

NORMA ALEMANA DE RUIDO EN CARRETERAS: RSL-90

Carlos Pulido Sánchez

Ingeniero de Montes. Jefatura Provincial de Tráfico de Toledo

El ruido producido por el tráfico rodado es una de las formas de contaminación que más ha crecido en los últimos años. Ello ha sido debido, principalmente, a varios factores:

- En primer lugar, por el gran aumento que ha experimentado el parque automovilístico español, que prácticamente se ha duplicado en los últimos 10 años, llegando a ser actualmente de unos 17 millones de vehículos.
- Por otra parte, el incremento del número de autopistas y autovías ha provocado un aumento de las velocidades medias de circulación en España, con su correspondiente aumento de niveles de ruido.
- También hay que tener en cuenta que muchas de estas nuevas autovías se han construido como desdoblamiento de la calzada antigua, lo que ha provocado que estas nuevas vías de circulación estén más cerca de las edificaciones que había junto a la antigua carretera. Se puede observar, además, que se siguen cons-

truyendo muchas viviendas junto a las carreteras, las cuales estarán sometidas a unos niveles bastante elevados de ruido.

En España, el Real Decreto Legislativo 1302/86 de 28 de Junio, de Evaluación de Impacto Ambiental y su reglamento de ejecución, aprobado por Real Decreto 1131/88 de 30 de Septiembre, establecen la obligación de formular una Declaración de Impacto Ambiental con carácter previo a la resolución administrativa que se adopte para la realización de la obra.

Para el caso de nuevas carreteras, el tema de prevención de ruidos es uno de los factores más importantes, entre otros, que se debe tener en cuenta. Se nos plantea entonces el problema de tener que calcular el ruido que producirá una carretera que todavía no existe, para lo cual no queda otra solución que el recurrir a modelos matemáticos que nos proporcionarán una aproximación a lo que se obtendría si la carretera ya estuviera construida y puesta en servicio.

Puesto que esta es una ciencia relativamente joven, actualmente no hay muchos de estos modelos matemáticos que nos puedan ayudar a calcular el nivel de ruidos producido por el tráfico rodado. Uno de éstos es el "Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen", o abreviadamente RLS-90, que viene a significar "Normas para Protección Acústica en Carreteras". Este modelo ha sido desarrollado en Alemania por el BAST (Laboratorio Alemán de Investigación de Carreteras). Dado que está publicado en idioma alemán, ha sido mucho menos divulgado en nuestro país que otros, escritos en inglés o francés. Se tratará aquí de hacer una exposición de estas normas dado su interés.

Se divide esta Norma en dos partes: la primera describe unas recomendaciones a seguir para tratar de reducir las influencias del ruido, y la segunda expone un modelo matemático para el cálculo del ruido producido por los vehículos

POSIBILIDADES DE REDUCIR LAS INFLUENCIAS DEL RUIDO

1. PLANIFICACION DE CARRETERAS

1.1. Diseño del trazado y de las secciones

Al hacer los estudios previos y los anteproyectos de las nuevas carreteras se deben estudiar y evaluar los posibles daños por contaminación acústica. Se debería alejar lo más posible la carretera de las áreas habitadas. Hay que tener en cuenta que al duplicarse la distancia de separación se obtiene aproximadamente una minoración de ruido de ≈ 4 dB(A), así que, cuanto mayor sea la distancia, menor será la reducción que se conseguirá por un desplazamiento de la traza de la carretera. Se debe combinar este desplazamiento con la utilización de apantallamientos u obstáculos naturales (elevaciones del terreno) para conseguir mejoras adicionales.

Si hay varias alternativas para llevar el trazado de la carretera se debe estimar cuál de ellas proporciona menor nivel de ruido.

Se debe considerar también la topografía, altura y distancia a las construcciones para decidir si la



Karlsruhe (Alemania).
Pantalla de hormigón con diseño singular.

carretera debe ir en trinchera, elevada o al mismo nivel del terreno. La construcción en trinchera es más favorable desde el punto de vista del ruido, ya que las paredes o los muros de contención se comportan propiamente como un sistema de apantallamiento. Por el contrario, si hay edificaciones de baja altura muy próximas a la carretera, será más conveniente desde el punto de vista acústico que la carretera vaya elevada sobre el terreno.

1.2. Puntos de enlace (nudos)

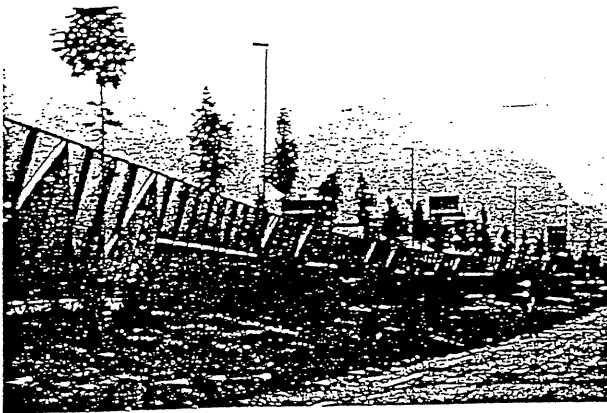
Las subidas rápidas de nivel de ruido causadas por las frenadas y aceleraciones bruscas de los automóviles son especialmente molestas. Un tramo de carretera sin cruces favorece que el nivel sea más continuo, y por lo tanto, a igualdad de condiciones, será menos molesto. Es importante, pues, tratar de proyectar los nudos en lugares alejados de viviendas, y diseñar rampas de poca pendiente y encajadas en el terreno.

2. CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y VIVIENDAS

2.1. Carreteras

2.1.1. Superficie de la calzada

El tipo de superficie de la calzada de la carretera influye enormemente en la emisión de ruido, sobre todo, cuando la velocidad de circulación es superior a 60 Km/h. Los pavimentos más ruidosos



Albertville (Francia).
Pantalla mixta hormigón-cristal complementada con plantaciones para integrarla en el entorno.

son los adoquinados con grietas mayores de 5 mm, y los más silenciosos, los porosos o drenantes con más de 15% de huecos. Además, estas superficies pueden sufrir variaciones importantes de su textura a lo largo del tiempo, y variar con ella sus condiciones acústicas. Un claro ejemplo de esto lo tenemos con los pavimentos drenantes, que ven mermada su capacidad de absorción de energía sonora al colmatarse sus poros.

Además del tipo de superficie se pueden tomar otra medida encaminadas a reducir el ruido:

- Evitar poner ranurados transversales.
- Tratar de conseguir una superficie de rodadura regular.
- Evitar escalones, bultos o deformaciones en la aplicación.
- Poner las arquetas o elementos similares fuera de las líneas de rodadura de los vehículos.
- Colocar juntas de dilatación en puentes que sean poco ruidosas.

2.1.2. Medidas de protección acústica

Las medidas de protección de ruido que se pueden tomar junto a la carretera son:

- Pantallas acústicas
- Muros de tierra
- Cubriciones parciales o totales

A veces no se usa una sola de estas medidas sino más bien una combinación de ellas.

