

c) VIBRACIONES Y ONDAS:**4. ACÚSTICA MEDIOAMBIENTAL****4.1. INTRODUCCIÓN**

El ruido afecta a los seres humanos físicamente, psicológicamente y socialmente. La exposición durante largos intervalos de tiempo a niveles sonoros elevados puede causar efectos nocivos sobre la salud humana tales como: molestias provocadas por el ruido, alteración del sueño, interferencia con la comunicación oral, efectos negativos sobre el aprendizaje, pérdida de la audición, bajo rendimiento en el trabajo, estrés o hipertensión.... Desde muy antiguo han existido prohibiciones en materia de ruido, pues además de ser un factor de distorsión ecológico, influye en el bienestar y la convivencia pacífica de los ciudadanos.

El **control del ruido** es la tecnología para obtener un entorno de ruido aceptable para un receptor de acuerdo con consideraciones económicas y operativas; el receptor puede ser una persona, un grupo de personas, una comunidad completa o una pieza del equipamiento cuyo funcionamiento se ve afectado por el ruido. Cuando se emplea la palabra aceptable surgen preguntas como las siguientes: ¿aceptable bajo qué condiciones? ¿aceptable por quién? Debido a la complejidad de las consideraciones económicas y operativas implicadas y a que todos los elementos pueden cambiar con el tiempo, no suele haber una respuesta única para tales preguntas en un problema de ruido determinado

En los últimos años muchos países han ido implantando legislaciones sobre control del ruido y éste se ha convertido en un asunto de creciente importancia social y económica, dando lugar a multitud de métodos técnicos en control. En España, en particular se va a implantar el Documento Básico de Control del Ruido dentro del nuevo Código Técnico de la edificación. Por ejemplo, una melodía sonando a todo volumen en la radio puede resultar muy agradable para una familia en su casa, pero es una molestia para los vecinos que están intentando dormir, no es deseada, es ruido. Por definición, el ruido es un sonido no deseado.

Por otro lado, el ruido es un problema de gran importancia económica en la sociedad actual:

- cuando el nivel de ruido en las instituciones empresariales o educaciones es lo suficientemente alto como para interferir con la comunicación hablada, se producen pérdidas económicas. El mundo de los negocios realiza grandes esfuerzos para lograr condiciones de silencio en oficinas y fábricas
- el efecto del ruido sobre el valor de la propiedad: el ruido del funcionamiento de un aeropuerto o una fábrica influye sobre el valor del suelo que rodea la zona

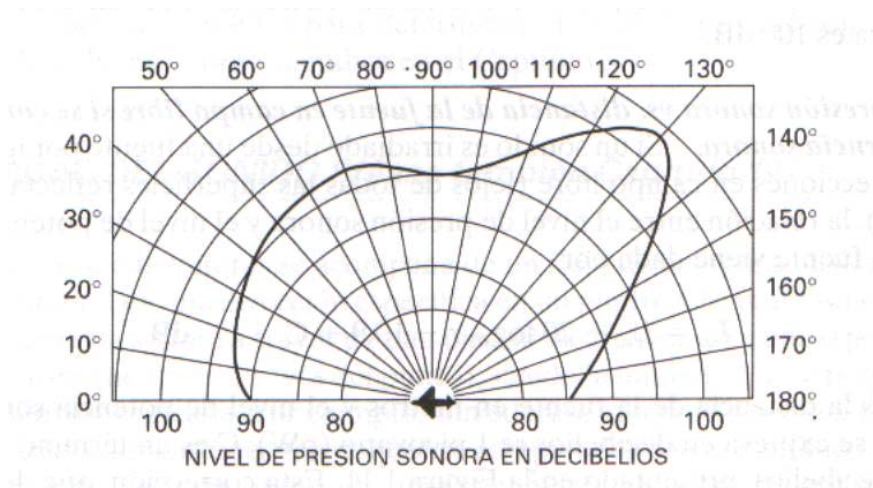
4.2. FUENTES SONORAS

En Acústica se llama fuente sonora a cualquier dispositivo que es capaz de producir una perturbación sonora en el ambiente. Las fuentes sonoras son de muy diversos tipos tanto en su forma geométrica como en los mecanismos de generación del sonido. Las más comunes son la voz humana, los instrumentos musicales, altavoces, diferentes tipos de maquinaria...

Se entiende por **fente omnidireccional** aquella fuente que emite igual de energía en todas direcciones y **fente direccional** la que emite más cantidad de energía en unas determinadas direcciones. Para fuentes direccionales se define el **factor de directividad o direccionalidad Q** de una fuente sonora en una determinada dirección como la relación entre la intensidad acústica que llega a un punto producida por la fuente sonora y la producida por una fuente omnidireccional que emitiese con igual potencia.

La direccionalidad de la radiación sonora puede producirse porque la fuente sea intrínsecamente direccional, por ejemplo una máquina que emite más ruido por la parte frontal que por la parte posterior, o puede ocurrir que fuentes omnidireccionales lleguen a ser direccionales si su emisión sonora está restringida por la posición de la fuente respecto a las paredes, techos, suelos....

Como ejemplo, en la siguiente figura se ilustra la distribución del sonido alrededor de un determinado tipo de avión. La figura muestra el nivel de presión sonora a una distancia fija en función del ángulo.



Las propiedades direccionales de una fuente de sonido pueden ser una consideración práctica importante en los problemas aplicados de control del ruido. Por ejemplo, consideremos el ruido del avión anterior. Dado que el ruido de esta fuente es direccional, la orientación de las pistas de un aeropuerto puede ser de considerable importancia para el control del ruido en las áreas residenciales de comunidades próximas a él.

4.3. RUIDO AMBIENTAL

Se puede definir la contaminación acústica como la existencia de ruido o vibraciones producidos por cualquier tipo de foco emisor, que impliquen riesgo, daño o molestia para las personas, el desarrollo de sus actividades y bienes de cualquier naturaleza, o perjuicio para el medio ambiente. Según la Directiva Europea 2002/49/CE el **ruido ambiental** es el sonido no deseado o nocivo generado por la actividad humana en el exterior, incluido el ruido emitido por medios de transporte, emplazamientos industriales o edificios industriales.

