

# Ruido Ambiental



# Contenido

Sobre este documento .....	3
Introducción .....	4
¿Qué es el Sonido ? .....	7
Tipos de Ruido .....	14
Propagación del Ruido Ambiental .....	16
Identificación de Fuentes de Ruido .....	23
Medir el Ruido .....	25
Calibración .....	29
Nivel de Evaluación. Molestia y Penalizaciones .....	30
Evaluación (Límites) .....	32
El Informe de Medición .....	38
Cálculo de Niveles de Ruido (Predicción del Ruido) .....	40
Planificar .....	46
Reducción de Ruido .....	50
Estar presente o No .....	53
Monitorado Permanente .....	56
Normas internacionales .....	59
Terminología y parámetros de ruido ambiental .....	62
Sobre Brüel & Kjær .....	68

Copyright © 2000 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.

Esta publicación está protegida por la leyes de la propiedad intelectual y tratados internacionales.

Los contenidos pueden ser copiados y distribuidos, en parte o en su totalidad, siempre que se mencione el agradecimiento a Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.

Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S no se responsabiliza de cualquier pérdida o daño que pueda causarse, de forma directa o indirecta, como resultado del uso de esta publicación.

# Sobre este documento

Este documento trata del ruido ambiental – por ejemplo, ruido procedente de polígonos industriales, carreteras y ferrocarriles, aeropuertos y parques de atracciones. No cubre temas relacionados con éstos tales como la acústica de edificios, las vibraciones en edificios o el ruido doméstico. Tampoco cubre la respuesta humana a la vibración ni a los usos industriales de las mediciones de sonido y de vibración. En caso necesario contacte con su representante de Brüel & Kjær para recibir más información con respecto a estos temas.

A pesar de que se ha hecho un gran esfuerzo para presentar una amplia visión de normas, prácticas y métodos, no podemos garantizar que hayamos cubierto absolutamente todos los aspectos relevantes. Contacte con la autoridad local para obtener mayor información pertinente a su país, estado, región o área.

# Introducción

Abundan las noticias con respecto a los problemas de ruido ambiental. Algunas historias son dramáticas, la mayoría no tanto, pero a menudo se realizan grandes esfuerzos y se invierten grandes sumas de dinero en conflictos relacionados con el ruido ambiental.

El ruido ambiental es un problema mundial. Sin embargo, la forma en que el problema es tratado difiere considerablemente dependiendo del país y de su cultura, economía y política. Aún así, el problema persiste incluso en áreas donde se han utilizado numerosos recursos para regular, evaluar y amortiguar fuentes de ruido o para la construcción de barreras de ruido. Para poner un ejemplo, se han hecho grandes esfuerzos para reducir el ruido del tráfico en su origen. De hecho, los coches actuales son mucho más silenciosos que aquellos fabricados hace diez años, pero el volumen de tráfico ha aumentado tanto que el efecto de este esfuerzo ha sido inútil y el nivel de molestia ha aumentado. Fabricar coches más silenciosos parecía haber mitigado el problema durante un tiempo pero lo cierto es que no se ha eliminado.



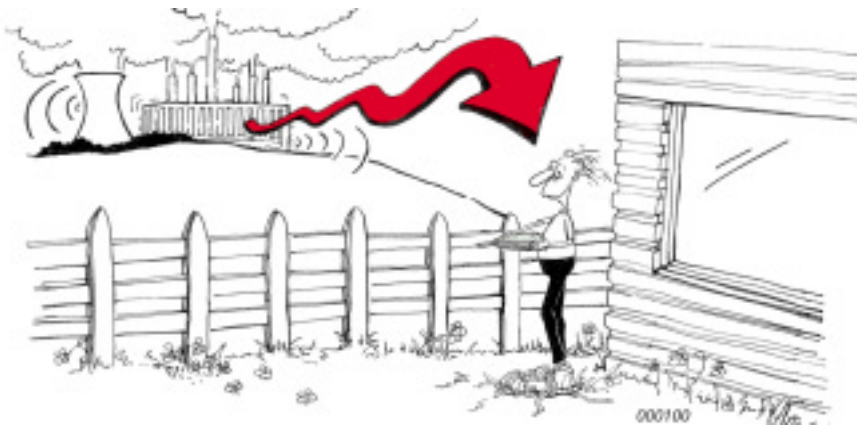
No hay una estimación mundial del impacto y del coste del ruido ambiental. Sin embargo, existe un ejemplo notable en el ámbito de la mayor parte de Europa – El Libro Verde de la Unión Europea sobre la Futura Política de Ruido (1996).

- El Libro Verde estima que, en términos del número de personas afectadas por el ruido, el 20% de la población (unos 80 millones de personas) sufre niveles de ruido inaceptables que causan alteraciones en el sueño, molestias y efectos adversos sobre la salud. Otros 170 millones de ciudadanos viven, en Europa, en áreas donde los niveles de ruido causan una seria molestia durante el día.
- En términos financieros, el ruido ambiental cuesta a la sociedad entre un 0.2% a un 2% del Producto Nacional Bruto. Incluso la menor de estas cifras representa un coste inmenso.

### Protección contra el ruido ambiental

Los programas de protección contra el ruido difieren de un país a otro. Los requisitos legales no son idénticos, difieren las técnicas y los métodos, y también varían los enfoques políticos. Sin embargo, hay aspectos comunes en el trabajo de todos los **responsables** de ruido ambiental.

- Planear nuevos desarrollos de zonas residenciales, polígonos industriales, autopistas, aeropuertos, etc.
- Atender las quejas de los ciudadanos, bien durante el proceso de planificación o después.
- Evaluar la conformidad/no conformidad de las fuentes de ruido (plantas industriales, parques de atracciones, aeropuertos, autopistas, ferrocarriles, etc.) según la normativa y la legislación.

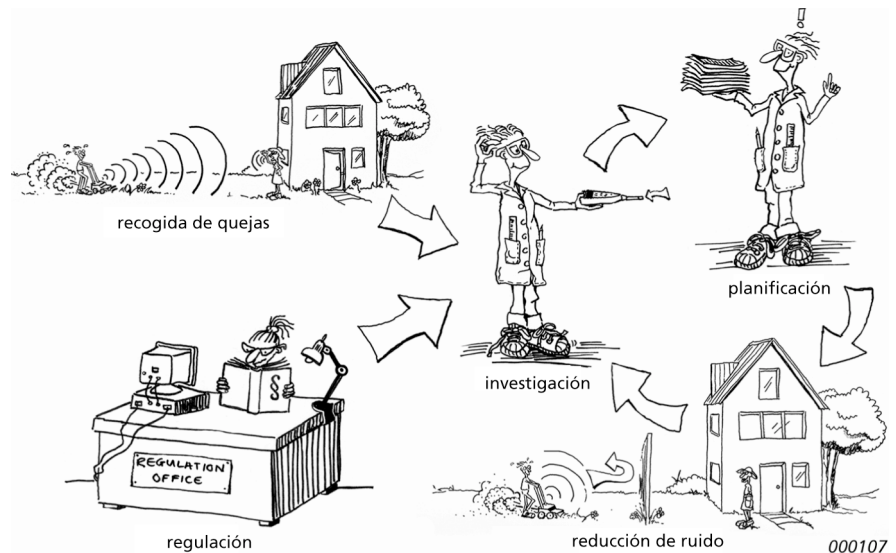


En el ámbito de estas importantes áreas de trabajo, el **responsable** ambiental puede ser requerido para realizar muchas tareas incluyendo:

- Tomar medidas sobre el terreno
- Evaluar el ruido de fuentes específicas
- Calcular los niveles esperados de ruido
- Realizar mapas de niveles de ruido
- Preparar informes para los ciudadanos o **sus representantes**
- Archivar y recuperar datos
- Actuar como observador experto

Estas tareas son exigentes y, considerando el alcance y la importancia de la contaminación acústica, se requiere un nivel de comprensión apropiado sobre estos temas, no sólo de los profesionales que trabajan en este campo, sino también de los ciudadanos y de **sus representantes**. Este folleto está pensado para todos ellos.

El folleto presenta los problemas que surgen cuando se trabaja con el ruido ambiental y las soluciones típicas. Desafortunadamente, la limitación de espacio nos impide tratar cada materia en gran profundidad. No podemos, por ejemplo, tratar la legislación nacional y regional en detalle. No obstante, se ha hecho todo lo posible para proporcionar una visión amplia de los temas más importantes. Por favor, contacte sin compromiso alguno con su representante local de Brüel & Kjær para más información.



# ¿Qué es el Sonido ?

## ¿Qué es el Sonido ?

El sonido puede ser definido como cualquier variación de presión que el oído humano pueda detectar. Como sucede en el juego del dominó, un movimiento ondulatorio se inicia cuando un elemento pone en movimiento a la partícula de aire más cercana. Este movimiento se extiende a las partículas de aire adyacentes, alejándose gradualmente de la fuente. Dependiendo del medio, el sonido se propaga a diferentes velocidades. En el aire, el sonido se propaga a una velocidad de 340 m/s aproximadamente. En líquidos y sólidos, la velocidad de propagación es mayor – 1500 m/s en el agua y 5000 m/s en el acero.

## Niveles de Ruido Típicos

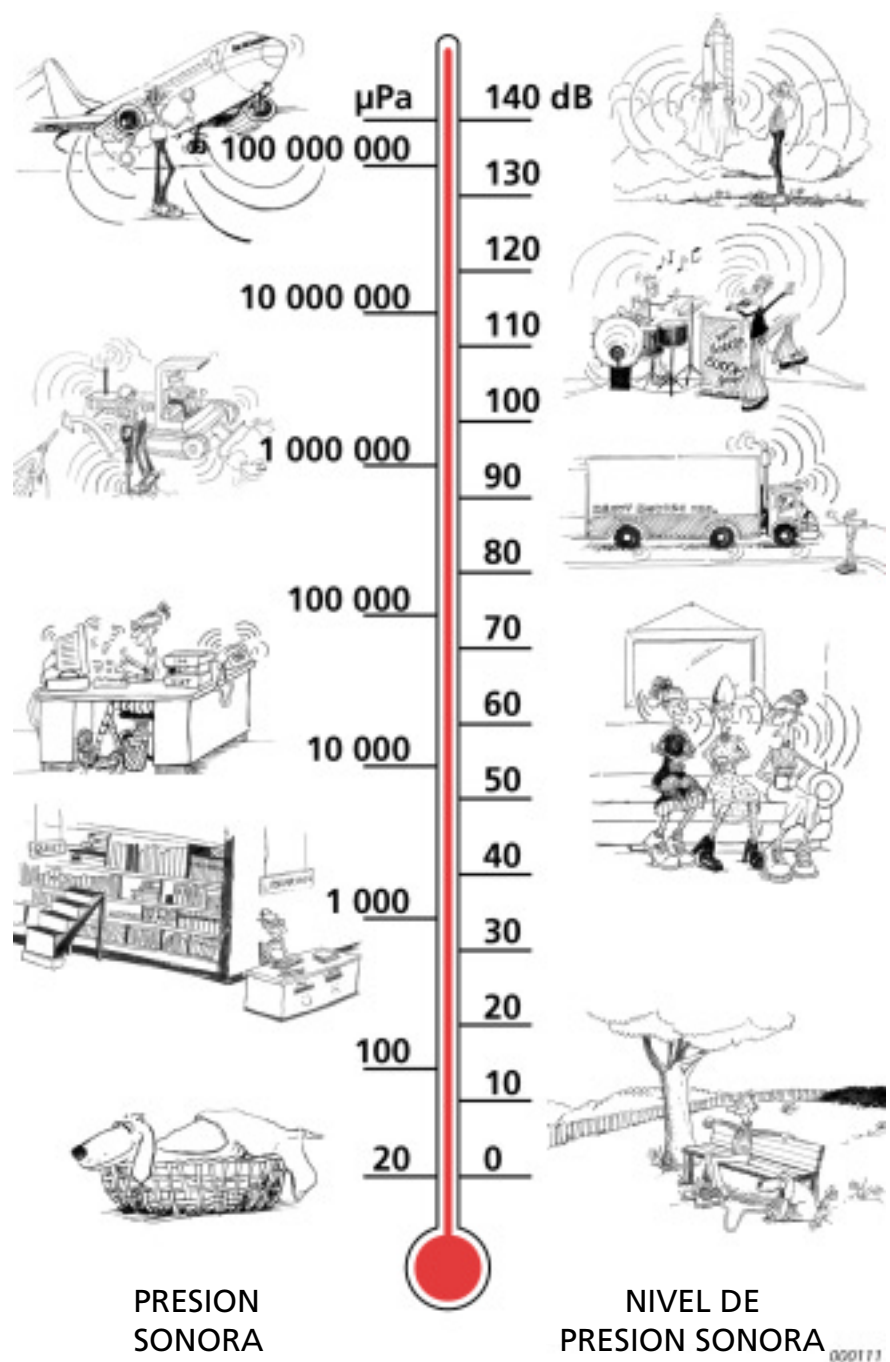
Comparado con la presión estática del aire ( $10^5$  Pa), las variaciones de presión sonora audible son muy pequeñas, en un margen que puede ir desde los  $20 \mu\text{Pa}$  ( $20 \times 10^{-6}$  Pa) hasta 100 Pa.

$20 \mu\text{Pa}$  corresponde al umbral auditivo medio de una persona. Por lo tanto es llamado umbral auditivo. Una presión sonora de, aproximadamente, 100 Pa es tan alta que causa dolor y por lo tanto es llamado umbral del dolor. La relación entre estos dos extremos es mayor que de un millón a uno.

Aplicar de forma directa las escalas lineales (en Pa) a la medida de la presión sonora nos lleva a cifras enormes e inmanejables. Ya que el oído responde a los estímulos de forma logarítmica, más que lineal, es más práctico expresar los parámetros acústicos como una relación logarítmica entre el valor medido respecto a un valor de referencia. Esta relación logarítmica es llamada decibelio o dB. La ventaja de usar dB se observa con claridad en la ilustración de la página siguiente. Aquí, la escala lineal con sus grandes cifras se convierte en una escala manejable, desde 0 dB en el umbral auditivo ( $20 \mu\text{Pa}$ ), hasta 130 dB, en el umbral del dolor ( $\sim 100$  Pa).



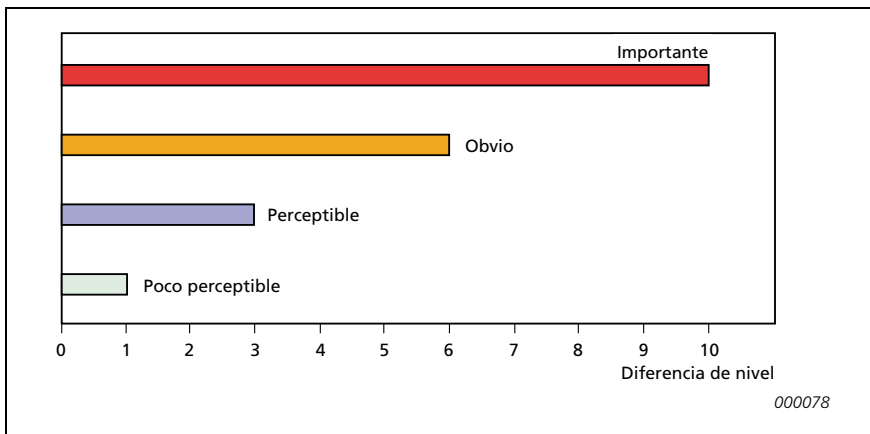
Nuestro oído cubre una sorprendente y muy amplia variedad de presiones sonoras – una relación de más de un millón a uno. La escala de dB hace que los números sean manejables



## Percepción del Sonido

Ya hemos definido el sonido como cualquier variación de presión que puede ser detectada por el oído humano. El número de variaciones de presión por segundo se llama frecuencia del sonido y se mide en hercios (Hz). La percepción auditiva normal de una persona joven saludable varía aproximadamente desde 20 Hz hasta 20000 Hz (20 kHz).

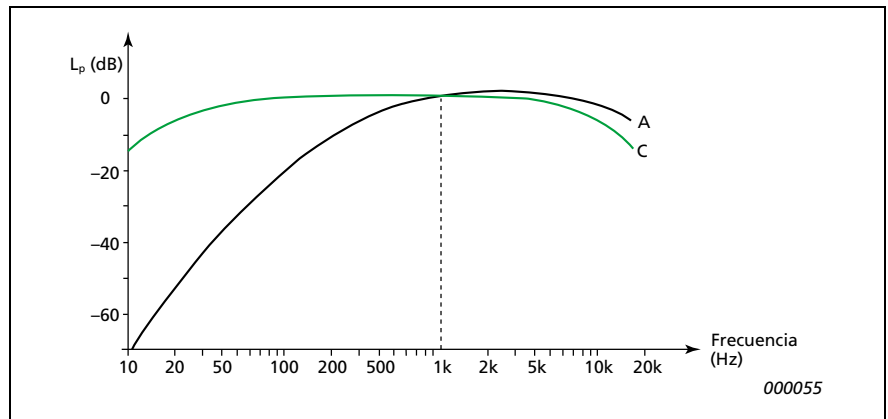
En términos de niveles de presión sonora, el sonido audible varía desde el umbral auditivo de 0 dB hasta el umbral del dolor de 130 dB o más. Aunque un aumento de 6 dB representa doblar la presión sonora, se requiere un aumento de entre 8 y 10 dB para que, de forma subjetiva, el sonido parezca ser significativamente más alto. De manera similar, el mínimo cambio perceptible es alrededor de 1 dB.



## Curvas de Ponderación frecuencial

Nuestro oído es menos sensible a frecuencias muy bajas y muy altas. Para tener esto en cuenta cuando se mide el sonido, se pueden aplicar unos filtros de ponderación. La ponderación de frecuencias más común en la actualidad es la “ponderación A”, que se ajusta aproximadamente a la respuesta del oído humano y que proporciona unos resultados expresados como dB(A).

La curva de “ponderación C” también se utiliza, particularmente cuando se evalúan sonidos muy intensos o de frecuencia muy baja.