En la Figura 1 se muestran ejemplos de estas diferentes posibilidades. En todos los casos se consiguen niveles similares de reducción de ruido, combinando los diferentes sistemas con alejamientos a la carretera proporcionales a la efectividad de cada sistema. Obsérvese cómo la vegetación no es un buen reductor de ruido, aunque a nivel popular se piensa lo contrario.

Utilizando sistemas de apantallamiento se puede llegar a conseguir, en lo mejores casos, una reducción de la inmisión de hasta 15 dB (A). Se podría llegar a conseguir más si el efecto de apantallamiento lo provoca la presencia de edificios largos, altos y paralelos a la carretera.

Las pantallas o muros logran la mayor eficacia cuanto más altos y largos sean, y cuanto más cerca de la carretera estén. Hay que tener en cuenta que la longitud mínima del sistema de apantallamiento que se instale está relacionado con la distancia emisor-receptor, de forma que es menor cuanto más cerca esté del foco emisor. Pero por otra parte hay que respetar las distancias mínimas de seguridad al instalarse junto a la calzada de una carretera.

Los sistemas de protección acústica deben tratar de ser integrados en el paisaje o en la arquitectura de la zona, a ser posible con materiales, formas y colores del entorno en que se ubiquen. A la hora de elegir el sistema más adecuado se debe escoger siempre, preferentemente, una solución que encaje en el entorno natural de la zona. Así pues, se podrían clasificar los diferentes sistemas según su grado de impacto ambiental, de menor a mayor:

- 1) Dique de tierra con plantaciones
- 2) Dique de tierra mixto con pantalla encima

DIFERENTES SISTEMAS DE DISMINUCION DE RUIDOS Y SUS DISTANCIAS EQUIVALENTES

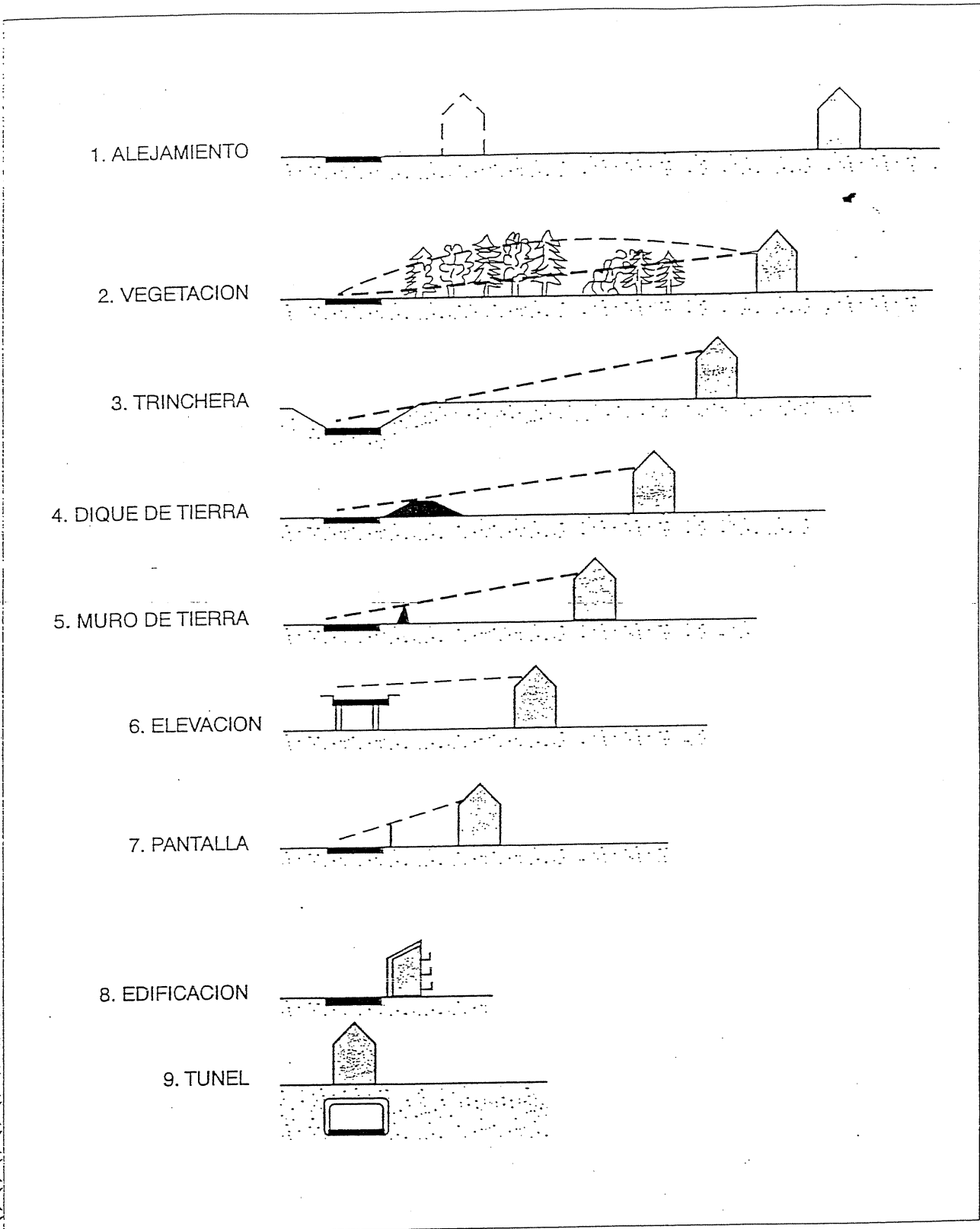


Figura 1

- 3) Dique de tierra apoyado en muro de contención
- 4) Muro esbelto de tierra armada
- 5) Pantalla acústica

Los túneles o cubriciones parciales construidos exclusivamente para protección acústica se deben emplear sólo en ocasiones especiales, pues plantean numerosos problemas tales como iluminación, aireación, limitaciones al tráfico, conexión con otras vías, etc, además de su alto coste económico.

Al proyectar o elegir un sistema de protección acústica hay que tener en cuenta además los siguientes factores:

- Características acústicas
- Seguridad (resistencia al viento, incendios, etc)
- Condiciones técnicas de la instalación: construcción, distancia mínima a la carretera, materiales a emplear, conservación, etc.
- Comportamiento del tráfico
- Coste económico

2.1.3. Utilización de pantallas según su absorción

Las pantallas se clasifican según su grado de absorción con arreglo a la Tabla 1

Las REFLECTANTES se emplean en los casos de la Figura 2:

- Cuando el sonido reflejado sea escaso o nulo porque no haya obstáculos en el lado contrario (Casos a y b).

TIPO DE PANTALLA	ABSORCION [en dB(A)]
Reflectante	menos de 4
Absorbente	de 4 á 8
Muy absorbente	más de 8

Tabla 1

- Cuando el sonido reflejado sea escaso porque los obstáculos del lado contrario se encuentren a una distancia mayor de 20 veces la altura de la pantalla y del obstáculo (Caso c).
- Cuando se pueda dirigir el sonido reflejado hacia arriba por medio de un muro inclinado o con un muro de perfil en diente de sierra (Caso d).

