

# MEDIDAS DE RUIDO

En la actualidad, España junto a Japón son los países con mayor índice de población expuesta a altos niveles de ruido. Casi 9.000.000 de españoles, soportan niveles medios superiores a 65 dB.

La contaminación acústica producida por la actividad humana ha aumentado de forma espectacular en los últimos años. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 130.000.000 de habitantes de sus países miembros, se encuentran con un nivel sonoro superior a 65 decibelios, límite aceptado por la O.M.S. y otros 300.000.000 residen en zonas de incomodidad acústica entre 55-65 dB.

Así pues, el silencio se ha convertido en un bien escaso en nuestras vidas. El desarrollo industrial, económico y cultural, la expansión urbanística, el aumento desenfrenado del parque automovilístico, entre otros, han contribuido a transformar una amplia gama de sonidos, rica en sus inicios, en contaminación acústica, en ruido. El Quinto Programa de política y actuación medioambiental de la Unión Europea reconoce y dice que la contaminación acústica constituye uno de los principales problemas medioambientales en Europa. El ruido se ha convertido así, en una de las mayores fuentes de malestar de la vida actual.

El ruido se puede definir como un sonido no deseado, por lo que se puede considerar como el sonido inadecuado en el lugar inadecuado en el momento inadecuado. Ese grado de “indeseabilidad” se convierte, con frecuencia, en una cuestión psicológica puesto que dependiendo de las características de la persona, la valoración de indeseabilidad puede ser muy diferente. Los estudios sociales comunitarios valoran de forma importante al ruido entre las molestias ambientales más incómodas.

Unos niveles altos de ruido con una prolongación en el tiempo suficiente, pueden provocar desde la pérdida temporal de audición hasta su pérdida permanente.

Aunque estos casos últimos se asocian generalmente con aquellas personas que trabajan en situaciones extremas de ruido, en plantas industriales con grandes maquinas, junto aviones en tierra con prolongados periodos de exposición, etc. Sin embargo, no es necesario estos niveles extremos para que una persona se vea afectada, la intrusión de ruido ambiental como el ruido del trafico u otros, pueden interferir en una comunicación oral, alterar el sueño, en la capacidad de realizar tareas complejas o producir estrés.

De esta manera, la lucha contra la contaminación acústica esta motivada por el reconocimiento de que el ruido afecta negativamente a la salud física y psíquica, y por ser una de las causas determinantes del deterioro de la calidad de vida.

## **1.- ELEMENTOS DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.**

El ruido puede ser emitido desde un foco puntual (televisor), un foco espacial (un bar) o un foco lineal (un coche en circulación). El ruido va disminuyendo conforme la distancia con respecto al foco se va incrementando.

Son muchas las fuentes de ruido, pero sin embargo en el fondo acústico destacan algunos elementos que por su distribución y abundancia (el tráfico rodado es el causante del 99 % del ruido urbano en España) crisan particularmente las fatigadas neuronas de los sufridos e indefensos ciudadanos que conviven cotidianamente con la avalancha sonora. Algunos de estos elementos son los siguientes:

- Trafico rodado, en especial las motocicletas y sobre todo aquellas con escapes libres. Se ha calculado que una sola de estas motocicletas, en una noche cualquiera, en una ciudad de tipo medio, en un solo recorrido por una avenida puede despertar a miles de personas.
- Actividades de ocio, bares, discotecas, pubs, etc. Aunque generalmente los locales suelen respetar las ordenanzas municipales, el solo trasiego de personas que entran o salen o que se quedan en la calle, gritos, voces, etc. hacen que el descanso y el sueño sean difícil de conciliar.