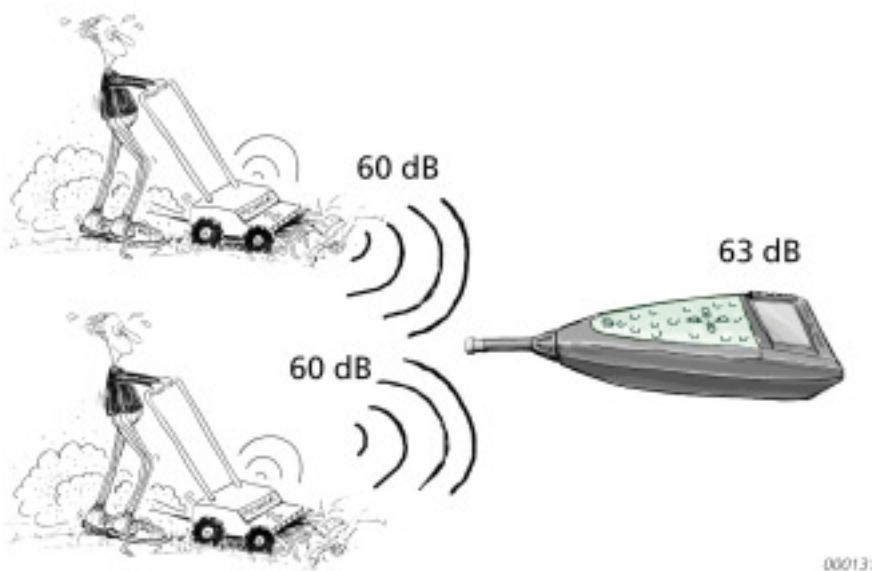
## Suma y Resta de Niveles Sonoros

### Suma de Niveles Sonoros

Si se miden de forma separada los niveles sonoros de dos o más fuentes de sonido y quiere saberse el nivel de presión sonora combinado de esas fuentes de sonido, entonces deben sumarse los correspondientes niveles sonoros. Sin embargo, debido al hecho de que los dBs son valores logarítmicos, esta suma no puede realizarse de forma directa.

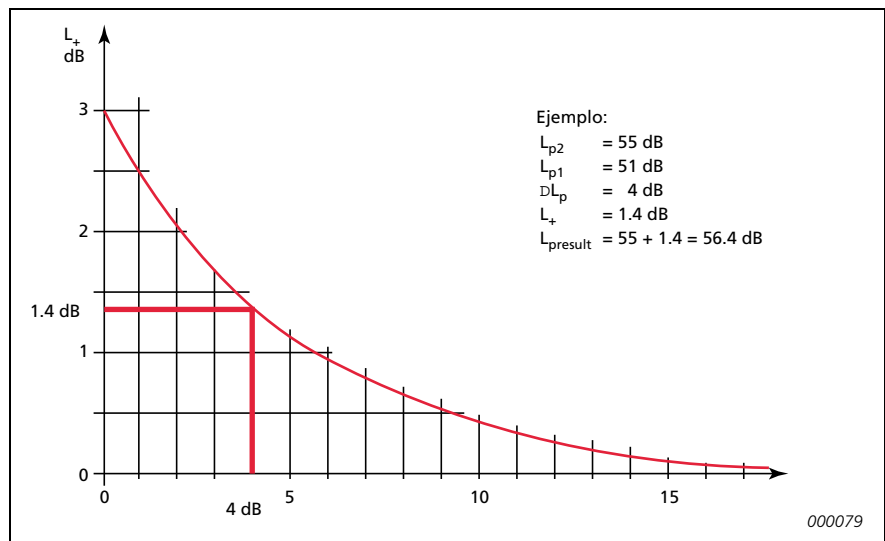
Una forma de sumar dBs es convertir cada valor de dB en su valor lineal, sumar esos valores lineales y convertir el resultado de nuevo en dB, usando la siguiente ecuación:

$$L_{p_{result}} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$



000131

Un método más fácil es usar la curva inferior y el procedimiento siguiente:



1. Medir el Nivel de Presión Sonora (NPS) de cada fuente de ruido separadamente ( $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ ).
2. Encontrar la diferencia ( $\Delta L$ ) entre estos niveles ( $L_{p2} - L_{p1}$ ).
3. Encontrar esta diferencia en el eje horizontal del gráfico. Trasládase hasta interseccionar la curva, y después mirar el valor en el eje vertical a la izquierda.
4. Añadir el valor indicado ( $L_+$ ) del eje vertical al nivel de la fuente de ruido más ruidosa ( $L_{p2}$ ). Esto da la suma de los NPS de las dos fuentes de ruido.
5. Si hay presentes tres o más fuentes de ruido, los pasos 1 a 4 deberán ser repetidos, usando la suma obtenida para las primeras dos fuentes y el NPS de cada fuente adicional

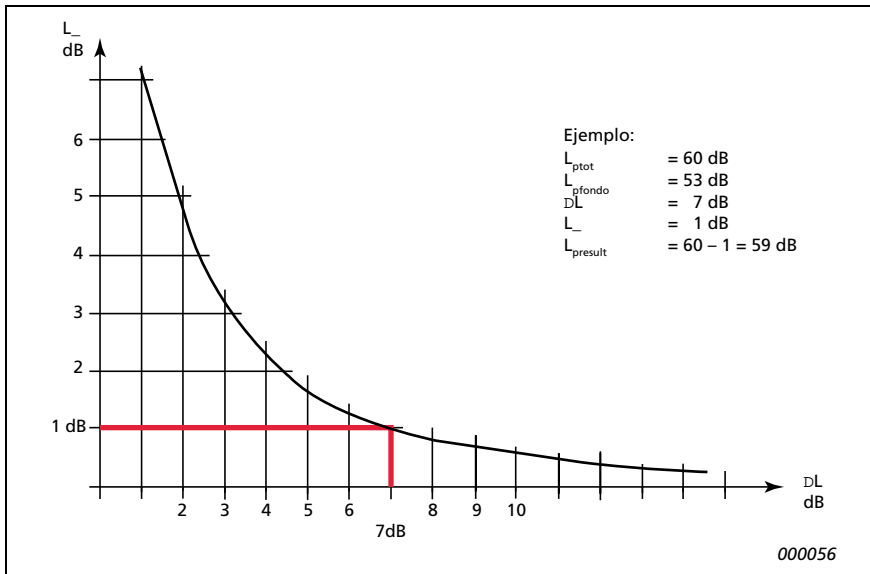
Tenga en cuenta que una diferencia de  $\Delta L = 0$  corresponde a la situación mostrada en la ilustración anterior, donde se añadieron 3 dB al nivel causado por una sola fuente. Si la diferencia entre los dos niveles de presión sonora es superior a 10 dB, la contribución de la fuente más silenciosa puede ser descartada.

## Resta de Niveles Sonoros

Algunas veces es necesario restar el ruido de fondo del NPS total. La corrección para el ruido de fondo puede hacerse restando el ruido de fondo ( $L_{pbackground}$ ) del nivel de ruido total ( $L_{ptot}$ ) usando la siguiente ecuación o curva:

$$L_{presult} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{ptot}}{10}} - 10^{\frac{L_{pbackground}}{10}} \right)$$

Si  $\Delta L$  es inferior a 3 dB, el ruido de fondo es demasiado alto para una medida de precisión y el nivel de ruido correcto no se puede hallar hasta que el ruido de fondo haya sido reducido. Si, por otra parte, la diferencia es superior a 10 dB, el ruido de fondo puede ser ignorado.



# Tipos de Ruido

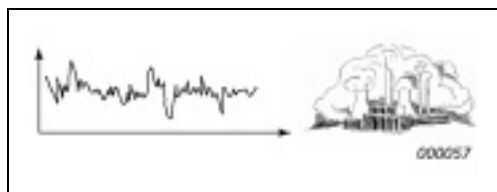
## El Ruido no es Sólo Ruido

En casa y en el trabajo a menudo oímos ruidos, procedentes de sistemas de ventilación o de calefacción, a los cuales difícilmente prestamos atención ya que no tienen características destacables. Esos ruidos nunca paran y no tienen tono, pero si de repente el ventilador se parara o empezara a zumbar, el cambio podría llamarnos la atención o incluso molestarnos. Nuestro oído reconoce información en los sonidos que escuchamos. La información que no necesitamos o que no queremos pasa a ser ruido. Las características del ruido que nos hacen atender y prestar atención son tonos o cambios en el nivel sonoro. Cuanto más destacable sea el tono o más abrupto el cambio de nivel sonoro, más perceptible es el ruido.

Cuando medimos el ruido, necesitamos saber el tipo de ruido que es con el fin de que podamos seleccionar los parámetros a medir, el equipo a usar y la duración de las mediciones. A menudo tenemos que utilizar nuestro oído para captar y subrayar las características molestas del ruido, antes de empezar a tomar medidas, analizarlas y documentarlas.

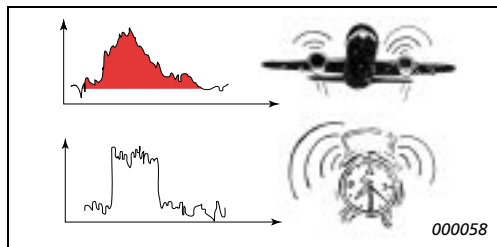
## Ruido Continuo

El ruido continuo se produce por maquinaria que opera del mismo modo sin interrupción, por ejemplo, ventiladores, bombas y equipos de proceso. Para determinar el nivel de ruido es suficiente medir durante unos pocos minutos con un equipo manual. Si se escuchan tonos o bajas frecuencias, puede medirse también el espectro de frecuencias para un posterior análisis y documentación.



## Ruido Intermitente

Cuando la maquinaria opera en ciclos, o cuando pasan vehículos aislados o aviones, el nivel de ruido aumenta y disminuye rápidamente. Para cada ciclo de una fuente de ruido de maquinaria, el nivel de ruido puede medirse simplemente como un ruido continuo. Pero también debe anotarse la duración del ciclo. El paso aislado de un vehículo o aeronave se llama suceso. Para medir el ruido de un suceso, se mide el Nivel de Exposición Sonora, que combina en un único descriptor tanto el nivel como la duración. El nivel de presión sonora máximo también puede utilizarse. Puede medirse un número similar de sucesos para establecer una media fiable.



## Ruido Impulsivo

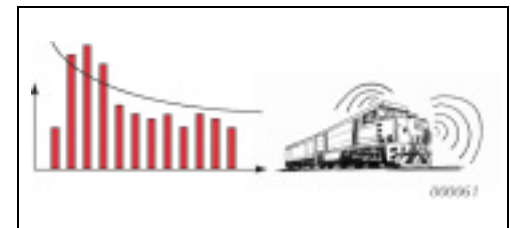
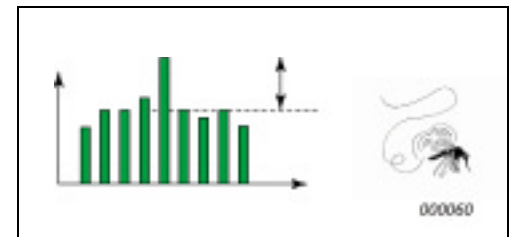
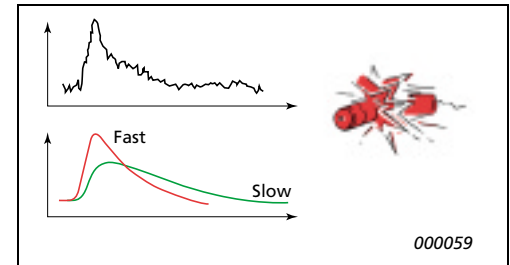
El ruido de impactos o explosiones, por ejemplo de un martinete, troqueladora o pistola, es llamado ruido impulsivo. Es breve y abrupto, y su efecto sorprendente causa mayor molestia que la esperada a partir de una simple medida del nivel de presión sonora. Para cuantificar el impulso del ruido, se puede utilizar la diferencia entre un parámetro con respuesta rápida y uno de respuesta lenta (como se ve en la base del gráfico). También deberá documentarse la tasa de repetición de los impulsos (número de impulsos por segundo, minuto, hora o día).

## Tonos en el Ruido

Los tonos molestos pueden verse generados de dos maneras: Frecuentemente las máquinas con partes rotativas tales como motores, cajas de cambios, ventiladores y bombas, crean tonos. Los desequilibrios o impactos repetidos causan vibraciones que, transmitidas a través de las superficies al aire, pueden ser oídos como tonos. También pueden generar tonos los flujos pulsantes de líquidos o gases que se producen por causa de procesos de combustión o restricciones de flujo. Los tonos pueden ser identificados subjetivamente, escuchándolos, u objetivamente mediante análisis de frecuencias. La audibilidad se calcula entonces comparando el nivel del tono con el nivel de los componentes espectrales circundantes. También deberá documentarse la duración del tono.

## Ruido de Baja Frecuencia

El ruido de baja frecuencia tiene una energía acústica significativa en el margen de frecuencias de 8 a 100 Hz. Este tipo de ruido es típico en grandes motores diesel de trenes, barcos y plantas de energía y, puesto que este ruido es difícil de amortiguar y se extiende fácilmente en todas direcciones, puede ser oído a muchos kilómetros. El ruido de baja frecuencia es más molesto que lo que se cabría esperar con una medida del nivel de presión sonora ponderado A. La diferencia entre el nivel sonoro ponderado A y el ponderado C puede indicar la existencia o no de un problema de ruido de baja frecuencia. Para calcular la audibilidad de componentes de baja frecuencia en el ruido, se mide el espectro y se compara con el umbral auditivo. Los infrasonidos tienen un espectro con componentes significantes por debajo de 20 Hz. Lo percibimos no como un sonido sino más bien como una presión. La evaluación de los infrasonidos es aún experimental y en la actualidad no está reflejado en las normas internacionales.





# Propagación del Ruido Ambiental

¿Cuánto ruido hace un camión de 10 toneladas? Eso depende en gran medida de lo lejos que usted se encuentre, y de si está delante o detrás de una barrera. Muchos más factores afectan al nivel de ruido y los resultados de las medidas pueden variar en decenas de decibelios para la misma fuente de sonido. Para explicar cómo se produce esta variación, necesitamos considerar cómo se emite el ruido desde la fuente, cómo viaja a través del aire y cómo llega al receptor.



**Los factores más importantes que afectan a la propagación del ruido son:**

- Tipo de fuente (puntual o lineal)
- Distancia desde la fuente
- Absorción atmosférica
- Viento
- Temperatura y gradiente de temperatura
- Obstáculos, tales como barreras y edificios
- Absorción del terreno
- Reflexiones
- Humedad
- Precipitación

Estos factores deben tenerse muy en cuenta para obtener un resultado representativo tanto en la medida o en el cálculo. Las normas especificarán condiciones para cada factor.

## Tipos de Fuente

### Fuente Puntual

Si las dimensiones de una fuente de ruido son pequeñas comparadas con la distancia al oyente, entonces se llama fuente puntual, por ejemplo, ventiladores y chimeneas. La energía sonora se propaga de forma esférica, por lo que el nivel de presión del sonido es el mismo en todos los puntos que se encuentran a la misma distancia de la fuente y disminuye en 6 dB al doblar la distancia. Esto se mantiene así hasta que el efecto del suelo y la atenuación del aire influyen de forma notoria en el nivel.

Para una fuente puntual con nivel de potencia sonora,  $L_W$  (ver sección sobre Parámetros de Ruido Ambiental y Terminología) localizada cerca del suelo, el nivel de presión sonora ( $L_p$ ) a cualquier distancia ( $r$ , en m.) desde la fuente puede ser calculado a partir de la ecuación:

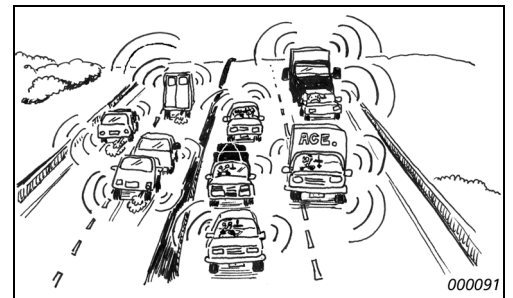
$$L_p = L_W - 20 \log_{10}(r) - 8 \text{ dB}$$

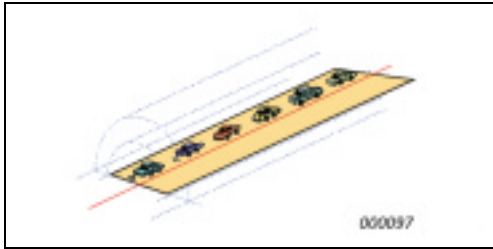
### Fuente Lineal

Si una fuente de ruido es estrecha en una dirección y larga en la otra comparada con la distancia al oyente, ésta es llamada fuente lineal. Puede ser una fuente individual tal como una cañería llevando un fluido turbulento o puede estar compuesta de muchas fuentes puntuales operando simultáneamente, tal como una sucesión de vehículos en una carretera concurrida.

