

MÓDULO: CONTAMINACIÓN SONORA

CONTENIDOS

1	<u>SONIDO.....</u>	<u>2</u>
1.1	SOBRE LA FRECUENCIA	2
1.2	SOBRE LA INTENSIDAD	4
1.3	NIVEL DE PRESIÓN SONORA	7
1.4	PARÁMETROS REPRESENTATIVOS EN UN INTERVALO DE TIEMPO	10
1.5	CURVAS DE PERMANENCIA	11
2	<u>SONIDO Y AUDICIÓN</u>	<u>12</u>
2.1	FUNCIONAMIENTO DEL OÍDO	12
2.2	CURVAS ISÓFONAS Y SENSACIÓN AUDITIVA	12
2.3	EFFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD HUMANA	13
2.4	REDES, ESCALAS O CURVAS DE PONDERACIÓN FRECUENCIAL	15
3	<u>EL RUIDO COMO CONTAMINANTE</u>	<u>18</u>
3.1	RUIDO Y SONIDO	18
3.2	RUIDO Y MOLESTIA	18
3.3	CALIDAD ACÚSTICA AMBIENTAL	19
3.4	CONTAMINACIÓN SONORA	19
4	<u>LOS RUIDOS EN LA CIUDAD.....</u>	<u>20</u>
4.1	FORMAS DE EXPOSICIÓN A RUIDO	20
4.2	FUENTES DE RUIDO	20
4.3	RUIDO COMUNITARIO.....	21
4.4	RUIDO DE TRÁFICO.....	21
4.5	RUIDO DE TRÁFICO AÉREO	22
5	<u>GESTIÓN DE RUIDO URBANO.....</u>	<u>22</u>
5.1	ASPECTOS GENERALES.....	22
5.2	NORMATIVA SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN NUESTRO PAÍS	23
6	<u>LOS MAPAS ACÚSTICOS O MAPAS DE RUIDO</u>	<u>25</u>
6.1	¿QUÉ ES UN MAPA ACÚSTICO?	25

6.2	TIPOS DE MAPAS	26
6.3	LOS MAPAS ACÚSTICOS COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN	27
7	<u>ALGUNAS MEDIDAS APLICABLES AL CONTROL DEL RUIDO AMBIENTAL</u>	31
7.1	PAVIMENTOS ABSORBENTES.....	32
7.2	BARRERAS ACÚSTICAS.....	32
7.3	ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO	33
8	<u>BIBLIOGRAFÍA BÁSICA</u>	34
	<u>ANEXO - GUÍA: VALORES PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA (2023)</u>	34
1.	OBJETIVO	34
2.	DESCRIPCIÓN.....	35
3.	MODIFICACIONES	37
4.	PARTICIPACIÓN	37

1 Sonido

Físicamente, el *sonido* es una *onda de presión* que se desplaza en un *medio elástico* y que, de acuerdo con su frecuencia y amplitud, puede *generar sensación auditiva* en las *personas*. En el caso en que el medio de propagación es el aire, el sonido es *una onda de variación de la presión atmosférica*. A una temperatura de 20 °C, la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el aire es de $c = 344$ m/s.

El sonido se caracteriza por dos propiedades físicas: su frecuencia y su intensidad (relacionada con la amplitud de la onda). También resulta de interés la variación y permanencia del sonido en el tiempo, sobre todo en lo que tiene que ver con los efectos que puede producir en los receptores.

1.1 Sobre la frecuencia

La *frecuencia* (f), expresada en Hertz (Hz), representa el número de ciclos de presión que se producen por unidad de tiempo. Se define como la inversa del período de la onda (T), que es el tiempo promedio que transcurre entre dos repeticiones de un evento cíclico, expresado en unidades de tiempo (segundos, s, por ejemplo).

$$f = \frac{1}{T}$$

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ s}^{-1}$$

El rango de frecuencias que es capaz de percibir el oído humano sano promedio va de 20 Hz a 20.000 Hz, si bien con intensidades muy altas se ha demostrado que se pueden oír sonidos de frecuencias mucho menores.

Las ondas de presión con frecuencia superior a 20.000 Hz se designan como *ultrasonidos*, en tanto las que tienen frecuencia por debajo de 20 Hz suelen designarse como *vibraciones* o *infrasonidos*.

1.1.1 Tonos, sonido de banda ancha

La perturbación periódica más simple es la onda sinusoidal, que es aquella en la que la presión varía en el tiempo según el seno de un ángulo que depende de la frecuencia f de la onda:

$$p(t) = p_{\text{máx}} \cdot \text{sen}(2\pi f \cdot t)$$

En este caso el sonido resultante se denomina **tono puro**, debido a que auditivamente produce la sensación de “altura” o “entonación” en el oído humano. Los tonos puros sólo ocurren excepcionalmente en la Naturaleza (por ejemplo, el zumbido del mosquito o el silbido del viento al pasar por una pequeña sección). Sin embargo, el concepto de tono es de gran aplicación en acústica pues, tal como lo establece el Teorema de Fourier, todo sonido periódico de frecuencia f puede considerarse como una superposición de tonos puros cuyas frecuencias son múltiplos enteros de f . Estos sonidos se denominan simplemente **armónicos** (o *sobretonos armónicos*) de la frecuencia f , que se denomina **frecuencia fundamental**.

Existen también sonidos no periódicos. Cuando los sonidos no periódicos contienen energía en frecuencias diferentes y tan próximas entre sí que no es posible individualizarlas auditivamente, el sonido resultante se designa habitualmente como *sonido de banda ancha*, *ruido de banda ancha* o, simplemente, **ruido**. Ejemplos de estos sonidos son el ruido del mar, el ruido del viento en la copa de los árboles, o el sonido que resulta al pronunciar algunas consonantes. Algunos de ellos tienen características que pueden hacerlos de interés terapéutico en ciertas enfermedades.

1.1.2 Análisis espectral

De acuerdo con el Teorema de Fourier, cualquier sonido puede entenderse o analizarse como una superposición de muchos otros sonidos de diferentes frecuencias. La forma más ventajosa de descomponer un sonido real en otros más simples es hacerlo en los componentes que resultan de emplear para ello un conjunto de intervalos de frecuencias conocidos que se designan como *bandas de frecuencias*.

A los efectos de la amplia mayoría de las aplicaciones de ingeniería, como el diseño de soluciones de acondicionamiento acústico, este tratamiento es necesario para conocer la *composición espectral* de la señal a considerar. Esto se debe a que la respuesta de un material en cuanto a absorción y aislamiento varía según la frecuencia de la señal incidente. Para ello se recurre al *análisis de bandas* o *análisis espectral*.

Habitualmente se trabaja en *bandas de octava* o de *tercios de octava*, que son bandas cuyo ancho varía en función de la frecuencia considerada para definir la banda.

1.1.3 Bandas de octava (BO), bandas de tercio de octava (BTO)

Se denomina “*banda de octava*” a cualquier porción de un eje de frecuencias que quede definida por una relación de frecuencias donde la frecuencia superior es el doble de la inferior:

$$f_{\text{sup}} = 2 \cdot f_{\text{inf}}$$

Es por ello que cada banda de octava tiene una amplitud mayor que la anterior. Vale la pena indicar que en la octava musical (que es el intervalo que se forma entre notas sucesivas que se llaman igual, por ejemplo de un *do* al siguiente *do*) se cumple esta misma relación de frecuencias.

En el caso de las bandas de tercio de octava, la relación entre las frecuencias inferior y superior es tal que:

$$f_{\text{sup}} = 2^{1/3} \cdot f_{\text{inf}}$$

Siguiendo con la analogía musical, una banda de tercio de octava corresponde a un intervalo de tercera menor, y un semitono en la escala temperada, a una relación $f_{\text{sup}} = 2^{1/12} \cdot f_{\text{inf}}$.

Al definir de esta manera las bandas de octava y tercio de octava, resulta que las bandas de frecuencias son bandas de ancho variable.

Las bandas de octava y de tercio de octava se designan por su frecuencia central f_c . Si se conoce una de las frecuencias extremas de la banda en cuestión, es posible calcular la frecuencia central f_c , dado que ésta es el promedio geométrico de las frecuencias extremas de la banda. Recíprocamente, conociendo la frecuencia central se pueden calcular las frecuencias extremas.

$$f_c = (f_{\text{inf}} \cdot f_{\text{sup}})^{1/2}$$

A modo de ejemplo, si una banda de octava tiene una frecuencia central de 1.000 Hz, las frecuencias extremas de esa banda se pueden determinar de la siguiente forma:

Por definición, $f_{\text{sup}} = 2 f_{\text{inf}}$
 $(f_{\text{inf}} \cdot f_{\text{sup}})^{1/2} = 1000 \text{ Hz}$

Entonces:

$$(f_{\text{inf}} \cdot 2 f_{\text{inf}})^{1/2} = 2^{1/2} f_{\text{inf}} = 1000 \text{ Hz}$$

Operando:

$$f_{\text{inf}} = 707 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{sup}} = 2 f_{\text{inf}} = 1414 \text{ Hz}$$

Las frecuencias centrales de las bandas de octava y de tercios de octava están estandarizadas según normas internacionales. Por ejemplo, las frecuencias centrales de las bandas de octava normalizadas en el rango audible para el oído humano son las que se muestran en la Figura 1-1iError! No se encuentra el origen de la referencia..

1.2 Sobre la Intensidad

1.2.1 Presión Sonora

El sonido se asocia con una perturbación que consiste en una variación de la presión P del medio con respecto a su presión de equilibrio P_0 . Cuando el medio de propagación es el aire, la presión de equilibrio en un punto, en ausencia de sonido, es la *presión atmosférica*. Físicamente, se puede pensar que el sonido es consecuencia de la aparición de esta diferencia de presiones, o sea de una **sobrepresión o presión incremental p** que varía en el tiempo. Esa presión incremental es mucho menor en magnitud que la presión atmosférica, que vale aproximadamente: $P_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Octavas	Tercios de Octava
	12,5
16	16
	20
	25
31,5	31,5
	40
	50
63	63
	80
	100
125	125
	160
	200
250	250
	315
	400
500	500
	630
	800
1000	1000
	1250
	1600
2000	2000
	2500
	3150
4000	4000
	5000
	6300
8000	8000
	10000
	12500
16000	16000
	20000

Nota: la relación normalizada no es exactamente de mitades y dobles ($63 \times 2 = 126 \neq 125$) para valores bajos de frecuencia. Esto es para evitar usar números "poco redondos"; esto sucede también con las frecuencias extremas de cada banda, que también están normalizadas.

Figura 1-1. Frecuencias centrales normalizadas para bandas de octava y tercios de octava (en Hz) según Norma UNE-EN 61260-1:2014. Tomado de: González, A. E. (2017)

Por ello, en lo sucesivo se denominará **presión sonora** a la **presión incremental p** que resulta de restar la presión de equilibrio del medio de propagación (la presión atmosférica) a la presión total en el punto considerado:

$$p = P - P_0$$

La presión sonora **p** correspondiente a sonidos audibles que no provocan dolor a las personas cubre un intervalo muy amplio:

$$20 \times 10^{-6} \text{ Pa} \leq p \leq 200 \text{ Pa}$$

El primero de los valores ($20 \mu\text{Pa}$) representa el **umbral de la percepción, umbral de la audición o umbral auditivo**, que es la mínima presión que estadísticamente genera sensación auditiva en oídos sanos de varones de 18 años de edad, cuando se les hace escuchar un tono puro de frecuencia 1000 Hz. Es usual

que personas jóvenes y sanas puedan oír sonidos de presión aún menor en algunas frecuencias, lo que se designa como *sobreaudición*.

El segundo valor (200 Pa) representa el **umbral del dolor**, es decir, la presión sonora a partir de la cual se genera una sensación de dolor físico, más que de sonido muy intenso.

1.2.2 Presión sonora, energía e intensidad acústica

En cada instante de tiempo, lo que sucede físicamente cuando se propaga una onda sonora por un punto del espacio es que se genera una sobrepresión p , visto de otra manera, se genera un desplazamiento de las partículas del medio respecto de su posición de equilibrio con el que estas adquieren una velocidad u , donde se debe aclarar que no es igual a la velocidad de propagación de la onda c . A su vez, en el campo de la acústica lineal, la velocidad de las partículas se considera directamente proporcional a la presión acústica. Matemáticamente se escribe:

$$p = Z * u$$

Siendo:

p = presión sonora (sobrepresión de la onda sonora)

u = velocidad de las partículas del medio

Z = impedancia acústica del medio

La **impedancia acústica Z** es una propiedad característica de las sustancias, cuyo valor se obtiene como el producto de la densidad por la velocidad de propagación de las ondas sonoras en él: **$Z = \rho c$** . En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan valores de velocidad del sonido, densidad e impedancia acústica para algunos medios y materiales.

Tabla 1-1. Velocidad del sonido para ondas planas en varios medios

Medio	Velocidad del sonido c [m/s]	Densidad del medio ρ (kg/m ³)	Impedancia acústica [Rayl=Pa.s]
Aire a 0 °C	332	1,205	400
Aire a 20 °C	344	1,29	444
Agua a 20°C	1482	998	$1,5 \times 10^6$
Acero	5200	7800	4×10^7
Aluminio	5000	2700	$1,35 \times 10^7$
Plomo	1190	11300	$1,34 \times 10^7$
Madera	4000	700	$2,8 \times 10^6$
Mármol	3810	2800	1×10^7
Hormigón	3500	2600	$9,1 \times 10^6$
Corcho	500	250	$1,25 \times 10^5$
Vidrio	5000	2500	$1,25 \times 10^7$

La impedancia acústica es la propiedad a la que se recurre cuando se desea reducir el pasaje de energía acústica de un medio a otro, pues cuanto mayor sea la diferencia de impedancias, mayor será la cantidad de energía que se refleje hacia el medio del que proviene la señal acústica.

