

## Caracterización del Tráfico y Carreteras como Fuentes de Ruido. Predicción de Niveles de Ruido.

Eugenio Collados, Ambiente Consultores

### 1 Fuentes de ruido

#### 1.1 Componentes individuales.-

Obviamente, el ruido de carreteras es la consecuencia de numerosas fuentes de ruido individuales, emitiendo en forma agregada, pero cada una con sus características propias, variables en el tiempo y desplazándose en el espacio de manera diversa. A su vez, cada vehículo es un conjunto de fuentes individuales dadas por los diferentes elementos mecánicos, los gases de escape, el contacto con el pavimento, el roce con el aire y el uso de bocinas.

Todos estos elementos generadores de ruido pueden agruparse en 2 componentes: los mecánicos y los de rodado. Ambos componentes dependen de la velocidad, pero en forma diferente, y además presentan una distribución espectral diferente.

Los ruidos mecánicos dependen de la potencia del motor, del peso del vehículo, de la pendiente de la calzada, de la fluidez del tráfico y del estado de mantención del vehículo. La potencia emitida varía linealmente con la velocidad, a partir de un valor para el vehículo estacionario con el motor en marcha.

Los ruidos de rodado dependen de la velocidad, del tipo de neumáticos y de la superficie de rodado. La potencia emitida varía exponencialmente con la velocidad, a partir de emisión nula para velocidad nula.

Por lo tanto, para velocidades bajas predomina el ruido mecánico y para velocidades altas el ruido de rodado. La velocidad típica a la cual el ruido de rodado pasa a ser predominante es 60 km/hr para vehículos livianos y 75 km/hr para vehículos pesados.

También es necesario tener en cuenta que las frecuencias emitidas aumentan con la velocidad, como se aprecia en un cuadro comparativo del mismo vehículo a diferentes velocidades.

FRECUENCIA	125	250	500	1000	2000	4000	FILTRO A
NIVEL 56 KM/HR	65	61	62	61	57	53	65
NIVEL 88 KM/HR	71	68	67	70	66	60	73

La forma de evaluar el ruido emitido por un vehículo es generalmente a través del Nivel Máximo, en dBA, que resulta del paso a una distancia de 7,5 m. y una velocidad de 50 km/hr, según la norma ISO 362. Sin embargo, este parámetro no considera la variación en el tiempo típica del paso de un vehículo y, en consecuencia, el efecto del menor tiempo de emisión para mayores

velocidades del vehículo. Para este efecto, se utiliza generalmente el parámetro Nivel Equivalente en un lapso de 10 segundos  $Leq(10\text{ s})$  en dBA.

Estos parámetros son útiles para evaluar los niveles extremos generados en un lugar, donde la causa predominante de problemas acústicos son algunos vehículos ocasionales en un flujo de baja densidad.

### 1.2 Flujos compuestos.

Es posible también caracterizar el conjunto del flujo vehicular cuando la densidad es tal que en todo momento se percibe el ruido de varios vehículos simultáneamente, lo que generalmente ocurre en carreteras durante el día.

Las fuentes de ruido de tráfico se asimilan habitualmente a fuentes lineales, estacionarias, homogéneas a lo largo de sí mismas y estables en el tiempo. Las fuentes lineales emiten según una geometría cilíndrica, que es fácil de modelar teóricamente para estudiar la propagación y predecir los niveles de ruido generados.

A los parámetros que controlan la emisión de ruido de cada vehículo se deben agregar los propios del flujo en su conjunto, tales como densidad, segregación, señalización, fluidez, clima y, obviamente, la composición del flujo.

