi constante.*

Para tráfico intermedios, hay un agrupamiento de vehículos, que hace que existan momentos durante los cuales el ruido de fondo no está generado por el tráfico de la carretera, mientras durante otros el nivel sonoro es superior al esperado, si no ocurriesen dichos agrupamientos. Esto es en gran parte debido al carácter aleatorio del tráfico, tanto en presencia de vehículos en un punto de la carretera como en la composición de los mismos. Esto hace que las variaciones del nivel sonoro sean aún mayores en estos casos.

Estas continuas variaciones del nivel con el tiempo son debidas a:

- El carácter aleatorio del tráfico en calles y carreteras.
- La existencia en el tráfico de vehículos con muy distintas características mecánicas y con distinta emisión de ruido.
- La distinta velocidad de los vehículos, directamente relacionada con la emisión sonora.
- La influencia de la forma de conducción.
- El estado de conservación del vehículo.
- La fluidez del tráfico.
- La pendiente de la carretera o autopista.
- Las condiciones de propagación sonora desde la vía de circulación al observador.
- El trazado de la carretera y el estado del firme.

Muchas de estas variables son, sin duda, las que determinan el ruido final ambiental.

La siguiente figura presenta los niveles de ruido máximo generados por vehículos españoles a distintas velocidades y a una distancia de 15 metros. Puede observarse la gran variación en el nivel de ruido a una misma velocidad, de esa variación son responsables la marca del vehículo, el estado de conservación del mismo y la forma de conducción.

Resulta evidente que las fuentes sonoras más significativas en las proximidades de un aeropuerto son los **aviones** en sus operaciones de aterrizaje y despegue.

En el caso de que en las proximidades de un aeropuerto existan zonas densamente habitadas y de que estas zonas sean sobrevoladas con frecuencia por los aviones, la **respuesta de la comunidad** correspondiente no depende tan sólo del ruido producido por una operación en particular, sino que está relacionada también con el número de operaciones que tienen lugar durante un período determinado de tiempo (por ejemplo, un día completo, una semana, etc.). La consideración conjunta de estos dos factores ha dado lugar a la formulación de una extensa variedad de índices de exposición al ruido de aeronaves, tratando de representar la acción global de un cierto número de sucesos (despegues o aterrizajes) a lo largo de un intervalo de tiempo dado. En general, estos **índices** responden a una expresión semiempírica del tipo siguiente:

$$I = A + B \log N + C$$

donde A representa el nivel de ruido de un suceso individual (o de un suceso medio, dado que no todos los aviones producen el mismo nivel de ruido) y N el número de operaciones; B y C representan constantes a determinar en función de las respuestas de la comunidad sometida a niveles de ruido conocidos.

A título de ejemplo, nos limitaremos a citar el **índice de ruido y número (NNI)**, desarrollado en Inglaterra en 1963. Este índice se define como:

$$NNI = PNL + 15 \log N - 80$$

donde PNL representa el valor medio de los niveles pico de los sobrevuelos que tienen lugar en una zona determinada durante el periodo diurno y N es el número de movimientos que se producen durante dicho tiempo.

- Para $NNI < 30$ se considera que **no existen problemas** de molestia en la población expuesta.
- Para $30 < NNI < 45$ se producen **algunas molestias**.
- Para $45 < NNI < 50$ las **molestias son ya evidentes** y se hace necesario adoptar medidas de protección.
- Para $NNI > 50$ la situación resulta **totalmente inaceptable**.

1 Introducción

Si tuviera en cuenta las consecuencias que provoca el ruido sobre las personas, ninguno dudaría en tomar los recaudos necesarios para evitar estos daños, a veces, irreparables, como por ejemplo los causados por los potentes equipos de sonido actuales, capaces de romper los cristales de los edificios, o el de las motos que circulan con escape libre atronando el espacio con ruidos ensordecedores, a la vista y paciencia de una comunidad que nada puede hacer contra estos atropellos.

Para conocer el daño que causan estos ruidos, se hace necesario saber que el sonido que sobrepasa los 80 decibeles entra inmediatamente en la categoría de "ruido". Por ejemplo, en el centro de Buenos Aires, en las horas pico, el ruido supera los 100 decibeles. Sin embargo como la pérdida de la audición se produce en forma lenta y generalmente carece de síntomas, no se da importancia a los efectos nocivos del ruido.