Por otro lado, la *intensidad acústica* es el flujo de energía a través de una superficie perpendicular a la dirección de desplazamiento de la onda, por unidad de tiempo. Dentro de esta definición está la de

potencia acústica que es la cantidad de energía acústica emitida por una fuente por unidad de tiempo (watts, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$), es una característica de la fuente.

$$W = \frac{E}{\Delta t}$$

Luego, la intensidad acústica se entiende como el flujo de energía acústica por unidad de tiempo que atraviesa una superficie, o, lo que es lo mismo, potencia por unidad de área (W/m^2):

$$I = \frac{E}{S\Delta t} = \frac{W}{S}$$

Por otro lado, la intensidad del sonido se relaciona con la amplitud de la onda de presión a través de la siguiente expresión:

$$I = \frac{p^2}{Z} = \frac{p^2}{\rho_0 c}$$

Como la intensidad es proporcional al cuadrado de la presión sonora, lo mismo vale para la energía y la potencia acústica, esto es:

$$E = I * S * \Delta t = \frac{p^2}{Z} * S * \Delta t = \frac{p^2}{\rho_0 c} * S * \Delta t$$

$$W = \frac{E}{\Delta t} = \frac{p^2}{Z} * S = \frac{p^2}{\rho_0 c} * S$$

Hasta aquí, se puede decir que debido a la sobrepresión que se genera en el medio debido al pasaje de la onda acústica, se genera una velocidad de las partículas del medio, o sea, tienen un pequeño desplazamiento respecto a su posición de equilibrio. Con esto, se tiene que la energía acústica depende de la velocidad que adquieren las partículas en el medio cuando pasa la onda acústica por cada punto del espacio, esto se resume en una dependencia de la energía cinética.

1.3 Nivel de presión sonora

1.3.1 Nivel, bel, decibel

El rango de presiones que el oído humano tiene la capacidad de captar es muy amplio (entre 20×10^{-6} Pa y 200 Pa); esto tiene como resultado que la intensidad acústica no sea un parámetro práctico a la hora de trabajar. Para poder trabajar con comodidad cuando se tiene un rango muy amplio de magnitudes se introduce el concepto de nivel. Un *nivel* se define como el logaritmo decimal de la razón entre dos valores de la misma magnitud, en que el valor que ocupa el denominador es un valor de referencia que debe elegirse en función de la magnitud en cuestión. En teoría, a partir de esta definición cualquier magnitud admitiría ser expresada como un nivel.

$$L = \log_{10} \left(\frac{A}{A_0} \right)$$

La unidad de la escala de niveles es el bel (B), que corresponde a una relación de 10 veces entre el numerador y el denominador de la expresión. Para lograr un rango más amplio dentro de la misma escala se emplea el decibel (dB), que es la décima parte del bel.

En acústica, el empleo de esta escala se debe a la no linealidad de la respuesta del oído humano ante el estímulo sonoro; para frecuencias inferiores a 1000 Hz, la respuesta del oído humano se puede considerar como aproximadamente logarítmica.

Tanto el nivel de intensidad sonora L_I como el nivel de potencia acústica L_W y el nivel de presión sonora L_p se expresan en dB.

1.3.2 Niveles de presión sonora audibles para el oído humano

El nivel de presión sonora, expresado en dB, se escribe como:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_0} \right)^2$$

El valor p_{rms} se refiere a la presión eficaz expresada en pascales (no se emplea el valor medio de la amplitud de la onda sonora dado que su valor es nulo):

$$p_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \right)}$$

El valor de referencia que se emplea en el caso de los niveles de presión sonora es el umbral auditivo:

$$p_0 = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$$

El nivel de presión sonora en el umbral auditivo resulta de plantear:

$$L_{umbral} = 10 \times \log \left(\frac{20 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}} \right)^2 = 10 \times \log (1)^2 = 0 \text{ dB}$$

Nótese que un nivel sonoro de 0 dB *no* implica ausencia de sonido, sino simplemente que la presión sonora que lo genera es la correspondiente al umbral de la audición. En consecuencia, existen valores negativos de niveles de presión sonora expresados en dB, que corresponden a presiones menores que 20×10^{-6} Pa. De todos modos, es muy raro encontrar estos niveles en la práctica, ya que por lo general solemos estar expuestos a algún sonido audible.

El nivel de presión sonora para el umbral del dolor resulta de:

$$L_{dolor} = 10 \times \log \left(\frac{200}{20 \times 10^{-6}} \right)^2 = 10 \times \log \left(\frac{20 \times 10}{20 \times 10^{-6}} \right)^2 = 10 \times \log (10^7)^2 = 10 \times \log (10^{14}) = 140 \text{ dB}$$

Por último, debe señalarse que el *nivel de presión sonora* L_p y el *nivel de intensidad acústica* L_I , ambos expresados en dB, resultan ser numéricamente iguales cuando el medio de propagación es el aire:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \left(\frac{p^2/Z}{p_0^2/Z_0} \right) = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = L_p$$

Los estudios de grabación suelen tener entre 0 dB y 20 dB. Los récords Guinness premiaron en el 2015 a “la sala más silenciosa del mundo” (ver Figura 1-2), en la que se midió un nivel de -20 dB.

En la Figura 1-2 y en la Tabla 2-1 se presenta, a modo de orientación, a qué se asocian algunos niveles de presión sonora en dB.



Figura 1-2. Cámara anecoica de Microsoft, considerada el lugar más silencioso del mundo (tomado de <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-40181635>)

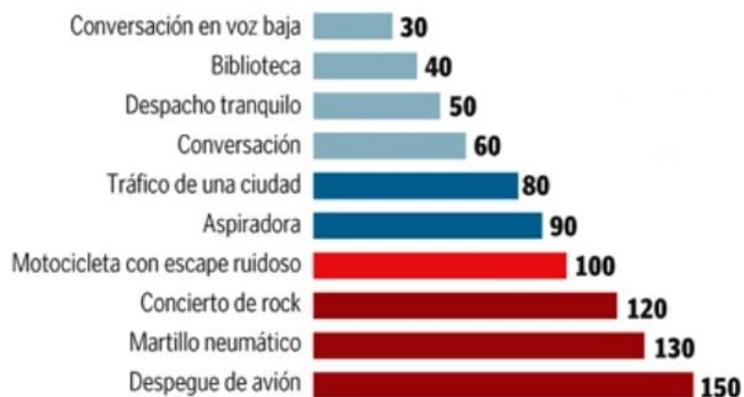


Figura 1-3. Algunos niveles de presión sonora, expresados en dB (solo a modo de referencia). Extraído de <https://www.cortinasacusticas.net/2018/08/24/cortinas-acusticas-para-prevenir-problemas-en-nuestra-salud/>

1.3.3 Operaciones con niveles

Al ser una expresión logarítmica, cuando se debe sumar el nivel de intensidad de dos fuentes 1 y 2 que actúan sobre un mismo receptor, cabe escribir:

$$L_{1+2} = 10 \log_{10}(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2})$$

Nota: puedes deducirlo escribiendo, por ejemplo, L_1 como $10 \log (I_1/I_0)$ y L_2 como $10 \log (I_2/I_0)$.

De lo anterior se desprende que, al duplicar la intensidad de un sonido, su nivel aumenta en aproximadamente 3 dB:

$$L_{1+1} = L_1 + 10 \log_{10}(2) \approx L_1 + 3,01 \approx L_1 + 3$$

1.4 Parámetros representativos en un intervalo de tiempo

1.4.1 Nivel sonoro continuo equivalente (o nivel equivalente, L_{eq})

Debido a las fluctuaciones temporales que caracterizan a las ondas de presión sonora, los niveles sonoros instantáneos proporcionan escasa información a la hora de comparar valores en distintos entornos, de informar un único valor representativo, de determinar un patrón de comportamiento o de definir un potencial de agresión o molestia sobre el ser humano.

Es por ello que internacionalmente se ha adoptado un parámetro que permite describir con un solo valor numérico el conjunto de niveles de presión sonora que ocurren en un intervalo de tiempo determinado. Se trata del *nivel sonoro continuo equivalente* L_{eq} , también llamado simplemente *nivel equivalente*.

El *nivel sonoro continuo equivalente* es el *nivel* de un sonido teórico, *constante* durante todo el intervalo de tiempo considerado que, si hubiera ocurrido, *habría hecho llegar* a la membrana del tímpano *la misma cantidad de energía* que la secuencia de sonidos que efectivamente tuvo lugar en ese intervalo de tiempo. Es, pues, un *equivalente energético*, y su manejo matemático es muy simple, por lo que facilita enormemente las operaciones de suma, diferencia, comparación, etc. La expresión matemática del L_{eq} en un intervalo de tiempo (t_1 , t_2) es la siguiente:

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

En la figura 4.1 se observa un registro de ruido urbano de 60 minutos de duración, caracterizado por su nivel sonoro continuo equivalente. Se grafican valores de L_{Aeq} de cada minuto y del L_{Aeq} del período total de medición.

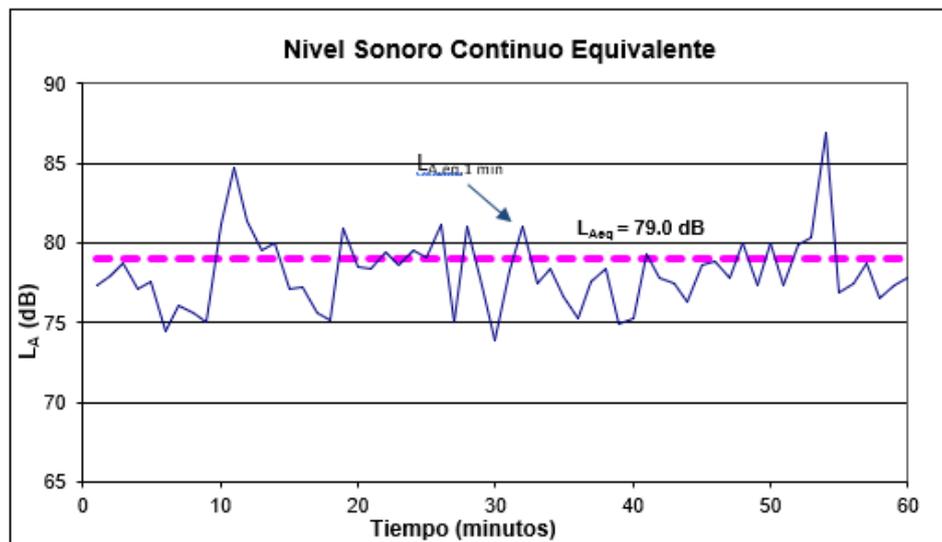


Figura 1-4. Nivel sonoro continuo equivalente (elaboración propia)

1.4.2 Niveles de permanencia

Además de poder emplear un valor único para describir energéticamente la secuencia de sonidos que ocurre en un intervalo de tiempo, puede ser de gran interés cuantificar de alguna forma la *variabilidad* de los niveles de presión sonora que ocurren en ese intervalo de tiempo. Esto conduce al uso de los *niveles de permanencia* y a la construcción de *curvas de permanencia*.

Los *niveles de permanencia* (antes llamados *percentiles*), son los valores que son superados un determinado porcentaje del período de medición -o de tiempo- y no más de ese porcentaje. Son parámetros estadísticos, no energéticos. Así, el *nivel de permanencia 10 %* o L_{10} es el valor que es superado durante el 10 % -y no más del 10 %- del tiempo considerado, en tanto el *nivel de permanencia 90 %* o L_{90} es el valor que es superado durante el 90 % -y no más del 90 %- de ese período de tiempo.

El uso de algunos niveles de permanencia como descriptivos del comportamiento temporal de la presión sonora puede dar información de fácil interpretación. Así el L_1 y el L_5 son representativos de los niveles de pico (los más altos), ya que son superados durante porcentajes bajos del tiempo total considerado (el 1 % y el 5 % respectivamente). El L_{10} también describe niveles de pico pero con una permanencia mayor (la décima parte del tiempo de muestreo).

El L_{50} es el valor que es superado durante la mitad del tiempo de muestreo. Su valor habitualmente no coincide con el del L_{eq} , puesto que este último es un parámetro energético y penaliza fuertemente los valores elevados y de corta duración que ocurren en el intervalo de tiempo considerado (salvo cuando el nivel sonoro es constante en el intervalo considerado, en cuyo caso coinciden, el valor del L_{eq} es mayor que el del L_{50}).

El L_{90} es un descriptor del nivel de ruido de fondo, ya que es el nivel que es superado durante la mayor parte del tiempo considerado (el 90 %). Otros descriptores más exigentes con significado similar son el L_{95} y el L_{99} . Algunos instrumentos de medición pueden dar, por lectura directa, los valores de algunos o de todos los niveles de permanencia.

1.5 Curvas de permanencia

Al graficar los niveles de permanencia en función del porcentaje de tiempo al que corresponden, se puede construir una *curva de permanencia* de los niveles sonoros en el intervalo de tiempo considerado. Cuanto mayor sea el número de niveles de permanencia que se emplee para definir la curva, mayor será la precisión y utilidad de ésta.