### 1.3 Vehículos pesados.

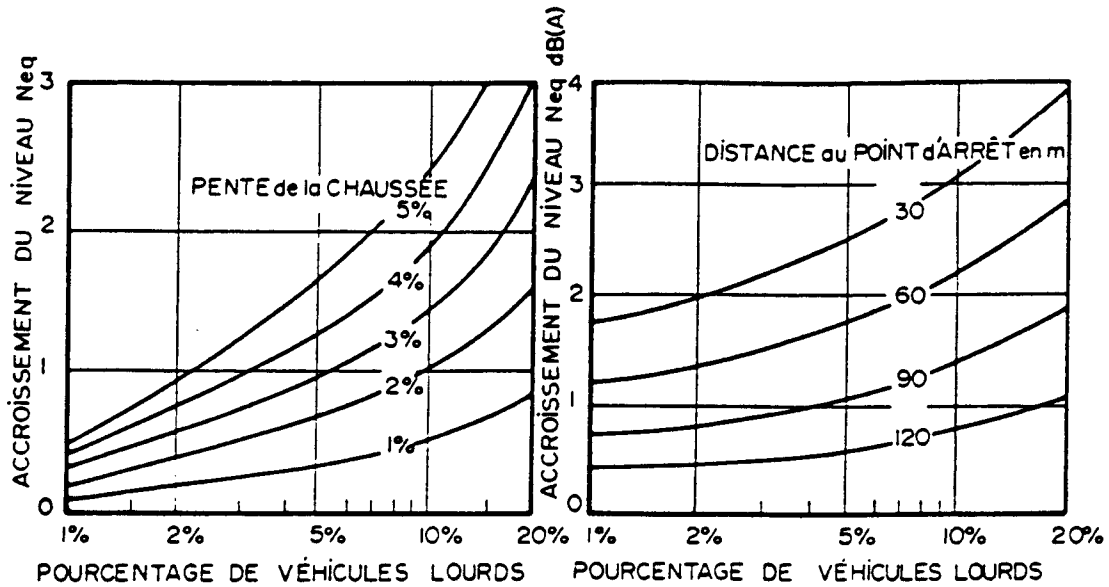
La presencia de vehículos pesados es el principal factor de aumento de niveles de ruido, especialmente en condiciones urbanas. Para este efecto, es conveniente establecer la equivalencia entre la potencia acústica de un vehículo liviano y uno pesado, a fin de calcular un "flujo equivalente" compuesto sólo por vehículos livianos, de la forma:

$$\text{Flujo Equivalente} = \text{Flujo Veh. livianos} + \text{Factor} \times \text{Flujo Veh. pesados}$$

El valor del factor depende de las condiciones locales, pero una primera aproximación es:

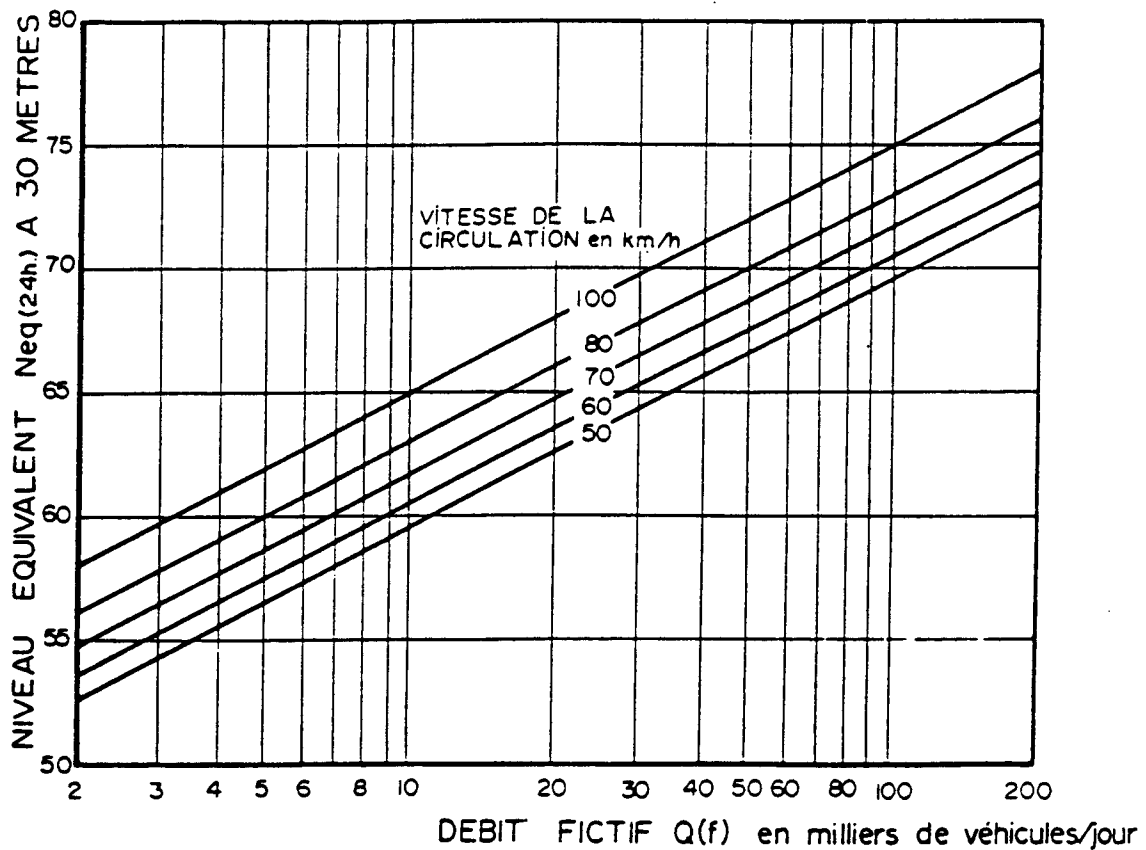
Autopista:	entre 5 y 6
Flujo urbano rápido:	entre 6 y 8
Flujo urbano congestionado:	entre 8 y 15