Las ABSORBENTES se usan en los casos que muestra la Figura 3:

- Cuando haya un incremento de nivel de ruido en un punto de inmisión que no pueda ser protegido (Caso a).
- Cuando haya aumentos del nivel de ruido en la zona de sombra por reflexión múltiple, siendo la anchura de la carretera menor que 20 veces la altura de la pantalla (Caso b).

UTILIZACION DE PANTALLAS REFLECTANTES

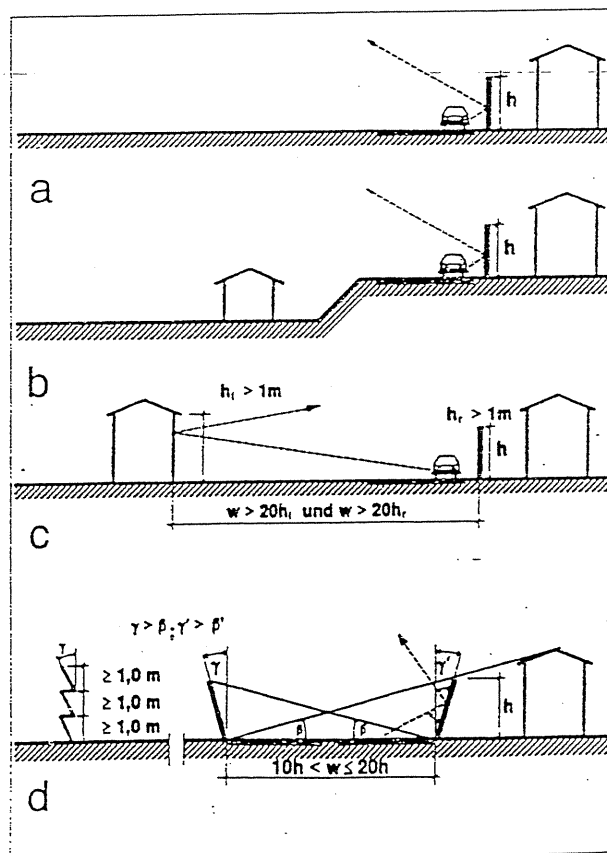


Figura 2

UTILIZACION DE PANTALLAS ABSORBENTES O MUY ABSORBENTES

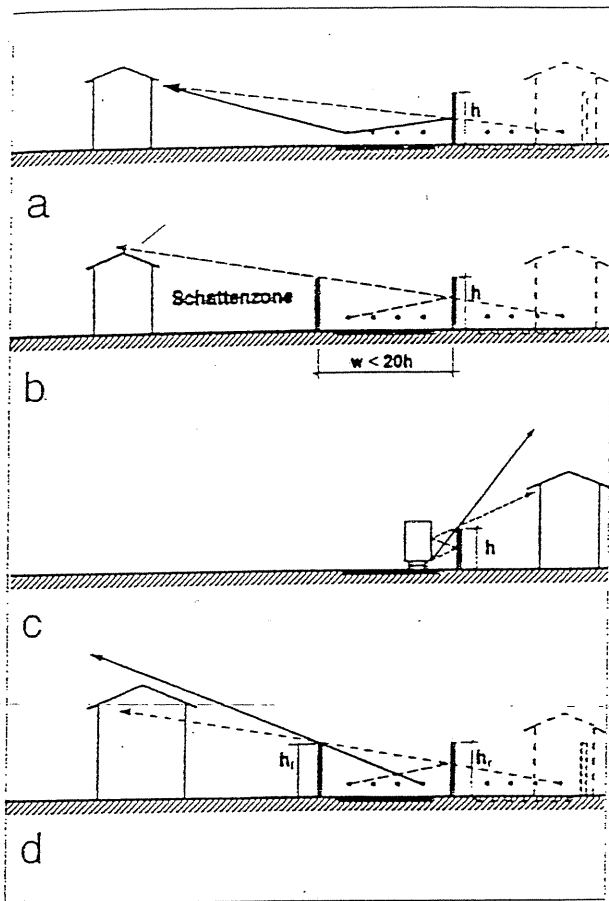


Figura 3

- A veces puede haber paradójicamente aumentos del nivel de ruido al otro lado de la pantalla por reflexiones en vehículos altos (camiones y autobuses). En los casos en que la pantalla tenga menos de 3,5 m, haya detrás construcciones más altas que ella y el porcentaje de pesados sea mayor que el 10%, es necesario también usar pantallas absorbentes (Caso c).

Las MUY ABSORBENTES son necesarias cuando el sonido que se refleja en la pantalla incide sobre el edificio que se quiere proteger, y se quiera, reducir por lo menos 8 dB(A) (ver Figura 3, caso d).

La parte baja de una pantalla absorbente o muy absorbente puede ser reflectante hasta 1 m de altura.

2.2. Edificios

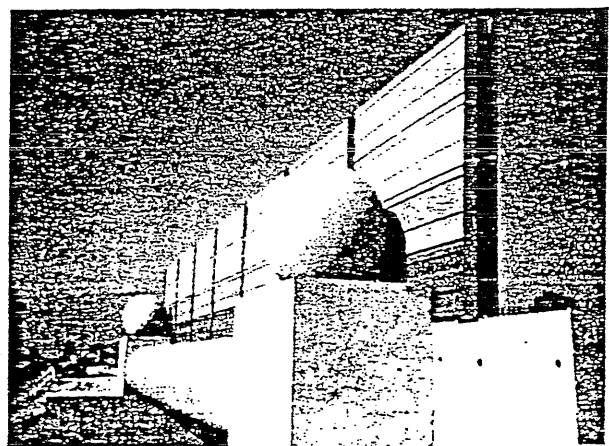
Las molestias causadas por ruidos de tráfico también pueden ser en gran parte reducidas tomando algunas medidas en los propios edificios de viviendas, como veremos a continuación.

2.2.1. Disposición paralela a la carretera

Si los edificios que hay junto a la carretera están aislados, como el caso de chalets unifamiliares, pareados o adosados hasta 50 m de longitud, no suponen obstáculo importante al paso del ruido. Sin embargo, una alineación de edificios de forma más o menos paralela al eje de la carretera de más de 50 m actúa como una pantalla y protege las áreas que queden detrás. Esta protección será más eficaz cuanto más altas sean las edificaciones y más larga sea la alineación frente a la carretera.

Otro ejemplo puede ser el construir junto a la carretera una alineación de edificaciones cuyo uso no requiera una gran ausencia de ruido, como pueden ser garages, almacenes, locales comerciales, etc, y estos edificios protegerían a las viviendas que se situarían detrás.

Los edificios alineados de forma perpendicular respecto a la carretera son la peor solución, pues no tendrán ninguna fachada al resguardo del ruido.



Dijon (Francia).