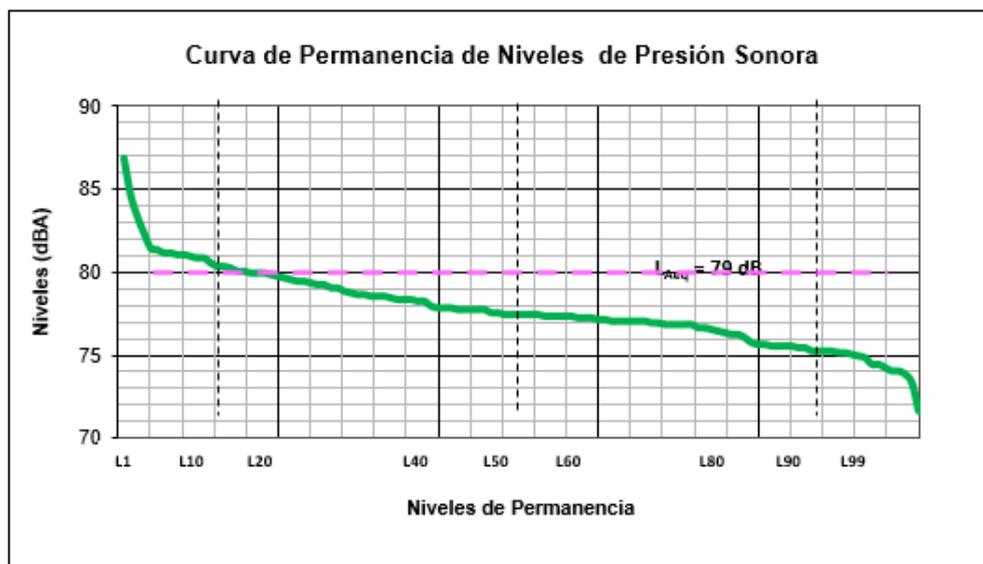


Figura 1-5. Curva de permanencia (elaboración propia)

La forma de la curva de permanencia anuncia el comportamiento temporal de los niveles de presión sonora en el intervalo de tiempo considerado: una curva muy plana advierte sobre niveles muy

uniformes, con poca variación. A mayor pendiente, señalará mayor variabilidad de los niveles sonoros registrados. Para un mismo nivel equivalente, niveles sonoros más variables (o sea, con una curva de permanencia con mayor pendiente) generan mayor molestia.

2 Sonido y audición

2.1 Funcionamiento del oído

El oído humano está formado por tres partes bien diferenciadas, denominadas respectivamente *oído externo*, *oído medio* y *oído interno*. En el oído externo, el sonido se propaga por vía aérea; en el oído medio lo hace por vía sólida; por último, en el oído interno la propagación ocurre en medio líquido. A estas tres partes, que realizan respectivamente un procesamiento acústico, mecánico y eléctrico de la señal sonora, se agrega el posterior procesamiento neurológico con progresivos niveles de complejidad hasta llegar a la corteza cerebral, donde se llevan a cabo los procesos intelectuales superiores como la comprensión inteligente de la palabra y la música.

2.2 Curvas isófonas y sensación auditiva

No todos los pares (f, p) que quedan definidos en los intervalos de frecuencia de 20 Hz a 20.000 Hz y de presión sonora de 20×10^{-6} Pa a 200 Pa generan sensación auditiva: existe una *zona* o *campo audible* y dentro de ella se definen las **curvas isófonas**, que son aquellas sobre las que el oído humano registra una misma sensación auditiva.

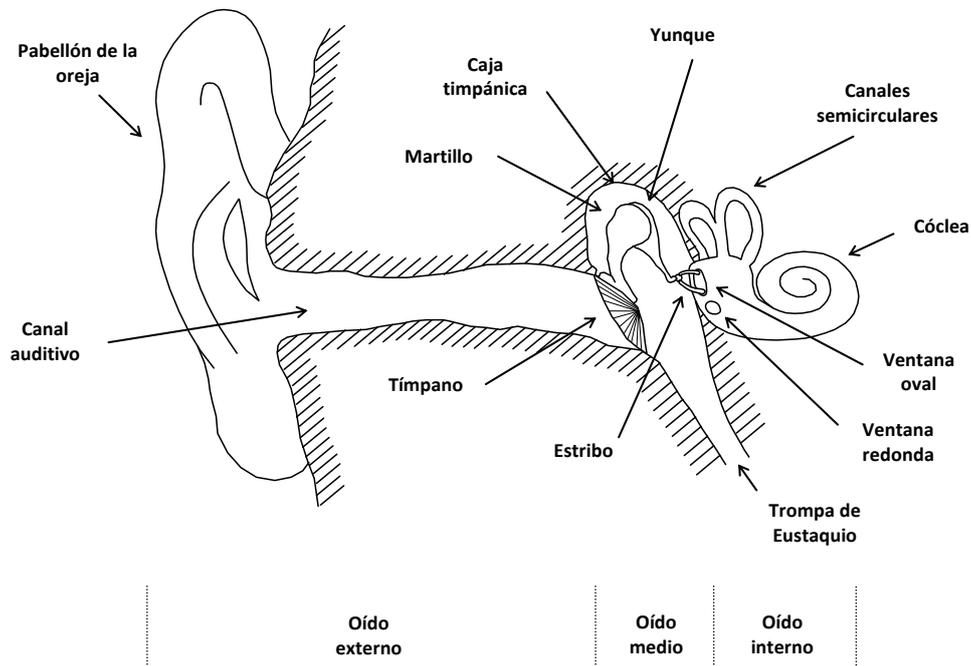


Figura 2-1. Oído Humano (tomado de Miyara, 1999)

Las *curvas isófonas* son el resultado de estudios poblacionales en individuos sanos. A cada una se le asigna un *nivel de sonoridad* cuyo valor numérico corresponde al nivel de presión sonora que le corresponde a 1000 Hz.

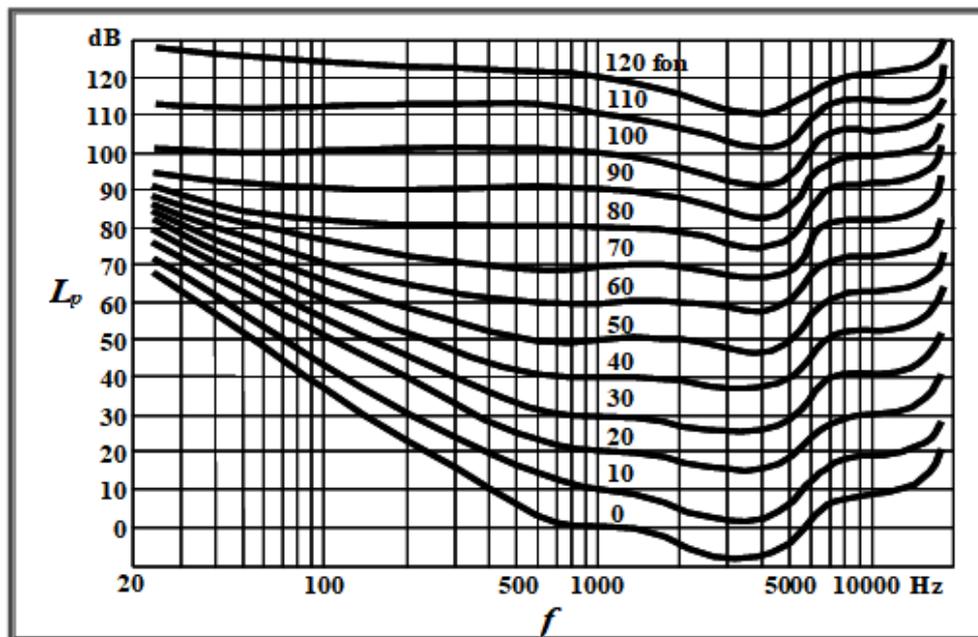


Figura 2-2. Curvas Isófonas (tomado de Miyara, 1999)

A modo de ejemplo, y tomando en cuenta que el nivel de sonoridad se expresa en fones, la isófona de 50 fones corresponde a un nivel de presión sonora de 50 dB a una frecuencia de 1000 Hz. Al recorrer la curva se observa que, para generar igual sensación auditiva, el oído humano requiere mayor nivel de presión sonora a bajas frecuencias y también a altas frecuencias; en el intervalo de 1000 Hz a 5000 Hz, en cambio, requiere menor nivel de presión sonora que a 1000 Hz para lograr una sensación auditiva equivalente (esto se interpreta como que el oído realiza una pequeña amplificación en ese intervalo). Esta amplificación natural que realiza el oído puede relacionarse, desde una perspectiva evolutiva, con que la voz humana hablada se ubica justamente en ese intervalo de frecuencias (*frecuencias conversacionales*).

En cuanto a intensidades audibles, el intervalo de niveles de presión sonora entre los que el oído humano percibe sensación sonora se sitúa entre 0 dB (*umbral auditivo*) y 140 dB aproximadamente (*umbral del dolor*). El mínimo cambio perceptible por el oído es de alrededor de 1 dB en la zona de mayor sensibilidad. Un aumento de 3 dB corresponde a duplicar la energía acústica recibida, pero para duplicar la sensación auditiva se requiere un incremento del orden de 10 dB.

En la Tabla 2-1 se indican algunos niveles de presión sonora L_A y se les asocia una fuente o situación, para dar una idea del significado físico de diferentes valores en dB.

2.3 Efectos del ruido sobre la salud humana

En la actualidad hay abundante evidencia de varios efectos adversos que la exposición a niveles sonoros elevados tiene sobre la salud humana. Estos efectos se suelen clasificar como efectos sobre el aparato auditivo, como tinnitus (zumbidos) y daño/pérdida auditiva; efectos extra-auditivos, como problemas cardiovasculares y respiratorios, retraso en el crecimiento y dificultades de aprendizaje en niños pequeños, desequilibrios hormonales, insomnio; y efectos psicofísicos, como pérdida de concentración, depresión y agresividad. Los dos últimos efectos mencionados, aunque de manifestación psicofísica, son en realidad producidos a causa de los desequilibrios en secreciones hormonales que ocurren a causa de la exposición a niveles sonoros elevados.

Tabla 2-1. Algunos niveles de presión sonora (tomados de fuentes varias)

Nivel L_A (dB)	Interpretación
140	Umbral del dolor
130	Umbral superior de trabajo de la mayor parte de los instrumentos de medición
120	Avión despegando
114	Concierto de rock
100	Valor normalmente usado en la certificación de aislamientos acústicos
96	Bocina de ómnibus a 1 m de distancia
90	Bocina de automóvil a 1 m de distancia
85	Valor de exposición laboral homologado por O.I.T.*
80	Límite por sobre el cual es obligatorio el uso de protección auditiva en Uruguay
74	Automóvil diésel a 1 m de distancia
70	Conversación normal a menos de 1 metro de distancia
60	Música funcional
50	Sala de lectura
39	Límite admisible en dormitorios según la Intendencia de Montevideo
35	Límite de no interrupción del sueño según la O.M.S.
30	Umbral inferior de trabajo de muchos de los instrumentos de medición usuales
20	Estudio de grabación
0	Umbral de la percepción

* Nivel equivalente de exposición durante 8 horas de trabajo, 40 horas a la semana, 30 años de vida laboral, para minimizar el riesgo de deterioro auditivo.

Si bien la molestia es uno de los efectos adversos del ruido, no es necesario que genere molestias en un individuo para generar otros efectos adversos sobre la salud, sino que este es un agente que desencadena una serie de reacciones en el organismo manifestadas a nivel fisiológico provocadas por respuestas complejas por parte del sistema nervioso central.

Los efectos específicos sobre el aparato auditivo pueden clasificarse en:

- Tinnitus (zumbidos en los oídos)
- Trauma acústico, que corresponde a la pérdida auditiva debido a la exposición a un ruido de una muy alta intensidad y corta duración;
- Elevación temporal del umbral auditivo o fatiga auditiva, consiste en una pérdida de sensibilidad auditiva luego de una exposición a ruido, este tipo de afectaciones es reversible;
- Elevación permanente del umbral auditivo es una pérdida de audición permanente, no reversible, como resultado de un trauma acústico o exposición repetida a ruido durante períodos de tiempo de decenas de años.

Un aspecto que dificulta el tratamiento de la salud auditiva es que las personas no se dan cuenta de que están perdiendo audición hasta que ya la afectación es avanzada, lo cual hace que la medida más adecuada para preservar la salud auditiva es la prevención, esto es ser consciente de los niveles sonoros a los que uno se expone y su duración, limitando en ambos aspectos a aquellos de intensidades elevadas.

La OMS lista afectaciones asociadas a contaminación sonora:

- *Enfermedades cardiovasculares; hipertensión arterial; infarto de miocardio; ataque cardíaco*
- *Enfermedades respiratorias; bronquitis; asma*

- *Enfermedades del sistema músculo-esquelético*
- *Trastornos del sistema músculo-esquelético*
- *Trastornos del sueño*
- *Pérdida auditiva; tinnitus (acúfenos)*
- *Alergias*
- *Artritis*
- *Diabetes*
- *Úlcera gástrica*
- *Estrés*
- *Respuestas hormonales/neuroendócrinas*
- *Enfermedades inmunitarias*
- *Molestia*
- *Deterioro cognitivo en niños*
- *Depresión; tendencias depresivas*
- *Migrañas*
- *Susceptibilidad al ruido.*

Luego, otros estudios realizados agregan al listado de efectos los siguientes:

- *Afectación del funcionamiento del corazón, provocando fluctuaciones en la tensión arterial y vasoconstricción de los vasos sanguíneos periféricos.*
- *Espesamiento de la sangre.*
- *Riesgos para el feto.*
- *Dificultades de concentración en el trabajo.*
- *Descenso del rendimiento en el trabajo/escuela.*
- *Cambios de conducta en los niños.*
- *Interferencias con el comportamiento social (agresividad, protesta e impotencia)*
- *Interferencia con la comunicación verbal.*

Los criterios publicados por OMS en 2018 a propósito de niveles de exposición provenientes de diferentes fuentes (ruido de tráfico, ruido de trenes, ruido de aeropuertos y aviones, ruido industrial, ruido de ocio, ruido de aerogeneradores) y los principales efectos del ruido sobre la salud humana incluyen valores numéricos para cuantificar esta información.