El efecto de la presencia de vehículos pesados también se incrementa con la existencia de pendiente en la calzada y la existencia de detenciones de flujo, como se aprecia en las figuras siguientes:



1.4 Velocidad.-

El efecto de la velocidad es del orden de 0,15 a 0,25 dBA por cada aumento de 1 km/hr en la velocidad de vehículos livianos, como se muestra en el gráfico para flujo libre a 30 m.



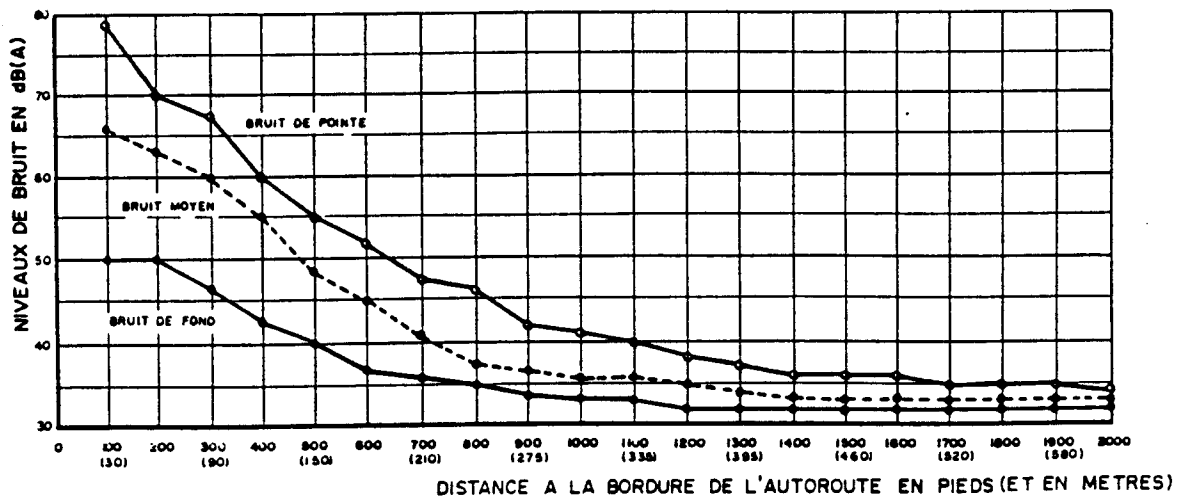
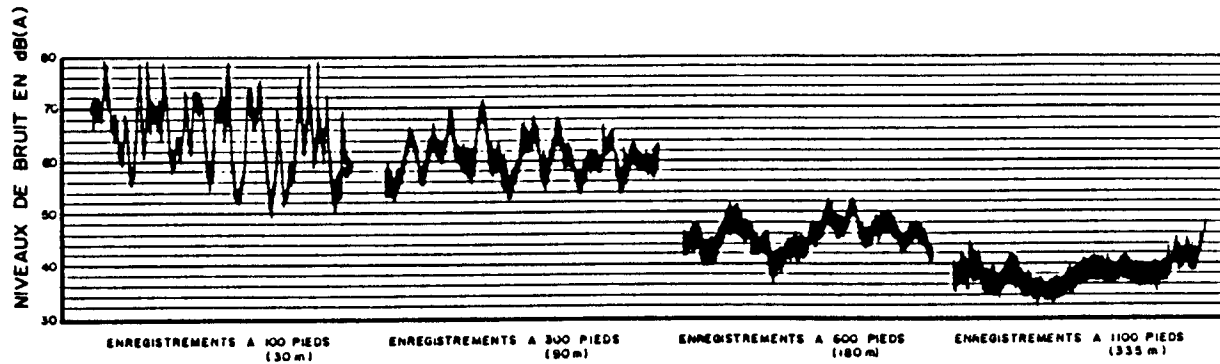
## 2 Propagación

### 2.1 Suelo

La propagación de sonido rasante, paralela al suelo, es fuertemente afectada por las propiedades de absorción acústica del suelo. El efecto es especialmente notorio en frecuencias medias-bajas, alrededor de 250 Hz.