El conocimiento de las fuentes de ruido exteriores e interiores a los edificios es importante para la ubicación de estos y determinar el aislamiento acústico exigible en los edificios en función de su uso. La situación y disposición de los volúmenes de edificación en el planeamiento urbanístico y los cerramientos del edificio deben estar en consonancia con las fuentes de ruido en el medio circundante.

a) EL RUIDO DEL TRÁFICO RODADO

El ruido producido por el tráfico rodado se ha convertido en las últimas décadas en la fuente de ruido que afecta a mayor número de personas. El ruido de tráfico urbano e interurbano es el resultado de la contribución de diferentes fuentes individuales de ruido (automóviles, camiones, autobuses, motos...) todas ellas tienen diferentes espectros y características de emisión. Por otra parte, hay que tener en consideración el estado de la calzada, las características geométricas de las calles por las que se circula....

El ruido de un vehículo en circulación es el resultado de la superposición de los diversos ruidos producidos por el motor, sistemas de transmisión, neumáticos, carrocería, sistema de escape, sistemas de aire acondicionado..... Por otro lado, los niveles de presión sonora producidos por el tráfico rodado dependen entre otras cosas, del porcentaje de vehículos pesados, pues estos son más ruidosos que el resto de los vehículos.

La evaluación de los niveles sonoros producidos por el tráfico puede realizarse a través de dos formas distintas: medición y predicción. Los métodos de medición consisten en la realización de mediciones acústicas *in situ* con la instrumentación adecuada. Los métodos de predicción se basan en el conocimiento de las teorías de emisión y propagación del sonido, éstas permiten calcular los niveles sonoros mediante simulación de situaciones reales o predecibles mediante modelos matemáticos o físicos. Generalmente se combinan los dos procedimientos. Los métodos de medición únicamente proporcionan información sobre una situación concreta espacio temporal. Los métodos de predicción pueden utilizarse para situaciones existentes y para otras que se puedan imaginar. Sus costes son menores y pueden simularse diferentes escenarios, con diferentes intensidades de tráfico, tipos de pavimentos, condiciones atmosféricas.... No obstante, los modelos de predicción deben contrastarse de forma continua con los niveles reales.

En una autovía o en una autopista el tráfico está formado por un número de vehículos de diferentes tipos, clases, marcas y modelos, cuya distribución depende entre otros factores del tipo de vía y hora del día. Cuando se quieren calcular los niveles producidos por los vehículos, se suele asumir que hay tres tipos de vehículos: automóviles, camiones medios y camiones pesados. Como ejemplo en la tabla siguiente se indican los niveles de presión sonora promedios medidos a 1,2 m del suelo a una distancia de 15 m para vehículos circulando por autopistas a dos velocidades diferentes:

Tipo de vehículo	Velocidad km/h	L _p , en dB, en cada una de las bandas de octava, Hz						L _{pA}
		125	250	500	1000	2000	4000	
Automóvil	56	65	61	62	61	57	53	65
	88	71	68	66	68	66	60	72
Camión	56	87	84,5	81,5	78	74,5	70,5	83,5
	88	87,5	85	87,5	82,5	77	73,5	87,5

La mayoría de las fórmulas de predicción existentes constan de una expresión matemática central a la que posteriormente se le aplican diferentes correcciones debidas a composición del tráfico, velocidad del mismo, tipo de vía, tipo de capa de rodadura. Como un ejemplo, se muestra la fórmula de cálculo predictivo de niveles sonoros ambientales producidos por el tráfico rodado en Madrid es la siguiente:

$$L_{Aeq} = C + C_T \log(Q + 1900q) \pm 1dB$$

donde C se toma como 42,4 en período día y 44 en período noche, Q es el número total de vehículos por hora y q el número de vehículos pesados por hora. Por otro lado, C_T es una constante de transformación cuyo valor se establece igual a 4,40829 en período día y 4,0442 en período noche. A efectos de la Ordenanza de Protección del Medio Ambiente Urbano del Ayuntamiento de Madrid, el día se divide en dos períodos: el diurno constituido por 16 horas continuas de duración y comienzo a las 7 horas (7-23 horas), y el nocturno, constituido por las restantes ocho horas, 23-7 horas. En días festivos, el período diurno se reduce a 15 horas continuas de duración y comienzo a las ocho horas.

Por otro lado, en zonas urbanas la presencia continua de edificios altos a uno y otro lado de la vía aumenta los niveles de presión sonora, a causa de las sucesivas reflexiones sobre las fachadas, produciendo lo que se denomina reverberación urbana. En una vía urbana con perfil en U para un carril de tráfico, el incremento del nivel de presión sonora debido a la reverberación urbana se puede calcular mediante la expresión:

$$\Delta L_{rev} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{r}{r + 2d_{fachada}} \right)^2 (1 - \alpha) \right] + R$$

siendo $R = 4 \left(\frac{h_{edificio}}{w_{calle}} \right) \leq 3$, r es la distancia perpendicular del tráfico al receptor, $d_{fachada}$ es la distancia

entre el receptor y la fachada del edificio más próximo, α es el coeficiente de absorción de la fachada del edificio, $h_{edificio}$ es la altura del edificio y w_{calle} es la anchura de la calle. La reverberación urbana depende de la forma de las fachadas de los edificios y de su absorción. Predicciones más precisas son posibles con programas de simulación.

Una de las innovaciones para mejorar la seguridad y comodidad en el tráfico de vehículos en las vías de circulación en días de lluvia fue la utilización de materiales porosos, estos permiten el drenaje del agua hacia los márgenes de la carretera y una mejora de la visibilidad durante la conducción al disminuir las reflexiones de la luz sobre el pavimento. Desde el punto de vista acústico la colocación de pavimentos porosos disminuye el ruido de rodadura de los vehículos y aumenta la absorción acústica del pavimento, con lo que disminuye los niveles sonoros en las proximidades de las vías de circulación. Se comprueba experimentalmente que a velocidades superiores a 70 km/h, el espesor óptimo del pavimento es de 40 mm para tener la mayor absorción acústica en el rango más amplio de frecuencias. La atenuación acústica de una asfalto poroso en buen estado de mantenimiento medido al lado de la carretera es en general del orden de 3-5 dB ponderados A.