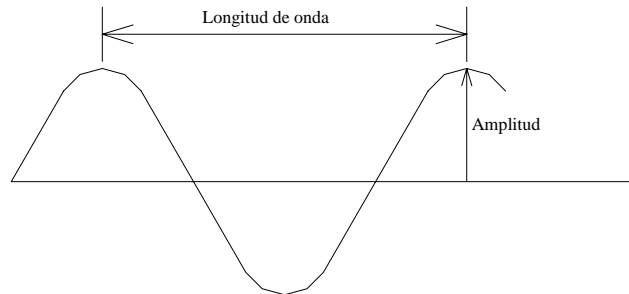
- Obras y construcción, el ruido causado por un martillo neumático o periodos prolongados de obras (levantamiento de calles, construcción de viviendas, etc.) puede adquirir fácilmente una dimensión compleja de soportar.
- Voces, parques infantiles, acontecimientos culturales o deportivos, verbenas, etc., el ruido que supone en ocasiones puede dar lugar a situaciones puntuales muy estresantes.
- Aviones, ferrocarriles la proximidad de los aeropuertos o estaciones de tren a zonas densamente pobladas, hacen que numerosos aviones sobrevuelen las ciudades o trenes pasen por ellas, de manera que han contribuido a que la contaminación acústica haya aumentado de forma espectacular en su radio de acción.
- Industrias, aunque las grandes fabricas por lo general han abandonado la ciudad, son numerosos los talleres y pequeñas industrias las integradas en el tejido urbano con el consiguiente aumento del nivel sonoro.
- Animales, son muy numerosos los animales que viven en las ciudades y algunos de ellos especialmente ruidosos, como los perros con sus ladridos nocturnos, los gatos con sus maullidos, etc.

## **2.- ANALISIS DEL SONIDO.**

La acústica es la rama de la física que estudia el sonido, el cual se define como la variación de presión producida en un medio (sólido, líquido o gaseoso) por un elemento que vibra y que el oído humano puede detectar.

En cambio, el ruido se define como un conjunto de sonidos no armónicos o descompasados que no nos es grato. Así pues, como ya se ha dicho, el ruido no es más que un sonido indeseado, molesto y desagradable y su clasificación no es tanto una cuestión acústica como psicológica. Por tanto, los parámetros que debemos conocer del ruido, para proceder a su reducción o eliminación, son los mismos que los del sonido.

La variación de presión de sonido más simple produce la formación de una onda sinusoidal como la representada en la figura 6,1.



**Figura 6,1. Onda sinusoidal.**

Esta onda sinusoidal, presenta una serie de características o magnitudes que la definen, las cuales son:

**VELOCIDAD DEL SONIDO (c):** En el aire al nivel del mar a 20 °C es aproximadamente de 340 m/s.

**LONGITUD DE ONDA ( $\lambda$ ):** Hace referencia a la distancia entre crestas o senos sucesivos en una onda sinusoidal. Se relaciona con la frecuencia mediante la expresión:  
 $\lambda = c/f$ .

**PERIODO (P):** Es el tiempo transcurrido entre dos picos o senos sucesivos. Se relaciona con la frecuencia mediante la expresión:  $P = 1/f$

**EL NIVEL o AMPLITUD (A):** Mide las variaciones de presión, es decir, la amplitud de la onda. Dado que las variaciones de presión audibles se encuentran en una gama muy amplia, variando entre  $20 \mu\text{Nw/m}^2$  y  $10^8 \mu\text{Nw/m}^2$ , se adoptó para su medición una unidad logarítmica llamada **DECIBELIO (dB)** en la que interviene una magnitud de referencia, que es precisamente la mínima presión audible o presión de umbral.