Pantalla de poliéster y fibra de vidrio complementada con motivos ornamentales.

2.2.2. Diseño en planta y alzado

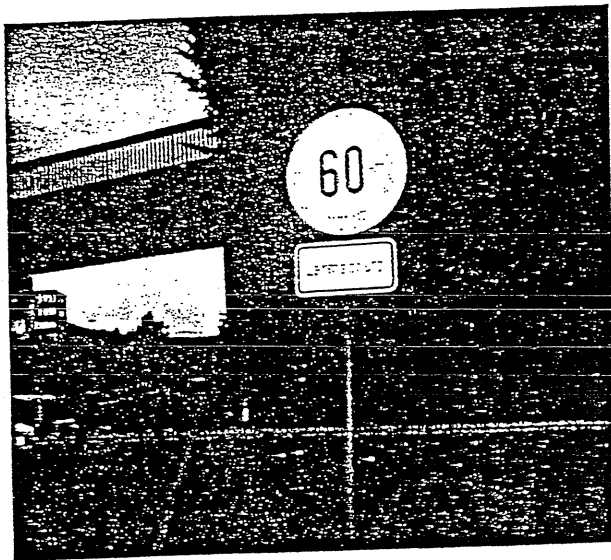
Una correcta combinación de estos dos factores ayuda también a minorar las acciones desfavorables del ruido.

La distribución de la planta debería tratar de situar los dormitorios y salas de estar hacia el lado interno, pues son las piezas en las que se requiere más tranquilidad, y las cocinas y cuartos de baño hacia la carretera, ya que a menudo son lugares ruidosos por sí mismos por ser donde más se usan los electrodomésticos (lavadoras, secadores de pelo, batidoras, etc).

Por otra parte, el diseño del alzado se puede hacer con formas que tiendan a desviar los ruidos por reflexión hacia el exterior, mediante balcones o cornisas.

2.2.3. Medidas en los propios edificios

Mediante sistemas pasivos de protección se consiguen también resultados muy importantes en algunas ocasiones. Estos sistemas son: ventanas especiales antirruído con doble acristalamiento, aislamiento de paredes y techos forrándolos con materiales absorbentes o aislantes, etc.



Baden-Baden (Alemania).
Colocación de placa complementaria junto a la señal de limitación de velocidad explicando el motivo de la limitación: Protección Acústica.

3. MEDIDAS DE REGULACION DEL TRAFICO

Mediante la aplicación de algunas normas dirigidas al propio tráfico se pueden disminuir considerablemente los niveles de emisión y, por consiguiente, se disminuyen también las molestias del ruido.

Estas normas son:

- Limitaciones de velocidad
- Restricciones de circulación en algunas vías
- Concentración del tráfico en pocas vías
- Sincronizar los semáforos

En algunos casos puede ser conveniente añadir un cajetín a la propia señal de limitación de velocidad explicando a los conductores que la causa de tal limitación es la protección acústica, tal y como se hace en Alemania.

CALCULO DE LOS NIVELES DE RUIDO

El cálculo de los niveles de ruido se hace a través de un modelo matemático. Este modelo se basa en que la emisión de ruido producido por una carretera (o uno solo de sus carriles) se puede estimar a partir de los siguientes datos:

- Intensidad del tráfico
- Velocidad de los vehículos
- Proporción de vehículos pesados
- Tipo de superficie de la carretera
- Pendiente

El ruido que registrará un punto concreto (punto de inmisión) dependerá a su vez de otros factores tales como la distancia al lugar de emisión y la diferencia media de altura entre emisor y receptor. Puede estar asimismo incrementado por la existencia de reflexiones en edificaciones u obstáculos cercanos, o por el contrario atenuado por algún tipo de apantallamiento (pantalla acús-

tica, muro de tierra, edificios delanteros, túneles, etc).

El aumento de nivel de ruido que prodría producir el estar la calzada mojada no se tiene en cuenta.

Está considerada la posible existencia de un viento suave (unos 3 m/s) desde la carretera hacia el lugar de inmisión, y una inversión térmica que permita la difusión libre del sonido en el aire.

Como resultado final después de todos los cálculos, se obtiene un valor llamado nivel resultante (L_r) (*). Este valor es igual al nivel sonoro equivalente (L_{eq} ó L_m) en lugares con tráfico continuo. Si se está cerca de cruces regulados por semáforos o incorporaciones se añade al L_m un coeficiente K , debido al aumento de nivel sonoro que se produce por las aceleraciones y frenadas de los vehículos, obteniéndose así el L_r .

El valor de L_r se obtiene como suma algebraica varios términos:

$$L_r = L_m^{(25)} + D_V + D_{S_{10}} + D_{S_{10}} + D_E + D_s + D_{BM} + D_B + K$$

Los cuales se irán explicando más adelante.

El L_r se calcula separadamente para el día y para la noche con los siguientes intervalos horarios:

(*) $L_{r,T}$: desde las 6:00 hasta las 22:00 horas

(*) $L_{r,N}$: desde las 22:00 hasta las 6:00 horas

El nivel sonoro equivalente de un carril se puede calcular considerando que la carretera es un emisor lineal de sonido si se cumplen las siguientes condiciones:

1) El tramo recto del carril tiene que estar comprendido en una zona determinada por el punto de inmisión y una franja a cada sentido de la carretera cuya longitud mínima sea:

$$l_z = 48 \cdot \frac{s}{(100 + s)^{0.5}}$$

siendo s la distancia entre el carril y el punto de inmisión.

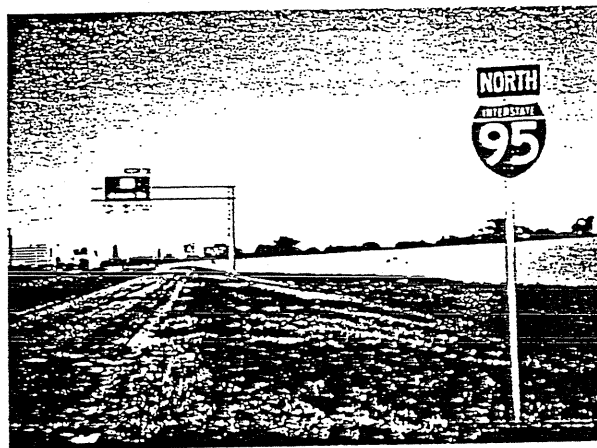
Si hay instalado algún tipo de protección acústica tal como una pantalla o un dique de tierra, se debe considerar entonces una distancia de $2 \cdot l_z$ en ambos sentidos.

2) El carril tiene que estar comprendido entre las líneas rayadas según se describe en la Figura 4.

3) La emisión y las condiciones de transmisión del sonido tienen que ser aproximadamente constantes a lo largo de toda su longitud.

Cuando se cumplen todas estas condiciones se podrá calcular con el método de la carretera "larga y recta", que es el que se describirá en este artículo. En caso de que no se cumpla alguna de ellas no se puede emplear esta forma de cálculo, sino que se deberá aplicarse otro método, el llamado "por secciones", que es muy similar pero con diferentes valores de los coeficientes.