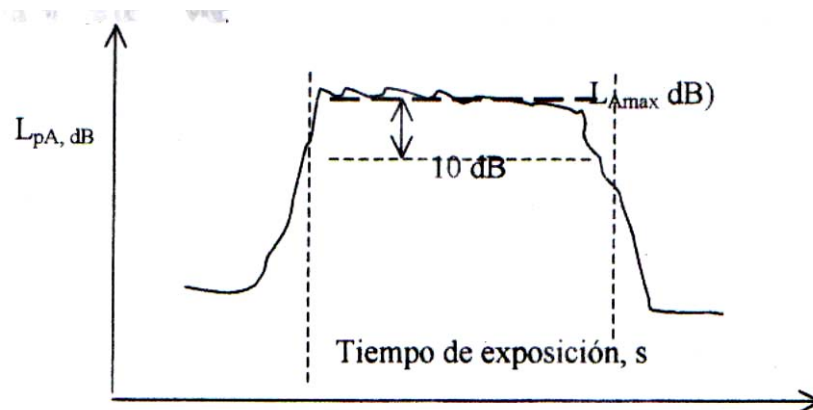
b) EL RUIDO DE FERROCARRILES

El ferrocarril es uno de los medios de transporte más efectivo. Con el aumento de la población en las grandes ciudades y el transporte de productos ha aumentado de forma espectacular el número de operaciones ferroviarias y en consecuencia el impacto acústico del ferrocarril. Las molestias producidas por el ruido de los ferrocarriles de superficie de una zona dependen del número de trenes que circulen.

El espectro de frecuencias de los niveles sonoros producidos por los trenes es característicos y se distingue fácilmente de los originados por otros medios de transporte, predominan las altas frecuencias debido a que la causa principal es la interacción entre la rueda y el rail aunque también están los ruidos por ejemplos ligados al sistema de propulsión de vagones y locomotoras, a su equipamiento auxiliar... El ferrocarril subterráneo no contribuye a aumentar los niveles sonoros ambientales, pero puede ocasionar en los edificios situados en su proximidad niveles molestos de ruidos y vibraciones.

Se conoce con el nombre de firma acústica de un tren, a la evolución del nivel de presión sonora en un punto, producido por el paso de un tren en el transcurso del tiempo. Habitualmente se expresa con ponderación A. Una característica común a todas ellas es la forma trapezoidal de la envolvente que consta de:

- 1) Parte inicial con una pendiente pronunciada, que varía con la velocidad de aproximación del tren y la distancia del punto de medición a la vía.
- 2) Una meseta, producida por el paso del tren frente al punto de medición, depende del número de locomotoras y vagones del tren. El nivel de presión sonora en la meseta se llama L_{Amax} , medido en dB ponderados A, también depende del tipo de tren, de su velocidad y de la distancia de la vía al punto de medición.
- 3) Parte final, debida al alejamiento del tren, con un decrecimiento más lento.



Algunos valores aproximados del nivel de presión sonora en la meseta, L_{Amax} en trenes franceses y españoles se indican en la siguiente tabla:

Tipos de trenes	Velocidad, km/h	L _{Amax} dB	
		d ₀ = 7,5 m	d ₀ = 25 m
Cercanías	100		79
Cercanías	120		81
Rápidos	200	104	97
Expresos	140	97	92
Correos	100	96	89
Mercancías	80	93	86
ETG	155	96	91
TVG	270	105	97
Trenes españoles			
AVE	300		94,5
TALGO	200		96

Tabla Niveles de presión sonora en la meseta, L_{Amax} en trenes franceses y españoles

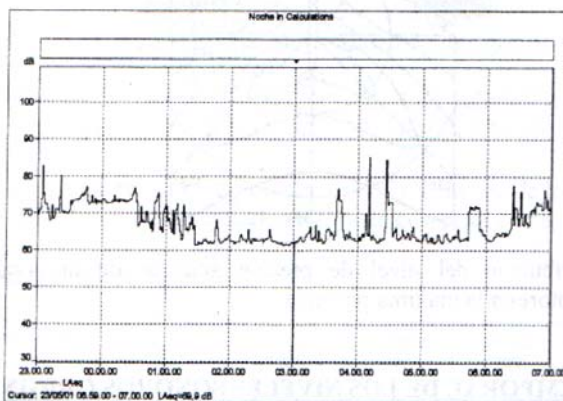
c) EL RUIDO DE AERONAVES

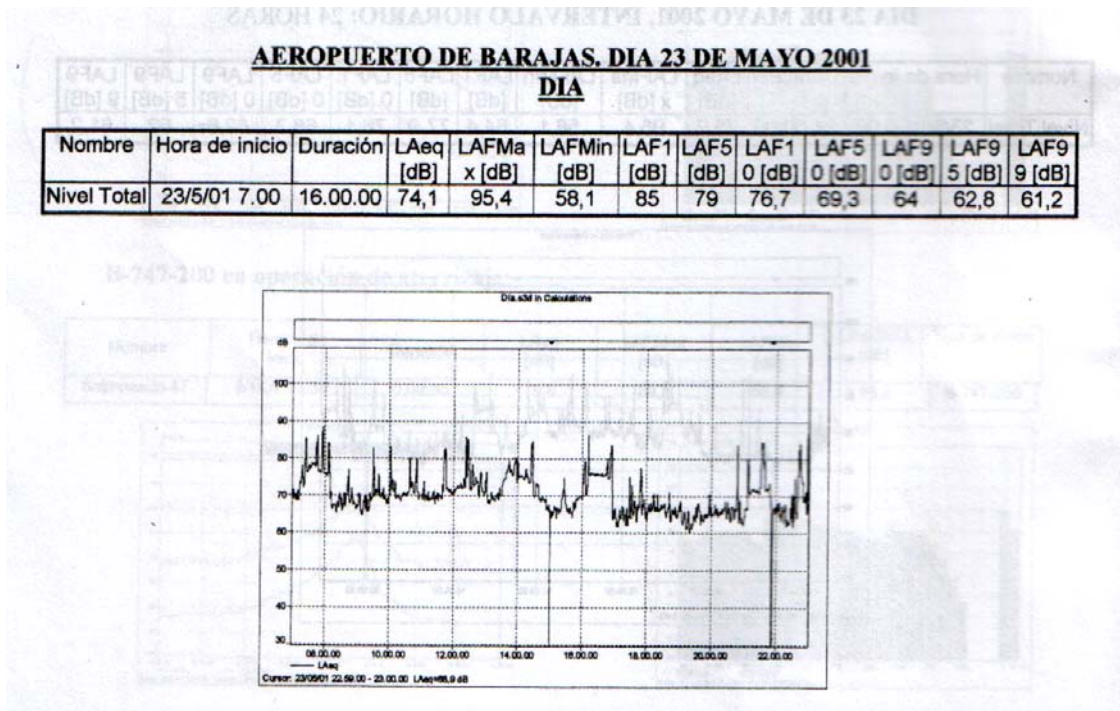
De todos los medios de transporte, los aviones son los que emiten mayor cantidad de energía acústica, lo que unido a su dependencia de los aeropuertos hace que las molestias que se ocasionan en las localidades situadas en sus inmediaciones sean verdaderamente importantes.