El nivel de sonido se propaga cilíndricamente, por lo que el nivel de presión sonora es el mismo en todos los puntos a la misma distancia de la línea y disminuye en 3 dB al doblar la distancia. Esto se mantiene así hasta que el efecto del terreno y la atenuación del aire influyen de forma notoria al nivel. Para una fuente lineal con nivel de potencia sonora por metro ( $L_W/m$ ) localizada cerca del suelo, el nivel de presión sonora ( $L_p$ ) a cualquier distancia ( $r$ , en m.) desde la fuente puede ser calculado a partir de la ecuación:

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{ dB}$$



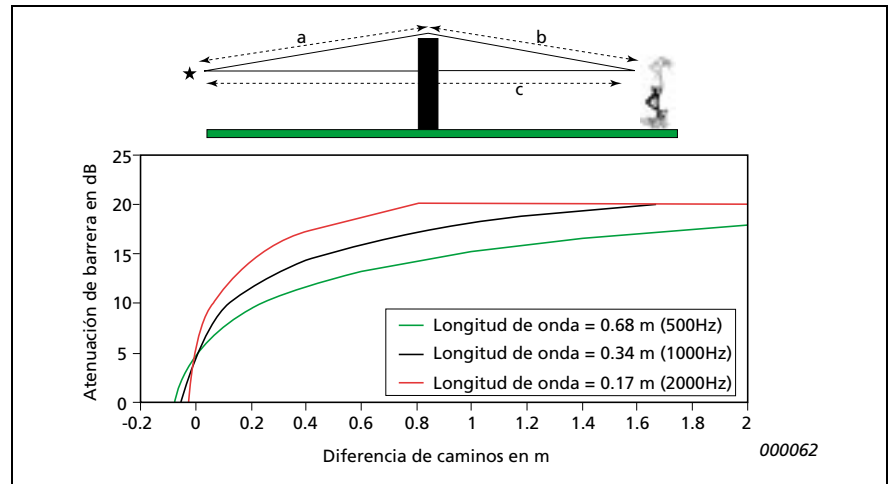


### Barreras

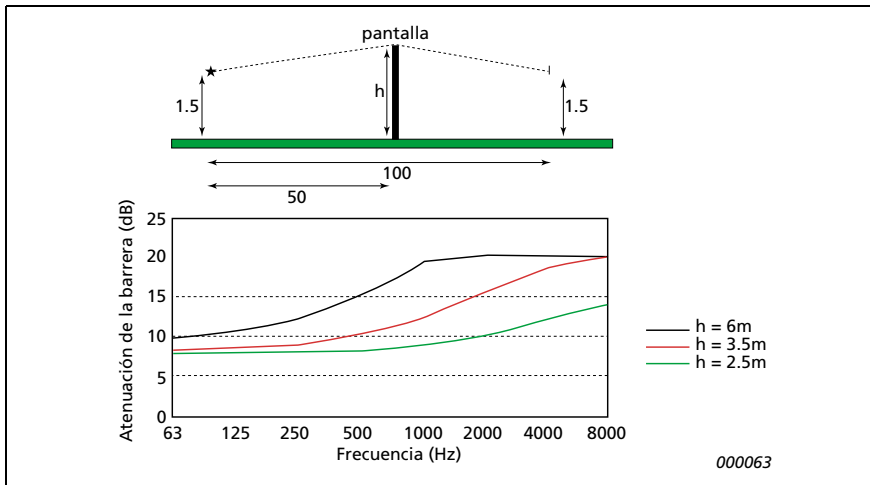
La reducción de ruido causado por una barrera depende de dos factores:

1. La diferencia de la trayectoria de la onda sonora al viajar por encima de la barrera comparado con la transmisión directa al receptor (en el diagrama:  $a + b - c$ )
2. El contenido frecuencial del ruido

El efecto combinado de estos dos factores se muestra en el diagrama. Muestra que las bajas frecuencias son difíciles de reducir usando barreras.



En el siguiente diagrama se muestra la atenuación por el efecto de barrera para una pantalla típica en función de la altura de la barrera. Una barrera es mucho más efectiva si se coloca cerca de la fuente de ruido o del receptor.

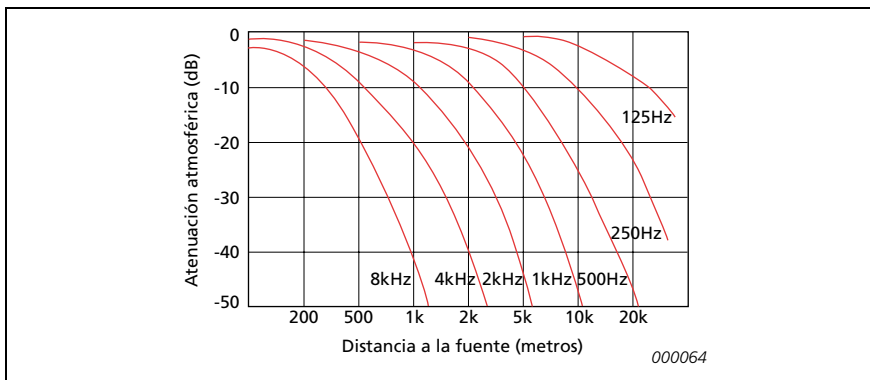


### Atenuación Atmosférica

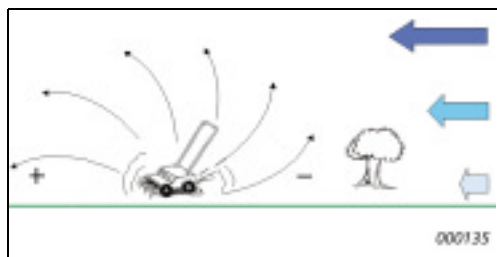
Se trata de una materia compleja y aquí sólo puede resumirse. La reducción de ruido al pasar a través del aire depende de muchos factores incluyendo:

- Distancia desde la fuente
- Contenido frecuencial del ruido
- Temperatura ambiental
- Humedad relativa
- Presión ambiental

Los dos primeros factores mencionados arriba son muy influyentes y se muestran en el diagrama inferior. Resumiendo, la absorción atmosférica no atenúa bien las bajas frecuencias.



## Viento y Temperatura

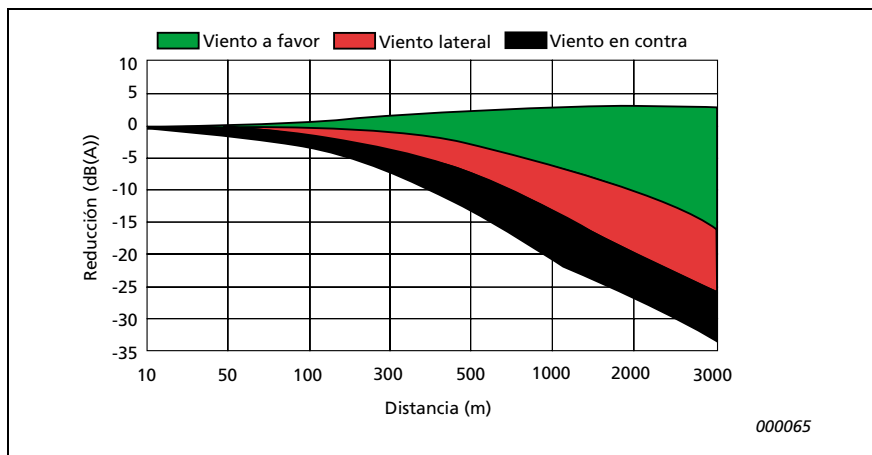


La velocidad del viento aumenta con la altitud, la cual desviará la trayectoria del sonido para “hacerla converger” en el lado situado a favor del viento y crear una “sombra” en el lado de la fuente que se encuentra en contra del viento.

### ¿Por qué medir a favor del viento?

En distancias cortas, hasta 50 m, el viento tiene una influencia pequeña en el nivel de sonido medido. Para mayores distancias, el efecto del viento se hace apreciablemente mayor.

A favor del viento, el nivel puede aumentar unos pocos decibelios, dependiendo de la velocidad del viento. Pero midiendo en contra del viento o lateralmente, el nivel puede caer en más de 20 dB, dependiendo de la velocidad del viento y de la distancia. Ésta es la razón por la que se prefiere medir a favor del viento – la desviación es más pequeña y también el resultado es prudente o conservador.



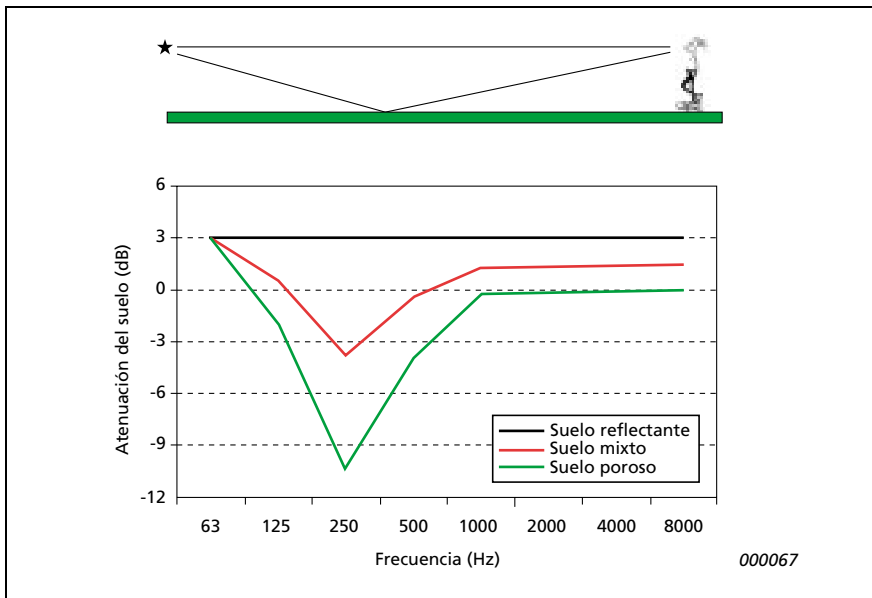
## Temperatura

Los gradientes de temperatura crean efectos similares a los de los gradientes de viento, excepto en que los primeros son uniformes en todas direcciones a partir de la fuente. En un día soleado y sin viento, la temperatura disminuye con la altitud, creando un efecto “sombra” del sonido. En una noche clara, la temperatura puede aumentar con la altitud, “haciendo converger” el sonido en la superficie del suelo.

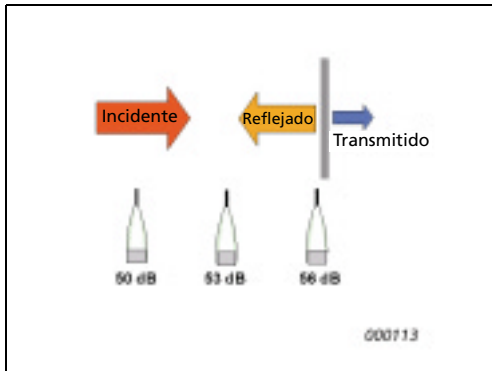
### Efectos del Terreno

El sonido reflejado por el terreno interfiere con el sonido propagado directamente.

El efecto del suelo es diferente cuando se trata de superficies acústicamente duras (hormigón o agua), blandas (césped, árboles o vegetación) o mixtas. La atenuación del suelo se calcula en bandas de frecuencia, para tener en cuenta el contenido frecuencial de la fuente de ruido y el tipo de terreno entre la fuente y el receptor. La precipitación puede afectar a la atenuación del terreno. La nieve, por ejemplo, puede dar una atenuación considerable y además puede causar gradientes de temperatura positivos altos. Las normas habitualmente desaconsejan realizar medidas bajo dichas condiciones.



*Influencia de la superficie del suelo a una distancia de 100 m. entre la fuente y el receptor. Altura de la fuente y receptor 2 m*



## Ruido en el Receptor

### Reflexión

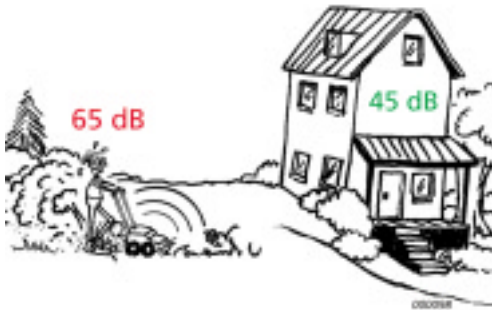
Cuando las ondas del sonido impactan sobre una superficie, parte de su energía acústica se refleja, parte se transmite a través de ella y parte es absorbida. Si la absorción y la transmisión son bajas, como sucede generalmente en el caso de los edificios, la mayoría de la energía sonora se refleja y se dice que la superficie es muy reflectante. El nivel de presión sonora cerca de la superficie se debe, por lo tanto, a la emisión directa de la fuente y al sonido que llega de una o más reflexiones.

Típicamente, el nivel a 0.5 m de una pared lisa es 3 dB(A) mayor que si no hubiera pared. Las normas requieren a menudo que se excluya el efecto de reflexión de los resultados del informe (condiciones de campo libre).

### Ventanas Abiertas y Cerradas

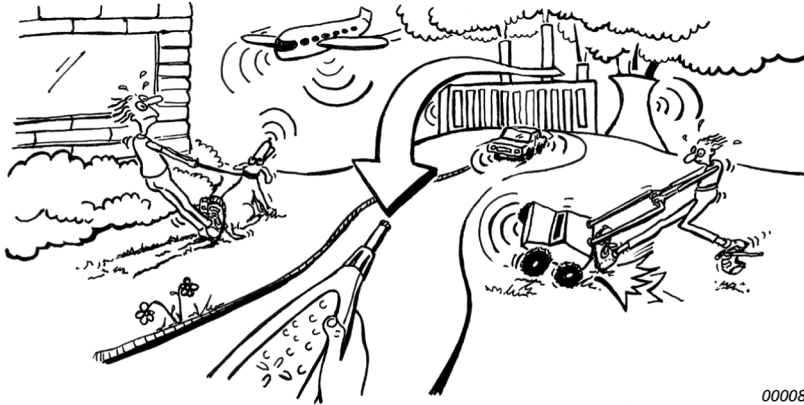
Cuando están en casa, a muchas personas les gusta tener las ventanas cerradas - por el clima o por tradición. En esos casos, el ruido molesto en el ambiente queda atenuado por el edificio, ofreciendo típicamente de 20 – 30 dB de protección (aislamiento acústico de fachada). Las ventanas suelen ser puntos acústicamente débiles, pero que pueden ser mejorados mediante un diseño apropiado.

En otros países y climas, las personas se acostumbran a tener las ventanas abiertas y experimentan los plenos efectos del ruido ambiental. Las normas de ruido ambiental, por lo tanto, deben tener en cuenta tanto la forma en que se construyen las viviendas como la forma en que se utilizan.



# Identificación de Fuentes de Ruido

La evaluación del ruido se hace generalmente considerando el impacto de una fuente de ruido específica, por ejemplo el ruido procedente de una fábrica determinada. Ésta no es siempre una tarea fácil. En prácticamente todos los entornos, un gran número de fuentes distintas contribuyen al ruido ambiental en un determinado punto.



000084

El ruido ambiental es el ruido de todas las fuentes combinadas – ruido de fábricas, ruido de tráfico, canto de pájaros, la corriente del agua, etc.

El ruido específico es el ruido procedente de la fuente sometida a investigación. Dicho ruido es un componente del ruido ambiental y puede ser identificado y asociado con el foco generador de molestias.

El ruido residual es el ruido ambiental sin ruido específico. El ruido residual es el que permanece en un punto bajo ciertas condiciones, cuando el ruido de la fuente específica se suprime.

Esta terminología deriva de la norma ISO 1996 y se utiliza de forma habitual. El término ruido de fondo (no utilizado en la ISO 1996) es también un término común pero no debería confundirse con el ruido residual. El ruido de fondo se utiliza algunas veces para expresar el nivel medido cuando la fuente específica no es audible y, a veces, es el valor de un determinado parámetro de ruido, tal como el  $L_{A90}$  (nivel excedido durante el 90% del tiempo de medición).



En el contexto de la planificación de edificios, el término ruido inicial se usa para expresar el ruido en un determinado punto antes de que se produzcan cambios, como por ejemplo la ampliación de las infraestructuras, centros de producción o la construcción de barreras.

Para evaluar un ruido específico se utilizan varios métodos, muchos de los cuales se describen en este folleto. Los métodos de evaluación pueden ser desde lo más drástico, como el cierre de una planta de producción para evaluar el ruido residual, hasta sistemas sofisticados en los que se incluyen mediciones, simultáneas y correlacionadas, en varios puntos cercanos y lejanos de la fuente. El ruido medido suele grabarse en una cinta audio-digital (DAT) o directamente en un PC con el fin de identificar y documentar la fuente de ruido.

## Medir el Ruido

Las medidas objetivas de los niveles de sonido son una parte indispensable de cualquier programa de protección contra el ruido ambiental. Los niveles de ruido ambiental varían enormemente – el ruido es a menudo impulsivo o puede contener tonos puros. Además, las molestias procedentes de fuentes de ruido externas – ladridos de perro, vuelo de aviones, niños jugando – deben tratarse de formas diferentes.

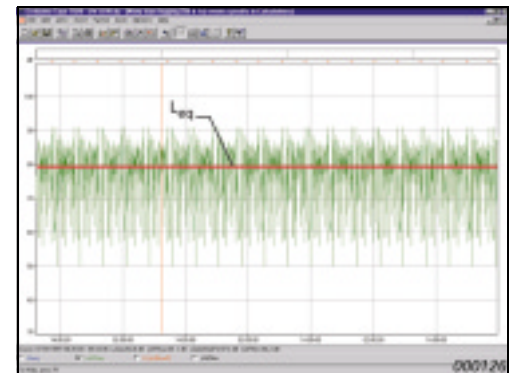
Los normas y legislaciones especifican qué parámetros deben ser medidos y, en la mayoría de los casos, también indican cómo configurar los equipos de medida y como tratar los diversos factores tales como las condiciones meteorológicas. Además de todo esto, existen ciertas “prácticas recomendadas”. El resultado de una evaluación de un ruido nunca es una simple cifra como 77 dB. Es el valor de los parámetros o indicadores específicos obtenidos bajo unas condiciones conocidas y bien documentadas.

## Obtener un Promedio

Evaluar un nivel de ruido fluctuante significa obtener un valor para un nivel que es, en términos sencillos, el nivel promedio. El cálculo del promedio a simple vista utilizando un instrumento de aguja es un método del pasado. El  $L_{A50}$ , por ejemplo (nivel excedido durante un 50% del tiempo de medición), raramente se utiliza en la actualidad como un valor medio.

El “nivel sonoro continuo equivalente”, el  $L_{eq}$ , se conoce en todo el mundo como el parámetro promedio esencial. El  $L_{eq}$  es el nivel que, de haber sido constante durante el período de medición, representaría la misma cantidad de energía presente en el nivel de presión sonora medido y fluctuante. El  $L_{eq}$  se mide directamente con un sonómetro integrador. El  $L_{eq}$  es una medida de la energía promedio en un nivel sonoro variante. No es una medida directa de la molestia. Sin embargo, investigaciones más amplias han mostrado que el  $L_{eq}$  se correlaciona bien con la molestia aunque es evidente que un nivel de ruido aceptable, por ejemplo, un miércoles por la tarde podría ser angustioso un domingo temprano por la mañana. Por lo tanto, se podrían aplicar correcciones según la hora del día.

