

Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental 2007/2008

Módulo: Nombre del Módulo

# eoi

## **RUIDO DE TRÁFICO: CARRETERAS**

AUTOR: FERNANDO SEGUÉS ECHAZARRETA



# Índice

eoi

## 1. RUIDO DE UN VEHÍCULO AISLADO

### 1.1. Las fuentes de ruido

Al analizar la emisión originada por un vehículo en circulación, no se puede hablar de una única fuente de ruido, sino que el nivel sonoro global se ve determinado por la contribución de muchas fuentes. El ruido emitido por los vehículos circulando por las carreteras depende de factores tales como las características del propio vehículo, la velocidad y régimen de circulación y las características de la rodadura.

Desde el punto de vista acústico, el ruido de un automóvil depende del tipo de vehículo, su masa, la potencia del motor, tecnología de la combustión, de su estado de conservación, etc.

Respecto a su emisión sonora, los vehículos se pueden clasificar en:

- Vehículos ligeros, aquellos con peso en carga menor de 3,5 toneladas
- Vehículos pesados, con peso en carga mayor de 3,5 toneladas
- Motorizados de dos ruedas

Las condiciones de funcionamiento del vehículo y las características y estado de la calzada también influyen en la emisión sonora.

#### - Clasificación de las fuentes sonoras de un vehículo

Una posible clasificación de las fuentes sonoras originadas por un vehículo es:

1. Ruido de origen mecánico
2. Ruido de rodadura
3. Ruido de origen aerodinámico

## PRINCIPALES FUENTES SONORAS EN UN VEHÍCULO.

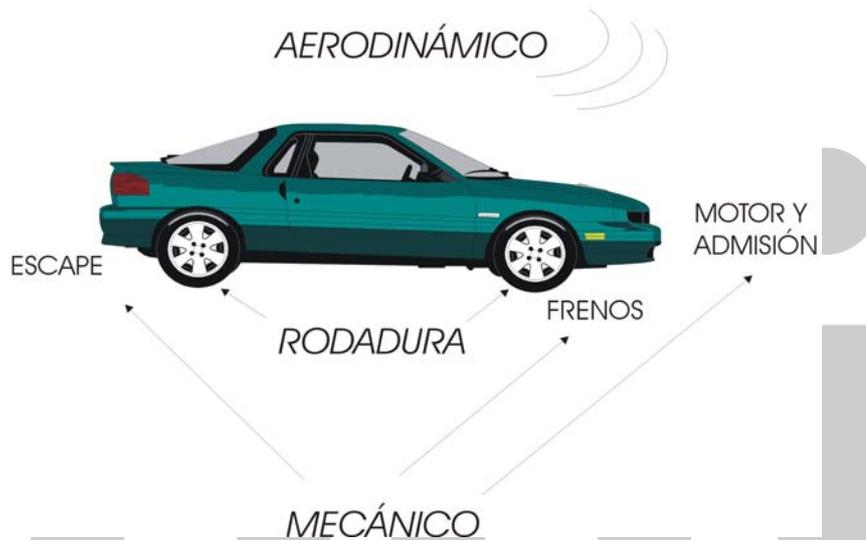


Gráfico .1: Principales fuentes sonoras de un vehículo

### 1. Ruido mecánico.

Está originado por las fuentes que van ligadas al motor propulsor y a los elementos mecánicos que constituyen el vehículo. Son las fuentes preponderantes a velocidades bajas. Dependen fundamentalmente de las características del vehículo y del régimen y carga del motor.

Entre otras fuentes se pueden citar:

- Motor
- Admisión
- Escape
- Frenos
- Movimiento de la carga (especialmente en los vehículos pesados)

### 2. Ruido de rodadura o de contacto neumático-calzada

En su generación intervienen varios fenómenos, de índole compleja, entre los que cabe destacar:

- Las vibraciones y radiaciones del toro del neumático. Afecta a las bajas frecuencias y afecta al confort del interior del vehículo.

-Los procesos de deslizamiento y adherencia sucesivos de los relieves del neumático en las proximidades del punto de contacto neumático calzada.

-Las succiones de las bolsas de aire aprisionadas entre la calzada y los relieves de los neumáticos.

-Las turbulencias inducidas por los relieves del neumático.

-El ruido radiado por el pavimento "excitado" por la fuerza del contacto con el neumático.

El ruido producido por estos fenómenos (neumático-calzada), se localiza al nivel de la calzada. La calzada puede absorber o no gran parte del ruido.

### 3. Ruido aerodinámico

A velocidades altas, el ruido originado por fricción del aire con la carrocería del vehículo comienza a adquirir importancia.

Los ruidos de origen mecánico dependen del régimen y carga del motor. El ruido de rodadura va asociado a la velocidad del vehículo y al tipo de calzada, que interviene además en la propagación del conjunto del ruido emitido por el vehículo. El ruido aerodinámico depende de la forma de la carrocería del vehículo.

Para determinar el ruido de origen mecánico dentro del ruido total, se debe medir el ruido del vehículo en desplazamiento con el motor funcionando y se vuelve a medir el ruido del vehículo desplazándose con el motor parado. La diferencia entre estos niveles sonoros es el ruido mecánico. A velocidades menores el ruido medido a motor parado podría ser atribuido al ruido de rodadura.

Si analizamos las fuentes de ruido en función de la velocidad:

- A velocidades bajas, la fuente principal del ruido es de origen mecánico. En vehículos ligeros es así hasta velocidades de 50-60 km/h. En vehículos pesados el límite se encuentra a velocidades superiores, de 70-80 km/h.
- A velocidades mayores, la fuente principal del ruido es el contacto neumático-calzada.

En la tabla 1. se presenta a distintas velocidades para vehículos ligeros y pesados la contribución de las distintas fuentes en el ruido global.

Fuente emisora	V = 50 km/h		V = 80 km/h	
	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Admisión/Escape	10-35%	0-10%	15 – 35 %	50 – 70 %
Radiación del sistema escape	10-35%	20-60%		
Bloque motor	20-50%	10 – 80 %		
Caja/transmisión	5-35%			
Ventilador/Radiador	0-30%	0 – 65 %		
Contacto neumático/calzada	≤ 15 %	≤ 15 %	65 – 85 %*	30 – 50 %*

\* Revestimientos de calzada corrientes

*TABLA 1: CONTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES FUENTES AL RUIDO TOTAL EMITIDO POR UN VEHÍCULO*

## 1.2. Influencia del tipo de pavimento

La carretera ocupa una zona de terreno, (explanada), que normalmente se ha modificado del terreno original. Los firmes de carreteras son una serie de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor de materiales adecuadamente compactados. Los firmes se apoyan sobre la explanada y han de soportar las cargas del tráfico durante varios años.

Uno de los objetivos que se persigue en el diseño y en construcción de las carreteras, es el de permitir una rodadura cómoda y segura para que cumpla sus funciones durante un periodo de vida determinado. Las características superficiales del firme son la regularidad, resistencia al deslizamiento, textura, drenabilidad, permeabilidad, propiedades ópticas y el ruido.

Las innovaciones en el diseño de los pavimentos permiten mejorar las circulaciones de los vehículos por la lluvia, para permitir reducir el agua de escorrentía superficial, y evitar el fenómeno de hidroplaneo hicieron posible la aparición de materiales porosos o drenantes. Las mezclas bituminosas drenantes con un contenido de huecos mayor del 20 % se comportan como un lecho poroso que absorbe los niveles sonoros.

Las ventajas de las mezclas bituminosas drenantes se basan en la disminución de la proyección de agua debido al paso de los vehículos (mejora la visibilidad), decrece el ruido de rodadura, el pavimento tiene cierta capacidad de absorción acústica, y disminuye las reflexiones de la luz sobre la superficie de la carretera.

Sin embargo entre los inconvenientes de estos materiales se encuentran su menor estabilidad mecánica y durabilidad, la mayor sensibilidad al ataque por derrames de combustibles y a roturas del material por esfuerzos tangenciales. Se colmatan a corto plazo, disminuye su contribución a la capacidad portante del firme, y proporciona una excesiva sensación de seguridad (sobre todo si el pavimento está mojado).