2.4 Redes, escalas o curvas de ponderación frecuencial

Las peculiaridades de la respuesta del oído humano, en particular en lo relativo a su respuesta diferenciada frente a las distintas frecuencias que recibe, han conducido a desarrollar *redes o curvas de ponderación frecuencial*, como forma de lograr que los instrumentos de medición reproduzcan la respuesta del oído

humano en este sentido. Esto equivale a decir que se buscaba que los instrumentos de medición pudieran dar un valor de nivel sonoro con un “procesamiento previo” (a modo de “ecualización”) que consistiría en atenuar las componentes de baja frecuencia y de frecuencias por encima de 5000 Hz, y amplificaran entre 1000 Hz y 5000 Hz, en todos los casos en cantidades análogas a las que atenúa o amplifica el oído humano.

Inicialmente se pensó que tenía interés considerar también las diferencias en la respuesta del oído para distinta intensidad, por lo que se construyeron tres curvas o escalas de ponderación, que se designaron como A, B y C (Figura 2-3), con la curva A pensada para niveles de intensidad bajos y la C para los niveles de intensidad más altos. En la Figura 2-3 se esquematizan las curvas de ponderación frecuencial sobre el diagrama de las curvas isófonas, para mostrar cómo es su comportamiento. Nótese que el eje de las ordenadas es decreciente.

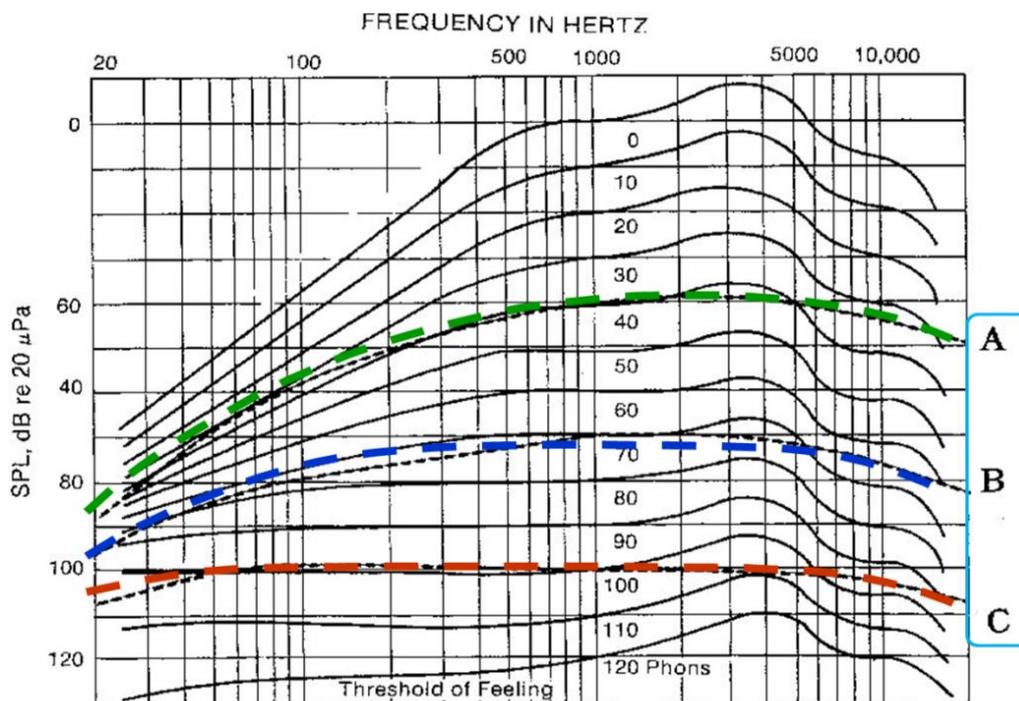


Figura 2-3. Comportamiento de las curvas isófonas y de las redes de ponderación frecuencial

Ante su escaso interés y aplicación, la curva B dejó de ser considerada como una curva de ponderación frecuencial en 2013, cuando la Norma IEC 61.672 definió que las curvas de ponderación son tres: A, C y Z.

La escala de ponderación Z corresponde a la que antes solía designarse como “escala lineal”: suma 0 dB entre 20 Hz y 20.000 Hz. Los niveles L_z se expresan en dB. Su principal uso es para expresar el contenido energético en bandas de frecuencia, en aplicaciones de diseño o acondicionamiento acústico.

Si bien originalmente la escala A se creó para representar el comportamiento del oído humano para bajos niveles de presión sonora (intenta reproducir la curva isófona de 40 fones), se ha demostrado empíricamente que **la escala A es la que tiene mejor correlación con la molestia** (es decir, altos valores de L_A corresponden a sonidos que suelen generar molestia; la afirmación recíproca no es válida). Por ello, las normas de procedimiento -y también la normativa legal- suelen expresar sus valores en escala A (independientemente de los valores numéricos de los niveles sonoros a que se refieren). Las características más destacables de la escala de ponderación A son: la gran atenuación que produce sobre

los sonidos de bajas frecuencias (graves); y la amplificación de los sonidos en el intervalo de 1000 Hz a 5000 Hz. Luego, el nivel de presión sonora expresado en escala A se puede escribir como:

$$L_{p,A} = 10 \log \left(\frac{p_A^2}{p_0^2} \right) [dB]$$

Aunque aún es usual encontrar la antigua notación “dBA” o “dB(A)”, la notación actual para indicar que se emplea la curva de ponderación A en el valor de un cierto nivel L es L_A , y la unidad que corresponde usar es simplemente “dB”.

Por su parte, la escala C intenta reproducir la isófona de 100 fones, es decir, representa el comportamiento del oído humano para altos niveles de presión sonora. Más que los niveles medidos para una misma señal con escala de ponderación C y con escala de ponderación A, suele tener interés informar la diferencia aritmética entre ambos [diferencia (C - A)]. Cuando la diferencia (C - A) es de más de 10 dB, se puede asumir que el contenido energético de la señal en bajas frecuencias es significativo. Sonidos con alto contenido energético en bajas frecuencias suelen generar mayor molestia a las personas que aquellos que no tienen esa característica. La escala C no tiene en la actualidad demasiadas aplicaciones, a menos de un parámetro de interés ocupacional, que es el nivel de exposición admisible en respuesta pico (Peak) que se sigue expresando con ponderación C (o sea, lo que en otro momento se diría “el nivel de pico admisible está en dBC” y que en la actualidad se escribe como $L_{C,Peak}$).

En la **Figura 2-4** se presentan las curvas de ponderación A y C en su representación usual. Nótese que las curvas de ponderación pasan siempre por el punto (1000 Hz, 0 dB), lo que se interpreta como que el oído humano no atenúa ni amplifica los sonidos que recibe, cuando pertenecen a la banda de 1000 Hz. Como puede verse, la mayor diferencia entre la escala C y A ocurre en las bajas frecuencias.

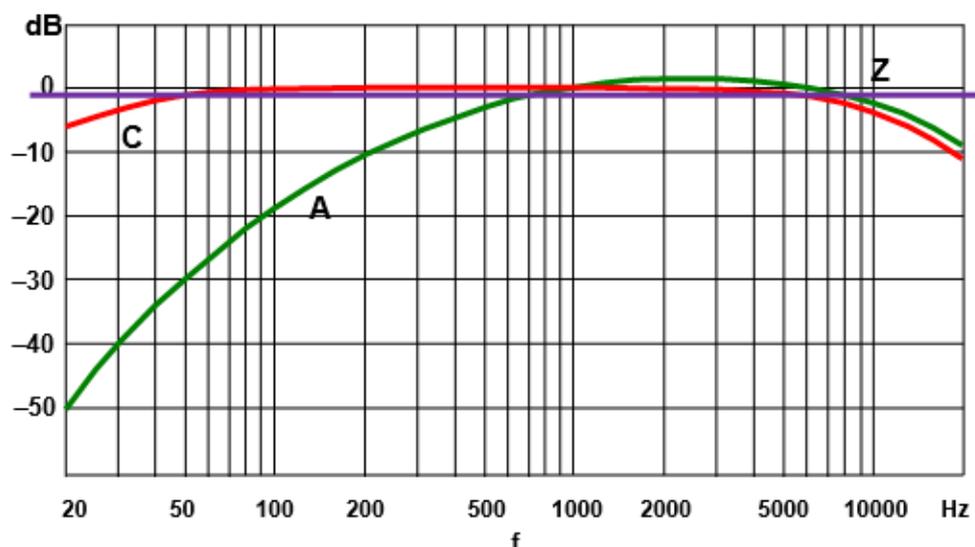


Figura 2-4. Curvas o redes de ponderación frecuencial A, C y Z (Tomado de Miyara, 1999)

A modo de ejemplo de uso de esta figura, dado un tono de frecuencia 50 Hz y nivel 70 dB, su valor expresado en las distintas escalas de ponderación allí representadas se obtienen de sumar al nivel original la corrección que se lee en el gráfico en cada caso; así, su nivel L_Z será $(70 + 0) = 70$ dB; su valor en escala C será $L_C = (70 - 1) = 69$ dB y su valor en escala A L_A será $(70 - 30) = 40$ dB.

3 El ruido como contaminante

3.1 Ruido y sonido

Acústicamente no hay mayores diferencias entre el fenómeno físico que implica cualquier tipo de sonido, aún si el receptor lo categoriza como ruido, música u otro tipo de información. La diferencia entre *sonido* y *ruido* está estrechamente relacionada con la respuesta subjetiva del receptor.

En efecto, se puede decir que un **ruido** es un **sonido no deseado**, o que **no es portador de información relevante para el receptor**, o que **interfiere con la comunicación, admitiendo por tal la transmisión de información en códigos comprensibles por el emisor y el receptor** (nótese que la acepción lingüística de la palabra *ruido* en el Diccionario de la Real Academia Española dice: “*en semiología, interferencia que afecta un proceso de comunicación*”). Por ejemplo, una música o conversación que uno no desea escuchar puede catalogarse como ruido.

3.2 Ruido y molestia

El ruido es un agente contaminante que es muy fácil producir y sin embargo es muy difícil de abatir. Algunas de sus principales características son las siguientes:

- Con muy poca energía se puede emitir sonidos de elevado nivel de presión sonora.
- Cuando cesa la emisión, no quedan rastros en el ambiente.
- A causa de lo anterior, para medirlo, hay que estar en el lugar y momento apropiados.
- Los efectos en los receptores biológicos son acumulativos.
- Las medidas correctivas suelen ser onerosas y no siempre son obvias.
- Cuando se busca una solución para un problema de ruido, con frecuencia se trata de “adaptar el problema” a una solución conocida.
- Las medidas de gestión necesarias pueden tener costos sociales elevados para los tomadores de decisión.

Más allá del contenido semántico, las características del sonido que se relacionan más con el grado de molestia que ocasiona, son:

- El nivel de presión sonora: a mayor intensidad los sonidos suelen ser más molestos.
- La composición espectral del sonido, es decir, cómo se distribuye la energía acústica en función de la frecuencia: los tonos puros (picos pronunciados en el espectro) y los componentes en bajas frecuencias se consideran elementos que incrementan la molestia ocasionada por el ruido.
- La permanencia y variabilidad de los niveles sonoros: los ruidos intermitentes o fluctuantes son los más molestos y los que más perturban el rendimiento intelectual.
- La periodicidad y previsibilidad del ruido: cuanto más abrupto e inesperado sea el cambio en el nivel sonoro, más perceptible y molesto resultará el ruido.

3.3 Calidad Acústica Ambiental

La **calidad acústica** de un cierto espacio se refiere a qué tan adecuado es éste para un cierto uso, desde el punto de vista de sus características asociadas con el comportamiento del sonido en él.

En este concepto quedan involucrados: las características del ruido de fondo y los niveles sonoros que se perciben debido a todos los emisores acústicos que contribuyen -independientemente de su naturaleza- (inmisión sonora); el uso deseable (o el objetivo de uso) del espacio en cuestión en el período de tiempo que se considera; y las características de las señales útiles o deseables en el espacio que se considera.

3.4 Contaminación Sonora

La preocupación por la contaminación sonora en las ciudades y los problemas que la misma puede llegar a originar en cuanto a salud y bienestar no es nueva. Basta con hacer referencia a antecedentes históricos de legislación en materia de ruido. Es así que, en la Grecia clásica, alrededor del 600 a.C., surgen las primeras pautas de ordenamiento territorial que toman en consideración el ruido: los gobernantes prohibieron los talleres metalúrgicos dentro de los límites urbanos en virtud de las molestias permanentes que ocasionaba el ruido de los martillazos.

Quizás uno de los textos más ricos a propósito del ruido en la antigüedad se debe a Séneca, quien en una de sus cartas a Lucilio en el año I d.C., describe pormenorizadamente el ambiente sonoro de la antigua Roma. Su descripción deja en evidencia que los ruidos en la ciudad de entonces respondían, salvando las diferencias temporales y tecnológicas, a las mismas problemáticas que hoy: el ruido de tránsito, el ruido en el trabajo y el ruido de ocio (Querol i Noguera, 1994):

Entre los sonidos que hay a mi alrededor sin distraerme, están los carros que circulan por la calle, el aserrador vecino, y aquel que, cerca de la fuente de Meta Sudans, afina sus flautas y trompetas y más que cantar, berrea.

A partir del Congreso Mundial del Medio Ambiente organizado por las Naciones Unidas y realizado en Estocolmo en 1972, el ruido ha sido declarado como *contaminante* de tipo físico. De acuerdo con las definiciones generales de aquel momento, se consideraba como contaminante a aquel agente que podía afectar adversamente la salud y el bienestar de las personas, y el pleno uso y disfrute de la propiedad. Definiciones más actuales incluyen posibles consecuencias adversas sobre los recursos naturales y el equilibrio ecológico. Dado que el ruido puede causar todos los efectos adversos mencionados, es válido considerarlo como contaminante y, en consecuencia, hablar de *contaminación sonora*. Hoy día, al hablar de *contaminación sonora* se alude también a situaciones en que las emisiones sonoras son capaces de provocar efectos adversos sobre los ecosistemas naturales o urbanos, aun si los seres vivos más perjudicados no son las personas.