A continuación se describirán cada uno de los términos que componen la ecuación que permite hallar el nivel resultante



Fort Lauderdale (EE.UU.).

Pantalla de hormigón muy separada de la vía con objeto de tratar de evitar impactos de vehículos en caso de accidente.

(*) Nota del Traductor: se trata de una traducción libre de la palabra "Beurteilungspegel", que literalmente significaría "Nivel de Juicio".

DEFINICION DE CARRETERA "LARGA Y RECTA"

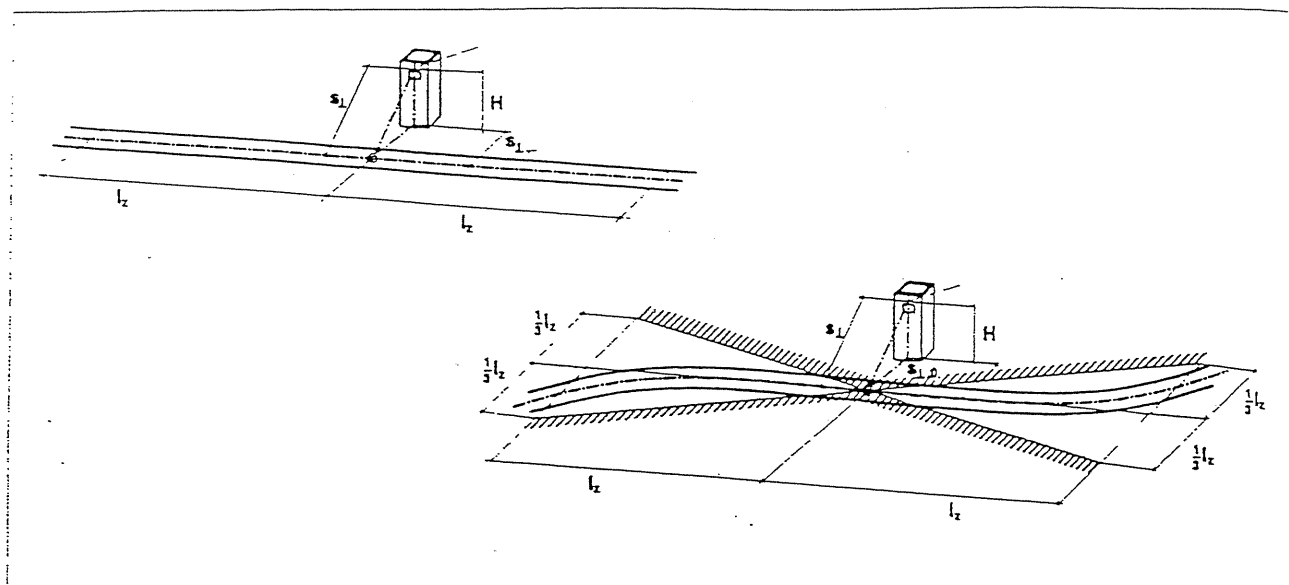


Figura 4

1. NIVEL SONORO EQUIVALENTE A 25 m: $L_m^{(25)}$

El $L_m^{(25)}$ se obtiene por medio de una fórmula experimental con las siguientes condiciones de borde:

- Distancia horizontal: 25 m
- Superficie de la calzada sin ranuras gruesas
- Velocidad máxima permitida: 100 Km/h
- Pendiente: igual o menor del 5%

- Libre difusión del sonido, con $h_m = 2,25$ m

$$L_m^{(25)} = 37,3 + 10 \cdot \log [M \cdot (1 + 0,082 \cdot p)]$$

siendo M la intensidad media horaria de vehículos, y p el porcentaje de vehículos pesados.

Estos valores de M y p se pueden determinar mediante un estudio de aforos de tráfico o bien se pueden obtener unas aproximaciones consultando la Tabla 2, aunque estos son datos basados en la circulación por la carreteras de Alemania, que pueden ser diferentes en nuestro país dados los diferentes hábitos de vida.

CLASE DE CARRETERA	DIA (6:00 a 22:00)		NOCHE (22:00 a 6:00)	
	M	p	M	p
Autopista/Autovía	0,06·IMD	25	0,014·IMD	45
Nacional	0,06·IMD	20	0,011·IMD	20
Comarcal	0,06·IMD	20	0,008·IMD	10
Local	0,06·IMD	10	0,011·IMD	3

Tabla 2

2. CORRECCION POR VELOCIDAD: D_V

Con este coeficiente corrector se tienen en cuenta los casos en que la velocidad sea diferente de 100 Km/h. Para poder calcularlo hay partir de los siguientes datos:

- v_{Pkw} : velocidad máxima permitida a vehículos ligeros (de 30 á 130).
- v_{Lkw} : velocidad máxima permitida a vehículos pesados (de 30 á 80).
- L_{Pkw} : nivel sonoro equivalente Lm de 1 vehículo ligero.
- L_{Lkw} : nivel sonoro equivalente Lm de 1 vehículo pesado.

Una vez obtenidos estos valores, el coeficiente corrector por velocidad D_V se calcula mediante la siguiente fórmula:

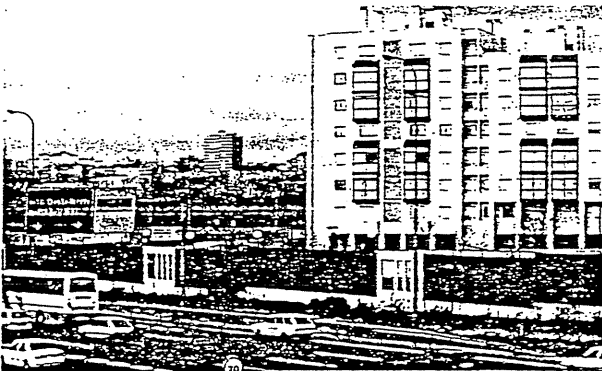
$$D_V = L_{Pkw} - 37,3 + 10 \cdot \log \left[\frac{100 + (10^{0,1 \cdot D} - 1) \cdot p}{100 + 8,23 \cdot p} \right]$$

siendo:

$$L_{Pkw} = 27,7 + 10 \cdot \log[1 + (0,02 \cdot v_{Pkw})^D]$$

$$L_{Lkw} = 23,1 + 12,5 \cdot \log(v_{Lkw})$$

$$D = L_{Lkw} - L_{Pkw}$$



M-30 (Madrid).

La pantalla instalada no protege apenas a las viviendas pero sí a los jardines.