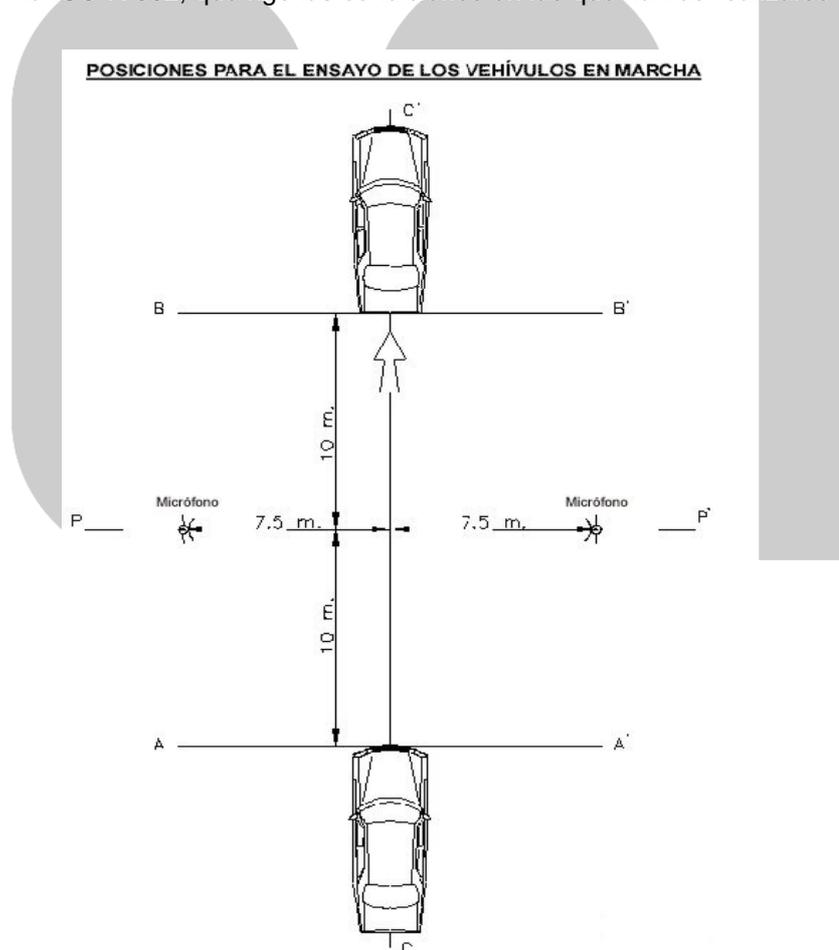
### 1.3. Límites de Emisión de vehículos de carretera.

Los fabricantes de vehículos deben cumplir la normativa comunitaria relativa a las molestias sonoras de los vehículos para poder vender sus vehículos en los países de la Unión Europea. Las directivas establecen valores límite para los niveles sonoros orientados a controlar el ruido producido por las partes mecánicas y los dispositivos de escape de los vehículos considerados.

Existen dos Directivas (modificadas numerosas veces) que regulan los valores admisibles para las siguientes categorías de vehículos:

- Automóviles
- Vehículos de transporte público
- Vehículos de transporte de mercancías
- Motocicletas

Los niveles son los máximos autorizados medidos al paso de un vehículo según lo establecido en la norma ISO R 362, que rige las condiciones en las que han de realizarse los ensayos.



**GRÁFICO 2. PRUEBA PARA DETERMINAR LA EMISIÓN DE LOS VEHÍCULOS A MOTOR**

- Evolución de los niveles reglamentarios

Los valores actuales de referencia van desde 74 dBA para los vehículos automóviles más pequeños, hasta los 80 dBA para los vehículos industriales de gran potencia, y entre 75 y 78 dBA para las motocicletas.

<b>Aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos de motor.</b>
<b>Directiva 70/157/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970</b>
Modificada por:
Directiva 73/350/CEE de la Comisión, de 7 de noviembre de 1973
Directiva 77/212/CEE del Consejo, de 8 de marzo de 1977
Directiva 81/334/CEE de la Comisión, de 13 de abril de 1981
Directiva 84/372/CEE de la Comisión, de 3 de julio de 1984
Directiva 84/424/CEE del Consejo, de 3 de septiembre de 1984
Directiva 87/354/CEE del Consejo, de 25 junio de 1987
Directiva 89/491/CEE de la Comisión, de 17 de julio de 1989
Directiva 92/97/CEE del Consejo, de 10 de noviembre de 1992
Directiva 96/20/CE, de la Comisión, de 27 de marzo de 1996

*Tabla 2. Directivas que establecen los valores límites de los niveles sonoros de los vehículos.*

En el caso de los vehículos a motor de dos ruedas, la norma reguladora es la Directiva 78/1015/CEE del Consejo, de 23 de noviembre de 1978, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de las motocicletas.

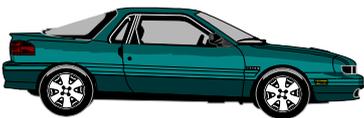
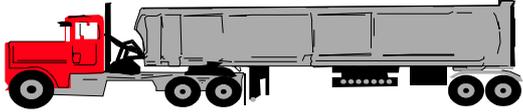
<b>Máximo nivel de ruido admisible para vehículos de motor dB(A)</b>			
<b>Vehículos de transporte de pasajeros</b>			
		1970	Actual
	< 9 asientos	82	<b>74</b>
	> 9 asientos < 2000 kg	89	<b>76</b>
	> 9 asientos de 2000 a 3500 kg		<b>77</b>
	> 9 asientos > 3500 kg	89	<b>78</b>
	< 150 kW	91	<b>80</b>
	> 9 asientos > 3500 kg > 150 kW		
<b>VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS</b>			
	< 2000 kg	89	<b>76</b>
	De 2000 a 3500 kg	89	<b>77</b>
	> 3500 kg < 75 kW	89	<b>77</b>
	> 3500 kg De 75 a 150 kW	89	<b>78</b>
	> 3500 kg > 150 kW	91	<b>80</b>

Tabla 3. Evolución de los niveles reglamentarios en dBA. Vehículos a motor.

<b>Aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de las motocicletas</b>
<b>Directiva 78/1015/CEE del Consejo, de 23 de noviembre de 1978</b>
Modificada por:
Directiva 87/56/CEE del Consejo, de 18 de diciembre de 1986;
Directiva 89/235/CEE del Consejo, de 13 de marzo de 1989.

*TABLA 4. DIRECTIVAS QUE ESTABLECEN VALORES LÍMITE PARA EL NIVEL SONORO DE LAS MOTOCICLETAS*

<b>Máximo nivel de ruido admisible para motocicletas dB(A)</b>			
		<b>Inicial</b>	<b>Actual</b>
	< 80 cc	80	<b>75</b>
	De 80 cc a 175 cc	80	<b>77</b>
	> 175 cc	84	<b>78</b>

*TABLA 5. EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES SONOROS DE LAS MOTOCICLETAS EN DBA*

## 2. RUIDO DE UNA CARRETERA

El ruido debido al tráfico en una vía de circulación fluctúa constantemente en el tiempo, y no es fácil de describir de una manera simple. Un método para su análisis consiste en calcular la distribución estadística de los niveles de ruido observados durante el período de estudio. La dispersión de estos niveles decrece notablemente según aumenta la intensidad de tráfico y la distancia a la vía de circulación.

En una carretera el ruido se genera por el conjunto de todos los vehículos que circulan por ella. Un receptor situado en las proximidades de una carretera, al paso de un vehículo aislado tiene la sensación de que el nivel sonoro de fondo se incrementa hasta alcanzar un valor máximo y vuelve a disminuir a medida que se aleja. Cuando el tráfico tiene una cierta intensidad, el ruido percibido pasa a ser continuo, variando a lo largo del tiempo, pero desapareciendo prácticamente los intervalos de silencio. Entonces, la carretera puede considerarse como una fuente lineal de ruido.

El nivel sonoro resultante a una determinada distancia de la carretera depende de múltiples factores que pueden encuadrarse en tres grupos:

- El tráfico de la carretera
- El diseño de la carretera
- El entorno de la carretera

### 2.1. El tráfico

La potencia de emisión de una carretera viene determinada por el tráfico que circula por la misma. El conocimiento de las características y condiciones de este tráfico serán por lo tanto los parámetros necesarios para analizar la fuente de ruido.