De forma general, los niveles máximos de ruido producidos por un avión se producen en la operación de despegue, pues se exige a los motores el máximo de potencia; le sigue en importancia el sobrevuelo, y por último, el aterrizaje, en esta última operación el nivel de los ruidos generado es del orden de 20 dB superior al de vuelo normal. La duración del sobrevuelo en la operación de despegue es mucho mayor que en el aterrizaje.

AEROPUERTO DE BARAJAS. DIA 23 DE MAYO
NOCHE

Nombre	Hora de inicio	Duración	LAeq [dB]	LAFMa x [dB]	LAFMin [dB]	LAF1 [dB]	LAF5 [dB]	LAF1 0 [dB]	LAF5 0 [dB]	LAF9 0 [dB]	LAF9 5 [dB]	LAF9 9 [dB]
Nivel Total	22/5/01 23.00	8.00.00	70	91,6	59,6	78,3	74,5	73,5	64,4	62	61,7	61,2





d) EL RUIDO EN LA CONSTRUCCIÓN

La causa más importante de ruido en la construcción se debe a la maquinaria empleada en la misma, generalmente de gran tamaño, que origina unos ruidos de carácter continuo, con un amplio rango de niveles y con componentes impulsivas. Tampoco es desdeñable el ruido producido por vehículos pesados que traen o llevan material a la obra.

Los ruidos que produce la construcción dependen de las características de la fase en que se encuentre la misma. Según sus características acústicas, la Agencia del Medio Ambiente estadounidense establece cinco fases consecutivas en la construcción:

- 1) Preparación del terreno, incluyendo la demolición de la estructura existente.
- 2) Excavación.
- 3) Cimentación, incluyendo reacondicionamiento de firmes, compactación y entibación de zanjas.
- 4) Levantamiento de estructura, forjados, tabiques, ventanas y conducciones en general.
- 5) Terminación, incluyendo pavimentación y limpieza.

La tabla siguiente muestra los niveles sonoros continuos equivalentes producidos por estas cinco fases en distintos tipos de construcciones. Las columnas A o B dependen de que en la obra este presente todo tipo de maquinaria (A), o que esté la maquinaria mínima imprescindible (B):

FASE	TIPO DE CONSTRUCCIÓN							
	VIVIENDAS		OFICINAS, HOSPITALES HOTELES		APARCAMIENTOS, GARAJES, ALMACENES		OBRAS PÚBLICAS	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	83	83	84	84	84	83	84	84
2	88	75	89	79	89	71	88	78
3	81	81	78	78	77	77	88	88
4	81	65	87	75	84	72	79	78
5	88	72	89	75	89	74	84	84

Las fases de excavación y de terminación son las más ruidosas.

4.4. PROPAGACIÓN DEL SONIDO AL AIRE LIBRE

Cuando no existe degradación de la energía sonora en el medio donde se propagan las ondas, la intensidad de una onda plana permanece constante y la de una onda esférica disminuye con el inverso del cuadrado de la distancia a la fuente. En la práctica, la propagación del sonido se halla siempre acompañada de una disipación de energía acústica en forma de energía calorífica.

Se comprueba que, para ondas planas y esféricas, la disminución de intensidad acústica que acompaña a estos fenómenos es proporcional a la intensidad acústica en el punto considerado. Las expresiones de la distancia a una distancia x o r de la fuente son:

Para ondas planas:

$$I(x) = I(x_0)e^{-2\alpha(x-x_0)}$$

donde x_0 es un punto de referencia, $I(x_0)$ la intensidad en dicho punto y α la constante de atenuación del medio.

Para ondas esféricas:

$$I(r) = I(r_0) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 e^{-2\alpha(r-r_0)}$$

donde r_0 es un punto de referencia, $I(r_0)$ la intensidad en dicho punto y α la constante de atenuación del medio.

La propagación del sonido al aire depende fundamentalmente de la naturaleza y distribución de las fuentes sonoras, de las condiciones atmosféricas, topografía del terreno y obstáculos interpuestos. Para la resolución práctica de problemas de control del ruido al aire libre, es necesario conocer gran número de datos meteorológicos de la zona a estudiar. La absorción del sonido en el aire puede no ser tenida en cuenta para distancias pequeñas a la fuente sonora (menos de 100m), excepto para frecuencias superiores a 5 kHz. A grandes distancias, donde la atenuación debida a la absorción del aire es importante a todas las frecuencias, el nivel sonoro deberá ser calculado en todas las bandas de frecuencias, a la temperatura y

humedad relativa dada. La Norma ISO 9613-1 proporciona una información amplia sobre los coeficientes de atenuación atmosférica.

En el aire libre, el nivel de presión acústica a una distancia r de una fuente sonora direccional, considerada como puntual, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_p(r) = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2} - A_{combinada}$$

donde $A_{combinada}$ es un término que tiene en cuenta la atenuación que producen factores como el suelo, condiciones atmosféricas, barreras.... y se puede descomponer de la siguiente manera:

$$A_{combinada} = A_{aire} + A_{suelo} + A_{complementaria}$$

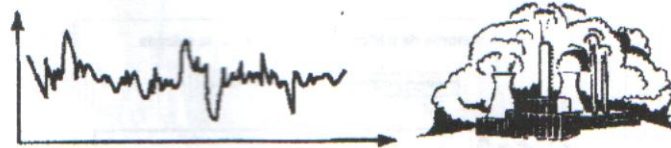
El término $A_{complementaria}$ puede ser originado por la vegetación, propagación a través de zonas de edificios.... En general, cada uno de los términos se evalúan por separado, e independientemente de los demás. Generalmente es necesario calcular la atenuación en cada banda de octava por separado, pues la atenuación de cada término de $A_{combinada}$ varía con la frecuencia.