$$dB = 20 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

$$P_0 = 20 \mu\text{Nw/m}^2 = 20 \mu\text{Pa. (Presión)}$$

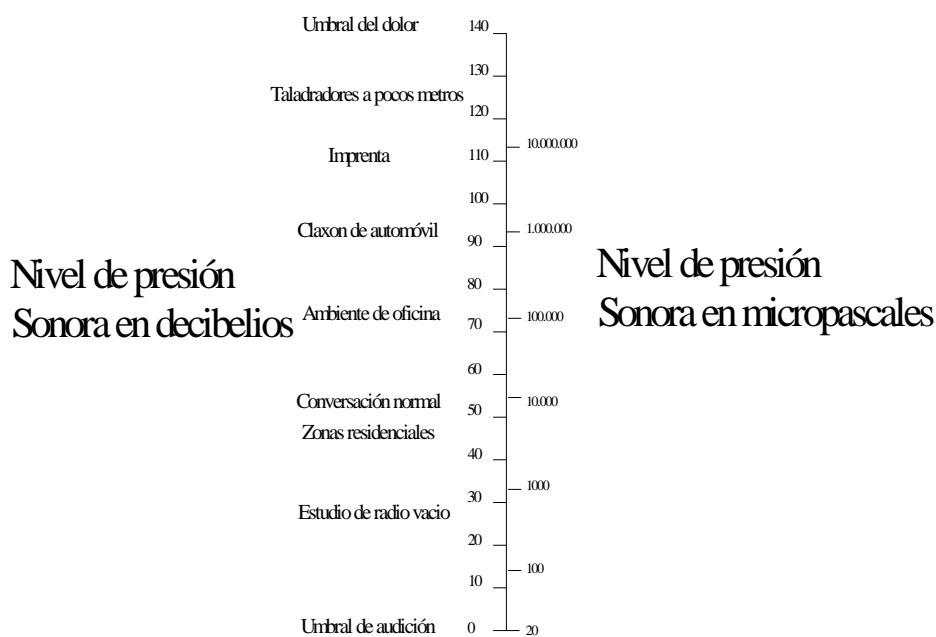
$$W_0 = 10^{-12} \text{ vatios (Potencia)}$$

Atendiendo a esto definimos el **Nivel de potencia sonora (Lw)**, como la potencia sonora de una fuente expresada en vatios, transformada a una escala logarítmica, expresándose en decibelios.

$$L_w = 10 \log_{10} (W/W_0) \text{ dB}$$

De igual manera definimos **Nivel de presión sonora (Lp)**, en este caso en referencia a presión, que de igual forma al expresarla sobre una escala logarítmica viene dada en decibelios, la diferencia de escalas entre ambas unidades se representa en la figura 6,2.

$$L_p = 20 \log_{10} (P/P_0) \text{ dB}$$



**Figura 6,2. Escala Comparativa Entre Nivel de Presión Sonora en Micropascales y Nivel de Presión Sonora en Decibelios.**

Como el paso de las ondas sonoras se acompaña de un flujo de energía acústica, se define la **Intensidad del sonido I**, en una dirección específica en un punto del campo sonoro como la potencia (en vatios) media de sonido por unidad de área nominal a la dirección de propagación de la onda. Si estuviéramos hablando de una fuente pequeña

que emite una potencia de sonido “W” vatios en forma esférica en un medio no disipativo, la intensidad acústica a una distancia “r” sería:

$$I = W/4\pi r^2$$

Se puede comprobar que a una distancia suficiente de la fuente de ruido, la intensidad es proporcional al cuadrado de la presión de sonido, es decir, existe una relación entre la intensidad sonora y la presión sonora, que es la siguiente:

$$I = p^2/\rho c$$

Donde        I= Intensidad acústica, W/m<sup>2</sup>  
              p= Presión del sonido, Pascales Pa.  
              ρ= Densidad del medio, kg/m<sup>3</sup>  
              c= Velocidad del sonido en el medio, m/s.