#### 2.1.1. Intensidad del tráfico

La intensidad del tráfico es el número de vehículos que circulan por una sección de la carretera en una unidad de tiempo (vehículos/hora, vehículos/día, etc.). Cuanto más vehículos circulen por un tramo de carretera durante un periodo determinado, mayor será el nivel sonoro equivalente en el entorno de la carretera para ese periodo. Desde el punto de vista acústico, una duplicación del número de vehículos, con el resto de condiciones homogéneas, se traduce en un aumento de 3 dB(A) de los niveles sonoros. El tráfico no permanece constante a lo largo del tiempo. Se producen variaciones horarias, diarias, semanales, estacionales, etc.

Se suele conocer de las carreteras el valor de la IMD (Intensidad Media Diaria); es el número total de vehículos que ha pasado por una sección de una carretera durante un año dividido por 365. Este dato es en general insuficiente; para según qué evaluaciones es necesario conocer el tráfico en una hora representativa del periodo que se está evaluando: periodo día, periodo vespertino, periodo noche, 24 horas, etc.

#### 2.1.2. Composición del tráfico (tipo de vehículos)

Es necesario conocer el tipo de vehículos que circulan por la carretera. Al menos deben establecerse categorías separadas para vehículos ligeros y pesados, y si es posible para motocicletas. Lo habitual es tener datos del porcentaje de vehículos pesados con respecto al tráfico total.

### 2.1.3. Velocidad media del tráfico

A mayor velocidad mayor potencia de emisión y mayor nivel de ruido en los receptores. Es preciso conocer al menos el dato de la velocidad media del tráfico que es la velocidad que es sobrepasada por el 50% de los vehículos que circulan por el tramo de carretera considerado, aunque es conveniente establecer distintas velocidades para las distintas categorías de vehículos.

### 2.1.4. Espectro normalizado del ruido de tráfico

En el tráfico real, el espectro del ruido es una mezcla de todos los espectros característicos de los vehículos individuales. A pesar de que los objetivos se plantean siempre en términos de ruido global, el análisis en frecuencias permite identificar las contribuciones al ruido total de determinadas fuentes sonoras del tráfico o de un vehículo concreto, y es fundamental para estudiar la propagación y las medidas correctoras. Es necesario conocer la distribución en frecuencias del ruido del tráfico para, por ejemplo, calcular el aislamiento de una fachada o el diseño de una barrera acústica. El Comité Europeo de Normalización ha establecido un espectro de referencia normalizado de tráfico para la normativa europea de pantallas anti-ruido en carreteras.

Frecuencia central $f_i$ , Hz	Nivel de presión sonora normalizado ponderado A, $L_i$ , dBA
100	-20
125	-20
160	-18
200	-16
150	-15
315	-14
400	-13
500	-12
630	-11
800	-9
1000	-8
1250	-9
1600	-10
2000	-11
2500	-13
3150	-15
4000	-16
5000	-18

**TABLA 6. ESPECTRO DE REFERENCIA NORMALIZADO DEL RUIDO DE TRÁFICO.**

Este espectro se obtiene de la Norma **EN 1793** "ROAD TRAFFIC NOISE REDUCING DEVICES- TEST METHOD FOR DETERMINING THE ACOUSTIC PERFORMANCE" "DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO DE TRÁFICO EN CARRETERAS- MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO, **Parte 3:** "Normalised traffic noise spectrum", "Espectro normalizado de ruido de tráfico".

## 2.2. Influencia del trazado y diseño de la carretera

### 2.2.1. Trazado en planta

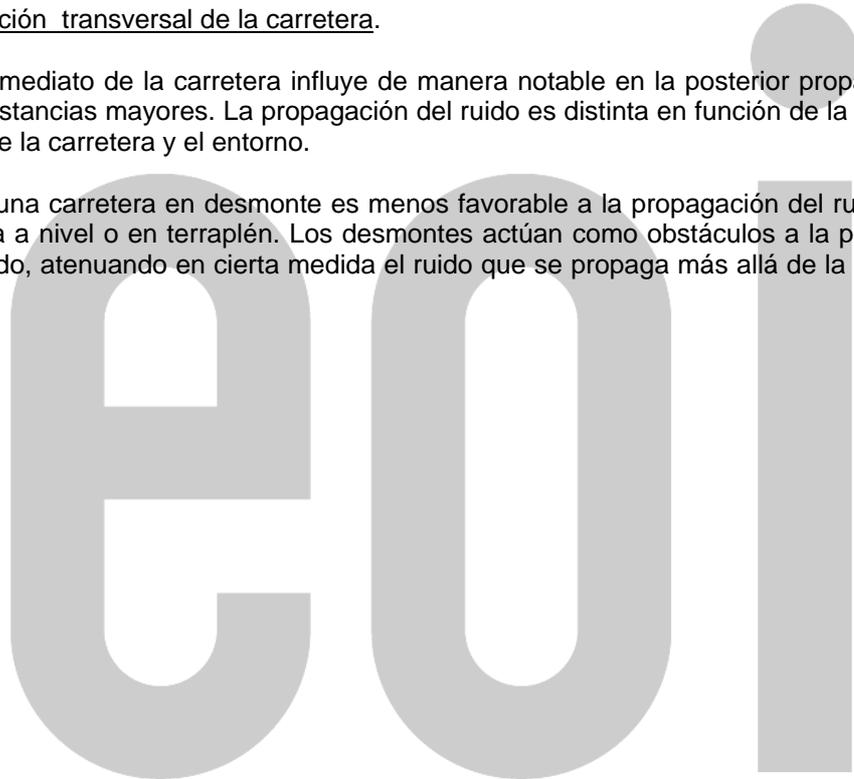
Para una potencia de emisión dada, el factor que más influye en la atenuación del ruido es la distancia. Cuanto más alejados de la carretera se sitúen los receptores, mayor probabilidad existe de que las molestias debidas al ruido sean mínimas.

Una adecuada planificación de corredores para albergar las carreteras y una adecuada y racional ordenación urbanística son sin duda la mejor actuación contra el ruido.

### 2.2.2. La sección transversal de la carretera.

El entorno inmediato de la carretera influye de manera notable en la posterior propagación del ruido a distancias mayores. La propagación del ruido es distinta en función de la sección transversal de la carretera y el entorno.

En principio una carretera en desmonte es menos favorable a la propagación del ruido que una carretera a nivel o en terraplén. Los desmontes actúan como obstáculos a la propagación del sonido, atenuando en cierta medida el ruido que se propaga más allá de la carretera.