Y salvo en algún caso particular, no hay legislación nacional que nos proteja.

El trabajo apunta a que en el ámbito de la Vialidad Argentina se establezcan normas que aseguren la calidad sonora de vida.

2 La contaminación Ambiental por Ruido

2.1 El Ruido en la Ciudad y en las Autopistas

A título de ejemplo se presenta el caso del Entorno de la Autopista M-40 en Madrid, España, donde se realizó un estudio para la determinación de los niveles sonoros existentes en una zona del Barrio de San Lorenzo, antes de someterla a medidas correctoras (2).

De 306 puntos receptores estudiados, 239 se encuentran sometidos a niveles superiores a 65 db (A), de los cuales 115 soportan niveles mayores de 75 dB (A).

Otro caso tomado, ahora en una autopista en Croacia (3), se determinaron los niveles de ruido, luego de medidas correctoras, llegando a valores de 65 dB a una distancia de 450 a 500 metros desde el eje de la carretera.

Otro ejemplo es una autopista en la Región de Calabria, Italia, donde la Facultad de Ingeniería (4) hizo determinaciones que condujeron al mapa de ruido de Figura N° 1.

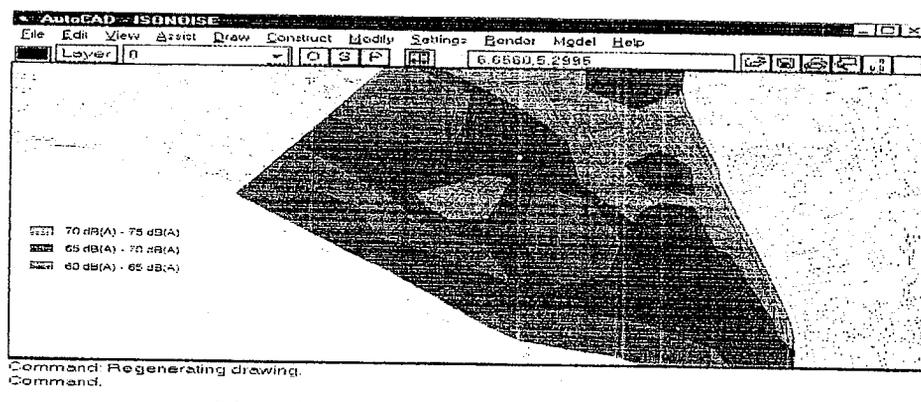


Figura N° 1. Mapa de Ruido en Calabria

En cuanto a la Ciudad de Buenos Aires, el ISEV ha determinado registros de hasta 105 decibeles medidos en hora pico (5).

El autor ha efectuado mediciones de ruido en la Autopista del Sol en horas de la mañana en dos puntos receptores, en la trocha San Isidro – General Paz, determinándose, que en la

3.3 Francia

Tabla N° 3. Valores Límites de Ruido en Francia en dB (A)

Área	Día	Noche
Hospital, Centros de Salud, etc.	45	35
Residencial (Área Rural).	50	40
Residencial (Área Urbana)	55	45
Residencial / Comercial.	60	50
Residencial / Industrial.	65	55
Industrial.	70	60

3.4 Alemania

Tabla N° 4. Valores Límites de Ruido en Alemania en dB (A)

Área	Día	Noche
Hospital - Escuela.	57	47
Área Residencial.	59	49
Área Residencial y Área de Negocios.	64	54
Área con ligera Industrialización.	69	59

3.5 Bolzano, Italia

Tabla N° 5. Valores Límites de Ruido en Bolzano en dB (A)

Área	Día	Noche
Área Urbana Residencial (calle local)	55	45
Área Urbana Residencial (calle de distribución)	60	50
Área Urbana Residencial (calle principal)	65	55

3.6 Gran Bretaña

Tabla N° 6. Valores Límites de Ruido en Gran Bretaña en dB (A)

Noise Source	Noise exposure			
	A	B	C	D
road traffic				
07:00 - 23:00	<55	55 - 63	63 - 72	>72
23:00 - 07:00	<45	45 - 57	57 - 66	>66
rail traffic				
07:00 - 23:00	<55	55 - 66	66 - 74	>74
23:00 - 07:00	<45	45 - 59	59 - 66	>66