# Medir el Ruido

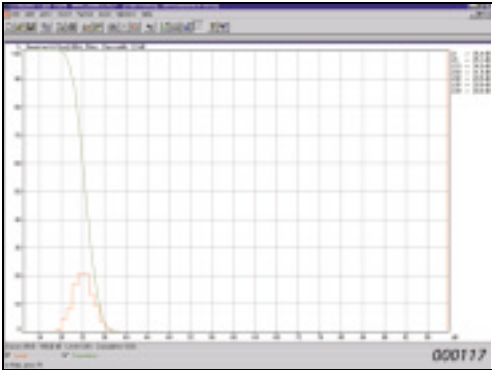


## Usar Estadísticas

Cuando se evalúa el ruido, es útil analizar las distribuciones estadísticas de los niveles sonoros. El análisis no sólo proporciona información útil sobre la variabilidad de los niveles de ruido sino que además es importante en muchas normativas como base para evaluar el ruido de fondo. Por ejemplo, el  $L_{90}$ , el nivel excedido durante el 90% del tiempo de medición, se utiliza como indicador de los niveles de ruido de fondo, mientras que el  $L_{10}$  o el  $L_5$  se utilizan a veces para indicar el nivel de los sucesos de ruido.

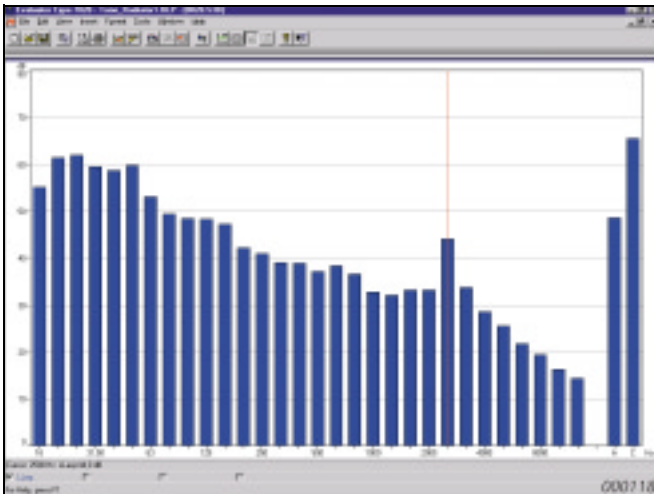
## ¿Mediciones de 7 Días o de Dos Horas ?

Lo ideal es medir el ruido durante el intervalo temporal de referencia completo. Éste podría variar desde mediciones de dos horas de duración hasta de una semana. A veces por determinadas razones se utilizan períodos más largos tales como mediciones de un mes y un año. En dichos casos para obtener un historial de tiempo de los niveles de ruido, se utiliza un registro de valores obtenidos cada segundo, minuto o cuarto de hora. Sin embargo, las mediciones de larga duración pueden ser caras y difíciles de gestionar. Normalmente esas evaluaciones se basarán en tomar mediciones de muestras representativas y con ellas, extrapolar una visión completa y general. El elaborar una evaluación completa a partir de muestras representativas de forma manual, es verdaderamente una tarea desalentadora. Los más avanzados programas de software pueden automatizar el proceso proporcionando resultados precisos y de confianza de forma eficiente y a bajo coste. Sin embargo, en el caso que las normas impongan límites absolutos en los niveles máximos, será necesario un seguimiento o monitoreo continuo de los niveles sonoros.



## ¿Banda Ancha o Análisis Frecuencial?

El  $L_{eq}$  o, mejor dicho, el  $L_{Aeq}$  (nivel sonoro continuo equivalente ponderado A) es el parámetro más importante. Las mediciones de banda ancha, es decir, las mediciones que cubren la totalidad del margen de frecuencias audibles, se realizan usando la ponderación frecuencial "A" cuando se evalúa el ruido ambiental. Es una práctica recomendada indicar siempre la ponderación frecuencial aplicada. El ruido con tonos destacados, como el ruido de ventiladores, compresores o sierras, es, con mucho, más molesto que otros tipos de ruido. Este factor de molestia no se tiene en cuenta en las mediciones de banda ancha. Para evaluar la molestia se podría necesitar un análisis espectral. Los tonos puros pueden ser evaluados subjetivamente, ya que el oído humano es bueno detectando tonos. A menudo las normas también requieren una medición objetiva del contenido tonal. En la práctica, esto se hace mediante el análisis en 1/3 de octava o por análisis de banda estrecha (FFT – Transformada Rápida de Fourier).



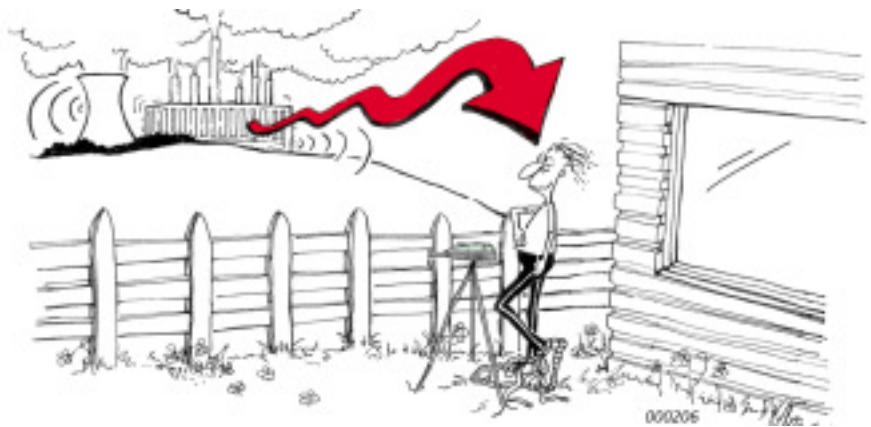
## Dónde Colocar el Micrófono

Generalmente, la legislación indica dónde se deberían hacer las mediciones, por ejemplo en los límites de una propiedad o en la propiedad de un demandante. Cuando se mide, también se deben tener en cuenta otros factores, puesto que los niveles de sonido varían a diferentes alturas sobre el nivel del suelo. También variarán dependiendo de la distancia entre el punto de medición y las fachadas y obstáculos. Estos requisitos deben ser anotados y aplicados.

Según lo anterior, las mediciones deberán realizarse:

- lejos de fachadas
- lejos de obstáculos
- a favor del viento
- en condiciones sin humedad y con una velocidad del viento inferior a 5 m/s
- con el micrófono entre 1.2 y 1.5 m sobre el nivel del suelo.

Sin embargo, las mediciones también pueden ser hechas en la fachada o a otras alturas determinadas (la Unión Europea está considerando establecer la medida a 4 m.)



# Calibración

## ¿Es Necesaria la Calibración?

Calibrar los sonómetros antes y después de cada serie de mediciones usando un calibrador acústico es una práctica común.

Lo que realmente se hace al calibrar es comprobar la sensibilidad del instrumento a una frecuencia y un nivel de sonido específicos (normalmente 1 kHz y 94 dB). Algunos piensan que no es necesario ya que la instrumentación y los micrófonos más modernos no suelen verse demasiado afectados por la temperatura, la presión estática del aire o la humedad. Aunque esto es cierto para instrumentos de alta calidad, siempre debería indicarse los datos de la calibración en cualquier informe, por tres razones:

1. La calibración asegura que no se pierda un día de trabajo. Puede detectarse inmediatamente un fallo en el transductor o en el instrumento
2. Las normas y legislaciones requieren los datos de la calibración
3. Las condiciones ambientales extremas pueden afectar los resultados

Para los profesionales, el sonómetro y el calibrador van juntos. Pero para asegurar una precisión continuada, y para su validez en los tribunales, se requieren comprobaciones y calibraciones externas y más detalladas.

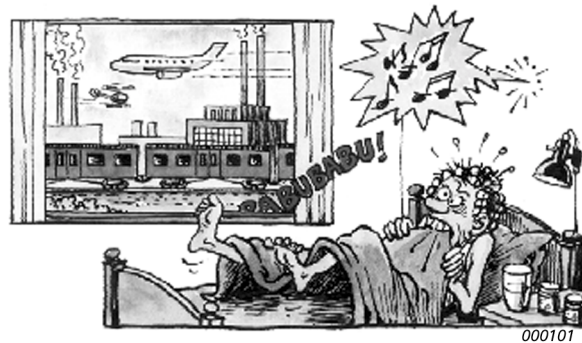
## Certificados de Conformidad de la Calibración

Todos los distribuidores acreditados de equipos de medición de sonido emiten un Certificado de Conformidad (COC o MCOC) con cada instrumento. Éste establece que cada instrumento cumple con las especificaciones publicadas y las normas aplicables. Dicho certificado no debe ser tratado como si fuera un certificado de calibración. La calibración de un sonómetro (o de un calibrador de nivel de sonido) es un examen completo de la conformidad del instrumento aplicando las normas pertinentes. El certificado de calibración contiene todos los resultados de las pruebas, información sobre la incertidumbre de la calibración, situación y condiciones de calibración y un informe de la trazabilidad. Es importante que todas las mediciones tengan la trazabilidad adecuada, según las normas nacionales o internacionales, y que el laboratorio de calibración esté acreditado. Para asegurarse, contacte con un laboratorio que trabaje bajo el sistema de acreditación reconocido internacionalmente, por ejemplo, la Acreditación Europea. Los sonómetros y los calibradores utilizados para medidas legales del ruido ambiental deben ser calibrados anual o bianualmente en un laboratorio de calibración acreditado.



# Nivel de Evaluación. Molestia y Penalizaciones

La molestia debida a una fuente de ruido determinada se percibe de forma diferente según la persona y también depende de otros muchos factores no acústicos tales como la prominencia de la fuente, su importancia con respecto a la economía del oyente y su opinión personal sobre la fuente. Durante muchos años, los acústicos han intentado cuantificar esto para que resulte posible una evaluación objetiva de las molestias de ruido y aplicar límites de ruido aceptables. Cuando un gran número de personas están involucradas, las reacciones tienden a distribuirse alrededor de un promedio, y el parámetro Nivel de Evaluación ( $L_r$ ) ha sido desarrollado en un intento de poner un valor numérico a un ruido, con el objeto de cuantificar su molestia en relación a la población en general.



Fuente: Agencia Nacional Danesa del Consumidor

El Nivel de Evaluación se define en la norma ISO 1996–2 (ver sección sobre Normas Internacionales). Se trata básicamente de una medida de la exposición al ruido corregida por factores conocidos que incrementan la molestia. Se utiliza para comparar niveles medidos con límites de ruido que varían, generalmente dependiendo del uso de la propiedad que esté siendo investigada (ver sección sobre Evaluación). El parámetro básico es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A o  $L_{Aeq}$ .

La fórmula para el Nivel de Evaluación es (en términos generales):

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

donde:

- $K_I$  es una penalización por impulsos
- $K_T$  es una penalización por tono y contenido de información
- $K_R$  es una penalización por la hora del día
- $K_S$  es una penalización (positiva o negativa) para ciertas fuentes y situaciones

ISO 1996-2 establece que el Nivel de Evaluación tiene que ser determinado en los intervalos temporales de referencia relacionados con las características de la/s fuente/s y receptor/es. Estos intervalos temporales de referencia a menudo se definen en las normas y en la legislación local/nacional. La forma de medir y evaluar las penalizaciones es diferente dependiendo del país pero los principios básicos son los mismos y están descritos en la sección siguiente.

## **Paisajes Sonoros – Calidad Sonora Ambiental**

Las investigaciones actuales en el campo de la relación entre la fuente de ruido y la reacción frente a ella, se centra en muchos temas uno de los cuales es el concepto del diseño del paisaje sonoro, donde la placidez subjetiva de los paisajes sonoros urbanos se compara con parámetros físicos de la misma forma que sucede con el ruido en el diseño de productos.

El diseño de un paisaje sonoro combina el talento de científicos, científicos sociales, arquitectos y proyectistas de ciudades. Intenta definir principios y técnicas a través de las cuales se puede mejorar la calidad del ambiente acústico o paisaje sonoro. Esto incluye la eliminación de ciertos sonidos (disminución del ruido), la conservación de ciertos sonidos (marcas de sonido) y la combinación y el equilibrio de sonidos para crear ambientes acústicos atractivos y estimulantes.





# Evaluación (Límites)

Referencias de esta sección: Regulaciones para el ruido comunitario, Dieter Gottlob, Noise/News international, diciembre 1995

## Nivel de Evaluación $L_T$ – ¿Cuánto es Demasiado?

Las normas internacionales describen cómo determinar el Nivel de Evaluación  $L_T$ , pero no imponen límites legales. Los límites están regulados individualmente por el país o la autoridad local. Las diferencias en el estilo de vida, el clima (actividades al aire libre, ventanas abiertas o cerradas) y el diseño de edificios hacen que la armonización internacional de los límites de ruido sea difícil.



Ejemplo de uso de zonas de ruido						
Zona	Planificación		Variaciones		Alarma	
	Límite día	Límite noche	Límite día	Límite noche	Límite día	Límite noche
Recuperación	50	40	55	45	65	60
Residencial	55	45	60	50	70	65
Mixta	60	50	65	55	70	65
Industrial	65	55	70	60	75	70

## Tres Aplicaciones de Límites

Como ejemplo de un reglamento nacional, en Suiza se utilizan tres tipos de límites:

1. Valores de planificación para nuevas áreas residenciales, de transportes o industriales
2. Límites en las viviendas por alteraciones o nuevas instalaciones
3. Valores de alarma para identificar áreas en las que es prioritario la disminución del ruido

Zonas similares a las arriba mencionadas se utilizan universalmente y especifican diferentes límites dependiendo del tipo y uso del área sometida a investigación.

## Dos Tipos de Límites

En la mayoría de los países se usan los límites absolutos. Se compara el Nivel de Evaluación  $L_r$  con un límite fijo, tal como 50 dB(A).

Los límites relativos se usan, por ejemplo, en el Reino Unido. Se compara el Nivel de evaluación  $L_r$  con el ruido de fondo, medido como  $L_{AF90}$ .

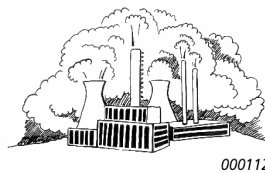
## Ruido Industrial

Casi todos los países usan el Nivel de Evaluación  $L_r$  según ISO 1996 para evaluar el ruido industrial. Sin embargo, en Japón, se usa el  $L_{50}$ , mientras que Bélgica usa el  $L_{95}$ . El límite está normalmente en el margen de 50–55 dB(A).

**El Nivel de Evaluación  $L_r$  se calcula a partir de  $L_{Aeq}$ ,** el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, con ajustes (penalizaciones)  $K_T$  por componentes tonales y  $K_I$  por ruido impulsivo.

Los períodos temporales de referencia varían según el país. Algunos usan sólo el día y la noche, algunos combinan día y noche y otros tienen también períodos de tarde. Para cada período temporal de referencia se utilizan diferentes procedimientos de evaluación.

Períodos de tiempo			
País	Día	Tarde	Noche
	(Penalización temporal)	(Penalización temporal)	(Penalización temporal)
Austria	6–22 (8 h)		22–6 (0,5 h)
Bélgica	1 h	1 h	1 h
Canadá	7–23 (1 h)		23–7 (1 h)
Dinamarca	7–18 (8 h)	18–22 (1 h)	22–7 (0,5 h)
Francia	7–20	6–7 20–22	22–6
Alemania	6–22 (16 h)	Laborables: 6–7, 20–22 Fines de semana: 6–9, 13–15, 20–22	22–6 (1 h)
Hong Kong	7–23 (0,5 h)		23–7 (0,5 h)
Italia	6–22		22–6
Corea	6–18 (8 h)	18–24 (4 h)	24–6 (2 h)
Holanda	7–19	19–23	23–7
Suecia	7–18	18–22	22–7
Suiza	7–19		19–7
Reino Unido	7–23 (1 h)		23–7 (5 min)



El período temporal más ruidoso se utiliza en algunos países para penalizar el ruido intermitente. La duración de este período puede estar entre los 5 minutos hasta una hora, dependiendo del país.

La penalización por tonos varía entre 0 dB (sin penalización) y 6 dB. Algunos países usan una única penalización de 5 dB mientras que otros países utilizan dos o más valores. En la mayoría de los casos, la presencia de tonos se determina subjetivamente, pero los métodos objetivos están siendo cada vez más utilizados. Estos métodos están basados en el análisis en 1/3 de octava o la FFT (Transformada Rápida de Fourier).

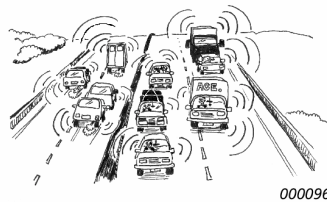
La penalización máxima por impulsividad puede variar hasta los 7 dB entre países, usando métodos objetivos y subjetivos. Los métodos objetivos se basan en la diferencia entre un parámetro de medición de respuesta lenta y otro de respuesta más rápida (por ejemplo, entre niveles ponderados A medidos con detector Rápido o Impulso) o puede estar basado en el tipo de fuente, usando una lista que enumere fuentes de ruido (tales como martilleo, explosiones, etc.).

Penalizaciones por impulsividad y tonos puros		
País	$K_T$ dB	$K_I$ dB
Australia	2 ó 5	2 ó 5
Austria	3 ó 6	3 si $L_{AIMax} - L_{AFMax} < 2$ dB 5 si $L_{AIMax} - L_{AFMax} \geq 2$ dB
Bélgica	–	$L_{AIMax} - L_{AFMax}$ si $\geq 4$ dB
Dinararca	5	5
Francia	5	3, 5 ó 10 dependiendo de la duración y $L_{AFMax} - L_{Aeq}$
Alemania	3 ó 6	$L_{AFTeq} - L_{Aeq}$
Hong Kong	3 ó 6	3
Corea	–	5
Holanda	5	5
Suiza	2, 4 ó 6	2, 4 ó 6
Reino Unido	5	5

## Ruido de Trafico por Carretera

El ruido del tráfico por carretera es la fuente de ruido más importante en todos los países y la causa más frecuente de molestia e interferencias. Por esa razón, las medidas de reducción del ruido del tráfico tienen prioridad absoluta.