## INFLUENCIA DEL PERFIL TRANSVERSAL EN LA PERCEPCIÓN DEL RUIDO

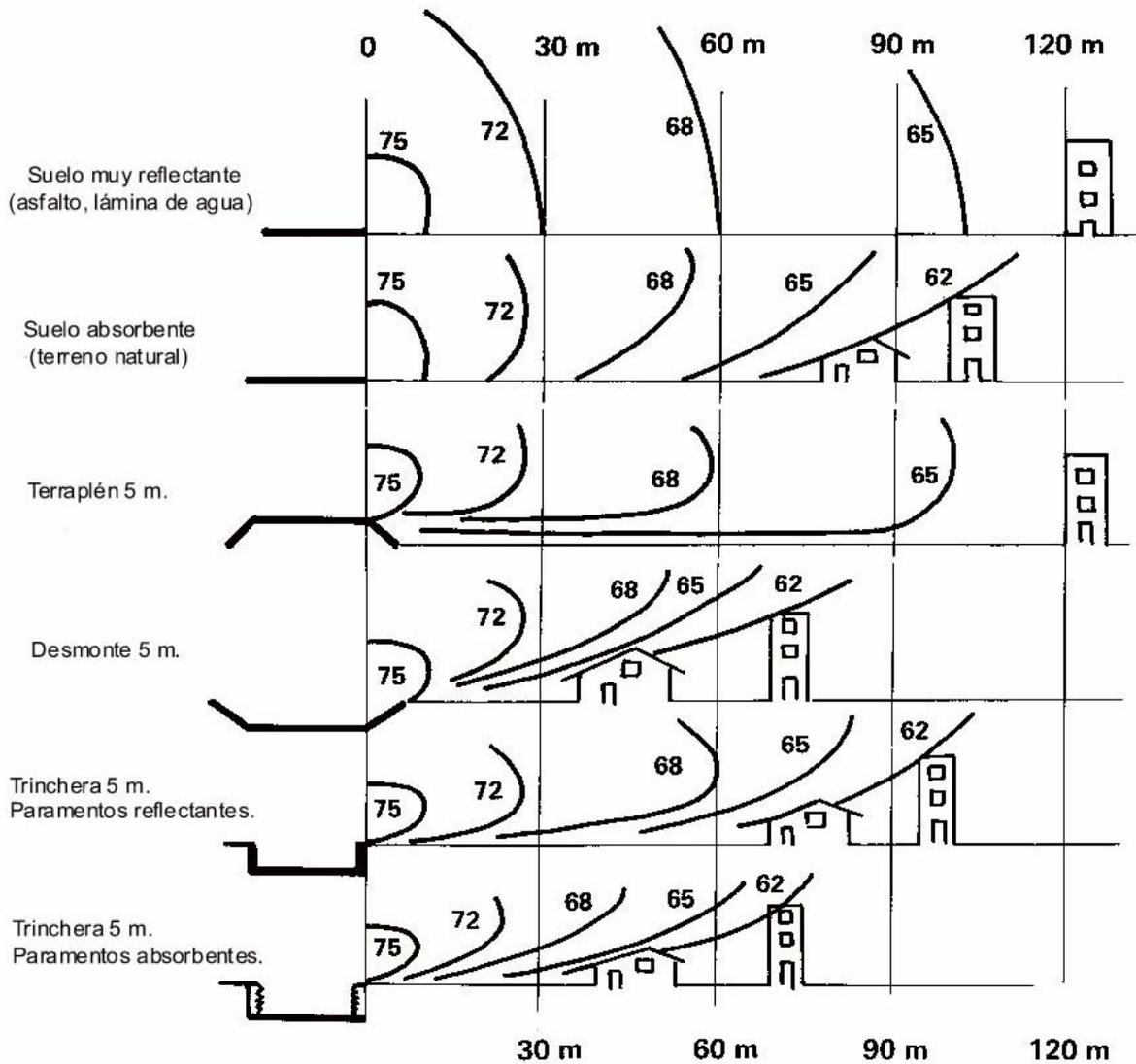


Gráfico 3. Influencia del perfil transversal

### 2.2.3. Perfil longitudinal de la carretera

Si la carretera asciende (en rampa) los vehículos disminuyen la velocidad y fuerzan más el régimen del motor, sobre todo en el caso de los vehículos pesados. Este régimen de circulación es más ruidoso que el correspondiente a un perfil longitudinal horizontal de la carretera.

#### 2.2.4. Anchura de la plataforma.

Un factor a tener en cuenta es la anchura de la plataforma, entendiéndose por plataforma la zona de la carretera ocupada por la calzada, los arcenes (exteriores e interiores) y las bermas.

El número de carriles, la mediana, la existencia y anchura de arcenes exteriores e interiores, delimitan la extensión de la fuente de ruido. Si bien es frecuente considerar una única fuente de ruido, situada en el eje de la carretera, los estudios más precisos deben tener en cuenta la distribución espacial de cada una de las líneas de tráfico presentes en la carretera, sobre todo para analizar los niveles de ruido en un entorno muy próximo de la carretera (menos de 30 m).

#### 2.2.5. El tipo de pavimento

Como se ha visto en este tema, el tipo de superficie de rodadura, sobre todo a altas velocidades influye en la generación del ruido de la circulación. Por un lado, existen unos pavimentos con un comportamiento acústico mejor que otros. Por otro lado, cuanto más absorbente acústicamente sea el pavimento de la carretera, menor será la cantidad de energía acústica que se propaga más allá de la plataforma de la carretera.

Al analizar las medidas correctoras del ruido, se estudia el comportamiento de los pavimentos más utilizados en carreteras y los más adecuados desde el punto de vista de la reducción del ruido.

Actualmente se efectúan numerosas investigaciones para caracterizar acústicamente los diferentes revestimientos de calzada. De un modo general se puede señalar que los revestimientos de alta adherencia provocan un crecimiento de ruido del orden de 3 dB(A) con relación a los revestimientos corrientes, y que la utilización de revestimientos drenantes (porosos) puede suponer la reducción del orden de 3 dB(A) con relación a los firmes más usuales.

### **2.3. El entorno de la carretera.**

Conforme el receptor se aleja de la carretera, el nivel de ruido va disminuyendo, siguiendo las leyes de la propagación del sonido.

Los factores que influyen en la propagación han sido analizados en temas anteriores

#### 2.3.1. Atenuación con la distancia

Siendo los niveles sonoros en un punto determinado una función de la distancia del receptor a la carretera, existe una atenuación del ruido por divergencia geométrica, es decir, que conforme el receptor se aleja de la misma, los niveles sonoros disminuyen. En el caso que nos ocupa (la fuente emisora es una fuente lineal), esta atenuación sería de 3 dB(A) por cada duplicación de la distancia en condiciones ideales de propagación. En la realidad, las condiciones de propagación no son homogéneas, por lo que además de la atenuación por divergencia geométrica se consideran otros factores, que hacen que el ruido disminuya más rápidamente con la distancia.

### 2.3.2. Atenuación por absorción del aire

Los valores de atenuación del ruido por absorción del aire se obtienen experimentalmente para unas ciertas condiciones de temperatura y humedad. En los casos habituales varían de 0,3 dB(A) a 1 dB(A) por cada 100 metros de recorrido en el aire según las diferentes frecuencias.

### 2.3.3. Influencia de la temperatura y del viento en la propagación

Las variaciones de temperatura y la influencia del viento pueden motivar variaciones del orden de 5 dB(A) o más respecto a las condiciones estables de referencia.

### 2.3.4. El efecto suelo

Se denomina "efecto suelo" a las alteraciones producidas en la propagación de un sonido por la presencia de un determinado tipo de suelo. Cuanto mejores características de absorción acústica presente el terreno existente entre la carretera y el receptor, mayor atenuación suplementaria se obtendrá para receptores situados cerca del suelo (menos de 10 m)

### 2.3.5. Efecto de los obstáculos. Reflexión y efecto pantalla

Un obstáculo crea tras de sí una zona protegida en la que los niveles sonoros son sensiblemente inferiores a los existentes ante él, debido al fenómeno de la difracción. La atenuación del sonido aportada por el obstáculo depende del número de Fresnel, de las dimensiones del obstáculo, de la posición relativa de fuente y receptor respecto de éste y del factor de absorción del obstáculo.

En el entorno de una carretera pueden existir numerosos obstáculos que van a influir en la propagación del sonido: desmontes, terraplenes, barreras de seguridad, muros, pantallas acústicas, diques de tierra, etc.

### 3. MÉTODOS DE MEDICIÓN

La evaluación de los niveles de ruido generados por el tráfico puede llevarse a cabo a través de dos métodos distintos: medición y previsión. Se basan en la toma de medidas directas con sonómetros, para evaluar los niveles sonoros de una zona.



*Foto 1. Medida del ruido de una carretera.*

Se utilizan sonómetros que evalúan los niveles de presión sonora continuo equivalente durante un periodo de tiempo y situados en diferentes posiciones.

Las mediciones se realizan fundamentalmente con los siguientes propósitos: determinar los niveles de ruido en una zona para la identificación de situaciones no deseadas, evaluar las variaciones del entorno en los niveles de ruido, comparando los niveles antes y después de la construcción de la infraestructura, y estimar la eficacia de las medidas anti-ruido aplicadas. Lugares, períodos de medición y métodos seleccionados dependen del objetivo perseguido y del campo de aplicación. Por ejemplo, cuando ha de procederse a la evaluación de una zona extensa, la selección de los intervalos de medición y de los puntos de estudio afecta notablemente al carácter de los resultados obtenidos.

Los niveles de ruido debidos al tráfico de carretera varían espacial y cronológicamente. Se eligen diferentes intervalos y diferentes ubicaciones dependiendo de los objetivos perseguidos y de las características de la circulación. Se deben realizar análisis de las variaciones del tráfico, así como estudios de la distribución territorial de las actividades, con el fin de seleccionar aquellos puntos en donde se vaya a medir. El objetivo de estos análisis es optimizar el tiempo empleado en medir y a la vez obtener resultados precisos y representativos.