TIPO DE SUPERFICIE DE LA CALZADA	D_{Stro}
Aglomerado asfáltico con poros abiertos, con más del 15% de huecos y 0/8	- 5,0
Aglomerado asfáltico con poros abiertos, con más del 15% de huecos y 0/11	- 4,0
Aglomerado asfáltico menor de 0/11 Asfalto Splitmástix 0/8 y 0/11	- 2,0
Asfalto fundido sin ranurados	0,0
Hormigón con barrido de cepillo metálico	1,0
Hormigón o asfalto fundido con ranurados	2,0
Adoquinado con superficie nivelada	3,0
Adoquinado sin nivelar	6,0

Tabla 3

3. CORRECCION POR TIPO DE SUPERFICIE: D_{Stro}

Se tendrá en cuenta el diferente nivel de ruido que se produce según sea el tipo de superficie que presenta la calzada de la carretera mediante este coeficiente corrector. Su valor medido en dB(A) se extrae directamente de la Tabla 3.

4. CORRECCION POR PENDIENTE: D_{Stg}

La corrección por la pendiente de la carretera se tiene en cuenta solamente si es mayor del 5%, mediante la siguiente fórmula:

$$D_{Stg} = 0,6 \cdot i - 3$$

siendo i el desnivel en %.

2.5. CORRECCION POR DISTANCIA: D_S

La influencia de la distancia y la atenuación del aire se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$D_S = 15,8 - 10 \cdot \log(s) - 0,0142 \cdot (s)^{0,9}$$

siendo s la distancia entre los puntos de emisión e inmisión.

6. CORRECCION POR EL SUELO Y LA ATMOSFERA: D_{BM}

En caso de transmisión libre del sonido hay una atenuación debida al influjo del suelo y las condi-

ciones atmosféricas. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_{BM} = -4,8 \cdot \exp \left[-\frac{h_m}{s} \cdot \left(8,5 + \frac{100}{s} \right)^{1,3} \right]$$

siendo h_m la altura media entre el suelo y la línea de conexión entre emisor y receptor.

En caso de existir algún sistema de apantallamiento esta corrección no se tendrá en cuenta.

7. CORRECCION POR CONDICIONES TOPOGRAFICAS Y CONSTRUCTIVAS: D_B

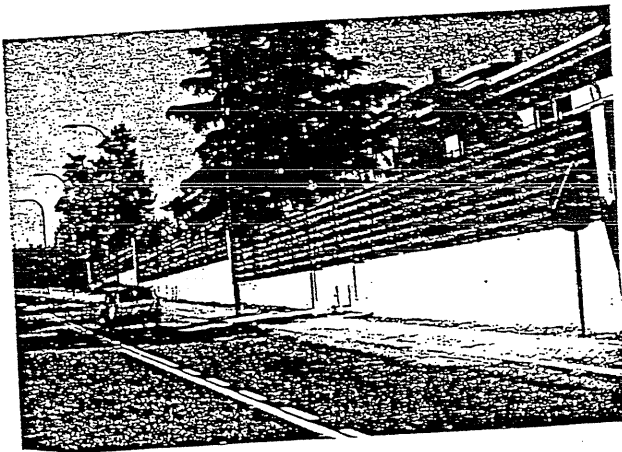
Para tener en cuenta las características geométricas de la zona se emplea esta corrección, que está compuesta a su vez por otras dos:

$$D_B = D_{refl} - D_z$$

siendo D_{refl} la corrección por reflexión múltiple y D_z la corrección por apantallamiento.

7.1. Corrección por reflexión múltiple: D_{refl}

Si una calle o carretera transcurre entre paredes, muros o fachadas sensiblemente paralelas, con discontinuidades vacías que no superen el 30% de la longitud, se produce una elevación del L_m por las múltiples reflexiones que se producen



C/ Gregorio Benítez (Madrid).
Esta pantalla protege eficazmente a las viviendas y sus jardines.

entre las paredes. Este aumento se evalúa mediante la fórmula siguiente:

$$D_{refl} = 4 \cdot h_{Beb} / w \leq 3,2$$

siendo h_{Beb} la altura media del muro, fachada o pared y w la distancia entre las superficies que reflejan.

Estos muros o paredes pueden ser revestidos con material absorbente, en cuyo caso la fórmula anterior queda así:

$$D_{refl} = 2 \cdot h_{Beb} / w \leq 1,6$$

Si hubiesen sido forrados con pantallas clasificadas como muy absorbentes, no habría que tener en cuenta este efecto, puesto que no habría apenas reflexión sobre las paredes.

7.2. Corrección por apantallamiento: D_z

Una disminución del ruido se consigue mediante la instalación de sistemas de apantallamiento, cuando se interpone un obstáculo entre la carretera y el punto de inmisión. La corrección por apantallamiento de una pantalla paralela a un carril largo y recto es:

$$D_z = 7 \cdot \log \left[5 + \left(\frac{70 + 0,25 \cdot s}{1 + 0,2 \cdot z} \right) \cdot z \cdot Kw^2 \right]$$

siendo z el valor de pantalla.

Este valor z se calcula como la diferencia entre el camino recorrido por la onda sónica y la distancia entre emisor y receptor mediante la siguiente fórmula:

$$z = A + B + C - s$$

siendo:

- A la distancia del punto de emisión al 1º punto del inflexión del obstáculo.
- B la distancia de la última esquina al punto de inmisión.

DEFINICION DEL VALOR DE PANTALLA: Z

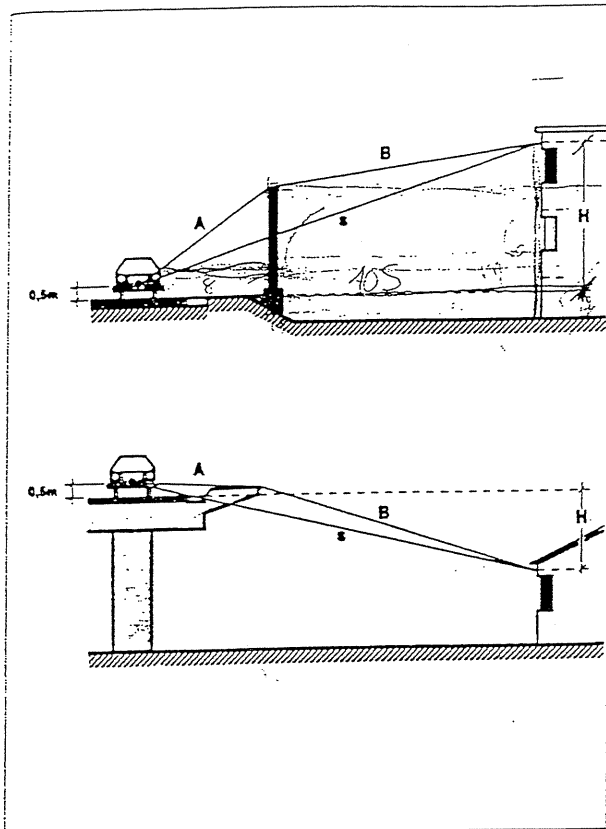


Figura 5

- C la distancia entre 1° esquina a la última (anchura de la pantalla).
- s la distancia emisión-inmisión.

El coeficiente K_w es un corrector para tener en cuenta el posible desvío de las ondas acústicas por inversión térmica o influjo del viento.