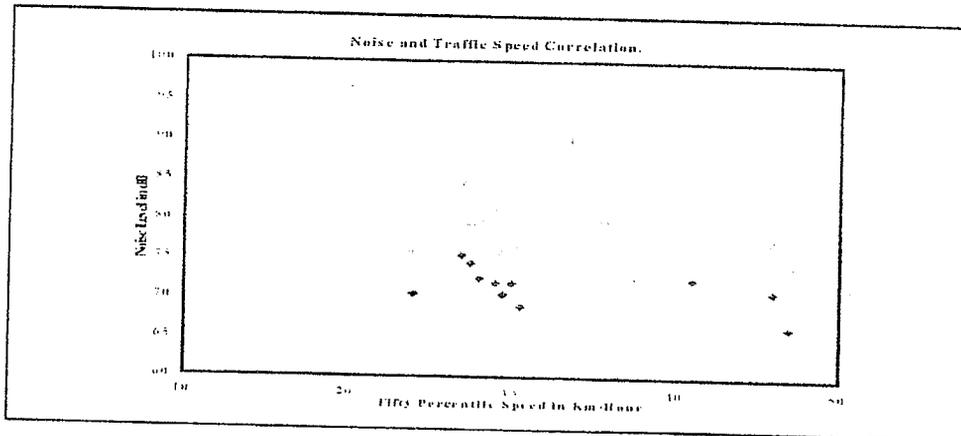


Figura N° 3. Incidencia de la velocidad en el Nivel de Ruido

En cuanto al vehículo, se está continuamente experimentando, sobre el tema. En una visita que realizó el autor al Centro de Investigación de la Fiat en Torino, Italia, pudo constatar un programa de ensayos para atenuar el ruido que genera el vehículo hacia el exterior, como así también el ruido que genera internamente para los ocupantes del mismo.

Y en lo que hace al pavimento, la reducción de la emisión ha adquirido gran auge en los últimos años en Europa con la aparición de los pavimentos porosos o drenantes, cuyo objetivo inicial era evitar los efectos del hidroplaneo.

También la pavimentación en capas delgadas ha sido experimentada en el sentido acústico por investigadores franceses (9) como se ilustra en la Figura N° 4.

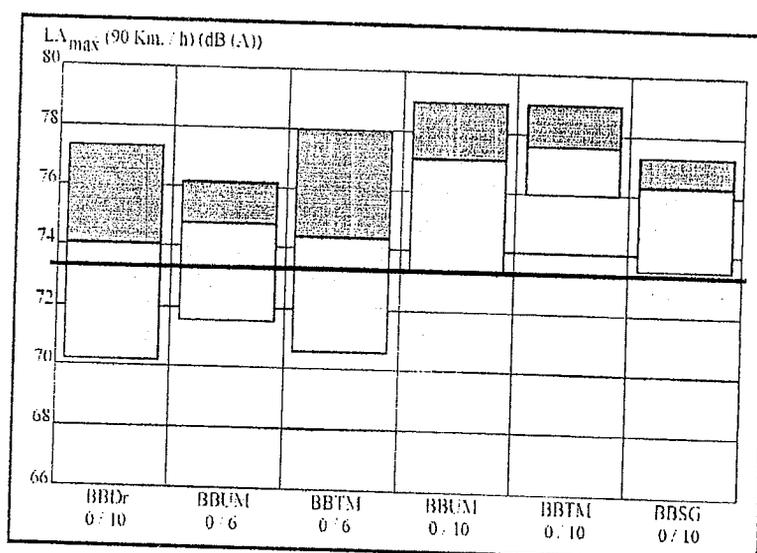


Figura N° 4. Comparación de diferentes revestimientos asfálticos (1 a 4 años de servicios)

4.2 Atenuación en la Propagación

En relación con la atenuación del impacto sonoro de carreteras la atenuación en la propagación, consiste en la implantación de barreras entre la carretera y la zona que se desea proteger: estas barreras en función de las características acústicas de los materiales, pueden

1. Selección de puntos de medición
Los puntos de medición serán seleccionados teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Densidad de población afectada
- Tipo y volumen de tránsito pasante por cada zona
- Zonas cercanas a entradas/salidas de la autopista
- Localizaciones sin obstáculos/pantallas entre la carretera y las viviendas
- Zonas de aceleración o reducción de la velocidad (curvas, pendientes, etc.)
- Partes de la autopista en la que se permita mayor velocidad de tránsito
- Características de la carretera y del entorno (curvas, pendiente, trinchera, incorporaciones, tipo de terreno, etc.)
- Determinación de las características acústicas del entorno (ruido de fondo)
- Accesibilidad y seguridad del punto de medición
- Representativos del ambiente sonoro de la zona

2. Horario de determinación de ruido

Se refiere al horario diurno y al horario nocturno, y al establecimiento de la duración de las mediciones.