4.5. ÍNDICES DE VALORACIÓN DEL RUIDO

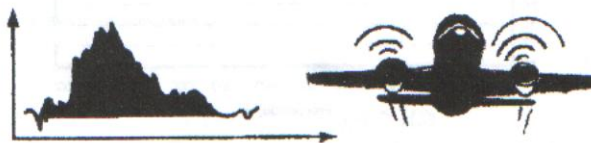
El sonido es una forma de energía, por tanto, el daño auditivo no depende únicamente de su nivel, sino también de su duración. Por ello para valorar el daño auditivo potencial de un determinado ambiente sonoro, se deben medir y combinar el nivel sonoro y la duración de la exposición para poder determinar el nivel de energía recibida.

Los ruidos pueden ser continuos, intermitentes, impulsivos..... Para medir el ruido es necesario conocer el tipo de ruido, con ello se pueden elegir los parámetros acústicos a medir y la duración de las mediciones. A continuación se representan algunos tipos de ruido:

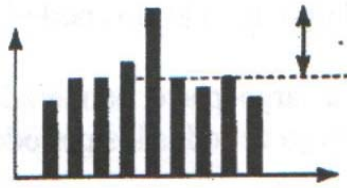
1. Ruido continuo:



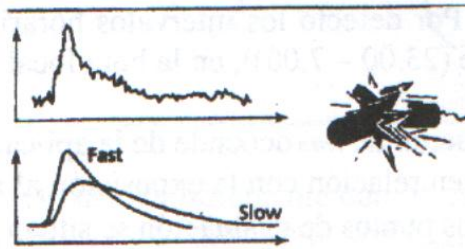
2. Ruido intermitente:



3. Ruido tonal:



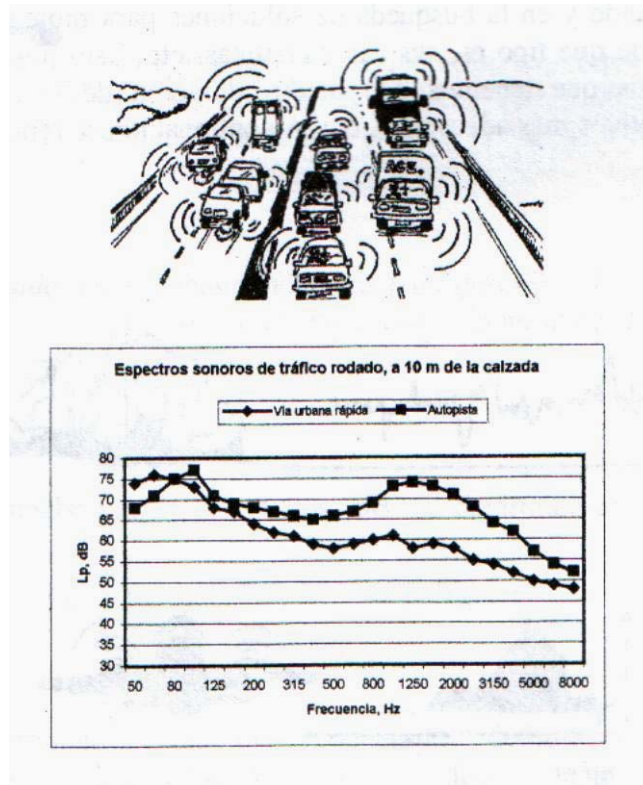
4. Ruido impulsivo:



5. Ruidos de bajas frecuencias: son molestos y difíciles de amortiguar. Se oyen a gran distancia. Es típico de grandes motores diesel en trenes, barcos, centrales de energía, etc...



6. Ruido de tráfico rodado:



A continuación se definen algunos de los parámetros acústicos más habituales:

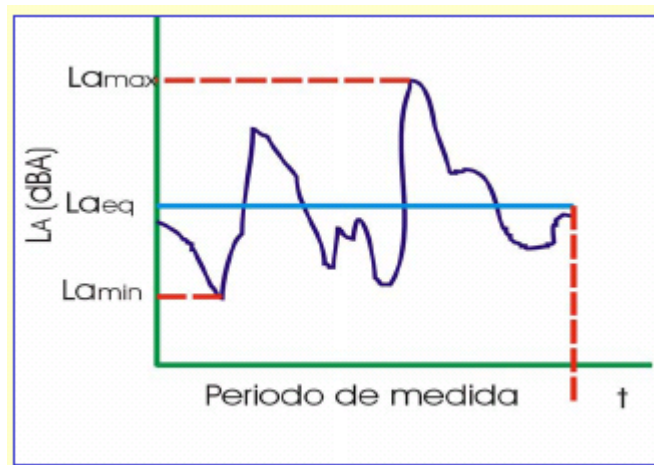
1. NIVEL DE PRESIÓN SONORA CONTINUO EQUIVALENTE:

Como ya se ha indicado, la unidad de procesado permite realizar medidas globales, o bien por bandas de frecuencias con diferentes respuestas temporales. Los sonómetros también incluyen un rectificador que permite realizar medidas de nivel de presión sonora obtenido como resultado de promediar linealmente la presión sonora cuadrática instantánea a lo largo del tiempo de medida. Este tipo de sonómetro representa la alternativa actual al sonómetro convencional ya que permite disponer de tiempos de promediado más largos, pudiendo llegar a muchos minutos, o incluso, horas y reciben el nombre de sonómetros integradores.

A esta medida se le denomina nivel continuo equivalente de presión sonora y se designa por L_{eq} y matemáticamente se especifica de la siguiente manera:

$$L_{eq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{ef}^2}{p_0^2} dt$$

esto es, es el nivel de un ruido estable que corresponde al promedio integral en el tiempo de la presión sonora al cuadrado producida por fuentes de sonido estables, fluctuantes, intermitentes, irregulares o impulsivos en el mismo intervalo de tiempo.



El nivel sonoro continuo equivalente en un determinado punto de medición de un sonido que cambia con el tiempo es igual al nivel de un sonido estable equivalente para la misma duración de la medida y como hemos dicho es una cantidad que se puede medir directamente con un sonómetro integrador. La diferencia fundamental entre el nivel sonoro continuo equivalente y el nivel sonoro con ponderación temporal se basa en que el nivel sonoro continuo equivalente se base en una ponderación de tiempo uniforme, es decir, la presión sonora al cuadrado promediada de todos los sonidos que se producen en cualquier momento durante el intervalo de tiempo a que se refiere el nivel sonoro continuo equivalente indicado. El nivel sonoro con ponderación temporal se basa en una ponderación exponencial de tiempo, que da lugar a niveles sonoros influidos fundamentalmente por los sonidos que han ocurrido más recientemente. Para la mayoría de las aplicaciones de control técnicos del ruido se prefieren las

medidas de los niveles sonoros continuos equivalentes a las de los niveles sonoros con ponderación temporal.