La OMS publicó en 2011 un fundamentado informe en el que muestra que **“anualmente se pierden en Europa 903.000 años de vida sana debido a las molestias causadas por el ruido de tráfico”**, lo que convierte al problema del ruido urbano en un **problema de salud pública**. En la Tabla 3.1, construida a partir de información disponible en el sitio de la Agencia Ambiental Europea EEA, se resume información actualizada por la Agencia a febrero de 2023 sobre los principales efectos del ruido sobre la salud en Europa Occidental.

Tabla 3.1: Indicadores de efectos del ruido sobre la salud en Europa (adaptada de EEA)

Indicador	Cuantificación (a febrero 2023)
Población expuesta a niveles sonoros dañinos para la salud	113 millones de personas expuestas a ruido de tránsito; 22 millones de personas expuestas a ruido ferroviario; 4 millones de personas expuestas a ruido aeroportuario y 1 millón de personas expuestas a ruido industrial.
Número de personas afectadas por efectos específicos del ruido	22 millones de personas altamente molestas; 6,5 millones de personas con deterioro importante del sueño; 48.000 nuevos casos anuales de enfermedad coronaria; 12.000 muertes prematuras por año; 12.000 niños con dificultades de aprendizaje.
Riesgo de enfermedad debido al ruido ambiental	1 millón de años de vida sana perdidos anualmente por efectos que incluyen molestia, trastornos del sueño y enfermedad isquémica cardíaca; los dos primeros efectos son los que generan la amplia mayoría del valor calculado.

4 Los ruidos en la ciudad

4.1 Formas de exposición a ruido

Las formas de exposición a ruido suelen clasificarse actualmente según la ocasión en que ocurre la exposición y la intencionalidad del sujeto de exponerse o no. Se diferencian tres casos:

- La **exposición ocupacional**, que ocurre en ocasión y ambiente de trabajo.
- La **exposición social**, que es voluntaria e implica la asistencia a lugares ruidosos o el “consumo voluntario” -en sentido amplio- de niveles sonoros elevados (por ejemplo, el uso de aparato personal de audio con alto volumen, la escucha de música, radio o TV también a alto volumen; la práctica de deportes como el tiro al blanco con armas de fuego, etc.).

La **exposición ambiental**, que es aquella exposición al ruido que es involuntaria en el sentido de no ser buscada por el receptor, pero es a la vez en general inevitable. Se incluyen en esta categoría el ruido de la calle, el generado en establecimientos industriales, comerciales o educativos, la música o altavoces en un local comercial o de ocio, los sonidos que llegan desde las viviendas vecinas, ladridos, entre tantos otros agentes.

4.2 Fuentes de ruido

Es usual clasificar los ruidos según las fuentes que los emiten. Esto se debe a que las características del ruido, el impacto que provoca y el abordaje a realizar para el estudio y gestión es, en cada caso, diferente. Así, aunque se pueden considerar otras categorizaciones más detalladas, en general se suele distinguir entre *ruido comunitario*, *industrial*, *ruido de tráfico* y *de tráfico aéreo*.

El ruido es generado por *fuentes de ruido*, las cuales pueden clasificarse en *fuentes fijas*, *fuentes móviles* y *fuentes colectivas*.

Las **fuentes fijas** son aquéllas que a los efectos de su estudio no modifican su ubicación en el espacio como, por ejemplo, una fábrica, una máquina, un local de diversión, una playa de maniobras. En general, las obras civiles en trama urbana pueden considerarse fuentes fijas.

Las **fuentes móviles** son los vehículos en circulación, ya sean automotores, ferrocarriles, aeronaves, etc.

Las **fuentes colectivas** corresponden a la acumulación de fuentes en espacios públicos, por ejemplo, el tránsito o una acumulación de personas en una calle peatonal, una feria o una plaza.

4.3 Ruido comunitario

Incluye una diversidad de fuentes que suelen aportar al ruido ambiente y a configurar las características del “paisaje sonoro” de un cierto lugar. Entre otras, se incluyen:

- **Ambientes educativos:** en especial en los horarios de entrada, salida y recreos.
- **Comunicación:** voces, señales sonoras, propaganda sonora, etc.
- **Vecindario:** ruidos provenientes de viviendas y de la vía pública. Música, reuniones, cortadoras de césped, uso de herramientas ruidosas, emisiones de animales domésticos, etc.
- **Recreación** (ruido de ocio): locales bailables, de esparcimiento, de comidas, parques de diversión, circos, etc. También se incluye el ruido generado en la vía pública en la zona de influencia de estas actividades, debido al movimiento de personas que provoca.
- **Ruido en interiores:** electrodomésticos, como licuadoras, batidoras, procesadoras, secadores de pelo, aspiradoras, televisores, equipos de audio, etc.
- **Recolección de residuos sólidos:** aunque existen diferentes modalidades de recolección, por lo general los camiones están equipados con compactadoras, dispositivos de izaje, etc., cuya operación contribuye a elevar los niveles sonoros ambientales en general más que el propio pasaje del vehículo. Los sistemas de contenedores limitan el tránsito de vehículos pesados a menor cantidad de vías, pero las maniobras para su vaciado y lavado perjudican más a los vecinos más próximos a su localización.
- **Construcción y obras públicas:** todos los ruidos asociados a obras civiles, construcción y demolición de edificaciones e infraestructura, roturas de pavimento, tendido de líneas de servicios, etc.
- **Otros servicios:** ferias vecinales, podas, barrido de calles, etc.

4.4 Ruido de tráfico

Las características especiales que tiene el tráfico como parte del estilo de vida de las sociedades especialmente a partir de la segunda mitad del Siglo XX, conducen a que no se lo incluya dentro del ruido comunitario para su estudio, sino que se considere siempre como una fuente en sí misma.

Por lo general, la normativa no considera su aporte a la hora de fijar valores límites en interiores y exteriores: el control de los niveles sonoros asociados con el ruido de tráfico suele centrarse en el control de las emisiones de cada vehículo individual. Dicho control debe realizarse a través de procedimientos estandarizados y satisfacer requerimientos normativos preestablecidos, que por lo general se refieren a niveles de presión sonora máximos admisibles para cada vehículo considerado en forma individual y en función del tipo de vehículo de que se trate. Estos ensayos deberían hacerse sistemáticamente, en el marco de las habilitaciones vehiculares que se obtienen a través del chequeo integral del estado del vehículo.

El pasaje a flota eléctrica es una medida sumamente eficaz para reducir la contaminación sonora en las ciudades, pero se requiere que un porcentaje muy elevado de vehículos (especialmente pesados) pase a ser eléctrico para que los cambios resulten verdaderamente apreciables.

4.5 Ruido de tráfico aéreo

Aunque no deja de ser “ruido de tráfico” en un sentido amplio, sus peculiaridades conducen a que se lo considere por separado del ruido de tráfico rodado. El llamado “ruido de tráfico aéreo” no sólo incluye el ruido del sobrevuelo de aeronaves sino muy especialmente el ruido asociado con aeropuertos.

A diferencia del caso anterior, si bien el ruido emitido por cada avión debe ajustarse a normas internacionales, las características actuales de este medio de transporte hacen que la problemática no se centre en esto: la mayor preocupación se refiere a los niveles sonoros en tierra en el área de influencia de las terminales aéreas y las posibles consecuencias adversas que éstas pueden generar sobre los receptores.

5 Gestión de ruido urbano

5.1 Aspectos generales

La gestión del ruido urbano se basa en tres pilares fundamentales: **legislación, control y prevención**. Aunque conceptualmente se trata de medidas diferentes, deberían estar estratégicamente relacionadas entre sí. Para una gestión exitosa del ruido urbano, se requiere contar con normativa clara, realista y sólidamente fundamentada, un uso inteligente de los recursos disponibles para optimizar los controles apostando a la prevención o detección temprana de problemas, y el aporte del conocimiento técnico y científico actualizado para sostener la solidez del sistema y su credibilidad.

La **legislación** establece la normativa de aplicación obligatoria, que en el caso de Uruguay es de alcance departamental.

En lo que se refiere a **control**, comprende la *inspección, habilitación y certificación de aptitud acústica* de emprendimientos con potencial impacto acústico adverso sobre la comunidad. El control del cumplimiento de los planes de ordenamiento territorial no suele ser de competencia de quienes gestionan los aspectos de contaminación sonora, pero es un punto crítico a esos efectos. Las deficiencias en la distribución espacial de diferentes actividades debido a falta de planificación o control están entre las más frecuentes causas de conflictos.

En materia de gestión de ruido urbano, los mejores resultados son los que surgen de evitar que los conflictos se instalen, a través de una correcta **prevención**. En el caso de ruido, la herramienta preventiva por excelencia es el *ordenamiento territorial*, que debería estar acompañado por ciertas exigencias en materia de emisiones acústicas en los permisos para la instalación de nuevos emprendimientos, previo a que su instalación se concrete. Sin desmedro de lo anterior, la *educación*, tanto formal como no formal, debe abordar el tema de la contaminación sonora para promover comportamientos respetuosos y otológicamente higiénicos, dado que las consecuencias que pueden derivar de la contaminación sonora lo ameritan.

Cuando se realiza concienzudamente, la **gestión de conflictos** aporta tanto al control como a la prevención. Incluye la recepción de denuncias y reclamos, su derivación a los técnicos e inspectores competentes y la intervención para su satisfactoria resolución, ya sea a través de una *mediación* tendiente a inducir un acuerdo entre las partes en conflicto, o de la acción directa (advertencia, intimación, multa, clausura) para inducir la corrección del problema. Según las estrategias que se apliquen en la gestión de conflictos, la misma puede aportar a prevenir reincidencias, disuadir a otros infractores (reales o potenciales) e incrementar el conocimiento acerca de la contaminación sonora.

5.2 Normativa sobre contaminación acústica en nuestro país

5.2.1 Normativa nacional

En diciembre de 2004 se sancionó la Ley de Protección contra la Contaminación Acústica Nº17.852, cuyo objeto se enuncia en su primer artículo:

Esta ley tiene por objeto la prevención, vigilancia y corrección de las situaciones de contaminación acústica, con el fin de asegurar la debida protección a la población, otros seres vivos, y el ambiente contra la exposición al ruido.

Y en su artículo tercero define “contaminación acústica” de la siguiente forma:

Se entiende por contaminación acústica a los efectos de esta ley, la presencia en el ambiente de ruidos, cualquiera sea la fuente que los origine, cuyos niveles superen los límites que establezca la reglamentación.

Aunque esa es la definición legal en nuestro país, desde el punto de vista técnico se corresponde con la definición de contaminación sonora; la contaminación acústica debería incluir también las vibraciones.

Esta ley aún no ha sido reglamentada.

5.2.2 Normativa municipal

De acuerdo con la Ley Nº 9515 (Ley Orgánica Municipal), la gestión de todo lo relacionado con ruido y contaminación sonora en nuestro país es de competencia municipal. En consecuencia, cada Departamento tiene su propia ordenanza municipal sobre ruidos molestos, contaminación sonora o designación similar. Aunque en los últimos años se ha avanzado en la mejora de muchas de las ordenanzas departamentales en esta materia, aún las hay con importantes debilidades, que derivan tanto de imprecisiones como de omisiones o errores técnicos que, considerados al pie de la letra, conducirían a conflictos quizás mayores que los existentes.

Si bien algunas ordenanzas son muy similares a las de otros departamentos, existen muchas variantes en el país en cuanto a los temas que consideran y a los valores límite que establecen. Las ordenanzas más nuevas tienen por lo general un espíritu más riguroso, aunque no siempre la redacción tiene la precisión necesaria.

La reglamentación de la Ley de Contaminación Acústica permitiría tener un marco nacional que uniformizara criterios generales, lo que no impediría que cada Intendencia pudiera adoptar mayores exigencias en su jurisdicción.

5.2.3 La Guía de Estándares de Contaminación Acústica de DINAMA

En Uruguay aún no hay **estándares** nacionales de calidad acústica, pero sí hay **guías** que incluyen **valores objetivo**. Se suelen aplicar como instrumentos en la planificación, por lo que resultan ser *escalones o pasos sucesivos en programas de mejora* de la calidad ambiental.

Tras un largo período de discusión, en 2013, el grupo GESTA-Acústica (Grupo de Estandarización en Acústica) en el marco de la COTAMA (Comisión Técnico Asesora en Medio Ambiente, que era una comisión interdisciplinaria e interinstitucional asesora del Sr. Ministro de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) elevó una propuesta técnica integral de reglamentación de la Ley Nº 17.852 -incluyendo estándares nacionales de calidad acústica- que completó la instancia de manifiesto público y quedó a consideración de las autoridades ministeriales. Sin embargo, a la fecha y casi 10 años después, aún no fue sancionada como decreto.

La propuesta técnica de GESTA Acústico dio lugar a que la DINAMA (hoy DINACEA) elaborara y publicara el documento “Guía: Valores para prevenir la contaminación acústica”, cuya versión vigente es la v.3 de 2023 que se adjunta al final de estas notas como Anexo. A su vez, también se elaboraron y publicaron protocolos de medición tanto para fuentes fijas como para vehículos, las que fueron publicadas en diciembre de 2014. La idea original es que fueran documentos de transición para contribuir a mejorar la gestión de la contaminación sonora hasta que se sancionara la reglamentación.

Valores límite de emisión sonora

Se designa como **valor límite de emisión** sonora a aquel que nunca debería ser sobrepasado por una fuente, medido en condiciones preestablecidas. Debería tratarse de un nivel de potencia acústica, aunque no siempre es éste el parámetro que se escoge emplear en la normativa.

La ventaja de utilizar el nivel de potencia acústica (L_{WA}) frente al nivel de presión sonora (L_A) radica en que la potencia es característica solamente de la fuente, mientras que el nivel de presión sonora depende de las características de la fuente y del medio de propagación, de la distancia fuente-receptor y de la divergencia geométrica esperada. Las metodologías de medición de niveles de presión sonora buscan reducir el error en cuanto a atenuaciones, distancia y divergencia a la hora de caracterizar una fuente, que en el fondo es fijar los parámetros que pueden hacer variar el cálculo de L_{pA} a partir del valor de L_{WA} .