4. Tramos de estudio para simulaciones

Se establecen zonas de estudio con el fin de ajustar el modelo de simulación efectuándose mediciones en zonas linderas a la emisión, a distancias variables y a alturas diferentes de la fachada de los edificios.

7 Conclusión

En base a los antecedentes y justificaciones desarrolladas en este trabajo, el autor propone recomendar la incorporación para el diseño y construcción de autopistas urbanas o que atraviesen zonas expuestas, la adopción de los valores reglamentados y que los mismos se amplíen a otras ciudades del país.

Y para el caso de las ya construidas, se hagan estudios de ruido a efectos de proyectar las medidas de reducción del nivel sonoro.

Se presenta una metodología a seguir para aplicar en el proyecto de autopistas o para la atenuación del ruido en las autopistas existentes.

Con todo ello se logrará mejorar la calidad de vida.

El objetivo de este trabajo consiste en realizar un estudio comparativo del grado de protección acústica entre pantallas acústicas delgadas y trincheras, ambas con alturas eficaces equivalentes, a partir de algoritmos de reconocida solvencia.

Los resultados de este estudio pueden servir al diseñador con ideas de magnitud, así como soluciones mas viables bajo el punto de vista acústico, de un problema de esta naturaleza.

ASPECTOS TEÓRICOS

Los trabajos sobre la difracción acústica producida por diedros o cuñas no son excesivamente abundantes [1...4], y son los de Pierce [6-8] los que presentan un mayor interés, constituyendo una referencia obligada en trabajos posteriores, por ejemplo [9]. Otro aspecto que los hace esenciales es su comprobada eficacia en medidas experimentales.

Pierce establece un modelo que partiendo de una generalización de las soluciones exactas establecidas por Sommerfeld son interpretadas siguiendo las teorías establecidas por J.B. Keller (GTD) en forma de soluciones asintóticas uniformes para el problema de difracción por una cuña, apoyadas en las funciones auxiliares de Fresnel, con un tratamiento del problema con técnicas de variable compleja. La expresión para las pérdidas de inserción, *IL*, propuesta por Pierce, válida para $kr_0 \gg 1$ y $kr \gg 1$ suponiéndose fuente puntual, es (figura 1) :

$$IL = -10 \log \left\{ \frac{d_0^2}{2(r+r_0)^2} \left[\sum_{+,-} \frac{\text{sen } v\pi}{\sqrt{1 - \cos v\pi \cos v(\vartheta_0 \pm \vartheta)}} A_D(\Gamma M_v(\vartheta_0 \pm \vartheta)) \right]^2 \right\} \text{ (dB) (1)}$$

siendo : $v = \pi / \beta$ (índice de cuña) con β ángulo exterior $k=2\pi/c$ número de onda, d_0 la distancia directa fuente – receptor y $A_D(X)$ es la función integral de difracción, que en el caso de que el argumento X sea real se define como $A_D(X) = \text{sign}(X) \{ f(|X|) - ig(|X|) \}$ donde $f(X)$ y $g(X)$ son las integrales de Fresnel, siendo:

$|X_{\pm}| = |\Gamma M_v(\vartheta_0 \pm \vartheta)|$, función que depende de las coordenadas polares del emisor y del receptor, en la que:

$$M_v(\vartheta_0 \pm \vartheta) = \frac{\cos v\pi - \cos v(\vartheta_0 \pm \vartheta)}{v\sqrt{1 - \cos v\pi \cos v(\vartheta_0 \pm \vartheta)}} \text{ y } \Gamma = \sqrt{\frac{kr_0 r}{\pi(r_0 + r)}}$$

Sin embargo, estos complicados algoritmos de cálculo pueden simplificarse para situaciones en la zona de sombra, en las que $\theta < \theta_0 - \pi$, que cumplan que $kr \gg 1$, $kr_0 \gg 1$ y valores suficientemente grandes del ángulo de incidencia ($\theta_0 > 5\pi/4$) y ángulos de difracción $< \pi/2$ para cuñas con un ángulo exterior $\beta = 3\pi/2$.