Habitualmente se utilizan las ponderaciones de frecuencia A para la medida de los niveles de presión sonora continuos equivalentes. Se escribe $L_{Aeq,T}$ donde T es el intervalo de tiempo de medida y se calcula:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2}{p_0^2} dt$$

Para la mayoría de los problemas de control de ruido, el intervalo de tiempo para la medición del nivel sonoro continuo equivalente varía entre varios segundos y algunas horas. La utilización de este parámetro $L_{Aeq,T}$ está recomendada cuando el nivel sonoro es fluctuando y se desea conocer el valor medio de la exposición a lo largo de un intervalo de tiempo. Se utiliza para evaluarlas molestias por exposición a ruidos, evaluación de ruidos de tráfico.....

En la descripción de ruidos comunitarios son habituales los siguientes niveles sonoros continuos equivalentes, aunque pueden variar los intervalos horarios según los países:

a) Nivel sonoro día: el nivel sonoro día es el nivel sonoro continuo equivalente medido para horas diurnas, entre las 7 de la mañana y las 23 horas, se escribe $L_{Aeq,día}$ o L_d . Puede medirse con un sonómetro integrador o calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora según la expresión:

$$L_d = 10 \log \left\{ \frac{1}{16} \left[\sum_{i=7}^{23} 10^{0,1L_{in}(i)} \right] \right\}$$

los dieciséis niveles sonoros promedio están medidos entre las 7 de la mañana y las 11 de la noche, se mide de 7 a 8, de 8 a 9.... En el símbolo sumatorio se indica la hora de finalización.

b) Nivel sonoro noche: es el nivel de presión continuo equivalente medido para horas nocturnas entre las 23 horas y las 7 de la mañana. Se escribe $L_{Aeq,noche}$ o L_n . Puede medirse con un sonómetro integrador o calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_n = 10 \log \left\{ \frac{1}{8} \left[\sum_{i=23}^7 10^{0,1L_{in}(i)} \right] \right\}$$

c) Nivel sonoro corregido 24 horas: este parámetro fue desarrollado en California para evaluar y regular el ruido en las comunidades. También se le llama nivel sonoro día-tarde-noche: L_{den} . Es el nivel sonoro continuo equivalente ponderado A para 24 horas, obtenido después de añadir 5 dB a los niveles sonoros comprendidos entre las 19 y las 23 horas y 10 dB a los niveles sonoros entre las 23 y las 7 horas. Se puede calcular mediante los niveles sonoros horarios, sustituyendo en la expresión:

El nivel sonoro corregido 24 horas L_{den} puede ser calculado del conjunto de los 24 niveles sonoros correspondientes a cada hora, mediante la expresión:

$$L_{den} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[\sum_{i=7}^{19} 10^{0,1L_{1h}(i)} + \sum_{i=19}^{23} 10^{0,1(L_{1h}(i)+5)} + \sum_{i=23}^7 10^{0,1(L_{1h}(i)+10)} \right] \right\}$$

2. NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA:

El nivel de exposición sonora es un índice útil para calcular los niveles sonoros que resultan de cualquier combinación de fuentes sonoras y está especialmente indicado para la evaluación de sucesos tales como sobrevuelos de aeronaves, paso de trenes...

El nivel de exposición sonora de un suceso de ruido discreto, L_{AE} se especifica matemáticamente de la siguiente manera:

$$L_{AE} = 10 \log \frac{1}{T_0} \int_0^T \frac{p_A^2}{p_0^2} dt$$

donde T_0 es el tiempo de referencia de un segundo y p_A es la presión sonora instantánea ponderada A y T es el intervalo de tiempo establecido que abarca los sonidos significantes de un evento elegido. Por la expresión se deduce que el L_{AE} se define como un sonido de nivel constante que actúa durante un segundo y que tiene la misma cantidad de energía sonora que el sonido original en un intervalo de tiempo T. A veces se escribe como L_{AX} , single event exposure level.

Cuando el ruido ambiental es el resultado de los sonidos procedentes de uno más sucesos acústicos identificables, como el sonido del funcionamiento repetido de una máquina, paso de camiones o automóviles, o sobrevuelo de aviones), el nivel sonoro continuo equivalente correspondiente, durante un intervalo de tiempo especificado, puede calcularse fácilmente a partir de los niveles de exposición sonora de los sucesos.

Para un suceso acústico único, el nivel sonoro continuo equivalente para el intervalo de tiempo T, se relaciona con el nivel de exposición sonora producido por la fuente de sonido mediante la expresión:

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} - 10 \log \frac{T}{T_0}$$

donde todos los tiempos están en segundos.

Si una serie n de sucesos acústicos se produce durante el intervalo de tiempo T, el nivel sonoro continuo equivalente correspondiente puede calcularse a partir de los niveles de exposición sonora de cada suceso mediante la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AE(i)}} \right)$$

Cuando en la expresión $T = 16h$, el nivel sonoro día se relaciona con el nivel de exposición sonora de la siguiente manera:

$$L_{Aeq,24h} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AE(i)}} - 47,6$$

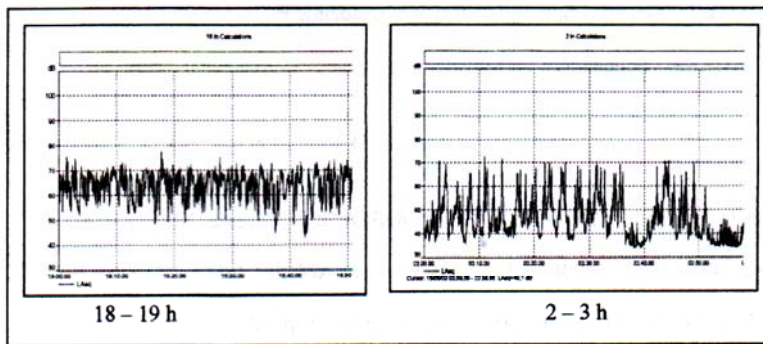
Y para $T = 8h$, es el nivel sonoro noche el que se relaciona con el nivel de exposición sonora:

$$L_{Aeq,24h} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AE(i)}} - 44,5$$

3. NIVELES PERCENTILES:

Las fluctuaciones de los niveles sonoros del ruido en el transcurso del tiempo tienen una influencia considerable en las molestias y en el riesgo que puede producir a las personas expuestas, por ello se estudia su variación temporal en el ruido a tráfico rodado, ferrocarriles....