Al medir el ruido de una carretera se obtienen niveles para una situación concreta y durante un tiempo determinado. Como el tráfico y las condiciones climatológicas varían con el tiempo, sólo pueden compararse medidas estrictamente simultáneas, a menos que se tomen las correcciones pertinentes.

### 3.1. Puntos de medida

El número y situación de los puntos de medición necesarios para identificar el sonido medioambiental de una zona, depende del tipo de mediciones que se vayan a realizar. Los criterios de selección pueden resumirse en dos:

- a) Seleccionar puntos en donde sea probable que el ruido del tráfico pueda perturbar a la población.
- b) Seleccionar los puntos que sean representativos de las diferentes situaciones y condiciones de la zona.

Los puntos importantes no son necesariamente aquellos que presentan niveles de ruido más elevados, sino que son los puntos exteriores de los edificios que están más cerca de la carretera, tomados a diferentes alturas.

### 3.2. Periodos de medición

Como regla general, los períodos de medición deben ser tan largos como sea necesario para conseguir un buen conocimiento de la evolución del ruido durante un día, una semana o una estación, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas de la zona. Por lo tanto, el tiempo de medición no tiene límite. Sin embargo, como deben realizarse con frecuencia estudios y evaluaciones en cortos períodos de tiempo, en la mayoría es necesario acortar los intervalos de tiempo para medir, que dependerán del propósito de la evaluación, y extrapolar los resultados obtenidos en periodos cortos a periodos más largos, en función de datos conocidos sobre la evolución del tráfico.

**En cualquier caso se recomienda un intervalo mínimo de medida de 15 minutos. Sin embargo, cuando no se conoce la evolución del tráfico, deben hacerse mediciones de hasta 24 horas para evaluar adecuadamente el  $L_{eq}$  diurno, vespertino y nocturno.**

El gráfico siguiente representa la evolución del nivel sonoro equivalente a lo largo de un periodo de 48 horas en un punto situado en las cercanías de una carretera con mucho tráfico. Como se puede apreciar, el ruido a lo largo del periodo 7-23 horas es muy estable, por lo que el valor obtenido con una medida corta en cualquier hora central del día es muy similar al valor del  $L_{eq}$  (7-23h).

Es el caso típico de situación acústica en el que se puede acortar el tiempo de medida para evaluar el ruido diurno. Sin embargo, para evaluar el ruido nocturno, no basta con una medida corta a cualquier hora de la noche, ya que las diferencias de nivel varían notablemente de una hora a otra. En este caso el intervalo de medida debería abarcar las 8 horas, o bien podría obtenerse el nivel nocturno a partir del nivel diurno, conociendo previamente la gráfica de evolución del tráfico.

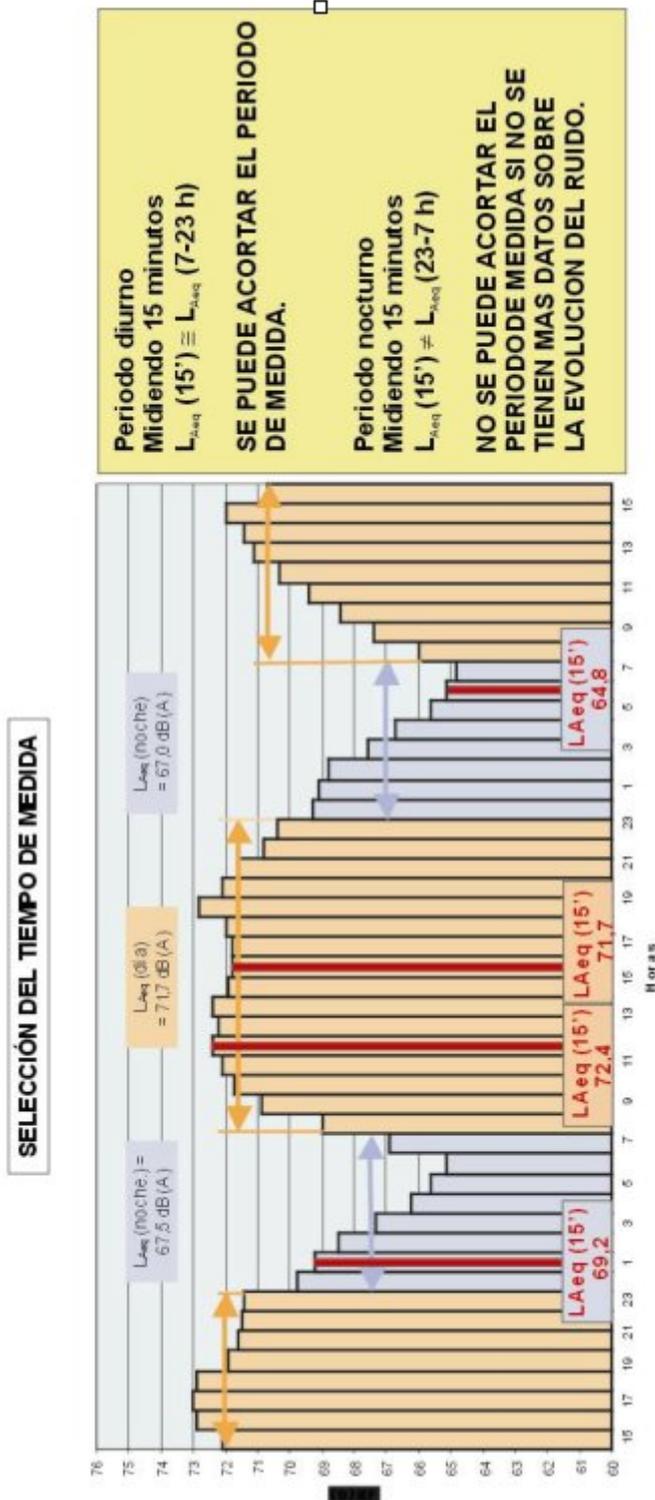


Gráfico 4. Evolución del ruido en una carretera.

#### 4. MÉTODOS DE PREVISIÓN DE NIVELES SONOROS EN CARRETERAS

Los métodos de previsión o cálculo se basan en el conocimiento de las teorías de emisión y propagación del sonido; éstas permiten calcular los niveles de ruido a través de la simulación de situaciones reales o predecibles mediante modelos.

Son métodos de carácter semiempírico: combinan resultados experimentales con fórmulas de cálculo.

Los datos experimentales de los que parten los métodos son los niveles de emisión que producen diferentes categorías de vehículos, a una distancia prefijada, en condiciones de propagación en campo abierto.

Los niveles en los receptores se obtienen según las leyes de la propagación acústica, estimando la atenuación entre la fuente y el receptor.

En función de la complejidad de la formulación matemática podemos hacer la siguiente clasificación de los métodos de previsión:

Métodos de previsión sencillos  
Modelos matemáticos informáticos (Modelos basados en la utilización de ordenadores y programas matemáticos)  
Modelos físicos

##### 4.1 Métodos de previsión sencillos

Estos métodos se caracterizan por su sencillez de uso, debido a una generalización de los escenarios analizados y una imprecisión en los datos obtenidos.

Se basan en la utilización de una fórmula de cálculo simple y factores de corrección que se obtienen de tablas o ábacos, válidos para un cierto número de situaciones tipo.

Existen numerosos métodos que son similares en cuanto a su estructura. Sus diferencias se refieren a los datos de entrada (niveles de emisión de los vehículos) y en que aplican distintos factores de corrección.

Las fórmulas de estos métodos simplificados corresponden a expresiones del tipo:

$$L = L_0 - A$$

Donde:

L: Nivel de presión sonora en un punto de cálculo

$L_0$ : Nivel de presión sonora de referencia. Es el nivel producido por el tráfico a una distancia determinada

A: Atenuación debida a la propagación.

$L_0$  depende de las características de la infraestructura, de la intensidad del tráfico, de la categoría de los vehículos y de la velocidad media de circulación de estos vehículos.

La atenuación A se produce por la divergencia geométrica (efecto de la distancia), la absorción de las ondas sonoras en el aire, el efecto suelo, la presencia de obstáculos en la propagación y el efecto de eventuales reflexiones. Ésta última aumenta los niveles sonoros al considerar además de la energía recibida directamente la procedente de la reflexión del ruido sobre los obstáculos.