En este caso, las funciones de Fresnel f y g pueden sustituirse por los primeros términos de sus desarrollos en serie : $f(X) \cong 1/(\pi X)$ y $g(X) \cong 1/(\pi^2 X^3)$, para valores suficientemente grandes del argumento X , (Pierce toma el valor $X > 2$). Además sucede que, para $X > 2$, la función $g(X) \rightarrow 0$ más rápidamente que $f(X)$, con lo que la parte imaginaria de la función $A_D(X)$ se hace despreciable, obteniéndose

$$A_D(\Gamma M_v(\vartheta_0 \pm \vartheta)) \approx \frac{1}{\pi \Gamma M_v(\vartheta_0 \pm \vartheta)} \text{ (2)}$$

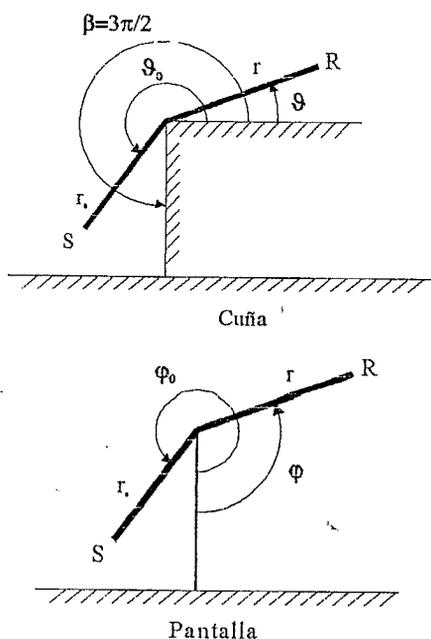


Fig 1. Cuña en ángulo recto y pantalla de igual altura.

Ambas expresiones (3 y 6) presentan dos términos en los que el primero corresponde a las pérdidas o atenuación por divergencia esférica, y el segundo a atenuaciones según el ángulo de recepción, para una posición angular fija de emisión equivalente a la directividad de una fuente secundaria radiando desde el borde del obstáculo.

Los primeros términos son idénticos para ambos casos, excepto en los coeficientes $1/(4\pi)^2$ y $1/(3\pi)^2$ lo que conlleva a correspondientes valores en la ec.(3) inferiores a la ec.(6). El estudio empírico de las funciones trascendentes asociadas a las directividades, muestra curvas análogas en el intervalo $\pi/2 < \varphi < \pi$ aunque, análogamente al caso anterior, los valores de la directividad correspondientes al caso 3 son mayores que los del caso 4, de lo que puede concluirse que, para el caso ideal de ambas situaciones, las pantallas acústicas siempre producirán mayores pérdidas de inserción que las cuñas (o desniveles) de altura equivalente.

Es interesante resaltar que las ecuaciones 3 y 6 resultan idénticas, cuando la cuña degenera en un plano ($\nu = 1/2$), convirtiéndose en una pantalla plana semi-infinita.

Con objeto de establecer órdenes de magnitud de esta situación, en la figura 3 se muestra a modo de ejemplo la diferencia $IL_{pantalla} - IL_{cuña}$ expresada en dB para las siguientes situaciones: $h_s=0.5$; $s=3$; $H=3$; $h_r=3, 6, 12$, y 24 m (curvas a, b, c y d respectivamente) para valores de r entre 0 y 150 m. Estos parámetros corresponden a la situación del emisor (h_s, s) y receptor (h_r, r) referida a la pantalla (H) o borde vertical del talud. En este caso se ha utilizado la formulación de Pierce, ecuación (1) para el caso de la cuña en ángulo recto y dadas las limitaciones que impone la expresión de Keller (para $N < 1$), se ha utilizado la formulación de Kurze – Anderson.