Aunque muchas veces la normativa aplica valores a los niveles de presión sonora asociados con una fuente como forma de regular sus emisiones, lo correcto –aunque no siempre sencillo- es caracterizar las emisiones de una fuente a través del nivel de potencia acústica L_{WA} de la misma. Si cada fuente emisora cumpliera con los límites autorizados, debería ser esperable que los niveles de inmisión fueran también adecuados.

Valores límite de inmisión sonora

Un **valor límite de inmisión** sonora se refiere a aquel que no debe excederse en el ambiente receptor o en un punto preestablecido del mismo, medido de una forma también preestablecida. Por lo general, los límites de inmisión se refieren a niveles de presión sonora que no deben ser excedidos por los parámetros de control preestablecidos (niveles de permanencia $L_{A,i}$ o $L_{A,eq}$, por ejemplo). Con el fin de incorporar la variación temporal, suele acotarse el valor del nivel de presión sonora continuo

equivalente $L_{Aeq,t}$ en un cierto período de tiempo t ; a veces se complementa acotando además el valor admisible de algún nivel de permanencia.

Si bien existen bases objetivas para fijar los valores límite que se entienden como admisibles, en última instancia se trata de valores acordados entre diferentes actores y no están exentos de valoraciones subjetivas, en general de base socioeconómica y cultural. De hecho, estos valores se van modificando con el tiempo en función de la aparición nuevas necesidades y exigencias, que tienen como objetivo común mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Además de los valores límite, puede ser útil establecer también valores tolerables y objetivos de calidad acústica a alcanzar, para que sea posible desarrollar con normalidad ciertas actividades.

En teoría, la población debería poder gozar de niveles de inmisión sonora que permitan vivir en un ambiente saludable y realizar sin inconvenientes las tareas cotidianas. Las Guías de DINAMA indican niveles de presión sonora admisibles en inmisión en casas habitación, locales de enseñanza y salas de internación en centros de salud; estos valores deberían ser respetados en todo el territorio nacional.

6 Los mapas acústicos o mapas de ruido

6.1 ¿Qué es un mapa acústico?

A la hora de encarar el tema de la contaminación acústica en ambiente urbano, una herramienta de gran utilidad son los mapas acústicos, también llamados *mapas de ruido*.

De acuerdo con la definición de la Unión Europea que luego recoge en España el Real Decreto 1513/2005, un mapa de ruido es *“la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica”*. La aplicación de estos mapas a la gestión territorial es indiscutible.

Los mapas acústicos han sido empleados largamente como herramientas de diagnóstico, cuyo objetivo consiste en relevar y comunicar de un modo fácilmente comprensible la situación existente en materia de niveles sonoros registrados en las áreas de interés.

Originalmente los mapas se construían a partir de mediciones de niveles sonoros para las que no se contaba con especificaciones que las hicieran comparables, dado que aún no se tenía metodologías de medición estandarizadas, y el desarrollo de normativas que previeran la realización de mapas acústicos era aún incipiente. Con el correr del tiempo las técnicas de medición y de representación gráfica fueron objeto de análisis hasta llegar a su estandarización en normas técnicas de procedimiento y en legislación y reglamentaciones con diferentes niveles y alcances. Esto permitió a su vez aplicar resultados de la comparación de mapas realizados por diferentes técnicos en distintos años, en diferentes épocas del año, en diferentes ciudades, entre otras posibles comparaciones de interés, en tanto las técnicas de obtención de los datos hubiera sido confiable y replicable.

El nivel de detalle de las memorias que acompañan a las piezas gráficas es un aspecto clave. Deben incluir la información de base empleada para construirlos, la forma de obtención de esa información, los métodos de medición o cálculo empleados, o la estimación del número de personas o viviendas expuestas a determinados valores de un indicador elegido.

6.2 Tipos de mapas

Las representaciones cartográficas pueden ser de distintos tipos:

- **Mapas de puntos o botones** (por lo general, los puntos son elegidos de acuerdo con el conocimiento que se tiene acerca de la zona a estudiar) (Figura 8.1).
- **Mapas de cuadrículas** (los puntos de muestreo se ubican en los vértices de una cuadrícula o en los baricentros de las celdas que quedan limitadas al trazar la misma) (Figura 8.2).
- **Mapas de red viaria** (se considera que la principal fuente de ruido es el tránsito y los puntos de interés se sitúan a lo largo de los ejes de las vías de circulación) (Figura 8.3).
- **Mapas de curvas de igual nivel sonoro** (se suelen designar como curvas *isosónicas*; recordar que las curvas *isófonas* se relacionan con la audición y no con este concepto) (Figura 8.4).

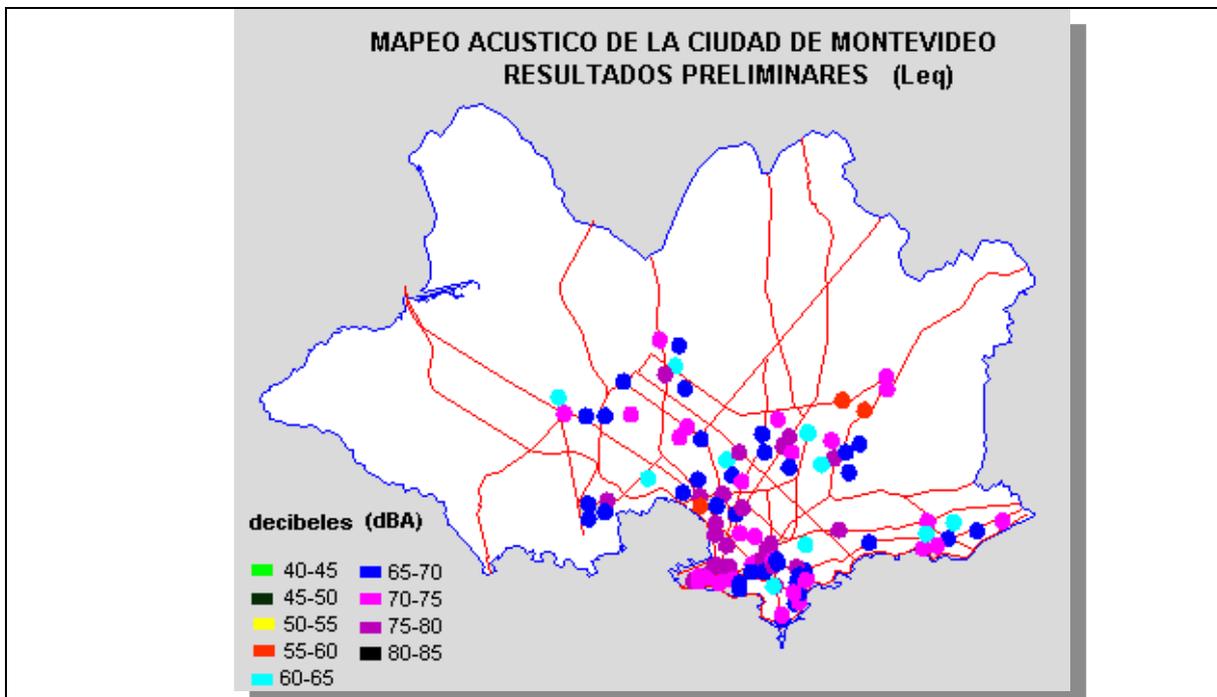


Figura 6-1. Mapa acústico de puntos. Tomado del Informe de Avance del Proyecto CONICYT-Clemente Estable 2040, 1997

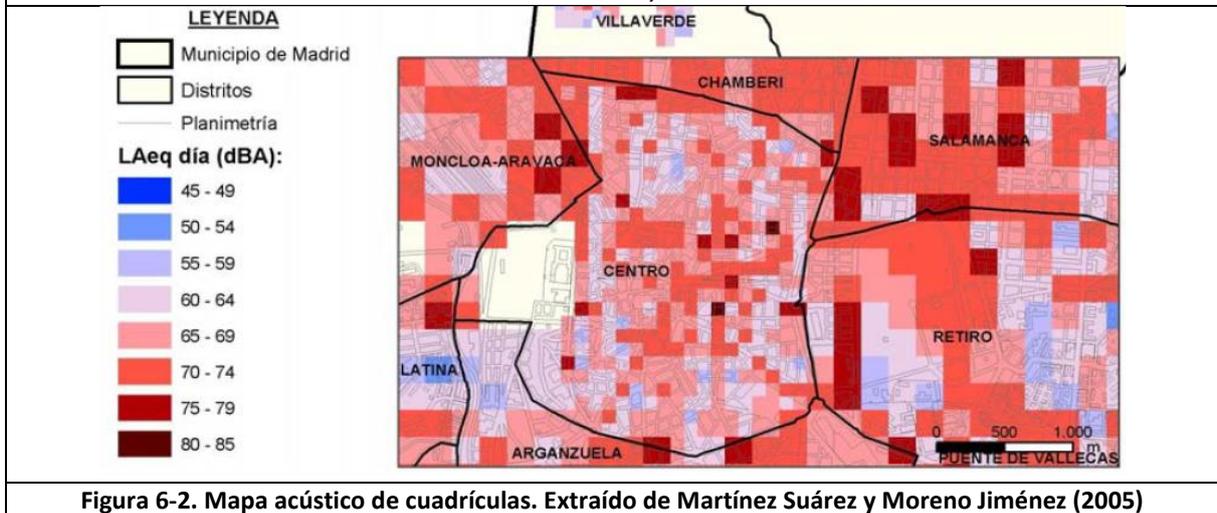


Figura 6-2. Mapa acústico de cuadrículas. Extraído de Martínez Suárez y Moreno Jiménez (2005)

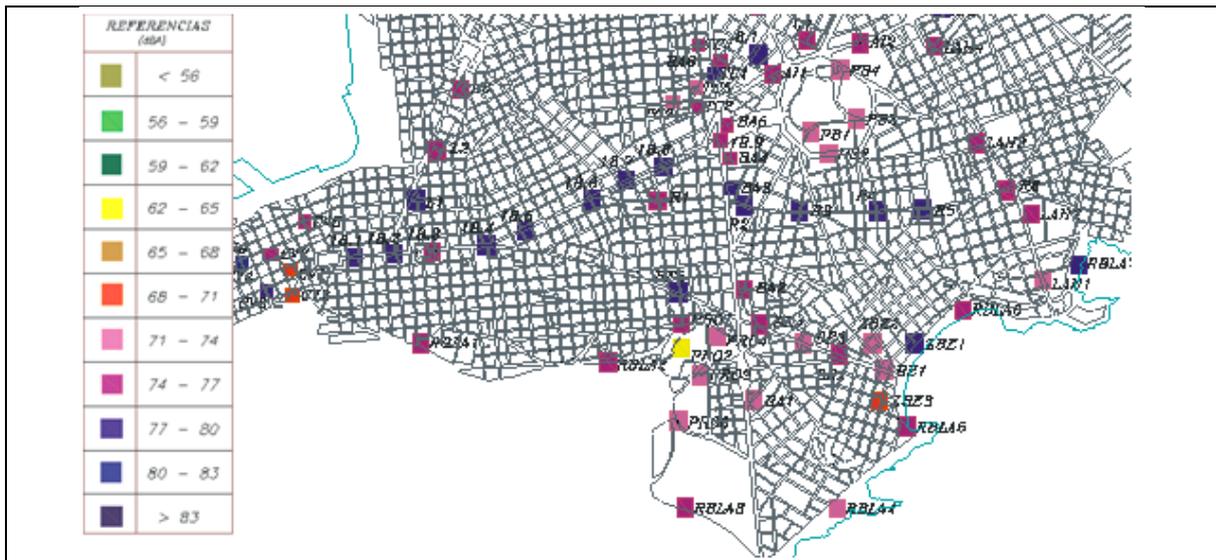


Figura 6-3. Mapa acústico de red viaria. Tomado del Informe Final del Mapa Acústico de Montevideo (1999)

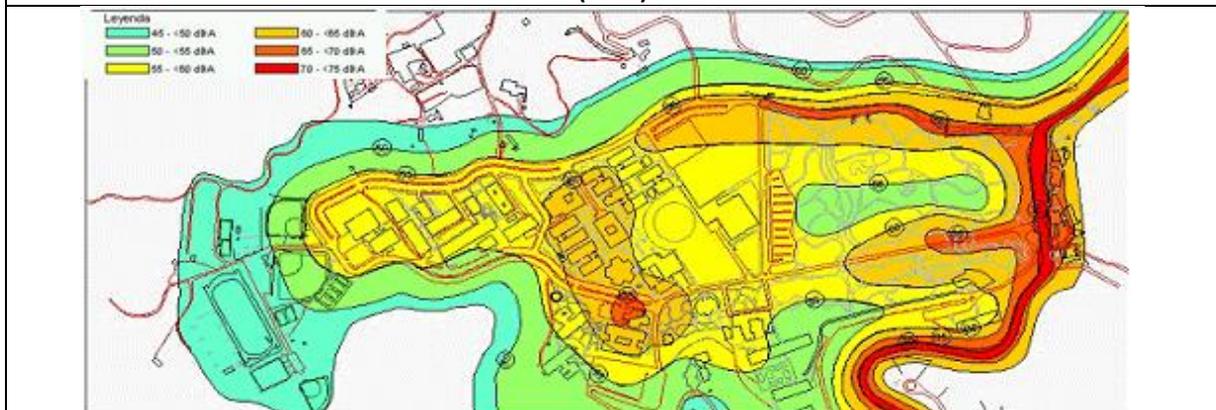


Figura 6-4. Mapa acústico de curvas isosónicas o de igual nivel sonoro (tomado de: https://centros.edu.xunta.es/iesbeade/Departamento_biologia-xeologia/CTMA_Contaminacion_atmosferica.pdf)

Cada tipo de mapa implica una diferente metodología de selección de puntos y colecta de muestras, para obtener información valedera para la preparación del mismo.