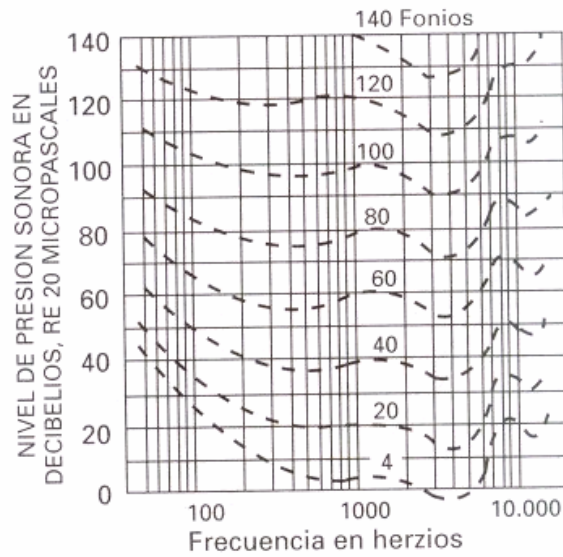
Y de igual forma existe un **Nivel de intensidad del sonido (L<sub>I</sub>)**, en decibelios, siendo igual a 10 veces la razón entre la intensidad de un sonido I y la intensidad sonora de referencia I<sub>0</sub> de 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>.

$$L_I = 10 \log_{10} (I/I_0) \text{ dB.}$$

**FRECUNCIA (f):** Es el número de variaciones de presión por unidad de tiempo, midiéndose en ciclos por segundo o Hercios (Hz).

Los ruidos generalmente están compuestos por variaciones de presión de diferentes frecuencias. El sistema auditivo humano está capacitado para oír sonidos de frecuencias comprendidas entre los 20 Hz. y los 20.000 Hz.

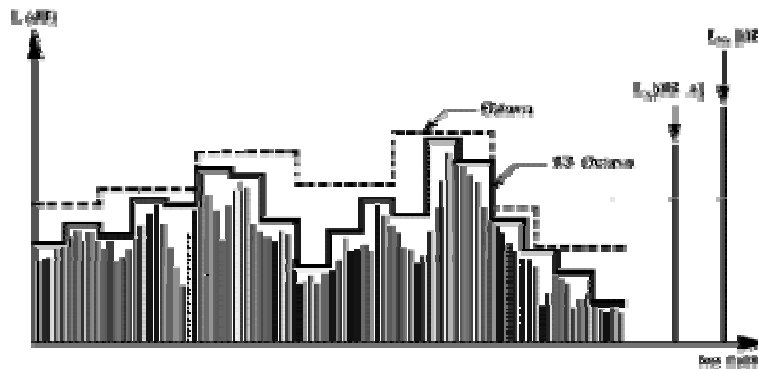
No todas las frecuencias son percibidas con la misma intensidad, siendo el oído humano más sensible en la banda comprendida entre los 500 y 6.000 Hz.. Es decir, como se comprueba en las curvas de audición de la figura 6,3, el oído humano se comporta “algo sordo” en bajas y altas frecuencias.



**Figura 6.3. Curvas de Audición**

La banda de frecuencias en la que fluctúa la voz humana está comprendida entre los 500 y los 2.000 Hz.

Dada la amplia banda o gama de frecuencias audibles, para realizar estudios de ruido no es posible analizarlas una a una, por lo que ha sido dividida dicha banda en 10 bandas mas pequeñas denominadas OCTAVAS que se denominan y conocen por su frecuencias centrales: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2.000, 4.000, 8.000 Hz. Para estudios de mayor precisión, se definen bandas de menor ancho, denominadas TERCIOS de OCTAVA, a saber 1/3 de la bandas anteriores, gráficamente se recoge en la siguiente figura..