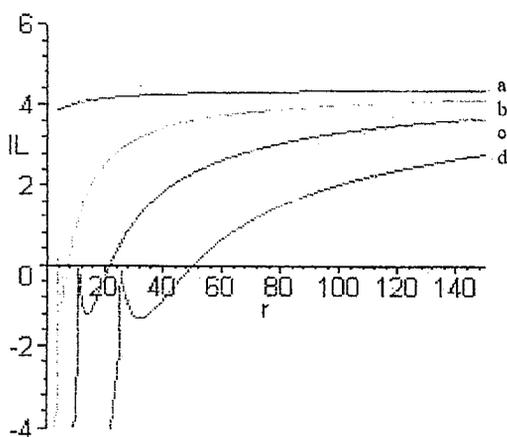


Figura 3. Diferencia entre IL de una pantalla plana y de una cuña en ángulo recto de altura equivalente.

Se observa, que las diferencias de pérdidas presentan un valor aproximadamente constante de 4 dB para esta geometría (curva a) y diferencias menores a medida que aumenta la altura de recepción, h_r , y disminuye la distancia r . En las curvas b, c y d existe un máximo local en $r = 3.6$ m, $r = 10.8$ m y $r = 25.2$ m (abscisas correspondientes a los puntos de cruce del punto de recepción con la recta de iluminación directa, es decir, la que une la fuente con el vértice difractor), y un punto de corte con el eje de abscisas en $r = 6.8$ m, $r = 21.5$ m y $r = 50$ m para el cuadrante en estudio., $\pi/2 < \varphi < \pi$. Se debe recordar además que las pantallas presentan sus mejores características de protección para el cuadrante $0 < \theta < \pi/2$.

Para cada una de las gráficas, la parte de la curva situada a la izquierda del mencionado máximo local carece de significado, ya que corresponde a posiciones situadas en la zona de iluminación directa.

Es interesante destacar, que tanto las pantallas como las cuñas presentan valores asintóticos de IL cuando la distancia de recepción tiende a infinito.

Hasta este momento nos hemos referido a cuñas de ángulo recto (es decir ángulo exterior = $3\pi/2$): Para ángulos exteriores de cuña $\pi < \beta < 3\pi/2$ se obtienen valores asintóticos de IL que disminuyen a medida que el ángulo exterior de la cuña decrece (manteniendo fijas las demás condiciones geométricas del sistema). El valor máximo de la asíntota de IL corresponde al caso $\beta = 3\pi/2$.

Se obtienen análogas familias de curvas para otras situaciones geométricas, pudiendo concluir que, en general, las pantallas planas siempre presentan mayores pérdidas de inserción que los desniveles en talud (cuñas de ángulo recto).

Las ecuaciones (1) y (6) corresponden a casos ideales en los que no se contempla reflexiones en el terreno y se supone longitud infinita del obstáculo. Sin embargo la situación real es bien diferente, ya que al menos deben

tenerse en cuenta las reflexiones producidas por el emisor en el semiespacio anterior de la barrera, y por el receptor (imágenes) en el semiespacio posterior a la misma. Para estas situaciones se debe contemplar así mismo la naturaleza de tales superficies, o lo que es lo mismo, la impedancia acústica en las zonas en que se producen las reflexiones.

Bajo el punto de vista de la acústica de rayos, esta situación implica considerar al menos cuatro trayectorias que unen al receptor con el emisor pasando por el vértice difractor. Los cuatro potenciales de velocidad que contienen de forma implícita tanto los caminos recorridos, como los correspondientes coeficientes de difracción (función de los ángulos de incidencia y de difracción) deben sumarse cuadráticamente, y de su relación frente al potencial correspondiente al camino directo se obtienen las pérdidas por inserción.

Las presiones cuadráticas difractadas para cada situación (pantalla o cuña) tendrá la forma:

$$\langle p_d \rangle^2 = \left| \sum_{i=1}^4 A_0 10^{-IL_i/20} Q_i e^{-jk(D_i - d_0)} \right|^2$$

en donde A_0 corresponde a la amplitud de la onda emitida por la fuente acústica, IL_i las pérdidas por inserción de la pantalla o de la cuña correspondientes a cada una de las cuatro trayectorias D_i que unen la fuente o su imagen con el receptor y/o su imagen pasando por el vértice de difracción; d_0 es el camino directo entre emisor y receptor, y Q_i corresponde al coeficiente de reflexión de una onda esférica reflejada en el semiespacio emisor o receptor, para las ondas no reflejadas $Q_i = 1$.