Los índices más utilizados en el análisis estadísticos son los niveles percentiles, L_{AN} . Estos índices indican los niveles de presión sonora ponderado A, que han sido alcanzados o sobrepasados el N% del tiempo de medición considerado. Lo más utilizados son: L_{A1} , L_{A5} , L_{A50} , L_{A95} y L_{A99} . L_{A1} y L_{A5} son los niveles máximos y L_{A95} y L_{A99} son los niveles de fondo.



Hora de inicio	Tiempo total	LAeq dB	LAFMax dB	LAFMin dB	LA1 dB	LA5 dB	LA10 dB	LA50 dB	LA90 dB	LA95 dB	LA99 dB
14/5/02 18.00	1.00.00	66,2	79,8	42,4	72,9	70,7	69,6	64,8	54,6	52	46,8
15/5/02 2.00	1.00.00	56	73,6	32,8	68,2	63,7	59,6	44,5	36	35,2	34,2

4.6. SOLUCIONES AL RUIDO AMBIENTAL

a) PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA

Mediante los planes urbanísticos la sociedad se autorregula y se ordena su territorio, se hace una previsión de nuevas vías, parques, espacios para viviendas, servicios, infraestructuras... El tema es muy complejo y debe ser abordado por equipos de urbanistas que con diferentes especialidades: arquitectos, ingenieros, sociólogos, economistas, abogados.. traten de abordar todos los factores que afectarán a la actuación urbanística concreta, que satisfaciendo las demandas de la sociedad sean respetuosas y acertadas con la naturaleza y el medio ambiente. Dado que el ruido urbano es uno de los condicionantes más importantes que hacen que las ciudades sean más o menos habitables, en el equipo de urbanistas es necesaria la presencia de un especialista en acústica urbana.

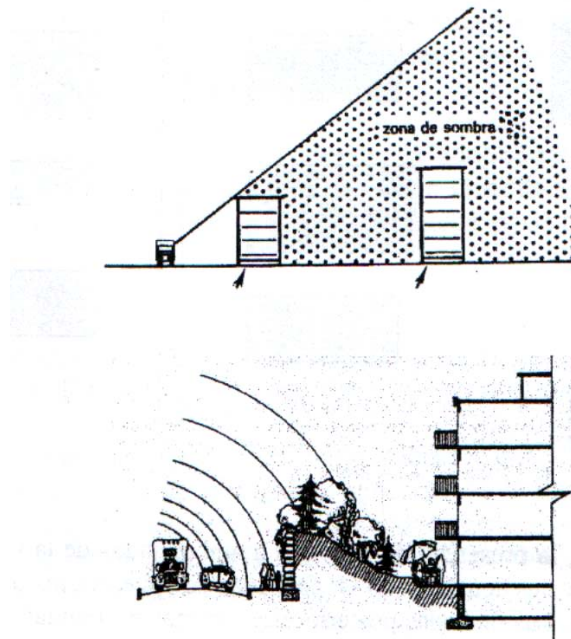
El diseñador de ciudades maneja las opciones que permiten que las ciudades sean más o menos ruidosas. Con unas nociones básicas de acústica, el equipo planificador-urbanista puede diseñar ciudades más habitables, en las cuales la arquitectura pueda desarrollarse sin limitaciones acústicas. Cuando no se tiene en cuenta el ruido en el planteamiento urbano, la ciudad ruidosa nace por generación espontánea. Esto afecta al transeúnte, que no puede mantener una conversación normal en las aceras, balcones y espacios al exterior de la ciudad, y a la arquitectura, de debe utilizar técnicas especiales de aislamiento acústico de los edificios para proteger a los moradores. El ruido debe considerarse de forma efectiva en la planificación y gestión de las ciudades.

El ruido es controlable en la fuente emisora, camino de propagación y lugar de recepción. El urbanista no puede controlar el ruido producido por la fuente, pero el conocimiento de sus propiedades cualitativas y cuantitativas, le permitirá actuar de forma adecuada, para controlar o reducir sus efectos utilizando estrategias que van desde el emplazamiento de los edificios respecto a la fuentes de ruido, al diseño de la distribución interior de los edificios de manera que reduzcan los efectos del ruido.

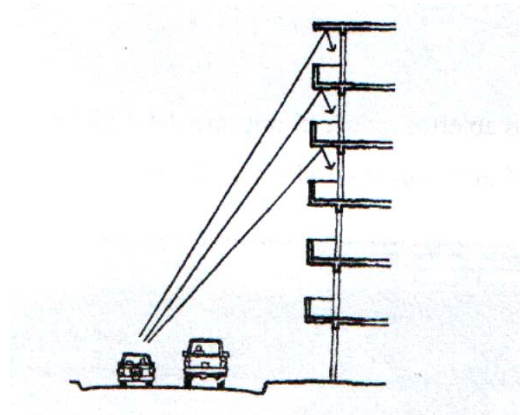
Las diferentes administraciones públicas locales, autonómicas, nacionales y europeas han ido desarrollando una legislación contra el ruido que el urbanista debe tener en cuenta al realizar la planificación.

La ubicación, orientación de los edificios y distribución interior de forma acústicamente correcta, puede contribuir de forma muy importante a la protección de las viviendas frente a los ruidos exteriores. Siempre se deben proteger las fachadas del edificio de las vías de tráfico. Se deben situar a la mayor distancia posible las fuentes de ruido y las zonas del edificio más sensibles al mismo.