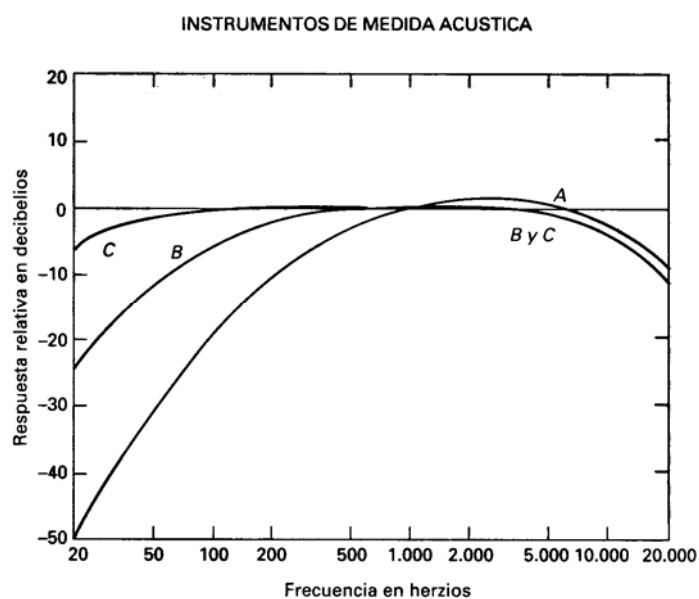
El análisis de frecuencia de bandas de octava es necesario para investigar una fuente sonora, y predecir las características de aislamiento necesarias para las barreras antiruido, recintos aislantes o para medir la reducción de ruido entre muros comunes. También es de gran valor cuando se quiere diseñar un sistema de control de ruidos, para definir las modificaciones mínimas necesarias que hagan al sistema útil para las especificaciones requeridas. El análisis se realiza con un sonómetro y un juego de filtros en Banda de Octava acoplado a él o con un analizador de espectros.

## 2.1.-Ponderación

Puesto que el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias, resulta lógico que al efectuar una medición de ruido se tenga en cuenta esta particularidad.

Para ello, se establecen y se han normalizado diferentes **CURVAS** de **PONDERACION** (figura 6,4), las cuales siguen aproximadamente la misma ley que el oído en cuanto a sensibilidad en función de la frecuencia.

- Curva **A**, se aproxima a la curva de audición de baja sensibilidad.
- Curva **B**, se aproxima a la curva de audición de media sensibilidad.
- Curva **C**, se aproxima a la curva de audición de alta sensibilidad.





**Figura 6,4. Respuesta de Frecuencias a las Distintas Redes de Ponderación.**

El nivel sonoro más utilizado es con Ponderación A, ya que es la que más protege al hombre contra la agresión del ruido, por lo que cuando el nivel sonoro este ponderado se suele representar el valor acompañado con **dB(A)**, obteniéndose así los **Niveles sonoros ponderados**. Los valores de las curvas están recogidos en la tabla 6,1 para la ponderación A con respecto a las frecuencias más utilizadas.

**Tabla 6,1. Respuesta de Frecuencias Relativas a la Curva de Ponderación A.**

| <b>Frecuencia, Hz</b> | <b>Ponderación A, dB</b> |
|-----------------------|--------------------------|
| <b>31.5</b>           | <b>-44.7</b>             |
| <b>63</b>             | <b>-26.2</b>             |
| <b>125</b>            | <b>-16.1</b>             |
| <b>250</b>            | <b>-8.6</b>              |
| <b>500</b>            | <b>-3.2</b>              |
| <b>1000</b>           | <b>0.0</b>               |
| <b>2000</b>           | <b>+1.2</b>              |
| <b>4000</b>           | <b>+1.0</b>              |
| <b>8000</b>           | <b>-1.1</b>              |

## **2.2.- Suma de decibelios.**

El decibelio es una cantidad engañosa, ya que pequeñas diferencias en el número de decibelios representan una variación muy importante en la cantidad de energía transmitida, y por tanto en su agresividad. La equivalencia de dos sonidos con 30 dB cada uno no es de 60 dB, la combinación no es la suma de los niveles individuales, sino que su equivalencia sonora se incrementa solo en 3 dB, es decir, la combinación de ambos sonidos supone que el nivel sonoro aumente hasta 33 dB.