Las pérdidas por inserción, tanto para la cuña como para la pantalla, pueden expresarse a través de la ecuación:

$$IL = -20 \log \left| \sum_{i=1}^4 A_0 10^{-IL_i/20} Q_i e^{-jk(D_i - d_0)} \right| \quad (7)$$

diferenciándose entre sí a través de la evaluación de las correspondientes pérdidas IL_i

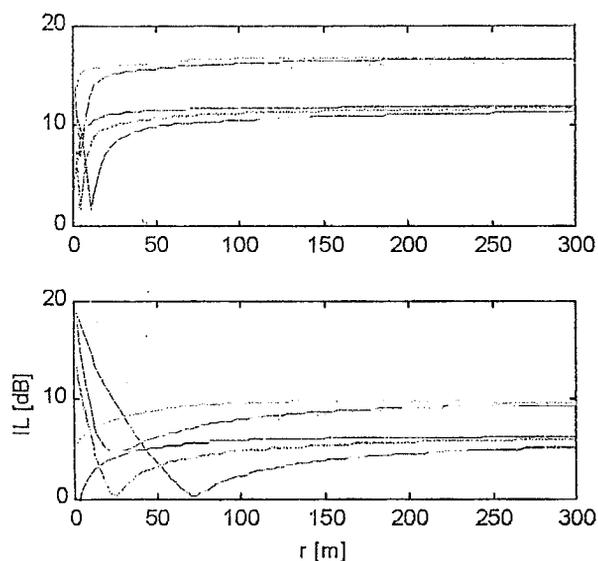


Figura 4. Pérdidas de inserción de pantallas (curvas superiores de las gráficas) y de cuñas (desniveles con ángulos rectos) de alturas equivalentes. En la figura superior la distancia de la fuente a la pantalla es de 3m; en la figura inferior de 20m. Cada haz de gráficas corresponde a alturas de recepción de $h_r=3, 6$ y 12 m respecto al nivel del emisor.

A título de ejemplo, en las figuras siguientes, se muestran unos casos próximos a la realidad, que pueden servir para clarificar las diferencias existentes entre ambos tipos de soluciones acústicas ante un problema de ruido de tráfico.

Se trata de una pantalla de 3m de altura, y de un talud de ángulo interior 90° con la misma altura. La fuente está situada a 0.5m del suelo y a dos distancias de la pantalla (talud): 3m (figura superior) y 20m (figura inferior). Para ambos conjuntos de gráficas, se ha supuesto que el receptor se sitúa a 3, 6, y 12 m. respecto al mismo plano del suelo que el emisor. Puede comprobarse que la pantalla presenta mejores características de protección frente al talud, también cuando se consideran reflexiones en el suelo (en este caso se supone asfalto en el semiespacio emisor $\sigma=3 \cdot 10^7$ Rayls MKS y hierba en el semiespacio receptor, $\sigma=3 \cdot 10^5$ Rayls MKS).

taludes próximos a las zonas habitadas supone mas inconvenientes que ventajas frente a la solución clásica de protección por pantallas acústicas.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación AMB 98-1029 del Plan Nacional de I + D de la DGICYT:

BIBLIOGRAFÍA

- Oberhettinger, F. (1954): Diffraction of waves by a wedge. *Commun. Pure Appl. Math. Soc.* 7, 551-564.
- Li, Z.; Chang-ju, Z.: A diffraction field of traffic noise behind buildings along a street. *Internoise 87*.
3. Lim, B.D.; Lee, B.H. (1987): Effect of absorptive surfaces on the sound diffraction by a right angle wedge. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)* 8, 5.
4. Jonasson, H.G. (1972): Diffraction by wedges of finite acoustic impedance with applications to depressed roads., *Jour. Of Sound and Vib.*, 25, 4, 577-585.
5. Kurze, U.J. (1974): Noise reduction by barriers., *J. Acoust. Soc. Am.*, 55, 3, 504-518.
- Hadden, W.J.; Pierce, A.D. (1981): Sound diffraction around screens and wedges for arbitrary point source locations. *J. Acoust. Soc. Am.*, 69, 5, 1266-1276.
- Pierce, A.D. (1974): Diffraction of sound around corners and over wide barriers. *J. Acoust. Soc. Am.* 55, 5, 941-955.
8. Pierce, A.D. (1994): *Acoustics*, Acoustical Society of America, New York.
9. Rasmussen, K.B. (1985): On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors. *Jour. Of Sound and Vib.* 98, 1, 35-44.