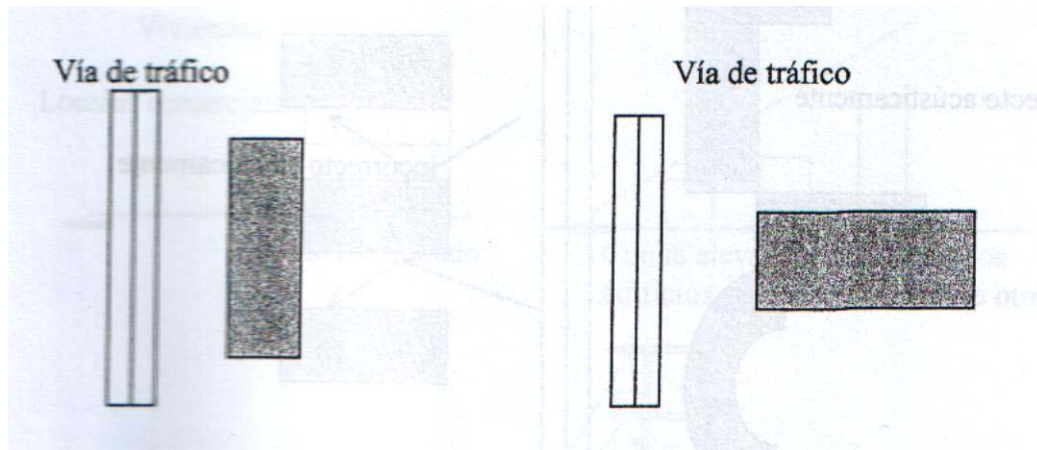
Por ejemplo, cuando se tienen que construir viviendas próximas a una vía con mucho tráfico, es preferible desde el punto de vista acústico que los edificios no superen las tres o cuatro alturas. Con un diseño adecuado de las alturas de un edificio, se pueden utilizar los edificios como barrera acústica.



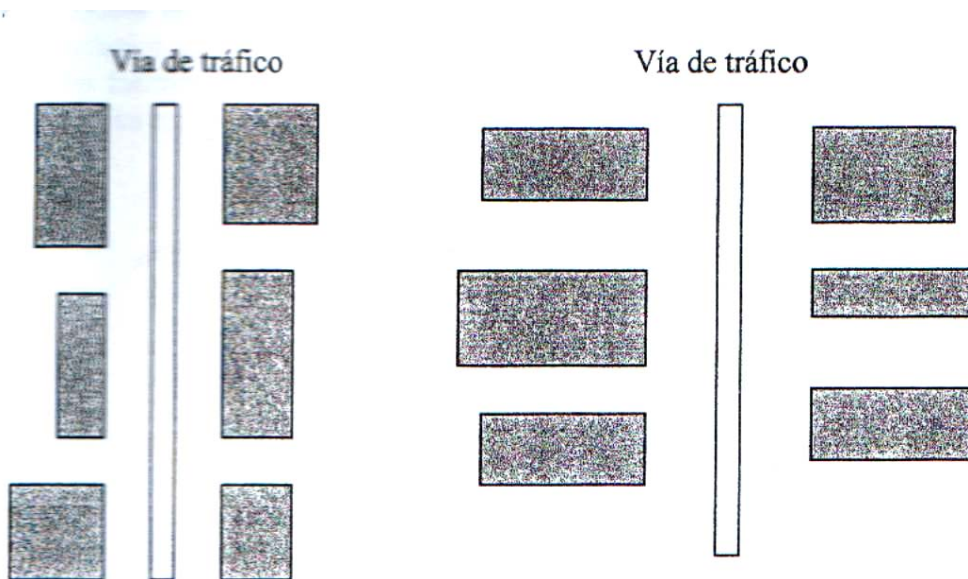
Los retranqueos de la fachadas, el uso de balconadas con petos y la colocación de material acústico absorbente en los soffitos aumentan el aislamiento acústico a ruido aéreo de las fachas de varios dB. Si los soffitos son reflectantes, aumenta el nivel de presión acústica en la fachada.



La ubicación de locales comerciales cerca de una autopista apantalla las viviendas así también como la ubicación de espacios abiertos reduce el impacto del ruidos en zonas residenciales.



Con la disposición paralela, la presencia de edificios a ambos lados de la vía de tráfico aumenta en varios dB los niveles acústicos en las fachadas de los edificios próximos a la vía, debido a las reflexiones. Las fachadas posteriores están más protegidas. La disposición perpendicular de los edificios evita el aumento de los niveles acústicos debido a las reflexiones, ninguna fachada está verdaderamente protegida.



b) BARRERAS ACÚSTICAS

En los últimos años el ruido originado por el tráfico de ferrocarriles y automóviles ha aumentado de forma importante convirtiéndose en una de las grandes molestias para la población. Cuando la planificación urbanística no es la adecuada, es necesaria la consideración del aislamiento al ruido aéreo de las fuentes de ruidos exteriores a los edificios, y para este fin se utilizan las barreras acústicas.

Una *barrera acústica* o *pantalla acústica* es un obstáculo que debido a su citación y propiedades, se coloca entre una fuente sonora y un determinado receptor. La barrera tiene que tener un

tamaño mayor que las longitudes de onda procedentes de la fuente sonora. Tienen como usos preferentes el control de ruidos procedentes del tráfico de automóviles, trenes y maquinaria. A partir de 1980 se aplican técnicas de cálculo numérico para la resolución del efecto de las barreras acústicas en problemas ambientales, y actualmente los estudios de simulación son una herramienta muy importante.

Las pantallas acústicas más habituales están constituidas por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados..... y se utilizan diferentes materiales: hormigón, madera, vidrio, elementos metálicos, plásticos, elementos prefabricados con material absorbente. Sus propiedades varían mucho de un modelo a otro y su eficacia depende de forma muy importante de su instalación. También existen pantallas vegetales que están formadas por masas de vegetación muy densas. Únicamente son eficaces si su anchura es apreciable.

La eficacia de una pantalla acústica se mide generalmente mediante las pérdidas por inserción, IL (Insertion Loss). Se define la **pérdida por inserción** de una pantalla acústica, para una determinada banda de frecuencia, en un punto dado, a la diferencia entre los niveles de presión acústica en ese punto antes y después de estar la pantalla construida:

$$IL = L_p(\text{antes}) - L_p(\text{después})$$

La atenuación del ruido mediante una pantalla depende fundamentalmente de: dimensiones de la pantalla, distancia entre el emisor y el receptor, espectro sonoro del ruido, material del que está construida la pantalla y características acústicas del lugar donde se va a instalar. Debido a la presencia de la pantalla se producen fenómenos físicos de reflexión, absorción, transmisión y difracción. El receptor situado detrás de la pantalla recibe la energía sonora transmitida y la difractada. Si la pantalla está bien diseñada, la energía sonora transmitida es muy inferior a la difractada. Al difractar la pantalla la onda incidente la atenuación depende de la frecuencia, siendo mayor a altas frecuencias. En la práctica la atenuación máxima por difracción de una barrera es aproximadamente 24 dB. Otra forma útil de aumentar la atenuación de las barreras es mediante la colocación de materiales absorbentes en la cumbre, disminuyendo de esta forma la energía difractada.