## 4.2. Modelos matemáticos

Son simulaciones que evalúan los fenómenos acústicos de propagación, reflexión y absorción. El detalle y la precisión de sus resultados dependen tanto de la complejidad del modelo como de la calidad de los datos de entrada.

Las fórmulas de cálculo que figuran en los modelos de previsión son muy similares. Se obtiene experimentalmente un nivel de ruido de referencia que corresponde al nivel producido por un único vehículo circulando en condiciones normalizadas a una distancia de referencia y este dato se incorpora a la fórmula como un valor constante. Este valor es corregido mediante factores que tienen en cuenta la influencia de los tipos de vehículos, la sección de la carretera, el efecto que producen los obstáculos. El número y el valor de estos factores varía de un modelo a otro.

Los parámetros que representan los factores implicados son:

- Tráfico de la carretera
- Condiciones topográficas
- Tipo de calzada
- Puntos receptores
- Atenuaciones del suelo y aire
- Influencia de las condiciones meteorológicas

La estructura de funcionamiento del modelo es:

1. Descripción topográfica del lugar, definiendo la ubicación de los puntos receptores, las características absorbentes del terreno, presencia de obstáculos naturales o artificiales, etc.
2. Definición de la carretera, perfil longitudinal, secciones, estructuras, (plataforma a nivel o elevada, túneles, viaductos, desmontes, etc.)
3. Caracterización de la fuente (flujo de tráfico, velocidad media, tipo de vehículos)
4. Análisis de la difusión del sonido en su propagación. Es necesario tener en cuenta la atenuación debida a la distancia, la absorción del suelo, las reflexiones y difracciones provocadas por los obstáculos y la absorción acústica del aire.
5. Salida de resultados.

Existen ya una serie de modelos informáticos de alto nivel avalados por las administraciones de países de la Unión Europea, no así en España. No todos los modelos calculan exactamente de la misma forma, y no todos los modelos son capaces de calcular todas las situaciones posibles.

La Unión Europea está trabajando en el diseño de un método armonizado europeo de cálculo de ruido de las carreteras (y también para ferrocarriles y aeropuertos), que cuando esté a punto, se trasladará a un modelo informático. A continuación figuran ejemplos de cálculos y salida de datos de algunos modelos europeos.

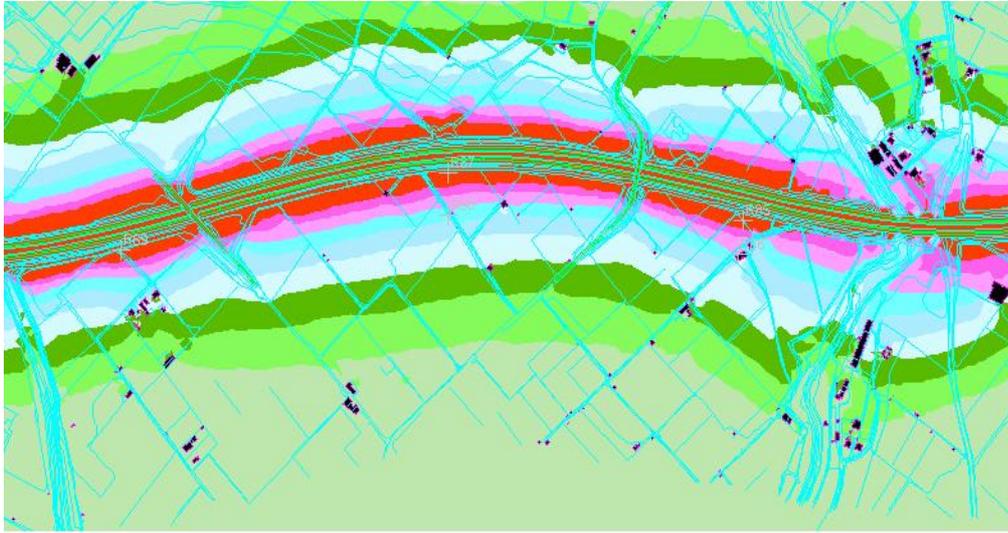


GRÁFICO 5. MAPA DE RUIDO HORIZONTAL

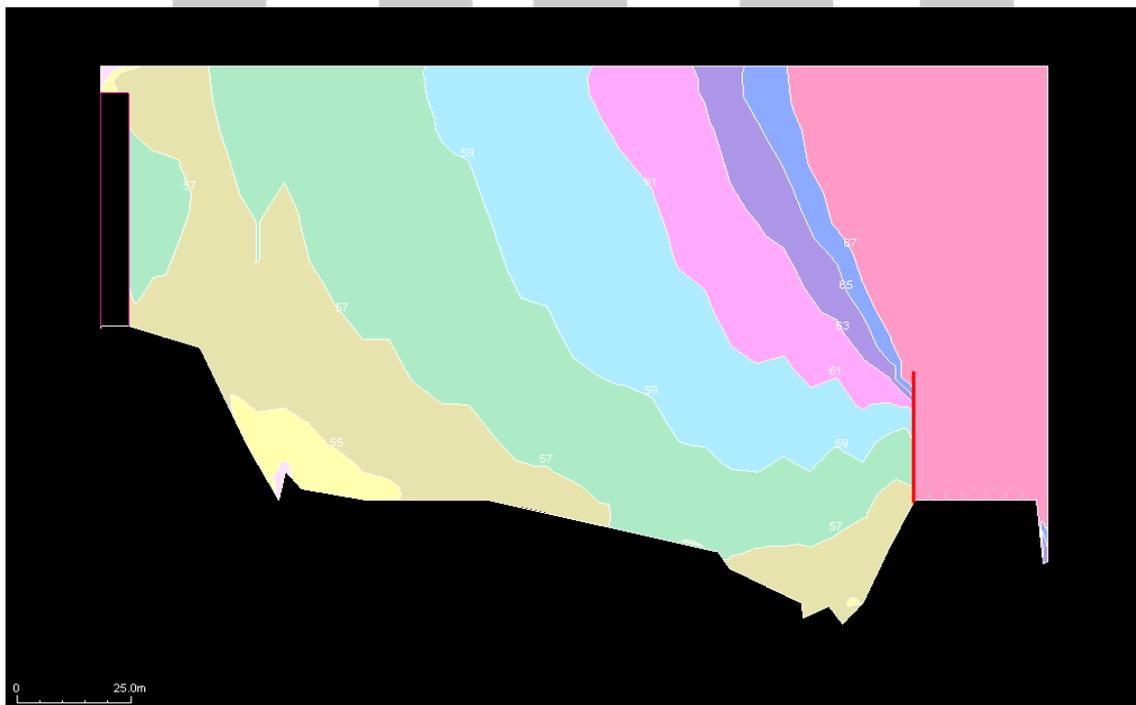


Gráfico 6. Mapa de ruido vertical.

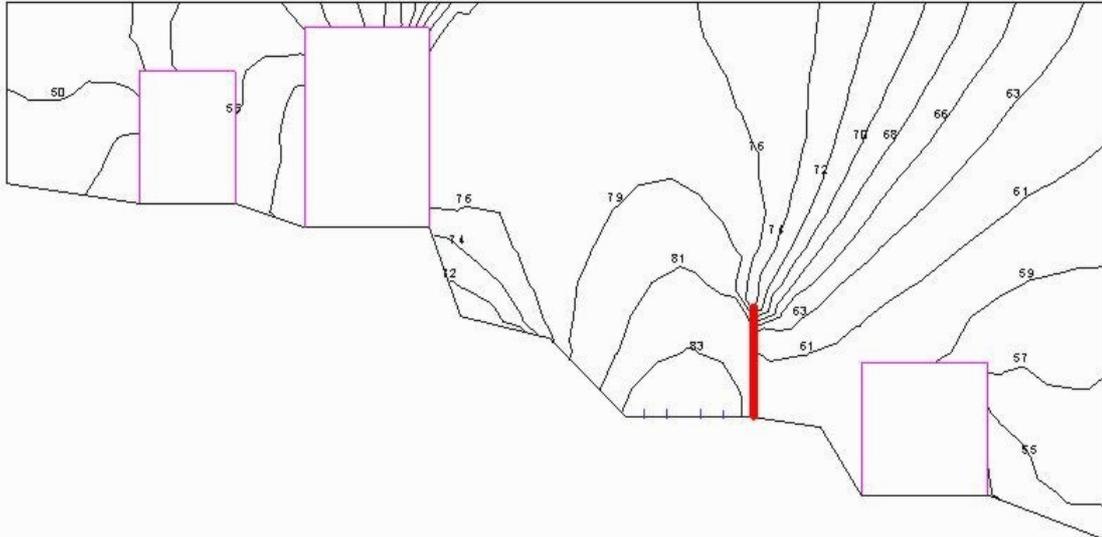


Gráfico 7. Mapa vertical que muestra la eficacia de una pantalla.