Límites para ruido de tráfico rodado				
País	Indice	Límite día	Límite tarde	Límite noche
Australia	$L_{10}$ , 18 h	60		55
Austria	$L_{Aeq}$	50-55		40-45
Canadá	$L_{Aeq}$	55		50
Dinamarca	$L_{Aeq}$ , 24 h	55		
Francia	$L_{Aeq}$	60-65		55-57
Alemania	$L_r$	50-55		40-45
Holanda	$L_{Aeq}$	50	45	40
España	$L_{Aeq}$	60		50
Suecia	$L_{Aeq}$ , 24 h	55		
Suiza	$L_r$	55		45
Reino Unido	$L_{Aeq}$	55		42



El  $L_{Aeq}$  es el índice de ruido preferido, pero también se usa el Nivel de Evaluación  $L_r$  y los niveles percentiles  $L_{10}$  y  $L_{50}$ .

Para tráfico denso, se asume que el  $L_{10}$  es unos 3 dB superior al  $L_{Aeq}$  y que el  $L_{50}$  es entre 1-2 dB inferior. La evaluación se lleva a cabo usando varios intervalos temporales de referencia dependiendo del país. Estos intervalos varían desde un único período de 24 horas hasta tres intervalos distintos para día, tarde y noche. Generalmente, los límites nocturnos son los más difíciles de cumplir. La tabla muestra los límites de planificación de nuevas carreteras en varios países. Los límites están a menudo por encima del nivel de 50-55 dB(A) recomendados por la OMS (Organización Mundial de la Salud) por lo que la expansión de áreas "grises" es inevitable casi en todas partes.

## Ruido de Tráfico de Ferrocarril

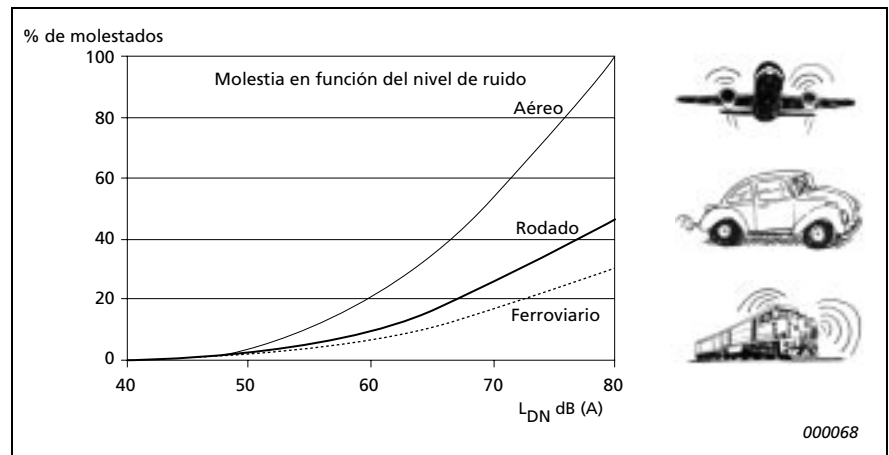
Como con el ruido de tráfico por carretera, el  $L_{Aeq}$  es el índice preferido para el ruido de tráfico del ferrocarril. En algunos países, los niveles de Evaluación se calculan a partir del  $L_{Aeq}$  restando (normalmente) 5 dB, la llamada bonificación.

En Japón, en la línea de alta velocidad Shinkansen se utiliza el  $L_{ASmax}$ . Generalmente, usar niveles máximos como único límite tiene la desventaja de descuidar el número de trenes.

La evaluación se lleva a cabo usando varios intervalos temporales de referencia, dependiendo del país. Estos intervalos varían desde un único período de 24 horas hasta tres intervalos distintos para día, tarde y noche.

Los límites de ruido para nuevas líneas en zonas residenciales varían entre los 60 y los 70 dB. En algunos países, la bonificación al tren se incluye en los valores límites.

La bonificación al tren se basa en estudios sociales de varios países, comparando la molestia procedente del tráfico por carretera y del ferrocarril. El efecto es más pronunciado a niveles altos.



El gráfico superior muestra relaciones causa-efecto para el tráfico por carretera, por ferrocarril y aéreo. El porcentaje de personas con mayor molestia queda indicado respecto los niveles  $L_{DN}$  ( $L_{Aeq}$  con 10 dB de penalización por exposición temporal nocturna entre las 22:00 y las 07:00). Ilustra la menor molestia causada por el ruido del ferrocarril y la mayor molestia causada por el ruido del tráfico aéreo, comparados con el ruido de tráfico por carretera y para el mismo nivel de  $L_{DN}$ . Debido a la gran abundancia de datos subyacentes, este gráfico sólo debe considerarse como ilustración.

## Ruido de Aeronaves

La herramienta más importante para el control del ruido en aeropuertos es la zonificación de los usos del suelo, la planificación y programas de aislamiento del ruido. El ruido procedente de aeronaves comerciales sólo es un problema alrededor de los aeropuertos donde convergen la baja altitud y los motores a alta potencia de los aviones. El aumento del tráfico aéreo y el crecimiento de la ciudad exacerbará los problemas de ruido. La reducción del ruido de las aeronaves y las restricciones tanto en el tráfico como en las trayectorias de vuelo pueden aliviarlos. Como último recurso, las viviendas existentes pueden ser protegidas contra el ruido mejorando el aislamiento de sus ventanas y tejados.

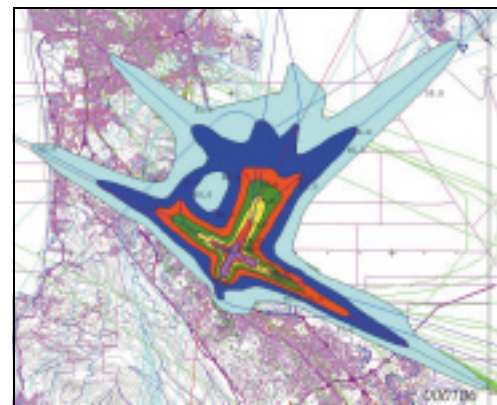
Las curvas de nivel de ruido se usan para mostrar la envergadura y el emplazamiento de las áreas con problemas de ruido. El número mostrado con cada curva de nivel indica el nivel de ruido excedido en dicha curva. Superpuesto en el mapa y comparado con los límites de ruido, destacan las áreas que tienen necesidad de medidas de reducción de ruido.

Límites para ruido de aviones			
País	Sin restricciones	Medidas de aislamiento	Sin nuevas viviendas
Australia	< 53	53 – 58	> 58
Canadá	≤ 57	60 – 62	> 68
China	≤ 54		
Dinamarca	≤ 51	> 61	> 51
Francia	< 62	62 – 71	
Alemania	< 62	67 – 75	> 75
Japón	< 54	> 69	
Holanda	≤ 50	53 – 60	> 50
Nueva Zelanda	≤ 52	52 – 62	> 62
Noruega	≤ 55	55 – 65	> 55
Suecia	< 51		
Suiza		62 – 72	> 62
Reino Unido	≤ 55	55 – 64	> 70
Estados Unidos	≤ 62		> 72
<b>Nota:</b>	Todos los límites son valores de $L_{Aeq, 24h}$		

Las huellas de ruido muestran las curvas de nivel de ruido para una única aeronave o clase de aeronave. Las huellas de ruido se calculan a partir de datos de ruido de cada aeronave, teniendo en consideración su trayectoria de vuelo, operación de la aeronave y características del entorno. Sirven para evaluar el impacto de ruido actual y futuro, y ayudar a planificar las medidas de reducción de ruido.

Curvas de nivel de ruido alrededor de un aeropuerto calculadas usando el modelo INM, basadas en mediciones previas de ruido

55–60 dB = Azul claro  
 60–70 dB = Azul oscuro  
 70–75 dB = Roja  
 75–80 dB = Verde  
 80–85 dB = Amarillo  
 > 85 dB = Rojo



# El Informe de Medición

El informe de resultados suele ser uno de los aspectos más infravalorados en el proceso de la evaluación del ruido. A menudo sólo se presentan datos marginales, tales como unos cuantos valores de dB. Consecuentemente, esa falta de información importante lleva a que la interpretación del informe sea complicada. El nivel de detalle de un informe debe ser consistente con el propósito del mismo hacia sus lectores. Para hacer un informe completo y coherente es preciso prestar cuidadosa atención a la situación bajo la cual se están tomando las mediciones.

Las normas y las prácticas recomendadas son de gran ayuda cuando se hace un informe de mediciones. Las siguientes normas presentan la estructura sobre qué información debe ser registrada y qué información es recomendable registrar.

**La norma ISO 1996 actual, establece que debe registrarse al menos la siguiente información:**

- Resultados numéricos
- Técnica de medición
- Tipo de instrumentación utilizada
- Procedimiento de medición utilizado
- Cálculos utilizados
- Condiciones predominantes
- Condiciones atmosféricas (dirección y velocidad del viento, lluvia, temperatura, presión atmosférica, humedad)
- Naturaleza/estado del terreno entre la fuente y el receptor
- Variabilidad de la fuente
- Datos de calibración
- Fecha de la medición, hora de inicio y de parada
- Número de mediciones hechas
- Descripción de las fuentes de sonido investigadas

**También se aconseja incluir información adicional como:**

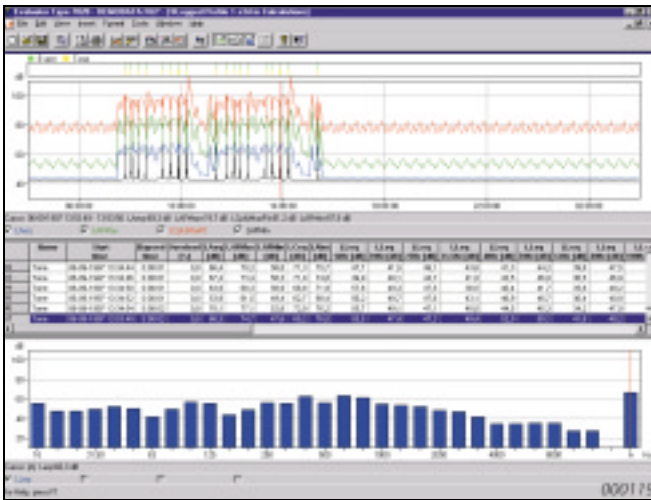
- El propósito de la medición
- La norma utilizada
- El equipo utilizado, incluyendo números de serie
- Un mapa que muestre la posición de las fuentes de sonido, objetos relevantes y puntos de observación

También es importante escribir el informe en un estilo legible y fácil de entender. Dependiendo de a quien esté dirigido, el uso de gráficos, esquemas e ilustraciones puede ayudar a explicar los datos. En otros casos, el texto y las cifras serán suficientes.



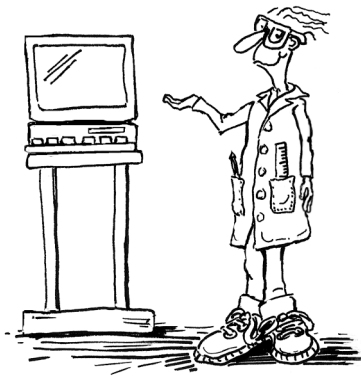
000175

Si usted realiza muchos informes de mediciones, es vital que archive cuidadosamente sus datos. Un registro estructurado puede resultar esencial cuando deben recuperarse datos antiguos para compararlos con nuevos datos. Existe un gran número de paquetes informáticos profesionales para PC que cumplen con los requisitos actuales de almacenamiento de información. Importar datos de los equipos de medición, preparar informes estructurados, archivar y recuperar datos fácilmente, impresión directa y facilidades de exportación, son tareas fáciles con estos programas de software, que ahorran un tiempo muy valioso al acústico profesional.





# Cálculo de Niveles de Ruido (Predicción del Ruido)



000088

Calcular niveles de ruido en el punto receptor o desde un punto a otro requiere normalmente un ordenador, debido a la gran cantidad de datos que se generan en situaciones reales

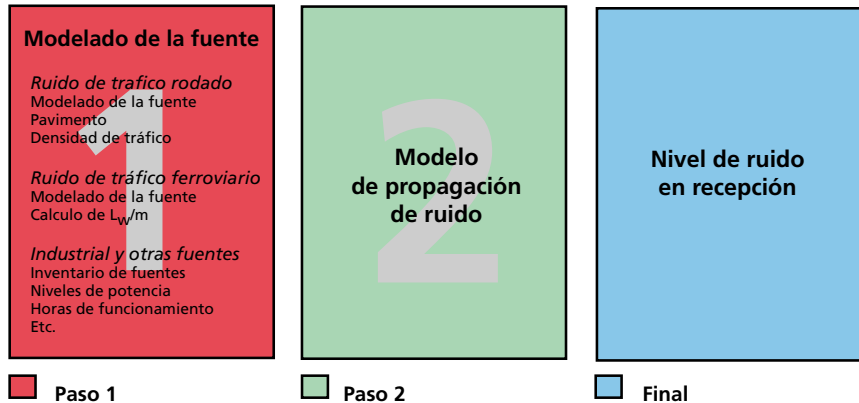
Los niveles de ruido en un punto receptor pueden obtenerse por cálculo en lugar de medirse. Además, también es posible calcular la propagación del ruido de un punto de medición a otro.

En los siguientes casos, es preferible el método del cálculo y puede ser el único método practicable:

- Cuando los niveles a medir estén contaminados por un ruido de fondo alto, por ejemplo, cuando se determina el ruido de una planta industrial en las proximidades de una carretera concurrida
- Cuando se necesite predecir niveles futuros
- Cuando se necesite comparar distintos escenarios de desarrollos alternativos y de reducción de ruido
- Cuando se necesite hacer mapas de curvas de nivel de ruido
- Cuando haya un acceso limitado a las posiciones de medición

El cálculo normalmente se lleva a cabo de acuerdo con un algoritmo estándar reconocido. Éste, normalmente, se determina a nivel nacional, o bien por un sector industrial, y a menudo depende del tipo de fuente.

Casi siempre los algoritmos están relacionados con la fuente, limitando su uso a este tipo de fuente en particular. Una excepción a esta regla es la norma ISO 9613, aceptada internacionalmente. Que determina los niveles en puntos receptores basados en los niveles de potencia sonora de fuentes identificadas. Estar definido a partir de los niveles de potencia sonora hace que la norma sea independiente del tipo de fuente (aunque hay limitaciones con respecto a fuentes altamente impulsivas o de velocidad alta).



000128

Todos los algoritmos están basados en un modelo con dos partes donde la fuente queda modelada en una parte y la propagación (del punto de referencia al punto de interés) se modela en otra para proporcionar los niveles de ruido en el punto de interés

Los algoritmos normalmente se verifican mediante numerosas mediciones y sobre una gran variedad de escenarios tipo de prueba llegando a obtenerse precisiones (incertidumbre) de 3 dB, similar a lo que puede lograrse con las mediciones.

Aunque se dispone de métodos más avanzados, la mayoría de los algoritmos estandarizados de uso corriente son empíricos y están basados en simples leyes de la física. De hecho, muchos de ellos pueden ser aplicados con papel y lápiz. Sin embargo, debido al gran número de puntos de cálculo y de fuentes a tener en cuenta, se usan ordenadores, permitiendo un cálculo, un análisis, una presentación y un informe mucho más rápidos.

Los cálculos se hacen usando un modelo, por ordenador, del ambiente con las fuentes de ruido definidas, la topografía y las características que afectan a la propagación del ruido a los puntos de interés (receptor). Se introducen uno o más puntos de cálculo en el modelo y luego se le pide al ordenador que evalúe los niveles de ruido en el modelo. Normalmente, se calculan los niveles  $L_{Aeq}$  durante períodos largos aunque también suelen estar disponibles los niveles por bandas de octava.

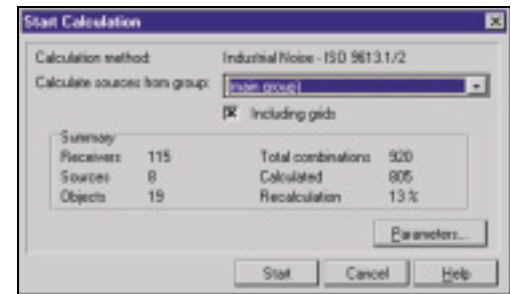
## Los Algoritmos

Los algoritmos son fáciles de entender básicamente. El nivel de presión sonora en un punto causado por una fuente de ruido con una potencia determinada puede ser obtenido por la siguiente ecuación:

$$L_p = L_W + D_c + C_b - A_{propagación}$$

donde:

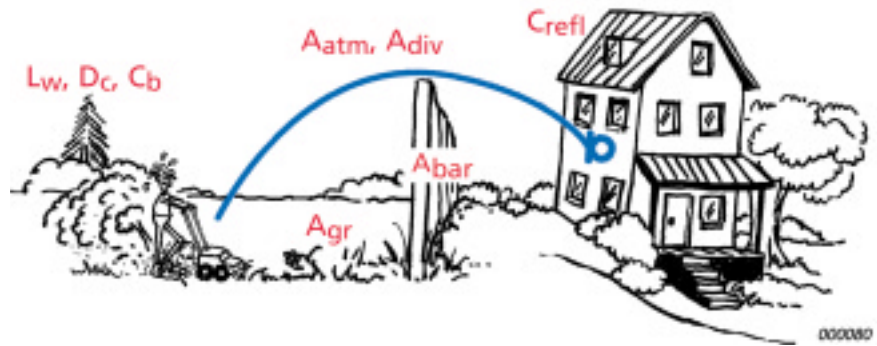
$L_p$	Nivel de ruido equivalente en el punto receptor en dB
$L_W$	Nivel de potencia sonora de la fuente en dB (ref = 1 pW)
$D_c$	Corrección de directividad en dB si la fuente no emite sonido por igual en todas las direcciones
$C_b$	Corrección en dB si la fuente no está siempre activa. Por ejemplo, el nivel a largo plazo se reduce en 3 dB si la fuente está activa sólo 12 horas al día
$A_{propagación}$	Atenuación por la propagación en dB



*Calcular el nivel de ruido en 115 puntos receptores a partir de 8 fuentes requiere 920 subcálculos en cada frecuencia y para cada término de atenuación*



*Un modelo simple de una autopista con cruces, mostrando otras carreteras, regiones con terreno acústicamente duro, curvas de nivel y algunos puntos receptores en fachadas de edificios*



Los términos individuales del algoritmo y donde se producen

El término de atenuación puede ser subdividido en varios efectos puramente físicos tal y como se muestra aquí:

$$A_{propagación} = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} + C_{refl}$$

donde:

$A_{div}$	La atenuación como resultado de la divergencia geométrica
$A_{atm}$	La atenuación como resultado de la absorción del aire
$A_{gr}$	La atenuación debida a la absorción/reflexión del terreno
$A_{bar}$	La atenuación por difracción en campo libre de una barrera
$A_{misc}$	La atenuación debida a efectos diversos (variabilidad del tiempo, dispersión a través de estructuras acústicas complejas tales como tuberías)
$C_{refl}$	La corrección debida a la contribución de las reflexiones

Todo esto se puede hacer como un cálculo en banda ancha (dB(A)) o en octavas, y posteriormente sumadas para dar el nivel de banda ancha. En general, los cálculos en bandas de octava son más precisos y más útiles para análisis posteriores, y en caso de requerirse cualquier reducción de ruido.