La fórmula general para sumar decibelios es:

$$dB_r = 10 \log \sum 10^{dB_i/10} \quad \text{dB}$$

Es de mucha utilidad la combinación de niveles, pues se hace necesario en casos como:

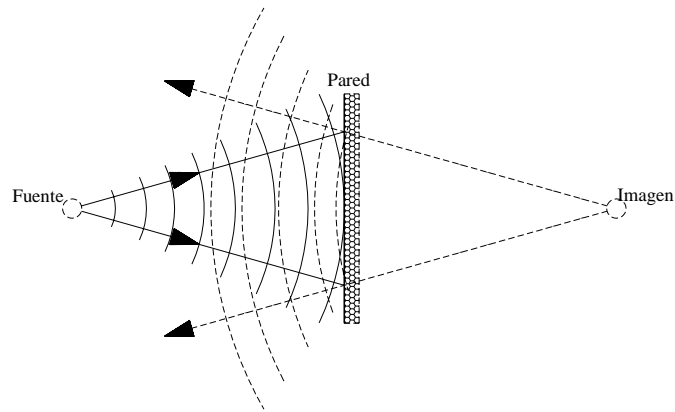
- Para calcular el nivel sonoro que resulta de la combinación de fuentes de ruido.
- Para determinar el nivel sonoro combinado de una fuente más el ruido de fondo.
- Para calcular el nivel de presión sonora global a partir de niveles de banda de octava o niveles de banda de tercios de octava.
- Para calcular el nivel de ponderación A para un espectro determinado de bandas de octava.
- Para combinar el nivel de presión sonora de dos o más fuentes de sonido.
- Para calcular el nivel sonoro con ponderación A a partir de los niveles de potencia sonora de bandas de octava.

### **3.-PROPAGACIÓN DEL SONIDO**

El sonido se propaga en el aire como las ondas en el agua. En campo libre, al doblarse la distancia, la amplitud de la onda se reduce a la mitad, con lo que el nivel de presión sonora disminuye en 6 dB.

Si hay un obstáculo en el camino del sonido, parte se absorbe, parte se refleja y parte se transmite. La cantidad que se absorbe, refleja y transmite depende de las características acústicas del objeto, de su tamaño y de la longitud de onda del sonido.

En general, el objeto debe ser mayor de una longitud de onda para afectar al sonido de forma apreciable. Por ejemplo, 10 kHz la longitud de onda es de 3.4 cm, con lo cual un pequeño objeto puede perturbar el campo sonoro y con ello conseguir absorber el sonido. Pero, a 100 Hz, la longitud de onda es de 3.4 m. y el aislamiento es más difícil, esto se observa cuando tocan música en la habitación de al lado, el bajo es muy difícil de tapar. Luego, a mayor frecuencia, menor longitud de onda y resulta más fácil conseguir la absorción de dicho sonido.



**Figura 6,5.**  
**Una Onda**

**Reflexión de**  
**en Una**

**Superficie Lisa y Rígida**

De igual forma, si la superficie no es porosa y es perfectamente rígida, no hay pérdida de energía por la reflexión, de manera que la onda reflejada posee en mismo nivel de presión sonora en un punto determinado que el que produciría la fuente imagen si el muro se retirara y tuviera la misma potencia sonora que la fuente real (figura 6,5). Por supuesto, no existe ninguna superficie física que se comporte como un reflector perfecto, parte de la energía es absorbida.

**3.1.- Atenuación del sonido en el exterior**

Como hemos comentado en campo libre, al doblarse la distancia, la amplitud de la onda se reduce a la mitad, es decir, el sonido al atravesar la atmósfera suele sufrir una disminución de su nivel al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor. Esta atenuación es el resultado de varios mecanismos.

La atenuación total  $A_T$  viene expresada por:

$$A_T = D + A + S + M.A. \quad \text{dB}$$

“D”, representa la atenuación producida por la divergencia geométrica o distancia, “A”, la producida por la atmósfera, “S”, producida por el suelo y “M.A”., producida por otros mecanismos adicionales que surgen de los casos concretos y que entre otros pueden ser la debida a edificios, vegetación, casas, etc. Pero son tres

primeros términos los que se deben considerar en todas las situaciones pues suponen elementos universales.

Se evalúa cada término individualmente, salvo que se indique lo contrario por situaciones particulares. En términos generales, para hacer un buen cálculo de la atenuación, se hace necesario hacerlo en todas las bandas de octava de ruido por separado, ya que cada término de la expresión anterior depende de la frecuencia.