Gráfico 8. Simulación en 3D.

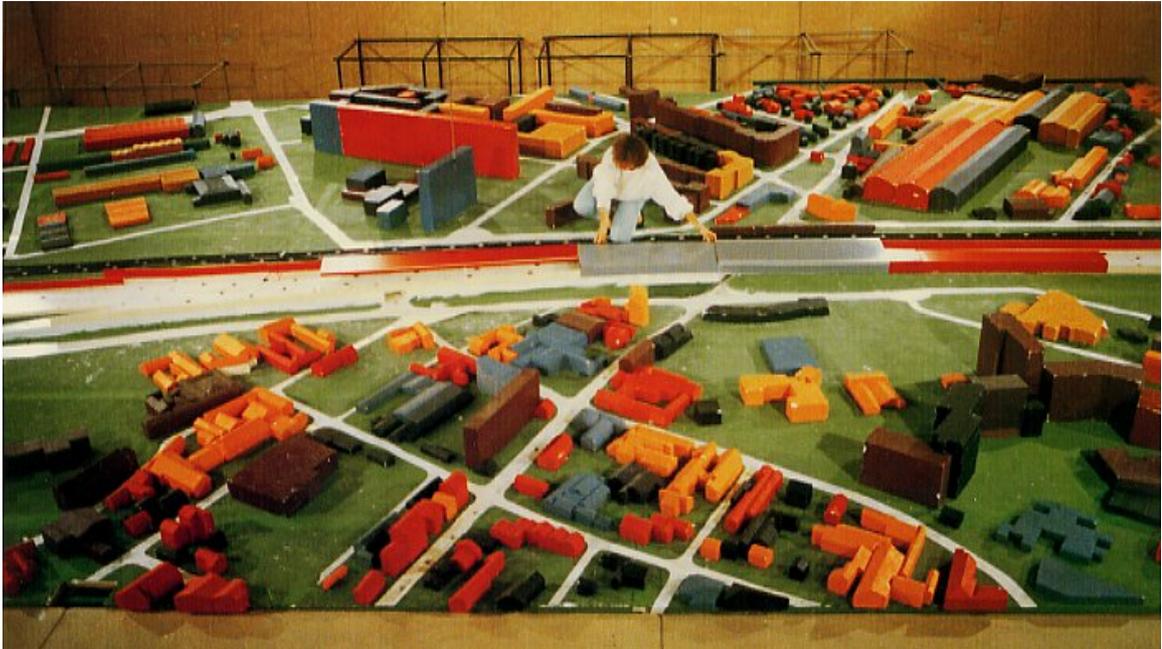


Gráfico 9. Análisis de receptores con un dique de tierra.

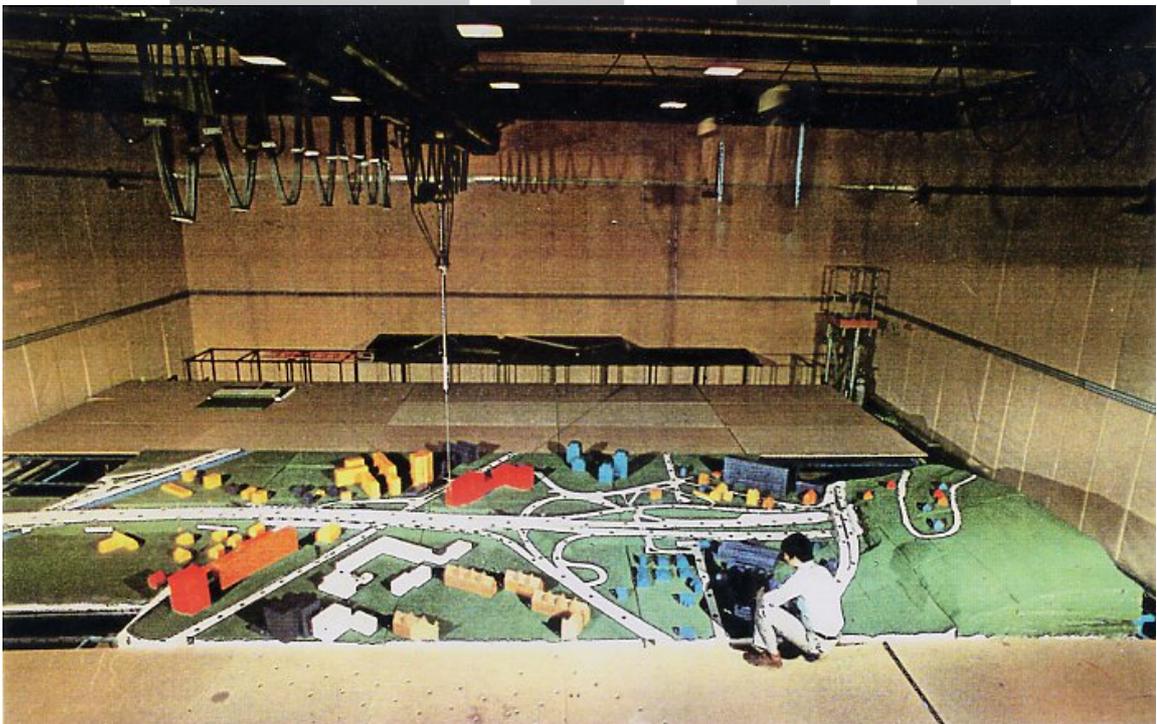
### 4.3 Modelos físicos

Los métodos de simulación que utilizan modelos reducidos permiten reproducir con gran detalle situaciones espaciales muy complejas. Sin embargo, los modelos reducidos son extremadamente costosos en términos tanto de financiación, como de medios, ya que requieren la construcción de un modelo reducido "ad-hoc" y precisan un equipo experimental altamente sofisticado.

Salvo cuando se emplea un modelo reducido, lo que apenas ocurre, la previsión del ruido producido por el tráfico se realiza mediante la utilización de fórmulas matemáticas. Estas fórmulas resultan tanto de consideraciones teóricas como empíricas que involucran potencia acústica de emisión y ciertas atenuaciones. La complejidad de los procesos de cálculo, especialmente si se persigue un cierto grado de precisión, requiere el empleo de programas informáticos, para reducir el tiempo empleado en el cálculo.



**Fotografía 2. Elaboración de una maqueta**



*Fotografía 3. Centro de ensayos acústicos con modelos físicos reducidos CSTB. Grenoble (Francia)*

## 5. MÉTODO SIMPLE *Guide de Bruit* (Francia)

Este método de previsión se engloba dentro de los denominados métodos simples, por lo que no debe ser empleado en estudios de precisión. Es válido en general para su utilización en estudios de impacto ambiental a nivel de estudio informativo o anteproyecto. Para estudios de mayor detalle, debe ser ampliado con métodos y tablas de corrección, o bien utilizarse un método detallado con soporte informático.

Su utilización además se restringe a los siguientes casos:

- autopistas, autovías y carreteras nacionales
- vías rápidas (autovías, vías periféricas...) en la travesía del tejido periurbano formado por chalets o bloques de viviendas con espacios libres entre ellos (que no dan impresión de calle) con velocidad de circulación superior a 60 km/h.
- Bulevares o avenidas tradicionales de gran anchura y con tráfico fluido con velocidad de circulación superior a 60 km/h.