La absorción del suelo depende de su porosidad, la que, a su vez, es aumentada por la presencia de vegetación. Este efecto es prácticamente independiente de la existencia o tipo de follaje. Es decir, un suelo cubierto de vegetación presenta casi la misma absorción acústica aún cuando se trate de césped, arbustos o árboles.

Contrariamente a lo que se afirma a menudo, la densidad de la vegetación produce escaso efecto acústico, aunque constituya una barrera visual. La atenuación adicional, con respecto a un suelo compacto, alcanza valores entre 8 y 19 dB cada 100 metros, lo que indica la poca efectividad en relación al espacio requerido. Aún así, el efecto de difusión del follaje genera un nivel de ruido más estable, lo cual reduce la molestia. En el gráfico siguiente se muestra el registro obtenido a diferentes distancias en un terreno boscoso, y un perfil de atenuación:



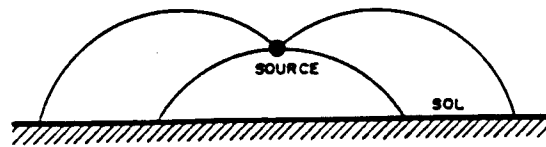
## 2.2 Clima.-

El efecto de la temperatura es provocar una refracción del sonido cuando existe un gradiente de vertical de temperatura, ya que la velocidad del sonido se modifica levemente.

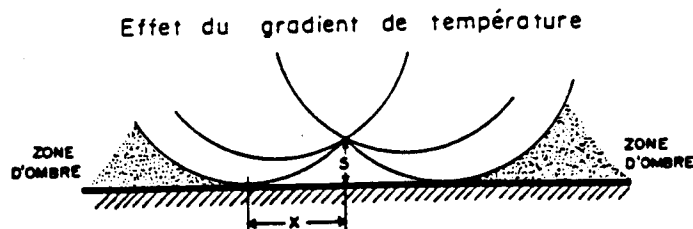
Para una situación normal, la temperatura a nivel del suelo es mayor, disminuyendo gradualmente con la altura. Sin embargo, durante la noche se produce inversión térmica. La propagación presenta una deflexión hacia arriba en la situación normal y hacia abajo en la inversión, afectando los niveles de ruido especialmente para distancias superiores a 50 metros.

El efecto del viento es similar, ya que siempre existe un gradiente vertical en que aumenta la velocidad con la altura. Por lo tanto, en la dirección del viento el sonido se deflecta hacia abajo y contra el viento hacia arriba.

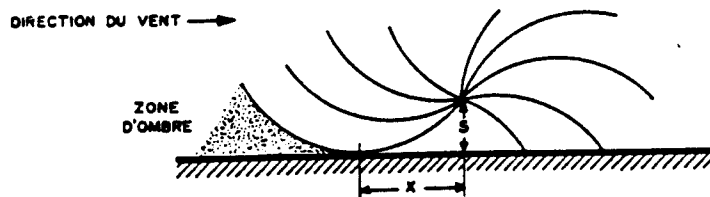
En los esquemas siguientes se muestra el efecto de refracción por clima.



Effet d'une inversion de température



Effet du gradient de température



Effets combinés du vent et du gradient de température

### 3 Predicción

Los métodos de predicción son una herramienta fundamental para evitar impactos de carreteras que degradan áreas en forma irreversible. Tanto las decisiones de planificación territorial como de diseño de las vías, pueden incidir favorablemente en el impacto acústico, por lo que es útil poder predecir con exactitud el efecto de posibles modificaciones y medidas de mitigación.