La corrección D_z es válida siempre que la pantalla tenga una longitud mínima de:

$$d_{\bar{u}} = \left(\frac{34 + 3 \cdot D_z}{(100 + s)^{0.5}} \right) \cdot B$$

Si la longitud mínima de pantalla fuera superior a la longitud de la carretera en ese tramo, se deberá emplear el método "por secciones".

8. COEFICIENTE PARA HALLAR EL VALOR RESULTANTE: K

El valor resultante de L_r en un punto es la suma del nivel sonoro equivalente más un coeficiente corrector K, en función de la proximidad de cruces regulados por semáforos o incorporaciones al punto de inmisión:

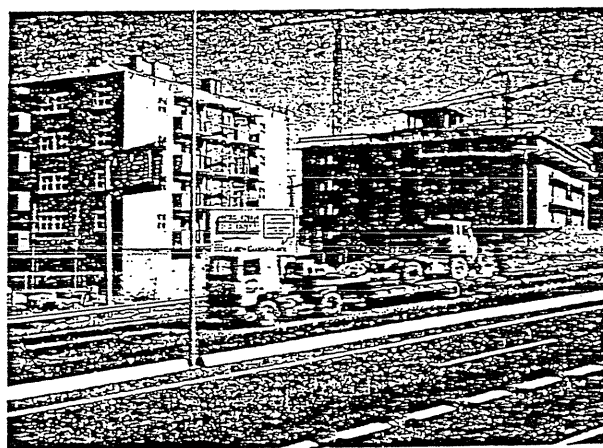
$$L_r = L_m + K \quad [2]$$

siendo L_m el nivel sonoro equivalente de la carretera, y K el coeficiente corrector según Tabla 4.

Si se encuentran más de un cruce cerca del lugar de inmisión se considera sólo el más cercano.

DISTANCIA DESDE EL PUNTO DE INMISION HASTA EL CRUCE	K [dB(A)]
menos de 40 m	3
de 40 á 70 m	2
de 70 á 100 m	1
más de 100 m	0

Tabla 4



Carretera N-II km 53 (Guadalajara). Lugar elegido para aplicar la norma RSL-90.

SECCION TRANSVERSAL EMPLEADA EN EL EJEMPLO PRACTICO

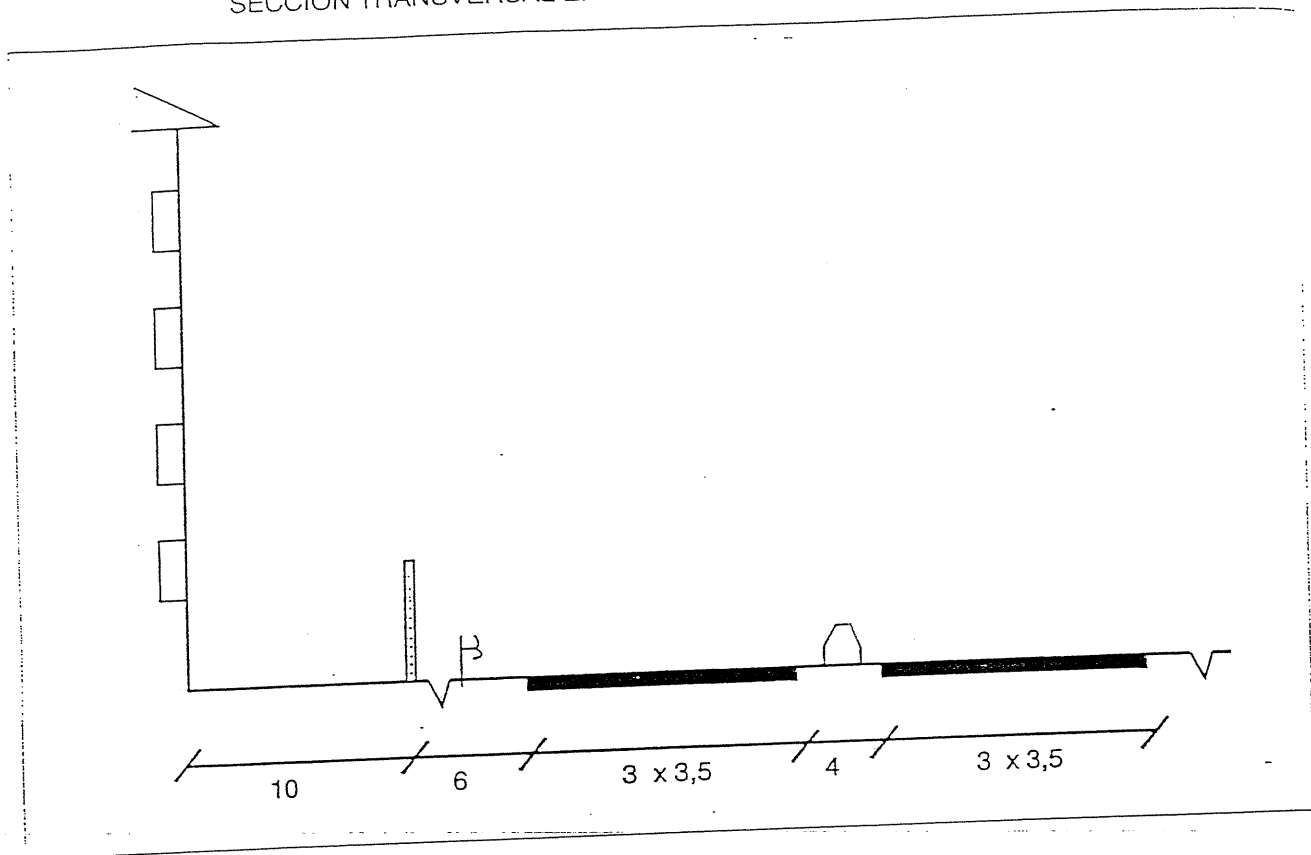


Figura 6

EJEMPLO PRACTICO DE CALCULO

Como aplicación de este modelo de reducción de ruido se expone un ejemplo práctico (ver Figura 6 y Tabla 5). Se ha elegido un punto situado en la autovía N-II (P.K.53), a la altura de la circunvalación de Guadalajara. En este lugar se están construyendo viviendas junto a la carretera que, al igual que en otros muchos lugares de nuestra geografía, estarán sometidas a unos niveles muy elevados de ruido producido por los vehículos.

Los cálculos se han hecho relativos a un punto de inmisión situado en el primer piso (unos 7 m de altura). Para el caso "con pantalla" se ha supuesto la colocación de una hipotética pantalla de material muy absorbente de 4 m de altura, situada inmediatamente detrás de la cuneta.