El método se basa en el cálculo del  $L_{Aeq}$  en un receptor situado a 2 m de la fachada de un edificio. La fórmula que nos facilita este  $L_{Aeq}$  de **1 hora** es:

$$L_{Aeq} = S + 10 \cdot \log (Qvl + E \cdot Qpl) + 20 \cdot \log V - 12 \cdot \log (d + lc/3) + 10 \cdot \log (\theta/180) - K_{\text{reflex}} - K$$

- S: constante relacionada con la emisión de un vehículo ligero. El método indica que el valor de S es 20; aunque debido a la reducción de la emisión de los vehículos conviene adoptar un valor de 18.
- Qvl, Qpl: 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
- lc: Anchura de la calzada en metros
- $\theta$ : Ángulo bajo el que se ve la carretera en grados.
- $K_{\text{reflex}}$ : Corrección por campo libre en el caso de que el receptor no se sitúe en la fachada de un edificio. El valor de  $K_{\text{reflex}}$  es 3.
- k: Correcciones por distintos efectos (desmontes, terraplenes, obstáculos, efecto suelo, etc). (El método simple no ofrece la posibilidad de calcular este coeficiente. Simplemente recuerda al usuario que existen factores que no han sido considerados en la fórmula)

➤ Esta fórmula nos da un nivel sonoro **para una hora**. Para evaluar el  $L_{Aeq}$  de un periodo será preciso definir el tráfico de una hora representativa del periodo T.

### - Vehículos representativos Q<sub>vl</sub> y Q<sub>vp</sub>

Sólo se tienen en cuenta dos categorías de vehículos:

- Vehículos ligeros: los que su peso total cargado es inferior o igual a 3.5 T.
- Vehículos pesados: los que su peso total cargado es superior o igual a 3.5T.

Por lo que se refiere al número de vehículos de la hora representativa, el método recomienda la utilización de los siguientes valores en función de la IMD (Intensidad Media Diaria).

$$Q(\text{hora} - \text{representativa} - \text{periodo} - \text{diurno}) = \frac{IMD}{C_{\text{dia}}}$$

donde  $C_{\text{dia}}$  varía de 16 a 19 dependiendo del tipo de carretera y de tráfico

$$Q(\text{hora} - \text{representativa} - \text{periodo} - \text{nocturno}) = \frac{IMD}{C_{\text{noche}}}$$

donde  $C_{\text{noche}}$  varía de 90 y 160 dependiendo del tipo de carretera y de tráfico

La obtención de Q<sub>vl</sub> y Q<sub>vp</sub> no es un problema estrictamente acústico, sino que pertenece al ámbito de la ingeniería de tráfico.

### - Equivalencia acústica E y corrección de rampa

En el cuadro siguiente se dan los valores del factor de equivalencia E obtenidos a partir de numerosas medidas en función del tipo de la vía y del porcentaje de la rampa r.

	r << 2%	r = 3%	r = 4%	r = 5%	r > 6%
<b>Autovía (110-120km/h)</b>	E=4	5	5	6	6
<b>Carretera convencional (90-100 km/h)</b>	7	7	10	11	12
<b>Vía tipo bulvar (60-80 km/h)</b>	10	13	16	18	20

Tabla Metodo 1. Factor E de equivalencia acústica.

### - Velocidad V

La velocidad que hay que tener en cuenta en los cálculos corresponde a la velocidad media del conjunto de la circulación (velocidad alcanzada o sobrepasada por el 50% de los vehículos durante la duración del período de observación).

En vías rápidas podemos considerar las siguientes velocidades:

- Autopista:  $v = 120 \text{ km/h}$
- Autovía:  $v = 100-120 \text{ km/h}$

- Carretera convencional  $v = 80 - 90 \text{ km/h}$
- Vía tipo bulvar:  $v = 60-80 \text{ km/h}$

#### - Distancia entre el borde de la plataforma de la vía y receptor, $d$

En el caso de doble calzada con una banda central muy ancha se debe descomponer el estudio y obtener el resultado final como suma de dos situaciones. Se suman energéticamente los niveles, calculados por separado, originados por la calzada 1 ( $Q_{v1}$  y  $Q_{vp}$  de la calzada 1,  $D_1$  y  $L_1$ ) y la calzada 2 ( $Q_{v2}$  y  $Q_{vp}$  de la calzada 2,  $D_2$  y  $L_2$ ).

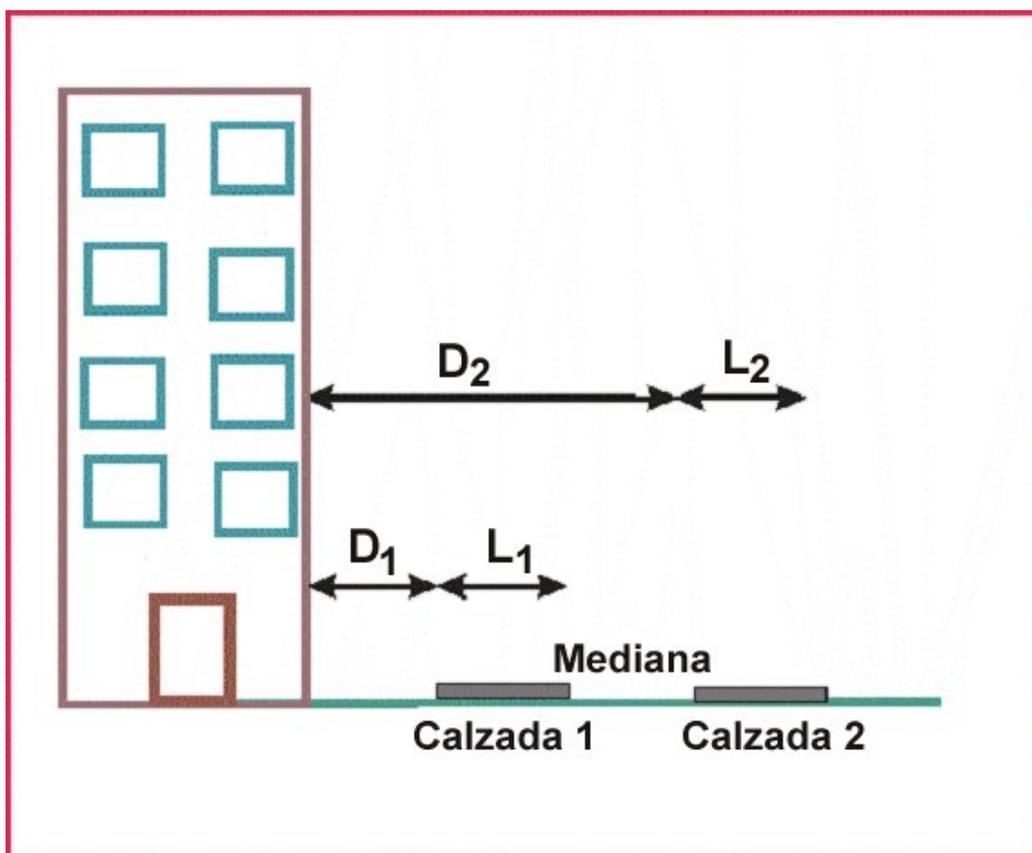


Gráfico Metodo 1. Consideración de la distancia.

#### - Efecto de visión limitada

El siguiente esquema en planta, ilustra el factor de corrección (casi siempre negativo) que tenemos que añadir a la fórmula de obtención del  $Leq$ .

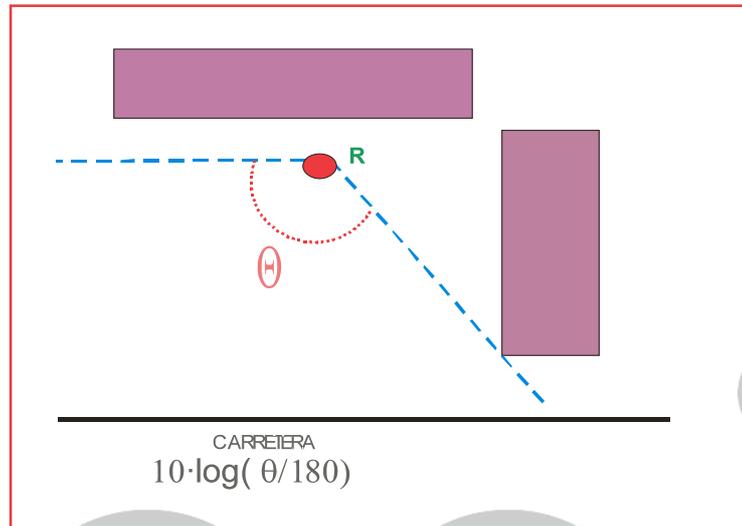


Gráfico Método 2. Efecto de visión limitada