## La Validación Asegura una Precisión Óptima

Al igual que sucede con las mediciones, también el cálculo debería ser calibrado. Normalmente esto implica un tipo de mediciones válidas en ciertas posiciones seleccionadas, donde los niveles medidos puedan compararse con los calculados.

Sin embargo, a diferencia de las mediciones, la calibración de un cálculo se realiza después del primer cálculo y se usa para ajustar resultados hasta llegar a una precisión óptima.

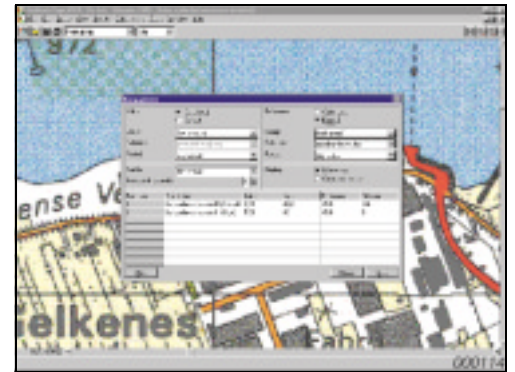
Se debe tener cuidado de que la actividad de la fuente durante la medición sea la misma que la calculada. El cálculo normalmente incluye correcciones de larga duración de las condiciones meteorológicas con el fin de obtener un nivel  $L_{Aeq}$  medio durante ese período. La comparación entre las mediciones y los cálculos debería hacerse, sin embargo, bajo condiciones meteorológicas estables, con el viento soplando desde la fuente al receptor (a favor del viento). Usar los resultados de un sólo día de medición puede causar errores sistemáticos causados por condiciones de viento no representativas y por el estado de la superficie del terreno. Este error puede llegar hasta los 10 dB. Además, los datos medidos no son sólo de una única fuente en particular sino que incluyen contribuciones de otras fuentes, aparte de las sometidas a investigación. Se recomienda un control a largo plazo y un procesamiento posterior de los datos para eliminar contribuciones no deseadas.

En algunos casos, por ejemplo, cuando se investigan posibles escenarios futuros, la validación con mediciones no es posible. En este caso, se requiere un cuidadoso análisis de los resultados o una comparación con situaciones similares para asegurar una precisión óptima.

## Precisión

La precisión de un cálculo en particular depende de varios factores. Los más importantes son el escenario, los niveles, la escala, los datos y la experiencia del usuario.

Los algoritmos están optimizados para su uso teniendo en cuenta una gama de escenarios. En particular, las normas de cálculo del ruido del tráfico rodado y de ferrocarril están basadas en bases de datos nacionales de emisiones de ruido de tráfico y pueden tener una limitación para el uso en otros países donde, en particular, la edad y la mezcla de los vehículos en uso y las condiciones de conducción son diferentes. De esta forma, la precisión puede variar con el nivel de ruido calculado, obteniendo la precisión óptima en una estrecha gama de niveles de ruido. A pesar de ello, la mayoría de los algoritmos incluyen elementos para asegurar la precisión en una amplia gama de niveles de ruido.



*El uso de las mediciones mejorará el modelo consiguiéndose una diferencia media menor a 2 dB y una diferencia máxima de 2.6 dB*



Un problema es poder asegurar la calidad de los datos introducidos, ya que la precisión del resultado depende en gran parte de ello. Debe tenerse especial cuidado con los datos topográficos, los niveles de potencia sonora de maquinaria o los datos de densidad de tráfico.

Podemos reducir el riesgo de obtener resultados erróneos usando GIS o archivos de AutoCAD actualizados para generar la topografía, midiendo niveles de potencia sonora en el lugar requerido y llevando a cabo recuentos de la densidad de tráfico en puestos de control seleccionados. Finalmente, la habilidad y la experiencia del usuario también tienen un papel importante en la optimización del resultado tanto en la evaluación del ruido ambiental como en el uso del algoritmo de cálculo.

Siempre que los algoritmos se usen correctamente en la gama de escenarios para los que han sido diseñados, se aseguran precisiones globales dentro de un margen de 3 dB.



## El Cálculo Comparado con la Medición

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Información detallada sobre: Fuentes críticas</li><li>• Muchas posiciones</li><li>• Independencia de las condiciones meteorológicas</li><li>• Evaluación de situaciones hipotéticas</li><li>• Fácil de actualizar</li><li>• Menos sensible al ruido de fondo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toma de datos muy extensa (ruido y geometría)</li><li>• Precisión del resultado más dependiente de las habilidades acústicas y de la experiencia de modelado</li></ul>

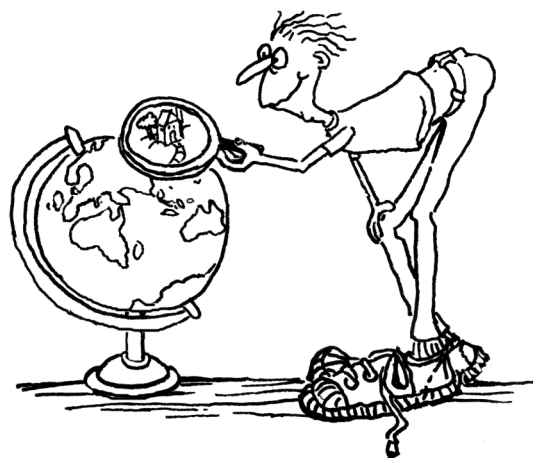


Al igual que las mediciones, también puede usarse el cálculo en la evaluación del ruido ambiental. Otras aplicaciones adicionales son la identificación de fuentes prominentes para la reducción de ruido, tratamiento del ruido investigando el efecto de cambios futuros en el ruido ambiental y realización de mapas de ruido (ver siguiente sección sobre planificación).

# Planificar

Planificar es una parte importante en el conjunto de la gestión del ruido urbano y puede verse desde dos niveles diferentes:

- Global – donde el ruido ambiental de una zona extensa esta siendo gestionado continuamente para prevenir que aumenten los problemas de ruido y para optimizar el uso de los recursos limitados
- Local – donde las situaciones individuales se evalúan antes de su implementación. A menudo nos referimos a esto como Evaluación del Impacto Ambiental y se usa frecuentemente para proporcionar las bases que garanticen el permiso de planificación de nuevos desarrollos, y para mapas estratégicos de ruido, muy útiles para optimizar la gestión del ruido urbano.



000099



*Mapa de curvas de nivel de ruido de un complejo industrial*

## Local

En muchos países, la Evaluación del Impacto Ambiental debe hacerse con antelación, por ejemplo, al solicitar el permiso para una fábrica nueva o cuando se aprueba ampliar una autopista. A menudo existe el requisito de evaluar el impacto de ruido bien impidiendo que se exceda un límite fijo, o bien ponderando el impacto del ruido y de otros factores ambientales contra los beneficios socioeconómicos de la propuesta. Esto puede conducir al desarrollo de propuestas alternativas para mejorar el impacto ambiental antes de su aprobación.

Las herramientas que se utilizan para evaluar el impacto del ruido incluyen:

- Mapas de curvas de nivel de ruido
- Calculo de un Índice de Ruido Ponderado
- Evaluación de la eficacia/coste y del efecto de las actividades de reducción de ruido
- Información del número de personas expuestos a ciertos niveles de ruido

## Índices de Ruido Ponderados

Un índice de ruido ponderado cuantifica el factor de molestia del ruido al que las zonas residenciales locales están sometidas debido a la fuente de ruido que está siendo investigada.

Se puede diseñar de tal forma que un Índice de Ruido Ponderado de 0 indique niveles aceptables puesto que todos los niveles están por debajo de los límites recomendados. Un ejemplo de Índice de Ruido Ponderado se puede encontrar en las normas danesas para la evaluación de nuevas carreteras.

1	2	3	4
$L_{DEN}$	Factor de Exposición	Nº. habitantes (1000)	Índice de Exposición ( $2 \times 3$ )
< 45	0.0	20	0
46 – 50	0.1	30	3
51 – 55	0.2	40	8
56 – 60	0.4	65	26
61 – 65	0.8	60	48
66 – 70	1.5	20	30
71 – 75	3.0	10	30
< 76	5.0	5	25
<b>TOTAL</b>		<b>250</b>	<b>170</b>

*Un Índice de Ruido Ponderado se calcula multiplicando conjuntamente la cifra de población y su exposición al ruido. El ejemplo es un caso hipotético que da como resultado un índice de 170*

Para calcular un Índice de Ruido Ponderado típico, se agrupan las propiedades del área investigada según su uso (residencial, comercial o industrial). Se clasifica el número de propiedades con niveles de ruido en categorías de 5 dB, y se multiplica el número de propiedades en cada categoría por un factor de molestia determinado por el nivel de ruido. Cuanto más alto sea el nivel de ruido mayor será el factor de molestia.

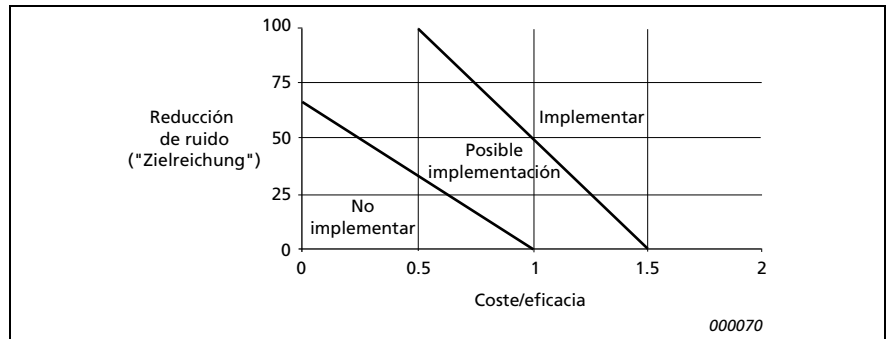
Sumando los índices superiores para las diferentes clases de propiedades obtenemos como resultado un índice de ruido ponderado global que puede ser utilizado para evaluar el impacto de ruido ambiental del desarrollo y para comparar las alternativas. Cuanto más bajo es el índice de ruido ponderado, menor es el impacto de ruido que tiene la propuesta.

Algunos índices utilizan el número de habitantes en lugar del número de residentes, dando así un índice de exposición al ruido de la población. Un ejemplo es el índice de impacto de ruido propuesto por la National Academy of Sciences de los EEUU.



## Coste – eficacia y el Efecto de las Actividades de Reducción de Ruido

En Suiza, cuando se evalúan las actividades de reducción de ruido ambiental, la eficacia de la solución para reducir el ruido a los niveles requeridos se compara con su coste-eficacia. Si la solución reduce el ruido por debajo de los límites legales en todos los lugares seleccionados y tiene un coste-eficacia alto, entonces será implementada. Si no reduce el ruido por debajo de los límites legales en ningún lugar y/o su coste-eficacia es bajo, no será implementada. Existe un área gris donde la decisión se verá influenciada por otros factores (ver figura inferior).

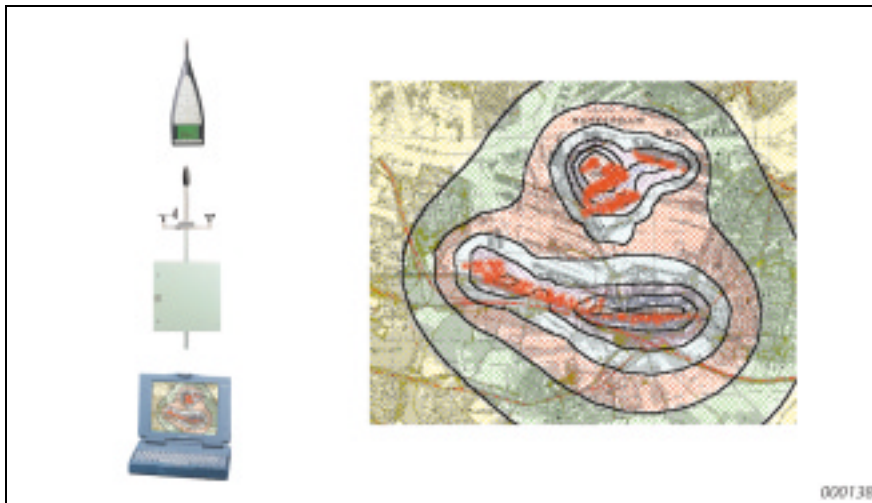


*Que una solución de reducción de ruido sea aplicada o no dependerá de su coste-eficacia y de su capacidad para reducir el ruido por debajo de los límites establecidos*

## Global

La planificación global, o estratégica, del ruido intenta prevenir que los problemas de ruido aumenten y trata de optimizar el uso de los recursos limitados mediante la realización de mapas y la gestión del ruido ambiente de una zona extensa como puede ser una ciudad.

Hacer mapas de ruido es una actividad muy extendida cuando se tiene el objetivo de controlar el ruido de los aeropuertos. Las “huellas” de 65 dB y 55 dB del aeropuerto se utilizan para determinar la aprobación de nuevas pistas y compensar a los residentes cercanos.

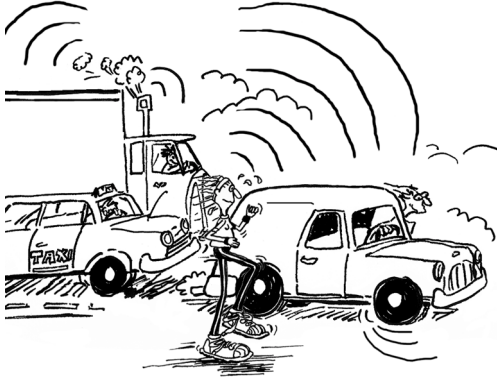


*Los mapas de ruido pueden hacerse*

- *reflejando las mediciones obtenidas en de estudios de ruido de corta o larga duración*
- *reflejando las mediciones de las estaciones de monitorado permanente*
- *mediante cálculo*

Durante la elaboración de esta publicación, la UE está en proceso de desarrollar una Política de Ruido de la UE basada en el Libro Verde de Política de Ruido de 1996. Ésta proporcionará las indicaciones de cómo se hacen los mapas de ruido, qué mapas de ruido hacer y cómo hacerlos. Los mapas de ruido propuestos mostrarán  $L_{DEN}$  y  $L_{Noche}$  (el  $L_{Aeq}$  nocturno) de cada tipo de fuente (carretera, ferrocarril, industria, etc.) a una altura de 4 m. por encima del suelo. Se pueden realizar sumas de niveles a partir de diferentes fuentes con un método establecido. La UE esta trabajando con ciudades con mas de 250 000 habitantes haciendo mapas de ruido de transporte e industrial usando modelos generales. Más tarde, estas ciudades harán mapas de ruido usando técnicas armonizadas.

# Reducción de Ruido



000137

Cuando se tiene como objetivo reducir los efectos del ruido ambiental sobre las personas, deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Fuentes de ruido
- Vía de transmisión
- Tipo de casas en las que viven las personas

La fuente más común de ruido ambiental es el tráfico rodado. El ruido de tráfico rodado en Europa constituye más del 90% de los niveles de ruido inaceptables ( $L_{Aeq}$  diario  $> 65$  dB(A)). Otras formas de ruido procedente del transporte, tal como el ruido de aeronaves o del ferrocarril, causan un problema más localizado aunque también causará molestia a un gran número de personas.

Los niveles de ruido exterior disminuyen normalmente al aumentar la distancia existente desde la fuente a causa de una dispersión geométrica de la energía sonora en una gran superficie y al ser absorbido el ruido por la atmósfera y por el terreno. Las barreras pueden lograr reducciones adicionales de los niveles de ruido.

El aislamiento acústico de los edificios es la barrera final contra los efectos intrusos del ruido ambiental.

## La Fuente

La mayoría de los países animan a sus fabricantes a producir coches y camiones más silenciosos imponiendo límites de ruido a los vehículos individualizados. Estos límites de evaluación de la “pasada del vehículo” han sido reducidos durante los últimos 20–30 años en 8 dB(A) para coches y en 15 dB(A) para camiones.

Algunos gobiernos nacionales (por ejemplo, Noruega e Italia) han implementado una legislación para incluir las pruebas de emisión de ruido procedente de vehículos durante su uso normal. Estas pruebas son realizadas generalmente por talleres, como parte de las pruebas generales del estado del vehículo; otros realizan comprobaciones en el momento. Aún así, el aumento incesante del número de vehículos repercute en que los niveles de ruido global no se reduzcan.

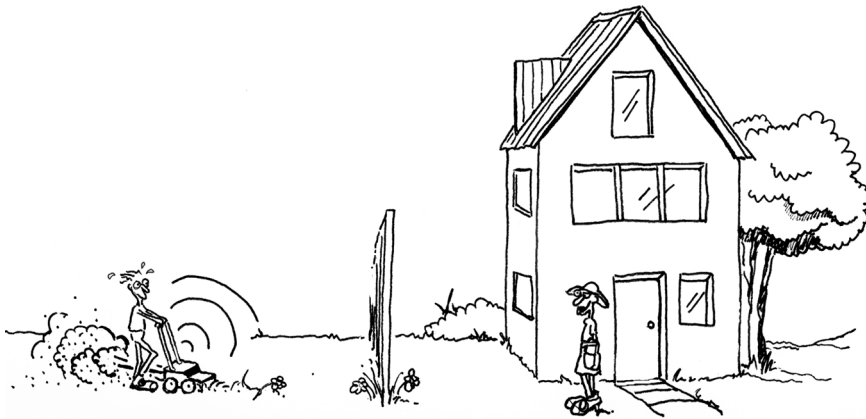
Se puede mejorar la superficie de las carreteras para obtener niveles de ruido más bajos. Con el asfalto poroso y las más novedosas “superficies finas de reducción de ruido” se consiguen reducciones de 2 a 6 dB(A). El ruido del ferrocarril puede reducirse utilizando carriles soldados sobre un lecho hormigón con soportes elásticos.