Cuando se aplican programas informáticos de modelación/simulación para la obtención de mapas acústicos, también debe tomarse en cuenta el tipo de datos y la cantidad de puntos por unidad de área de acuerdo con los requerimientos del programa.

6.3 Los mapas acústicos como herramienta de gestión

La versatilidad de los mapas acústicos es mucho mayor que la que puede ofrecer buena parte de las herramientas aplicables a la gestión de la calidad acústica ambiental. Sin embargo, esto no siempre se visualiza fácilmente a la hora de priorizar acciones o inversiones. Las aplicaciones más usuales de los mapas acústicos en la actualidad se mencionan en las secciones que siguen (basado en González, 2011).

6.3.1 Como herramienta de diagnóstico

Es sin dudas el uso más difundido de los mapas acústicos. Permite visualizar fácilmente la distribución espacial de los niveles sonoros en las áreas de interés, identificar las principales fuentes sonoras contaminantes, la existencia o no de singularidades en materia de eventos sonoros, así como las características espaciotemporales de los niveles de inmisión sonora registrados in situ.

Esto facilita tanto la interpretación de la información como la comunicación de las elaboraciones resultantes de tal interpretación a otras personas (no necesariamente especializadas en el tema).

6.3.2 En el inventario de fuentes de emisión sonora

Es una de las primeras aplicaciones complementarias que se ha realizado de los mapas acústicos.

Cuando se cartografía la información disponible sobre niveles sonoros y la ubicación de las fuentes conocidas, los apartamientos entre los niveles sonoros obtenidos y los esperables en función de las fuentes cartografiadas proporcionan una buena orientación para identificar emisores que hayan sido omitidos en el inventario o que puedan estar funcionando en condiciones irregulares.

6.3.3 Como base para el desarrollo de normativa sobre calidad acústica

Cuando se conocen las condiciones actuales de los niveles sonoros ambientales, el tipo predominante de fuentes acústicas y sus características, los emisores críticos o por su ubicación o por su horario o por su emisión propiamente dicha, entre otras informaciones que puede proporcionar un mapa acústico, se cuenta con un valioso insumo a la hora de desarrollar normativa.

Una normativa que no se puede cumplir, ya sea por aspectos técnicos o económicos, es, por lo general, peor que no tener normativa alguna, ya que se está aceptando desde el primer momento que infringir la norma no sólo es aceptable sino necesario.

6.3.4 Como insumo para fijar niveles objetivo de inmisión sonora

Los objetivos de calidad ambiental, en forma genérica, se refieren a metas de mejora que se fijan voluntariamente, asociándoles planes de acción, recursos y plazos. Cuando se aplican como instrumentos en un proceso de planificación, suelen ser etapas sucesivas en programas de largo aliento.

Para fijar los niveles sonoros deseables o aceptables en un cierto entorno (niveles objetivo), es necesario conocer primero los niveles existentes y las causas o fuentes que contribuyen a los mismos. A partir de esta información, se puede plantear un mapa de objetivos de calidad acústica a obtener en un cierto plazo. Asociando prioridades, plazos y recursos a estos objetivos, se puede generar un Programa de Reducción de la Contaminación Sonora. El avance de las medidas propuestas en ese Programa debe monitorearse en forma permanente, de modo de rever y ajustar periódicamente tanto los objetivos de calidad acústica fijados como los planes previstos para alcanzarlos y los recursos que han sido asignados para ello.

6.3.5 Como insumo para el ordenamiento del territorio

La información que proporcionan los mapas acústicos acerca de una situación existente es relevante para el desarrollo de planes de ordenamiento territorial. Cuando, como suele suceder, el

ordenamiento del territorio no antecede a la ocupación del mismo, resulta necesario admitir que las condiciones actuales constituyen no sólo una condición inicial para los planes de ordenamiento sino una condición que, muchas veces y por diferentes razones, puede no ser fácilmente modificable.

En ese caso, es necesario tomar explícitamente en cuenta los niveles sonoros existentes para asignar usos que sean compatibles con la realidad, o eventualmente con modificaciones de la misma que puedan ser sensatamente implementadas.

6.3.6 Como insumo para la zonificación urbana

La planificación urbana es una herramienta de gran utilidad para prevenir los problemas de ruido, pero generalmente es difícil de aplicar en áreas ya consolidadas o en territorios que ya han sido intervenidos urbanísticamente, como es el caso más usual.

Si bien la temprana integración de la planificación de la reducción del ruido en el proceso urbanístico permite mejorar la eficacia de la gestión en ese sentido, lo usual es que el gestor urbano deba moverse en el contexto de una realidad ya consolidada desde el punto de vista edilicio.

Los mapas acústicos, como herramientas al servicio del planificador urbano, permiten describir la distribución espacial de los niveles de ruido, caracterizarlos y cuantificarlos. Esto habilita a tomar medidas de reordenamiento o de gestión que favorezcan, por ejemplo, la creación de "*islas acústicas*" en las áreas que por su uso requieren ser protegidas (áreas destinadas a centros de salud, instituciones educativas, etc.); la detección de "*zonas acústicamente saturadas*", evitando la concentración de fuentes puntuales (por ejemplo, locales de esparcimiento nocturno); el reordenamiento de la circulación del tránsito pesado; entre otras acciones, para de esta forma incrementar la calidad acústica de un área.

6.3.7 Como herramienta al servicio del ordenamiento del tráfico

A nivel mundial, en la amplia mayoría de las zonas urbanas –si no en todas- el tránsito es la principal fuente de ruido. Por lo general, la normativa establece límites de emisión sonora para cada vehículo individual pero, por más que se cumpla con ellos, la creciente cantidad de vehículos en circulación puede derivar en una calidad acústica inadecuada en algunas zonas debido al efecto acumulativo.

Los mapas de ruido permiten reconocer las zonas más afectadas por niveles sonoros elevados y sus fuentes principales. Detectado y analizado el conflicto, a partir de simulaciones se puede predecir la distribución espacial de los niveles sonoros que se obtendrían en un escenario en que se apliquen modificaciones a la circulación, ya sea en los sentidos de circulación de ciertas vías, generación de vías preferenciales para transporte pesado, modificación de recorridos del transporte urbano, entre otras posibilidades. Esto permite determinar la eficacia de diferentes posibles intervenciones, tanto en lo ambiental como en lo económico, en vez de tomar una decisión intuitiva que pueda estar solamente trasladando el problema de una calle a otra.

En un plan general de lucha contra el ruido del tráfico rodado, se debe generar planes concretos de actuación que contemplen integralmente la problemática de la movilidad urbana. Algunos temas a analizar en detalle y para los que la base cartográfica es de gran utilidad son: la gestión de estacionamientos, el transporte público, los planes de descongestión de zonas acústicamente saturadas que contemplen la desviación del tráfico a vías menos conflictivas, la asignación de vías para los vehículos pesados, la definición de zonas y horarios de carga y descarga de mercaderías, las

restricciones a la circulación, los planes de mejora de la infraestructura vial disponible, la necesidad de nueva infraestructura vial, entre otros.

6.3.8 Para analizar la capacidad de acogida del medio

El análisis de la capacidad de acogida del medio es uno de los principales objetivos de la gestión ambiental. Cuando se trabaja en planificación o en evaluación ambiental de proyectos, ante la propuesta de implantación de una nueva fuente emisora se hace necesario realizar un estudio de impacto acústico para verificar la admisibilidad de los efectos que ésta tendrá sobre los niveles sonoros preexistentes. Para ello, sobre la confección primaria de un mapa de línea de base o diagnóstico de la zona de la que se pretende evaluar la capacidad de acogida, se superpone un escenario en el que se simula el funcionamiento de las nuevas fuentes de emisión sonora que se estudian y se cartografían los niveles sonoros en la nueva condición.

Del análisis de la diferencia entre ambas situaciones surgirá lo adecuado o no de permitir su implantación tal como se ha concebido inicialmente el proyecto, o la necesidad de introducir modificaciones de alguna índole (por ejemplo, niveles de emisión, días u horario de funcionamiento, materiales de construcción u otras características) para viabilizar desde el punto de vista acústico su implantación en ese sitio.

6.3.9 Como herramienta de planificación estratégica

Un mapa estratégico de ruido es una herramienta de gestión cuyo objetivo es la mejora continua de la calidad ambiental y especialmente de la calidad acústica. Recoge información resultante de un conjunto de estudios, diagnósticos, mediciones, modelación, análisis estadístico y comparación de resultados, en base a los cuales se formulan políticas de planificación y acciones tanto preventivas como correctivas.

Este tipo de mapa se construye a partir de un mapa acústico de diagnóstico, que se enriquece y complementa con otro tipo de información, como datos de tránsito, información geográfica, sitios en que ocurre o se espera la superación de un valor límite, la estimación del número de personas expuestas a determinados valores del indicador acústico elegido, el número de viviendas, centros educativos y hospitales situados en las zonas en que ocurren ciertos valores de dicho indicador, la ubicación y distribución espacial de cierto tipo de fuentes emisoras de ruido, la ubicación y distribución espacial de fuentes emisoras de ruido cuyo nivel de emisión supera cierto valor, entre otras posibilidades de utilidad práctica.

Los mapas estratégicos de ruido son obligatorios en los países de la Unión Europea para todas las localidades con 250.000 habitantes o más. En Colombia también son obligatorios para ciudades de 100.000 habitantes o más. La ciudad de San Pablo en Brasil tiene una legislación local por la que es obligatorio contar con un mapa acústico actualizado.

6.3.10 Como insumo para la elaboración de planes de descontaminación acústica

A partir de un mapa estratégico de ruido que provea la información de diagnóstico en cuanto a niveles sonoros de inmisión, mapas de nivel de molestia percibida por la población (que se pueden obtener a partir de los mapas acústicos de diagnóstico, incorporando las correcciones pertinentes debido a las características de los ruidos, como presencia de componentes impulsivos o tonos puros, por ejemplo),

inventario de fuentes de emisión de ruido e incidencia cuantitativa y geográfica de cada tipo de fuente, entre otra información, es posible formular un plan de descontaminación para atender la mejora objetiva y cuantificable de la calidad acústica del entorno.

Para elaborar un plan de descontaminación, se requiere definir cuáles son las posibles medidas a considerar y su complejidad técnica, dificultad de implementación y de gestión; el costo y el beneficio de cada posible medida a adoptar; la cantidad de beneficiarios de cada medida y la sensibilidad de estos al ruido; los recursos técnicos, humanos y económicos efectivamente disponibles; y la disposición de la población a pagar por una mejor calidad acústica.

En un plan de descontaminación acústica se debe incluir: la definición del ámbito territorial de ejecución, las competencias, autoridades responsables, prioridades y plazos; el análisis de posibilidades y soluciones -tanto directas como indirectas- que se pueden llevar a cabo; y el costo económico, las posibles dificultades de ejecución y la eficiencia desde el punto de vista acústico, cuantificada a través de indicadores tales como la disminución de los niveles de ruido o la reducción de la población expuesta.

6.3.11 Como apoyo para jerarquizar posibles intervenciones en un programa de descontaminación acústica

A partir de un mapa acústico es posible evaluar y mapear el costo de la calidad acústica ambiental, de modo de establecer las medidas económicas, financieras y fiscales adecuadas para el fomento de la prevención de la contaminación acústica, así como para promover programas, procedimientos y tecnologías de reducción de la contaminación acústica, tanto en la fuente como en la propagación.

Para realizar esta evaluación, es necesario asignar valores monetarios a la salud de la población, a la molestia, a la pérdida de rendimiento intelectual, al tiempo de trabajo perdido o subaprovechado, al valor de la propiedad, entre otras variables, e indagar a partir de encuestas acerca de la disposición a pagar por una mejora en la calidad acústica del entorno que podría tener la población.

De este modo, no sólo se logra una cuantificación monetaria para evaluar el impacto de diferentes medidas posibles de ser aplicadas en un área o, viceversa, del impacto que una misma medida podría tener en diferentes ámbitos, sino que también permite asignar prioridades a las intervenciones a realizar, ya que, a impactos similares en materia de reducción de niveles sonoros y de población beneficiada, la medida que puede ser más rápidamente amortizada por la disposición a pagar por ella que tiene la sociedad es la más conveniente para iniciar un programa de acciones de lucha contra el ruido.

7 Algunas medidas aplicables al control del ruido ambiental

El **control de ruido** se refiere al conjunto de técnicas y tecnologías que permite obtener niveles aceptables de ruido ambiental en cierto lugar, de acuerdo con consideraciones económicas y operativas. Podría así surgir la pregunta de “aceptable para qué” o “aceptable para quién”, y es debido a la cantidad de variables involucradas que en general no existe una única respuesta o solución ante un problema dado. Sin embargo, sí existen procedimientos o formas para atacar determinados problemas ya estudiados.

El **control de ruido** no necesariamente implica *reducción de niveles de emisión*: se refiere a **hacer aceptable la inmisión** (la señal que llega al receptor), y la aceptabilidad implica diferentes atributos, como nivel de presión sonora, composición espectral, inteligibilidad, etc.

Como en la mayor parte de los problemas ambientales, las posibles medidas deben analizarse procurando primero mejorar el desempeño de la fuente, es decir, reducir las emisiones; luego se abordarán las posibilidades de actuación sobre el medio de propagación; y recién por último se considerará la necesidad de tomar medidas de protección en el receptor potencialmente afectado.