Los métodos deben ajustarse a las condiciones locales, ya que su validez es limitada a un rango de situaciones. Entre ellos se puede mencionar los siguientes:

- a) Cálculo de nivel sonoro en un punto. Se aplica para proteger un lugar determinado con límites precisos de inmisión, por ejemplo un hospital. Se basa en la superposición de varias fuentes y vías de propagación, las que pueden ser identificadas individualmente. Permite conocer la incidencia relativa de cada vía y calcular exactamente las necesidades de control de ruido.
- b) Cálculo de perfiles para una vía. Se aplica para predecir el efecto de una vía en tramos con características definidas. Se obtienen perfiles de atenuación en función de la distancia al eje, y en consecuencia la compatibilidad con el uso de suelo. Es un método rápido, pero tiene validez estadística, es decir, la predicción es correcta en la medida que la situación real coincide con la situación típica simulada. En general, se basa en correcciones por medio de coeficientes empíricos que consideran tantos aspectos como sea necesario, a partir de una situación simple, en la que se cumplen las ecuaciones básicas de propagación.

Por ejemplo, se supone un flujo de cierta composición, sobre pavimento seco, a nivel, en terreno plano de tierra compacta. Luego se agregan correcciones por obstáculos, pendientes, absorbentes y otras características del lugar. Se requieren modelos diferentes para casos urbanos, con reverberación significativa, y para lugares abiertos.

- c) Modelos tridimensionales. La simulación se realiza a partir de la potencia acústica emitida por las fuentes, con cierta directividad definida para cada ángulo. Por otra parte, se define el medio de propagación mediante la geometría de las superficies y su coeficiente de absorción. Se simula la emisión de ruido en cada fuente y su interacción con las superficies, con lo cual se obtienen niveles de ruido, generalmente sobre una grilla regular de puntos o en forma de curvas de nivel de ruido. En esta propagación se pueden incluir efectos de refracción por viento o temperatura.

La limitación de este método está en la necesidad de reconstruir un escenario completo, con toda la información que ello implica, y la demanda de procesamiento para el cálculo. Los resultados son fáciles de interpretar, pero son válidos sólo en dicho escenario. La principal ventaja es que se puede analizar situaciones complejas, tales como cruces a nivel o lugares de edificación irregular, pudiendo comparar fácilmente varias alternativas una vez modelado el escenario base.

Otros métodos se basan en mediciones de situaciones reales comparables a las proyectadas, o mediciones en maquetas a escala del escenario en estudio, con fuentes de ruido artificiales.

Una comparación de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos se muestra en el siguiente cuadro:

Criterios	Medidas	Ecuaciones y curvas	Cálculo	Programas informáticos	Maquetas
Precisión en utilización normal dB (A)	± 1,5	± 3		± 2	± 2
Resultados	Para un instante dado	Simposis de resultados	Para un punto particular Optimización	En todas formas Optimización	Completo pero sin optimización
Duración	tanto como sea necesario	1 día	1 día *	2 semanas *	2 meses
Flexibilidad Estudio de variantes Reajustes			Bastante buena	Buena	Bastante buena
Coste	Medio	Muy bajo	Bajo	Medio	Muy alto
Valor pedagógico	Bueno	Bueno	Mediocre	Malo	Muy bueno

\* En una zona dada, la evaluación del ruido por programas informáticos es más rápida que por un simple método de cálculo; pero en general, los programas informáticos se aplican a zonas amplias, lo que explica que el tiempo necesario, para un programa informático, se haya estimado en dos semanas.

En la página siguiente se muestra un ejemplo de simulación por el software Environmental Noise Model, a partir de la topografía del lugar y la edificación, incluyendo el efecto de un talud de 3 m. La escala es 1:2000, sobre un espacio de 495 x 319 metros, con curvas de nivel cada 0,5 m. y curvas de ruido cada 2,5 dBA. El caso corresponde a los niveles en hora de punta con condiciones climáticas de invierno.

Las fuentes corresponden a 6.413 vehículos livianos por hora y 338 vehículos pesados por hora a 80 km/hr.



<p>CURVAS DE RUIDO 2,5 dB</p> <p>EDIFICACION</p> <p>CURVAS DE NIVEL 0,5 m.</p> <p>EJE AUTOPISTA</p> <p>BARRERA ACUSTICA</p>	<p><b>ambiente</b></p> <p><b>consultores</b></p>	<p>CONTIENE</p> <p>DIA INVIERNO</p> <p>SECTOR C. CASANUEVA</p> <p>TALUD 3 m.</p> <p>PROYECTO</p> <p>COSTANERA NORTE</p>	<p>DOC. No.</p> <p>CCCB3DI</p> <p>ESCALA</p> <p>1:1500</p> <p>FECHA</p> <p>SEPT 96</p> <p>DISEÑO</p> <p>APROBO</p> <p>E.C.</p>	<p>VERSION</p> <p>1</p> <p>HOJA</p>
---	--	---	--	-------------------------------------