## Vía de Transmisión

El método obvio de reducción de ruido es alejar a las personas lo más posible de las fuentes de ruido ambiental. Sin embargo, la mayor parte de las veces no es una solución demasiado práctica, por ello, a veces puede añadirse una atenuación adicional en forma de barreras de ruido.

La altura de la barrera y la posición relativa de la fuente y/o del receptor respecto de ella son cruciales para la cantidad de reducción de ruido que pueda alcanzarse. Se utilizan barreras con alturas efectivas que van desde los 1.5 m (ruido del ferrocarril japonés) hasta los 10 m (operaciones en tierra de los aeropuertos en EEUU). La altura de las barreras para la reducción del ruido del tráfico suele estar entre los 3 a 7 m. Además, también el espectro en frecuencia de la fuente de ruido afectará a la reducción que pueda obtenerse. Las barreras atenúan débilmente las frecuencias bajas en comparación con las altas. En algunos casos, es posible mejorar el rendimiento de las barreras aplicando materiales absorbentes sonoros, evitando las superficies reflectantes paralelas y dando forma o angulando las barreras para evitar reflexiones múltiples.



000104

## Aislamiento Acústico de Edificios

El último paso para asegurarse de que el ruido ambiental no vaya a molestar a las personas en sus casas es proveerse de un aislamiento sonoro suficiente para los niveles de ruidos externos. Es el llamado Aislamiento Acústico de Fachada y se mide en términos de una Diferencia de Nivel Estandarizado ( $D_{nT, tr}$ ) o del Índice de Reducción sonora ( $R'_{tr}$ ).

Los diferentes países tienen, también en esto, criterios diferentes, tal y como se muestra en los siguientes ejemplos:

- En algunos países se exige un nivel mínimo de Aislamiento Acústico de Fachada
- En otros países (por ejemplo, Reino Unido) se obliga a un aislamiento adicional cuando las fuentes de ruido externo son particularmente altas (aeropuertos y ruido de tráfico)
- No se permite construir casas nuevas si los niveles del ruido ambiental son altos (por ejemplo, Planning and Policy Guidance 24 en el Reino Unido)
- Se adjudican clases al nivel de ruido interior resultante (por encima de 35 dB(A) se considera débil, por debajo de 20 dB(A) se considera muy bueno) (Propuesta nórdica: Clasificación Sonora de Viviendas, Proyecto INSTA 122:1997)



# Estar presente o No

## ¿Por Qué Estar Allí?

Los equipos automáticos de hoy en día pueden dejarse en campo para registrar los datos del ruido ambiental y enviar los informes al operador cuando éste esté cómodamente en su oficina. Ésta es la forma más económica y adecuada de evaluar situaciones de ruido y es prácticamente imprescindible si se requieren mediciones simultaneas o de larga duración.

Sin embargo en algunos casos es vital para el operador estar presente en el lugar para:

- Cambiar o mejorar la configuración de la medida
- Asegurar mediciones representativas
- Identificar y marcar fuentes de ruido específicas
- Identificar y marcar ruido residual
- Prevenir interferencias con el equipo o las mediciones
- Advertir a los trabajadores que estén utilizando equipos ruidosos
- Mediar en conflictos de temas ambientales

Las mediciones asistidas se hacen a menudo bajo condiciones difíciles – el tiempo es escaso, el acceso al lugar es difícil, la red eléctrica no está disponible o es intermitente, suceden interrupciones o hechos inesperados, y el operador no tiene una segunda oportunidad para tomar las mediciones. Luego el operador necesita un equipo que:

- Sea fácil de transportar, instalar y operar
- Tenga marcadores para identificar sucesos y fuentes de ruido
- Mida todos los parámetros simultáneamente
- Fije en el tiempo todos los datos registrados



000081



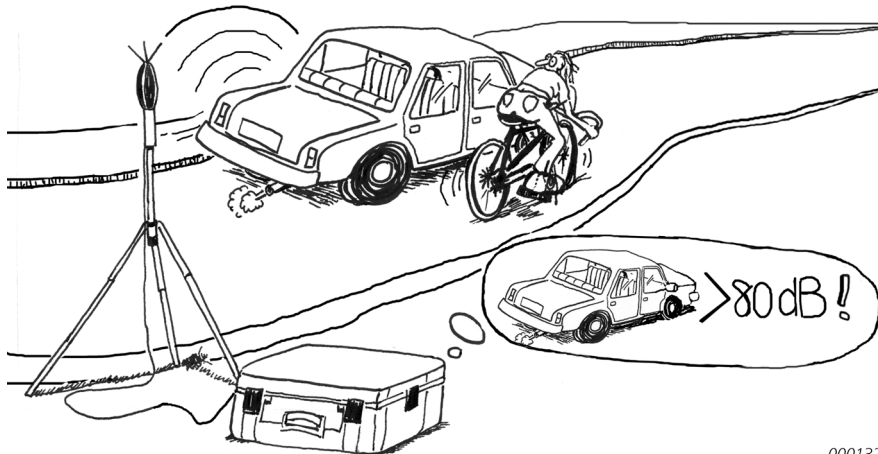
La unidad GPS (Sistema de Posicionamiento Global) transfiere las coordenadas de localización del lugar al sonómetro, para integrarse con los datos de nivel de sonido



Registrar todos los parámetros simultáneamente asegura que los datos sean compatibles y ahorra una segunda visita al lugar (la cual podría no ser posible)

Para mediciones no asistidas, la preparación del equipo y su instalación debe hacerse con gran cuidado y previsión, ya que el equipo deberá funcionar enteramente por su cuenta. Esto requiere:

- Un amplio rango dinámico
- Registro de datos (por ejemplo, cada segundo o minuto)
- Disparador por sucesos de ruido para centrarse en su análisis



000132



- Medición simultánea de todos los parámetros
- Registro de sonido para la identificación de fuentes de ruido
- Registro de datos meteorológicos
- Dotación cronológica de todos los datos registrados
- Gran capacidad de almacenamiento de datos
- Comprobación automática de la calibración
- Acceso remoto a los datos y la configuración
- Alimentación de reserva
- Micrófono e instrumentación de intemperie
- Protección contra la manipulación y los animales

### Combinación Eficaz

A menudo la solución más eficaz es una combinación de mediciones asistidas y no asistidas, usando mediciones asistidas para estudios piloto y comprobaciones en el momento, y mediciones no asistidas para monitoreo de ruido permanente o de larga duración.



*Para hacer mediciones no asistidas, el micrófono necesita protección contra el viento, la lluvia y ¡los pájaros! También tiene que ser fácilmente accesible para su calibración e inspección*



*También puede utilizarse un sonómetro para mediciones no asistidas si se le añade un elemento protector -aquí se muestra alojado en una maleta con batería extra, grabadora DAT para identificar fuentes de ruido, módem GSM para el volcado de datos de mediciones a un PC desde la oficina*



# Monitorado Permanente

## Mantener la Paz

Un monitorado de ruido permanente, 24 horas al día y 365 días al año controla el cumplimiento de los límites de ruido y añade otras ventajas adicionales. Una creciente variedad de organizaciones usan ya el monitorado permanente de ruido.

## Aeropuertos

Para la mayor parte de los grandes aeropuertos, el monitorado permanente de ruido es un tema clave en su trabajo diario ya que el ruido es a menudo el mayor motivo de queja de los vecinos. Las autoridades de los aeropuertos han establecido normas con el objetivo de reducir el impacto causado por sus operaciones en la medida de lo posible. Confían en que estas normas no solo les darán la capacidad de asegurarse que los aviones y los pilotos se ajusten a dichas normas, sino que además prevendrán las quejas.

A menudo es preciso tener datos tanto de ruido como información de las trayectorias seguidas por aviones que se aproximan o que parten. Normalmente, el propio radar del aeropuerto proporciona esta información y una vez correlacionada con los datos de ruido, puede utilizarse para determinar el exceso de los niveles de ruido producido por aviones específicos.



## Ciudades

El monitorado permanente de ruido urbano abarca:

- Industria
- Construcción
- Carreteras
- Ferrocarriles
- Conciertos, estadios y actividades al aire libre

Normalmente se utiliza cuando las autoridades imponen límites estrictos de ruido o para protegerse contra acciones legales, quejas y peticiones de compensación. El monitoreo permanente puede mostrar las tendencias del ruido y ayudar a elaborar los mapas de ruido.



### **Sistemas de Monitoreo Permanente de Ruido**

Estos sistemas aseguran la adquisición automática de datos día y noche, recogiendo información de ruido y otros parámetros ambientales relevantes.

Todos los resultados de las mediciones se recogen y se almacenan en terminales de control y se transfieren periódicamente a un ordenador central donde todos los datos se procesan y almacenan. El número de terminales de sistemas de monitoreo necesarios dependerá del área cubierta así como de las necesidades específicas de monitoreo. Muchos sistemas tienen entre 10 y 30 terminales, incluso existen sistemas con 100 terminales.

Un terminal de monitoreo de ruido consiste básicamente en un micrófono resistente a la intemperie, un dispositivo de almacenamiento y análisis de datos y un sistema de transmisión de información tal como una línea telefónica.



*Estación de vigilancia permanente en Madrid*



*Estaciones de control permanente alrededor del aeropuerto de Viena*

Los analizadores utilizados comúnmente miden una gama de parámetros de ruido que incluyen el  $L_{eq}$  y los niveles  $L_n$ , así como detección de sucesos sonoros. Algunos proporcionan análisis frecuencial en bandas de 1/3 de octava en tiempo real permitiendo el cálculo inmediato de índices tal como el nivel de ruido percibido  $L_{pnl}$  de cada avión que sobrevuela.

Los terminales de monitoreo a veces están conectados permanentemente a un centro de control para visualizar y analizar los datos de varias posiciones simultáneamente. Es posible mostrar los niveles promedio de ruido a corto y/o largo plazo en sistemas de visualización para informar al público y mejorar las relaciones locales.

Como alternativa, también es posible el uso de furgonetas como terminales móviles. Estas unidades, posiblemente con identificación de posicionamiento automático, dispondrán de dispositivos para transferencia de datos por línea telefónica a un ordenador. En todos los casos, la instrumentación de tipo 1 es esencial para las tareas de adquisición de datos (ver sección sobre Normas Internacionales, IEC 60651).

Como las estaciones de monitoreo se utilizan durante largos períodos de tiempo, éstas son susceptibles ante los efectos de la humedad, temperatura, viento, atmósfera corrosiva y a los animales. El micrófono es particularmente vulnerable, ya que es la parte más expuesta del sistema. Para prevenir daños, se recomienda una unidad de micrófono de intemperie hecha de materiales resistentes a la corrosión y con una protección interna contra la humedad. También representa una ventaja que los sistemas de monitoreo de ruido puedan realizar automáticamente verificaciones acústicas así como comprobaciones del sistema, por ejemplo, una calibración por inyección de carga (CIC) para comprobar que está funcionando adecuadamente.

Los sistemas de monitoreo permanente normalmente tienen bases de datos amplias para el análisis, investigación de impacto y evaluación de estado incluyendo resultados periódicos. Los sucesos de ruido y las quejas se pueden correlacionar y combinar con la cartografía digital GIS (Sistema de Información Geográfica) para mostrar la exposición de la población y permitir una presentación de alta calidad.

# Normas internacionales

Las normas internacionales son importantes en la evaluación del ruido ambiental, bien porque se utilizan directamente o porque proporcionan inspiración y referencia a las normas nacionales.

Hay dos entidades internacionales relacionadas con la normalización. La Organización Internacional para la Normalización (ISO) trata principalmente con la metodología para asegurar la definición de los procedimientos que hagan posible la comparación de resultados. La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC) trata con la instrumentación para asegurar que los equipos sean compatibles y precisos y puedan ser intercambiados sin disminución en la precisión de los datos.

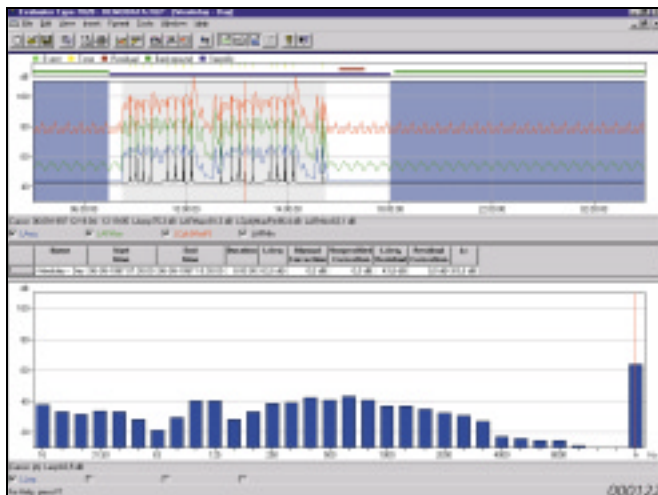
## ISO 1996 – Evaluación del Ruido Ambiental

ISO 1996 “Acústica – Descripción y Medición del Ruido Ambiental” es una norma básica en la evaluación del ruido ambiental, sirviendo de referencia en la materia. Se divide en tres partes:

- ISO 1996 Parte 1 1982: Cantidades básicas y procedimientos
- ISO 1996 Parte 2 1987: Adquisición de datos pertinentes al uso del suelo (corregido 1998)
- ISO 1996 Parte 3 1987: Aplicación a los límites de ruido

Define la terminología básica incluyendo el parámetro Nivel de Evaluación y describe las prácticas recomendadas para evaluar el ruido ambiental.

La norma ISO 1996 está actualmente sometida a revisión centrándose ésta tanto en técnicas de medición actualizadas como en la mejora de procedimientos, tales como la identificación de datos, y proporcionar información en la investigación del efecto de los niveles de ruido a partir de fuentes diferentes.



*Calcular un Nivel de Evaluación de una fuente específica a lo largo de un período de referencia puede implicar penalizaciones, por ejemplo, por tonos puros*

## ISO 3891 – Control de ruido de aeronaves

ISO 3891: “1978 Acústica – Procedimiento para la Descripción del Ruido Percibido en el Suelo procedente de Aeronaves” trata de cómo controlar el ruido de aeronaves (medición de ruido y su registro, procesamiento de datos e informe). Está actualmente sometida a revisión y de ella se espera que cubra la descripción del ruido de una aeronave percibido en el suelo, el monitoreo automático a largo y corto plazo del ruido de la aeronave y el la gestión del ruido en aeropuertos y usos del suelo.

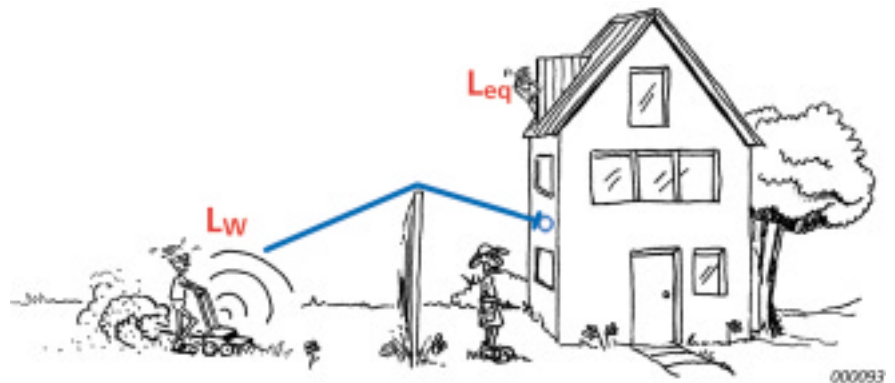


## ISO 9613 – Cálculo

ISO 9613 “Acústica – Atenuación del Sonido durante su Propagación en el Exterior” se divide en dos partes:

- ISO 9613 Parte 1 1993: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera
- ISO 9613 Parte 2 1996: Método General de Cálculo

Define un método de cálculo basado en octavas teniendo como referencia fuentes puntuales con un nivel de potencia sonora definido. Las fuentes lineales pueden obtenerse mediante adición de fuentes puntuales.

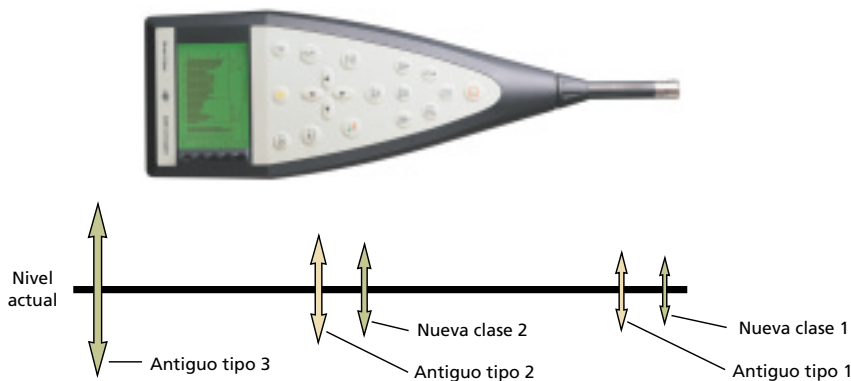


## IEC 60651, IEC 60804 y IEC 61672 – Sonómetros

Estas tres normas están agrupadas juntas ya que tratan acerca de los sonómetros. Las normas internacionales para los sonómetros están aceptadas en todos los países del mundo. Son importantes porque todas las normas de medida se refieren a normas de sonómetros para definir la instrumentación requerida.

En la mayoría de países, se requieren equipos de tipo 1 para mediciones de ruido ambiental.