Se ha considerado que el pavimento no tiene especiales características acústicas, una IMD de 30.000, con un porcentaje de pesados del 10% y 15%, según sea de día o de noche, y una pendiente del 6%. ■

CALCULOS OBTENIDOS EN EL EJEMPLO PRACTICO APLICANDO
UN PROGRAMA DE ORDENADOR BASADO EN RLS-90

CALCULOS DE NIVELES DE RUIDOS EN CARRETERAS (RLS-90)			
LUGAR: CIRCUNVALACION DE GUADALAJARA (N-II km 53,000)			
FECHA: 20 / 05 / 94 HORA: 19:43			
Altura de pantalla _____		4,00	
Altura del receptor _____		7,00 1° Piso	
Distancia Emisor-Receptor _____		28,20	
Longitud mínima emisión líneal _____		119,5	
DATOS	CALCULOS		
IMD	30000		
Velocidad Turismos	120	DIA	NOCHE
Velocidad Camiones	80		
% Camiones (día)	10	Leq (25)	69,4 64,0
% Camiones (noche)	15	Dv	1,1 0,9
Coef. de reparto	0,014	DstrO	0,0 0,0
Tipo de superficie	0	Dstg	0,6 0,6
Pendiente (%)	6	Leq	71,2 65,5
CORRECCIONES		LEJOS	CERCA
Corrección por distancia	Ds	-0,1	2,4
Altura media	hm	3,50	3,50
Corrección por Suelo/Atmósfera	DBM	-1,5	-0,3
Coef. (4=normal; 2=abs; 0=muy abs)	0,00	0,00	0,00
Altura de la fachada	hBeb	12,00	12,00
Distancia entre las mismas	w	0,00	0,00
Corrección por deflexión múltiple	Drefl	0,00	0,00
Coord. X,Y del emisor lejano		35,00	0,50
Coord. X,Y del emisor cercano		20,00	0,50
Coord. X,Y de la base de la pantalla		10,00	0,00
Coord. X,Y de la base del receptor		0,00	0,00
Distancia Emisor - Pantalla	A	25,18	10,44
Distancia Pantalla - Receptor	B	10,44	10,44
Distancia Emisor - Receptor	s	35,51	20,88
Anchura de la Pantalla	C	0,13	0,13
Corrección por Apantallamiento	Dz	0,0	9,3
Longitud mínima de pantalla	dū	45	45
NIVELES DE RUIDO [dB (A)]		DIA	NOCHE
SIN PANTALLA		74,8	69,2
CON PANTALLA		70,2	64,5

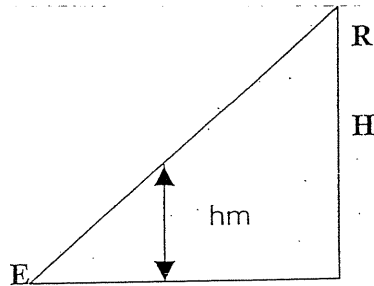
Tabla 5

MEDIDAS CORRECTORAS. RUIDO

Modelo desarrollado por el BAST (Laboratorio Alemán de Investigación de Carreteras)

$$L_r = L_m^{(25)} + D_v + D_{stg} + D_E + D_s + D_{BM} + D_B + k$$

- $L_m^{(25)}$ = Nivel sonoro equivalente a 25 m
 - Distancia horizontal: 25 m
 - Superficie de la calzada sin ranuras gruesas
 - Velocidad máxima permitida: 100 km/h
 - Pendiente: igual ó menor del 5%
 - Libre difusión del sonido, con $h_m = 2,25$ m



Con las consideraciones anteriores resulta:

$$L_m^{(25)} = 37,3 + 10 \cdot \log [M \cdot (1 + 0,082 \cdot p)]$$

Siendo:

M: intensidad media horaria de vehículos.

p: porcentaje de vehículos pesados.

- Corrección por velocidad: D_v

Se tiene en cuenta cuando la velocidad sea diferente de 100km/h:

$$D_V = L_{PKW} - 37'3 + 10 \cdot \log \left[\frac{100 + (10^{0'1 \cdot D} - 1) \cdot p}{100 + 8'23 \cdot p} \right]$$

Siendo:

$$L_{PKW} \text{ (nivel sonoro equivalente Lm de un vehículo ligero)} = 27'7 + 10 \cdot \log [1 + (0'02 \cdot V_{PKW})^3]$$

$$L_{LPKW} \text{ (nivel sonoro equivalente Lm de 1 vehículo pesado)} = 23'1 + 12'5 \cdot \log (V_{LKW})$$

$$D = L_{LKW} - L_{PKW}$$

V_{PKW} = velocidad máxima permitida a vehículos ligeros (de 30 a 130)

V_{LKW} = velocidad máxima permitida a vehículos pesados (de 30 a 80)

- Corrección por el tipo de superficie de la calzada, D_{stro}
- Corrección por pendiente, D_{stg}

Sólo se tiene en cuenta se es mayor del 5%

$$D_{stg} = 0,6 \cdot |i| - 3$$

Siendo i el desnivel en %

- Corrección por pendiente, D_s

$$D_s = 15'8 - 10 \cdot \log (s) - 0'0142 \cdot (s)^{0'9}$$

Donde s es la distancia entre los puntos de emisión e inmisión.

- Corrección por el suelo y la atmósfera, D_{BM}

$$D_{BM} = -4,8 \cdot e^{\left[-\left(\frac{hm}{s} \cdot \left(8'5 + \frac{100}{s} \right) \right)^{1'3} \right]}$$

Siendo:

h_m = altura media entre el suelo y la línea de conexión entre emisor y receptor.

- **Corrección por condiciones topográficas y constructivas, D_B**

$$D_B = D_{refl} - D_z$$

Siendo:

D_{refl} = Corrección por reflexión múltiple

D_z (Corrección por apantallamiento)

$$D_z = 7 \cdot \log \left[5 + \left(\frac{70 + 0'25 \cdot s}{1 + 0'2 \cdot z} \right) \cdot z \cdot kw^2 \right]$$

$$Z = A + B + C - S$$

MÉTODO SIMPLE DE LA "GUIDE DU BRUIT"

$$Leq = S + 10 \log (Q_{VL} + EQ_{PL}) + 20 \log V - 12 \log \left(d + \frac{l_c}{3} \right) + 10 \log \frac{\Theta}{180^\circ} - K_{reflex} - K$$

S = cté relacionado con la emisión de un vehículo ligero.

Tiene un valor de 18 ó 19

Q_{VL} , Q_{PL} = número de vehículos ligeros y pesados en una hora.

E = Factor de equivalencia acústica entre vehículos ligeros y pesados (depende del tipo de carretera y de la rampa)

V = Velocidad en km/h

d = distancia al borde de la vía, en metros

l_c = anchura de la calzada en metros

Θ = ángulo bajo el que se ve la carretera en grados

K_{reflex} = corrección por campo libre en el caso de que el receptor no se sitúe en la fachada de un edificio

K = correcciones por distintos efectos (desmontes, terraplenes, obstáculos, efecto suelo, etc)

Vehículos representativos

- Vehículos ligeros: peso $\leq 3,5$ T
- Vehículos pesados: peso $\geq 3,5$ T

$$C_D(\text{día}) = \frac{IMD}{C_{\text{día}}(16 \text{ a } 19)}$$

$$Q(\text{noche}) = \frac{IMD}{C_{\text{noche}}(90 \text{ a } 160)}$$