7.1 Pavimentos absorbentes

Un ejemplo de actuación en la fuente es el de los pavimentos acústicos, que reducen las emisiones sonoras que se producen por el contacto entre los neumáticos y el pavimento cuando los vehículos se desplazan a alta velocidad. Los *pavimentos absorbentes*, que tienen un coeficiente de absorción sonora elevado justamente en el rango de frecuencias donde la emisión sonora por rodadura es mayor, permiten disipar en forma de calor una parte de la energía que, de otra forma, se reflejaría en el suelo y luego se traduciría en un aumento de los niveles sonoros ambientales. Es conveniente recordar que se trata de cantidades de energía tan pequeñas que no generan cambios sensibles en la temperatura ni aún en el entorno más inmediato.



Figura 7-1. Pavimentos absorbentes acústicos. Imágenes tomadas de:

<https://www.dicyt.com/noticias/desarrollan-asfaltos-que-reducen-hasta-la-mitad-la-sensacion-de-ruido>, <https://www.elmundo.es/elmundo/2012/04/14/valencia/1334424388.html>

Una de las desventajas de este tipo de pavimento es que, con el correr del tiempo, los poros existentes en su estructura se van colmatando y así, se van perdiendo las propiedades de absorción. En contrapartida, su alta porosidad también hace que tengan mayor permeabilidad, lo cual es una buena característica en zonas urbanas, pues estos pavimentos porosos pueden contribuir también a evacuar aguas pluviales.

7.2 Barreras acústicas

Las barreras acústicas o pantallas poseen la característica de “bloquear” la energía sonora proveniente de una fuente de ruido, creando una zona llamada “sombra acústica” que permite crear espacios relativamente tranquilos y silenciosos. Las aplicaciones más frecuentes se concentran en el entorno de carreteras, obras de construcción y actividades extractivas, en las cercanías de vías férreas, aeropuertos y sectores industriales.

En el diseño se deben tomar en cuenta los fenómenos de difracción de las ondas sonoras, que por lo general son los que condicionan la efectividad del diseño.

Si bien hay varios métodos explícitos de cálculo que dan resultados bastante precisos en algunos casos, se trata de métodos aproximados; cuando se requiere analizar en detalle la zona de sombra acústica que genera la barrera, es necesario aplicar técnicas de modelación numérica.



7.3 Acondicionamiento acústico

El acondicionamiento acústico se rige por la aplicación criteriosa de dos mecanismos de control:

- La **absorción acústica**, que se refiere a la propiedad que poseen materiales, estructuras y objetos de disipar la energía acústica en otra forma de energía (mecánica, térmica, de deformación) cuando el sonido incide sobre su superficie. La absorción apunta, por lo general, a mejorar las condiciones interiores de recintos, de modo de mejorar su calidad acústica en función del uso que se desee efectuar (por ejemplo, mejorar la inteligibilidad de la palabra hablada en un aula).
- El **aislamiento acústico**, que se refiere a la capacidad de un material para impedir que las ondas sonoras se propaguen a través de él. La energía sonora en general no es disipada, sino mayoritariamente reflejada hacia la fuente. El aislamiento apunta a independizarse de sonidos que ocurren fuera del recinto de interés, así como a evitar que las emisiones acústicas ocurridas en ese recinto no se propaguen al exterior.

Las soluciones de acondicionamiento acústico no deben adoptarse en forma intuitiva, sino que deben calcularse y proyectarse como cualquier otro diseño de ingeniería, especialmente si se tiene en cuenta que los materiales y soluciones suelen ser costosas.

Bibliografía básica

https://centros.edu.xunta.es/iesbeade/Departamento_biologia-xeologia/CTMA_Contaminacion_atmosferica.pdf

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002. Versión consolidada 2021, 1088 pp.

<https://www.eea.europa.eu/publications/health-risks-caused-by-environmental>

Gaja Díaz, Esteban. Ingeniería Acústica. Publicación de la Universidad Politécnica de Valencia (España), 1996.

González, A. E. (2011). Mapas acústicos: Mucho más que una cartografía coloreada. Congreso Latinoamericano de la Audio Engineering Society AES 2011, Congreso de la Sociedad de Ingeniería de Audio. Montevideo, Uruguay, agosto 2011.
https://www.fing.edu.uy/imfia/grupos/contaminacion-acustica/archivos/90115_Gonzalez_mapas%20acusticos.pdf

González, A. E. (2012a). Contaminación Sonora y Derechos Humanos. Serie Investigaciones: Derechos Humanos en las Políticas Públicas, N° 2. Defensoría del Vecino de Montevideo, 2012. Disponible en: http://www.defensordelvecino.gub.uy/IMAGENES/Foro%20Defensor%3%ADas%20Locales/DDH_HA.pdf

González, A. E. (2012b). Noise Sources in the City: Characterization and Management Trends. En: Siano D. (Ed.) Noise Control, Reduction and Cancellation Solutions in Engineering. InTech, Croatia (2012). ISBN 978-953-307-918-9. <https://www.intechopen.com/chapters/31192>

González, A. E. (2017) Acústica Ambiental. Cuaderno 1. Conceptos Introdutorios. ISBN: 978-9974-0-1535-7

González, A. E. (2017) Acústica Ambiental. Cuaderno 4. Efectos del Ruido sobre la Salud Humana. ISBN: 978-9974-0-1538-8

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", GeoFocus (Artículos), nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

Miyara, Federico. Control de ruido. Edición digital propia. 1999.

Ruidos.org: El sitio de lucha contra el ruido, consultado en www.ruidos.org

<https://news.org/es/story/2022/02/1504212>

Segués Echazarreta, Fernando. Metodología, recomendaciones e instrucciones para la elaboración de los mapas estratégicos de ruido de la 2ª fase. CEDEX, 2ª fase de los mapas estratégicos de ruido de aglomeraciones, 2008.

Universidad de Medellín. Protocolo para la medición de emisión de ruido, ruido ambiental y realización de mapas de ruido, Medellín, Colombia, 2009.

Anexo - Guía: Valores para prevenir la contaminación acústica (2023)

1. Objetivo

El presente documento técnico de "VALORES GUÍA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA", pretende ser una referencia para las actuaciones ambientales de la Administración y de otros organismos, así como para la realización de estudios acústicos a nivel nacional.

El mismo, es el extracto de los valores consensuados en el Proyecto de Estándares de Contaminación Acústica que fuera elaborado por el Grupo Técnico de Estandarización Ambiental en la materia (GESTA/Ruido), creado por la Comisión Técnica Asesora de la Protección del Medio Ambiente (COTAMA), en el año 2013, con el cometido de formular las propuestas técnicas para la reglamentación de la Ley N° 17.852, de 10 de diciembre de 2004.

2. Descripción

2.1. Niveles admisibles de presión sonora

2.1.1. Objetivos de calidad acústica en exteriores

Los objetivos de calidad acústica, en términos de niveles de presión sonora en espacios abiertos, expresados como nivel sonoro continuo equivalente en escala A $L_{AF,eq}$, serán los que se enuncian en la Tabla 1.

Se entiende por horario diurno entre las 06:01 a 22:00 y nocturno de 22:01 a 06:00.

Zonas	Inmisión $L_{AF,eq}$ (dBA)			
	Incluyendo el ruido del tránsito		Sin considerar el ruido del tránsito	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Rurales y áreas naturales protegidas	50	45	45	40
Urbanas silenciosas y áreas de protección sonora	60	50	55	45
Urbanas levemente ruidosas (predominantemente residencial)	65	55	60	50
Urbanas poco ruidosas (de uso mixto, residencial y comerciales)	70	60	65	55
Urbanas ruidosas (predominantemente industriales y comerciales)	75	65	70	60

2.1.2. Objetivos de calidad acústica en zonas no definidas

Donde no se encuentren definidas las zonas a las que refiere el ordinal anterior (Tabla 1), los objetivos de calidad acústica correspondientes serán los que se enuncian en la Tabla 2.

Tipología de áreas	Inmisión $L_{AF,eq}$ (dBA)			
	Incluyendo el ruido de tránsito		Sin considerar el ruido de tránsito	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Áreas de tipo rural	50	45	45	40
Áreas de tipo urbano	70	60	65	55

2.1.3. Áreas con infraestructura de transporte

No quedan comprendidos en los ordinales anteriores, aquellas áreas o zonas afectadas por sistemas generales de infraestructuras de transporte.

No obstante, en aquellos espacios de dominio público en los que se ubican sistemas generales de infraestructuras de transporte viario, ferroviario, marítimo o aéreo, corresponderá adoptar medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles.

2.1.4. Faja de amortiguación

En la instalación de actividades que previsiblemente elevarán los niveles de presión sonora en el entorno, como por ejemplo emprendimientos industriales o agroindustriales, actividades extractivas, parques eólicos o aerogeneradores, aeropuertos, puertos, carreteras y vías férreas entre otros, se deberá definir una faja de amortiguación en la que no necesariamente regirán los objetivos de calidad acústica enunciados en los ordinales 2º y 3º; pero igualmente corresponderá aplicar los niveles de presión sonora admisibles en el interior de recintos, según se establece en el ordinal siguiente (Tablas 3 y 4).

2.1.5. Niveles de presión sonora en interiores

Los niveles de inmisión sonora que se considerarán admisibles en viviendas, en aulas y en áreas de internación en centros de atención de la salud, se enuncian en la Tabla 3.

Tales niveles corresponden a los que se obtienen como resultado de los aportes de todas las fuentes sonoras cuyas emisiones alcancen el recinto en cuestión, excluyendo el aporte de las actividades que se realicen en el interior del recinto y sean inherentes a la naturaleza del mismo.

En todos los casos, se corresponderá aplicar asimismo los niveles de presión sonora en bandas de octava normalizadas que se indican en la Tabla 4.

Destino del local	$L_{AF,eq}$ (dBA)	
	Diurno	Nocturno
Residencial en áreas urbanas o urbanizables	45	40
Residencial en áreas rurales	35	
Aulas de enseñanza	35	
Salas de internación en centros de atención de salud	35	

L admisible [dBZ] para $L_{AF,eq}$	Frecuencia central B.O. [Hz]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Para $L_{A,F,eq} = 35$	55	50	45	40	35	30	28	28
Para $L_{A,F,eq} = 40$	59	54	50	45	40	35	33	33
Para $L_{A,F,eq} = 45$	63	58	54	50	45	41	38	38

2.2. Ruidos producidos por vehículos

2.2.1. Niveles de presión sonora admisible

Se considerarán admisibles los ruidos producidos por vehículos automotores de cualquier clase, que se encuentren dentro de los niveles de presión sonora que se enuncian en la Tabla 5.

Descripción	Valores límite [dBA]			
	Vehículos en circulación	Vehículos nuevos		
Motos, motocicletas, bicimotos, triciclos hasta 150 cc	77	75		
Motos de 150 cc o más y de 2 o 4 tiempos	80	80		
Vehículos utilizados para el transporte de pasajeros #				
Nº de asientos ≤ 9	77*	74*		
Nº de asientos > 9	masa ≤ 2 t	79*	76*	
	2 toneladas $<$ masa $\leq 3,5$ t	78*	77*	
	masa $> 3,5$ t	potencia nominal del motor < 150 kW (204 CV)	80	78*
		potencia nominal del motor ≥ 150 kW (204 CV)	83	80*
Vehículos de uso mixto #				

Tabla 5. Niveles de emisión sonora admisibles para vehículos				
Descripción		Valores límite [dBA]		
		Vehículos en circulación	Vehículos nuevos	
Derivados de automóviles		77*	74*	
No derivados de automóviles	masa ≤ 2 t	79*	76*	
	2 toneladas < masa ≤ 3,5 t	78*	77*	
	masa > 3,5 t	potencia nominal del motor < 150 kW (204 CV)	80	78
		potencia nominal del motor ≥ 150 kW (204 CV)	83	80
Vehículos utilizados para el transporte de mercancías #				
masa ≤ 2 t		79*	76*	
2 toneladas < masa ≤ 3,5 t		78*	77*	
masa > 3,5 t	potencia nominal del motor < 75 kW	81	77*	
	75 kW (102 CV) ≤ potencia nominal del motor < 150 kW (204 CV)	83	78*	
	potencia nominal del motor ≥ 150 kW (204 CV)	84	80*	

* Los valores límite aumentarán 1 dBA si los vehículos están equipados con un motor diesel de inyección directa.

Para los vehículos con características especiales para ser usados fuera de la calzada (vehículos “todoterreno”), los valores límites aumentarán 1 dBA si la potencia de su motor es inferior a 150 kW y 2 dBA si es de 150 kW o más.

2.3. Alarmas y sirenas

2.3.1. Valores de referencia

Los valores de referencia para el diseño y funcionamiento de los sistemas sonoros de alarmas y sirenas serán los que se enuncian en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de referencia para el diseño y funcionamiento de los sistemas sonoros de alarmas y sirenas	
Alarmas instaladas en vehículos	
Potencia acústica	< 5 mW (0,005 W)
Duración máxima de funcionamiento continuo del sistema sonoro	< 60 s (sesenta segundos)
Alarmas instaladas en vehículos (continuación)	
Nivel de presión sonora generado por el funcionamiento de la alarma	< 80 dBA (expresados LA,F,eq) a 3 m de distancia desde el foco emisor en un (1) período de funcionamiento continuo de la emisión sonora
Alarmas instaladas en viviendas, locales u otros puntos fijos	
Potencia acústica	< 15 mW (0,015 W)
Duración máxima de funcionamiento continuo del sistema sonoro	< 60 s (sesenta segundos)
Nivel de presión sonora generado por el funcionamiento de la alarma	< 80 dBA (expresados LA,F,eq) a 5 m de distancia desde el foco emisor en un (1) período de funcionamiento continuo de la emisión sonora

3. Modificaciones

Versión	Fecha	Modificaciones
1	29/05/2015	<ul style="list-style-type: none"> Documento original Grupo Gesta Ruido
2	10/05/2018	<ul style="list-style-type: none"> Formato Incorporación de horarios diurnos y nocturnos
3	26/01/2023	<ul style="list-style-type: none"> Formato

4. Participación

Grupo Gesta Ruido