- IEC 60651 – Sonómetros ( 1979, 1993): Define los sonómetros en cuatro grados de precisión (Tipos 0, 1, 2 y 3 ). Especifica características incluyendo la directividad, ponderación frecuencial y temporal, y sensibilidad a ambientes varios. Establece pruebas para verificar el cumplimiento con las características especificadas.
- IEC 60804 – Sonómetros integradores-promediadores (1985, 1989, 1993): Es una norma adicional a la IEC 651 que describe este tipo de instrumento (es decir, aquellos que miden  $L_{eq}$ ).
- IEC 61672 – Sonómetros: Es una nueva versión de la norma IEC de sónómetros que reemplazará a la IEC 60651 y a la IEC 60804. Cambios principales: Especificaciones más duras, el tipo 3 desaparece. Implicaría la mejora de la calidad y de los ensayos de la instrumentación así como una mejora de la precisión.



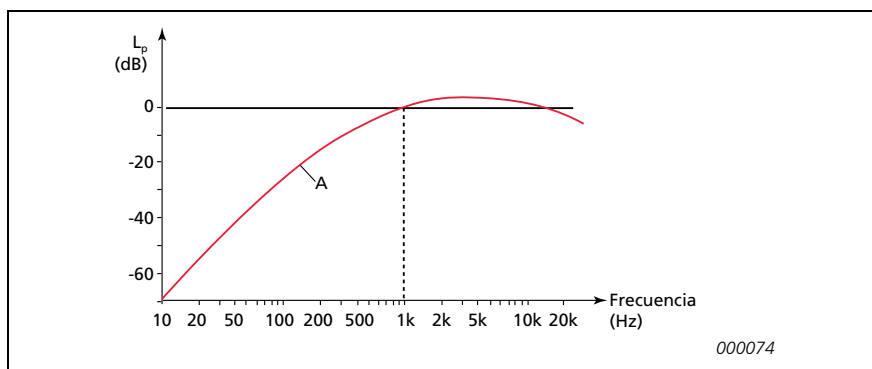
000073

*Representación esquemática de la mejora en la precisión con la nueva norma de sonómetros. Las flechas representan el error de medición relativo*

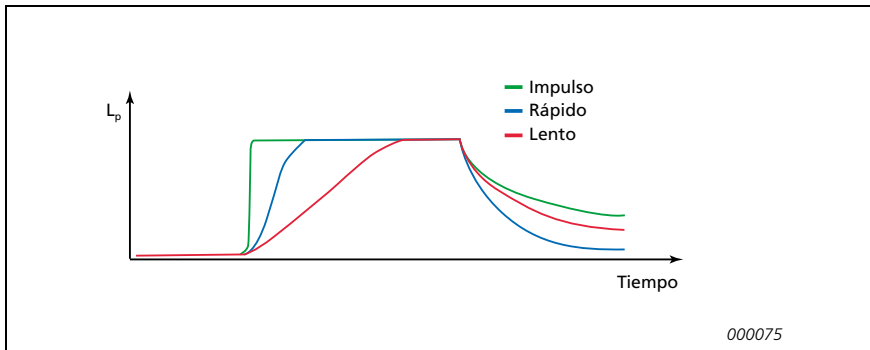
# Terminología y parámetros de ruido ambiental

Se utiliza una amplia gama de parámetros para evaluar la reacción comunitaria al ruido ambiental. La respuesta tan altamente variable de los individuos con respecto al ruido ambiental y la gran cantidad de características (nivel, contenido frecuencial, impulsividad, intermitencia, etc.) de los diferentes tipos de fuentes de ruido ha llevado a numerosos intentos para proporcionar parámetros de un único número que evalúen el efecto de dicho ruido. La lista siguiente resume la mayoría de los parámetros de uso corriente.

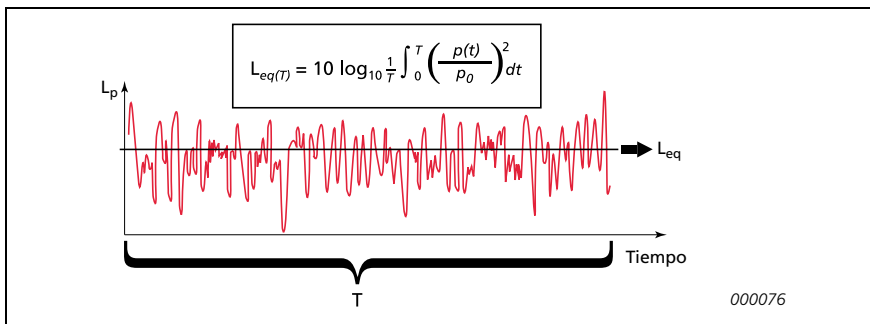
Ponderación frecuencial “A”: El método de ponderación frecuencial de la señal eléctrica en un instrumento de medición de ruido consiste en simular la forma en que el oído humano responde en el margen de frecuencias acústicas. Se basa en la curva de igual sonoridad de 40 fónios. Los símbolos utilizados para los parámetros de ruido incluyen a menudo la letra “A” (por ejemplo,  $L_{Aeq}$ ) para indicar que ha sido incluida la ponderación frecuencial en la medición.



Ponderaciones temporales rápida, lenta e impulso: Los tiempos de respuesta normalizados fueron implementados originalmente en los instrumentos de medición de ruido para proporcionar una indicación visual de niveles de ruido fluctuantes. Las normas de evaluación ambiental especifican normalmente qué tipo de ponderación temporal usar (F, S o I).

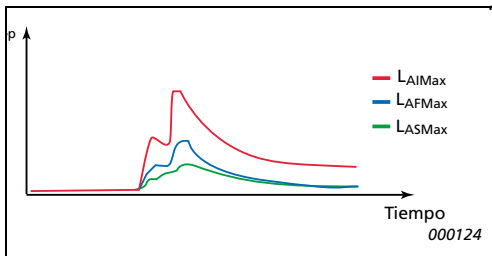
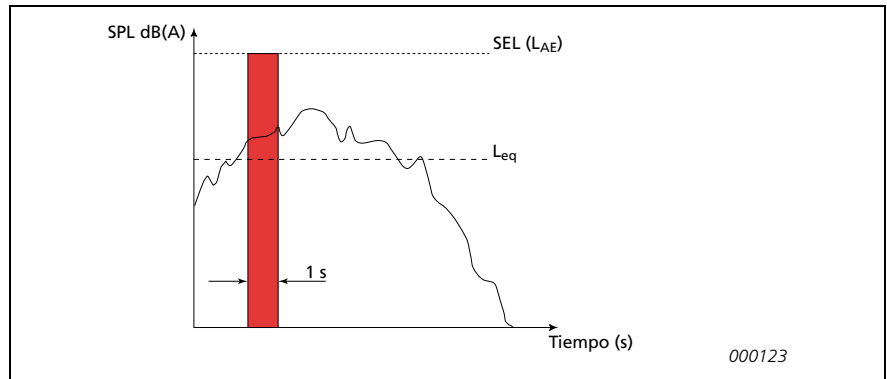


**$L_{Aeq,T}$ :** Un parámetro de ruido usado ampliamente que calcula un nivel constante de ruido con el mismo contenido de energía que la señal de ruido acústico variante que está siendo medida. La letra “A” expresa que la ponderación A ha sido incluida y “eq” indica que se ha calculado un nivel equivalente. De esta forma, el  $L_{Aeq}$  es nivel de ruido continuo equivalente ponderado A.



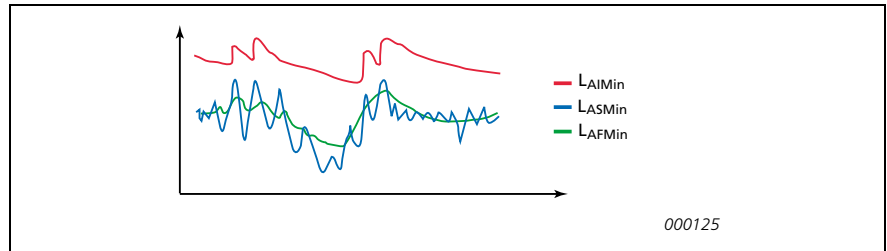
**$L_{AE}$ : Nivel de Exposición Sonora (SEL):** Un parámetro estrechamente relacionado con el  $L_{Aeq}$  para la evaluación de sucesos (aeronaves, trenes, etc.) que tengan características similares pero que sean de diferente duración. El valor  $L_{AE}$  contiene la misma cantidad de energía acústica a lo largo de un período “normalizado” de un segundo que el presente suceso sometido a consideración.



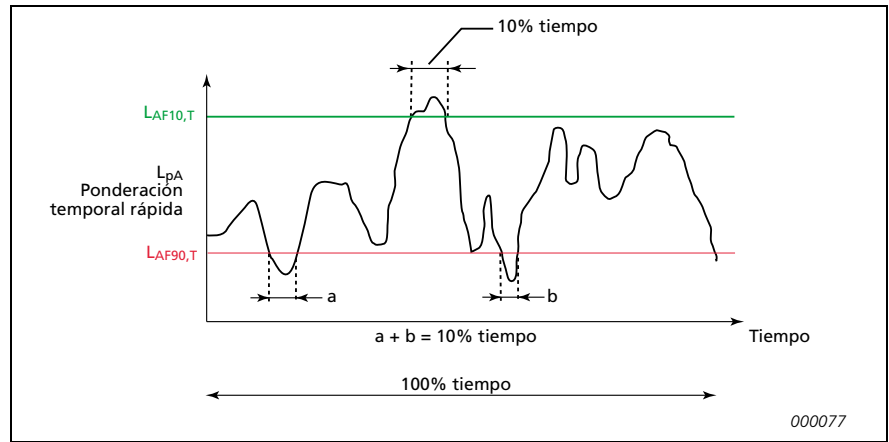


**$L_{AFMax}$ ,  $L_{ASMax}$  o  $L_{AIMax}$ :** Nivel máximo de ruido ponderado A medido con ponderación temporal Rápida (F), Lenta (S) o Impulso (I). Son los niveles más altos de ruido ambiental que suceden durante el tiempo de medición. Se utilizan conjuntamente con otros parámetros de ruido (por ejemplo,  $L_{Aeq}$ ) para asegurar que un suceso de ruido individual no exceda el límite. Es esencial que se especifique la ponderación temporal (F, S o I).


**$L_{AFMin}$ ,  $L_{ASMin}$  o  $L_{AIMin}$ :** Nivel mínimo de ruido ponderado A medido con ponderación temporal Rápida (F), Lenta (S) o Impulso (I). Son los niveles más bajos de ruido ambiental que suceden durante el tiempo de medición.



**Niveles percentiles  $L_{AFN,T}$ :** El nivel de ruido ponderado A excedido durante el N% del tiempo de medición. En algunos países, el  $L_{AF90,T}$  (nivel de ruido excedido durante el 90% del tiempo de medición) o el nivel  $L_{AF95,T}$  se utilizan como medida del nivel de ruido de fondo. Téngase en cuenta que la ponderación temporal (normalmente Rápida) debe darse a conocer.



$L_{Aeq}$	47 dB
$K_I$	6 dB
$K_T$	3 dB
$K_R$	6 dB
$K_S$	0 dB
$L_R$	62 dB



000129

**Nivel de evaluación  $L_{Ar,Tr}$ :** El nivel de ruido continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq, T}$ ) durante un período temporal con ajustes específicos para ruidos intermitentes, impulsivos o tonales. En general, el nivel de evaluación viene dado por:

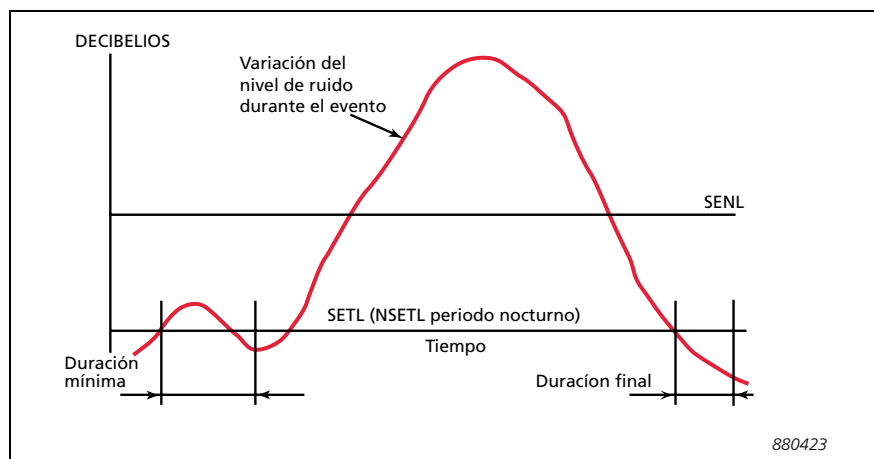
$$L_{Ar,Tr} = L_{Aeq, T} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

En algunos países, se hace una evaluación subjetiva de las características del ruido en cuestión. En otros países, se hace una prueba objetiva para comprobar si el ruido es tonal o impulsivo.

Por ejemplo (1) una banda de frecuencia de 1/3 de octava de ruido que excede los niveles de las bandas adyacentes en 5 dB o más para la detección del ruido tonal y, (2) una medición de la diferencia entre parámetro “ $L_{eq}$ ” impulsivo ponderado A ( $L_{Alm, T}$ ) y el  $L_{Aeq, T}$  normal revelaría la presencia de impulsos.

**Parámetros de Ruido de Aeronaves:** Si un ruido procedente de una aeronave se evalúa como una fuente de ruido normal (como sucede habitualmente), entonces los parámetros de ruido ambiental requeridos son el  $L_{ASMax}$  y el  $L_{AE}$  (equivalente al  $L_{AX}$  en algunas normas antiguas) para sucesos individuales y el  $L_{Aeq, T}$  para una sucesión de sucesos de ruido.

En algunos casos (certificación de aeronaves) se requieren análisis más detallados usando el contenido espectral en 1/3 de octava a intervalos de 0.5 segundos. El nivel de ruido percibido ( $L_{pN}$ ) se calcula entonces convirtiendo los niveles de presión sonora en valores de ruido percibido según lo descrito en el Anexo 16 de la OACI.



Si el espectro de ruido de la aeronave tiene contenido tonal, entonces se añade una corrección adicional de hasta 6.7 dB al nivel de ruido percibido ( $L_{PN}$ ) para lograr un nivel de ruido percibido corregido por tonos  $L_{TPN}$ . El efecto subjetivo total del vuelo de una aeronave debe tener en cuenta el historial de tiempo del sobrevuelo. Esto se contabiliza integrando el nivel de ruido percibido corregido por tonos para dar lugar al nivel de ruido percibido efectivo  $L_{EPN}$ . Se pueden encontrar más detalles en la norma ISO 3891.

**$L_{DN}$ :** Nivel sonoro día-noche. Es un  $L_{Aeq}$  con 10 dB de penalización al ruido que tiene lugar desde las 22:00 hasta las 07:00 para tener en cuenta el aumento de molestia durante la noche.

**Espectro frecuencial:** En investigaciones de ruido ambiental, se observa a menudo que los índices numéricos individuales, tales como el  $L_{Aeq}$ , no representan en su totalidad las características del ruido. Si la fuente genera ruido con componentes frecuenciales distintos (ruido tonal), entonces es útil medir el contenido frecuencial en octavas, 1/3 de octava o en bandas de frecuencia más estrechas (Transformada Rápida de Fourier).

Para calcular niveles de ruido (predicción), se utilizan espectros de octava para contabilizar las características frecuenciales de las fuentes y la propagación.

La potencia sonora es la potencia acústica ( $W$ ) emitida por una fuente sonora. Esta potencia es totalmente independiente del entorno, mientras que la presión sonora sí que depende del entorno (superficies reflectantes) y de la distancia al receptor.

Si se conoce la potencia sonora, entonces se puede calcular la presión sonora en un punto cualquiera, mientras que al revés solo es verdad en casos especiales (por ejemplo, en una cámara reverberante o anecoica). Por lo tanto, la potencia sonora es muy útil para caracterizar fuentes de ruido y para calcular la presión sonora.

Al igual que con la presión sonora, la potencia sonora se expresa en unidades logarítmicas, el nivel de potencia sonora de 0 dB corresponde a 1 pW (picowatt =  $10^{-12}$  W).

El símbolo utilizado para el nivel de potencia sonora es  $L_W$  y se expresa normalmente en dB(A) o en bandas de 1/1 ó 1/3 de octava.



000116

# Sobre Brüel & Kjær

Brüel & Kjær fue fundada por dos ingenieros daneses, Per V. Brüel y Viggo Kjaer, en 1942. Durante más de 50 años, las mediciones de vibraciones y de sonido han constituido el núcleo de nuestras actividades. Brüel & Kjær es un distribuidor líder mundial en micrófonos, acelerómetros, analizadores, sonómetros y sistemas de calibración. Los sonómetros portátiles aparecieron en el mercado en 1961 y, desde entonces, Brüel & Kjær ha sido el líder en soluciones para los profesionales en el campo del ruido ambiental y del ruido en puestos de trabajo.



000105



## Aprenda Más

Brüel & Kjær ofrece cursos de formación en la mayoría de los países del mundo, sobre técnicas de mediciones de ruido ambiental. Las clases son impartidas por especialistas locales así como por especialistas internacionales de la sede de la compañía.

## Calibración y Servicio

Existen Centros de Servicio Brüel & Kjær en múltiples regiones. Estos Centros ofrecen servicios de calibración y reparación de equipos, incluyendo contratos de mantenimiento que permiten la extensión de la garantía hasta los 6 años.

## Cómo contactar

Brüel & Kjær está presente en más de 90 países en todo el mundo. Para más información, contacte con su representante local.

Si tiene alguna duda, contacte con la sede central de Brüel & Kjær en Dinamarca (ver el dorso para la dirección). Se puede consultar la lista de nuestros representantes en nuestra página web: [www.bksv.com](http://www.bksv.com)

**Brüel & Kjær**  
**Division of Spectris España, S.A**

C/Teide, 5 · 28700 San Sebastián de los Reyes – Madrid · Tel.: (91)659 0820 · Fax: (91)659 0824  
Barcelona: Valencia, 84–86, Interior · Local 4, 5 y 6 · 08015 Barcelona · Tel.: (93)226 4284/226 46 42 · Fax: (93)226 90 90

**Brüel & Kjær do Brazil**

Rua Jose de Carvalho No.55 · Chácara Santo Antonio · CEP: 04714-020 Sao Paulo-SP · Brazil · Tel.: (55) 11 246 8166  
Fax: (55) 11 246 7400

**Brüel & Kjær** 