**3,1,1.- Atenuación por Divergencia Geométrica (D).**

Viene dada por la expresión.

$$D = 20 \log d + 10.9 \quad \text{dB}$$

“d” es la distancia entre la fuente puntual y el receptor. Según esta ecuación en nivel sonoro se reduce en 3 dB cuando se dobla la distancia para una fuente lineal y 20 dB cada vez que la distancia se multiplica por 10.

**3,1,2.- Atenuación Debida a la Atmósfera (A).**

Conforme el sonido se propaga por el aire, la energía se va disipando en forma de calor. La disminución del sonido debida a la atmósfera para una distancia “d” expresada en metros de propagación a través de ella viene dada por:

$$A = \gamma d \quad \text{dB}$$

“γ” es el coeficiente de atenuación del aire en decibelios por kilómetros.

**Tabla 6.2. Coeficiente de Atenuación del Aire en dB/km a 20 °C.**

| Frecuencia (Hz) | Humedad relativa % |      |      |
|-----------------|--------------------|------|------|
|                 | 50                 | 70   | 90   |
| 125             | 0.45               | 0.34 | 0.27 |
| 250             | 1.3                | 1.1  | 0.97 |

---

---

|      |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|
| 500  | 2.7 | 2.8 | 2.7 |
| 1000 | 4.7 | 5.0 | 5.3 |
| 2000 | 9.9 | 9.0 | 9.1 |
| 4000 | 29  | 23  | 20  |

---

Atendiendo a la tabla 6,2, para una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 70 %, la atenuación es de 2.8 dB/km para una frecuencia de 500 Hz. Por lo tanto para una distancia de 10 m la reducción es inapreciable (0.028 dB). Sin embargo para una distancia de 10000 m la reducción es de 28 dB.

Como se observa en la tabla, la reducción del sonido para distancias cortas es insignificativa para frecuencias bajas, siendo más importantes para frecuencias altas. Para casos de distancias largas la atenuación es importante para todas las frecuencias como sería de esperar. Por supuesto el coeficiente “ $\gamma$ ” es diferente y se ve influenciado por la humedad y la temperatura, así como de la frecuencia.

### 3,1,3.- Atenuación Resultante del Suelo o Superficie del Terreno (S).

El suelo se va a comportar como una superficie reflectante, de manera que el sonido que recibe un receptor va a llegar por dos vías: el directo y el reflejado por el suelo, este último dependiendo del tipo de superficie, ángulo de rozamiento, frecuencia del sonido y de la diferencia de longitud de los recorridos entre la distancia del sonido reflejado y la distancia real.

Para suelos duros como el hormigón, asfalto, que poseen poca porosidad, la atenuación es baja, a diferencia de suelos cubiertos con arboles, hierbas, terrenos arados.

Mención especial merece la atenuación debida al arbolado. A diferencia de lo que se piensa, es baja la reducción que se obtiene con una pantalla arbórea. Sería necesario para obtener resultados satisfactorios que la plantación cumpliera una serie de requisitos. Por un lado debería de ser densa y ancha (60 m) con un follaje que se tendiera hasta el suelo evitando la existencia de huecos por donde escape el sonido.

Según datos de bibliografía se puede obtener reducciones del alrededor de 1 dB por cada 10 metros de espesor.

### 3.2.- Cálculo de barreras antiruido.

Se va a entender por barrera cualquier obstáculo sólido más o menos opaco que se interpone entre la fuente de sonido y el receptor, absorbiendo parte del sonido emitido.

Para calcular las barreras o pantallas antiruido, se ha de partir de los niveles sonoros analizados. El cálculo presenta dos fases:

- Una primera fase donde se calcula la atenuación de una pantalla suponiendo que esta es de altura determinada y longitud infinita.
- Segunda fase en la que se calcula la longitud que debe tener la pantalla para atenuar la inmisión sonora para que no sobrepase los niveles admisibles.

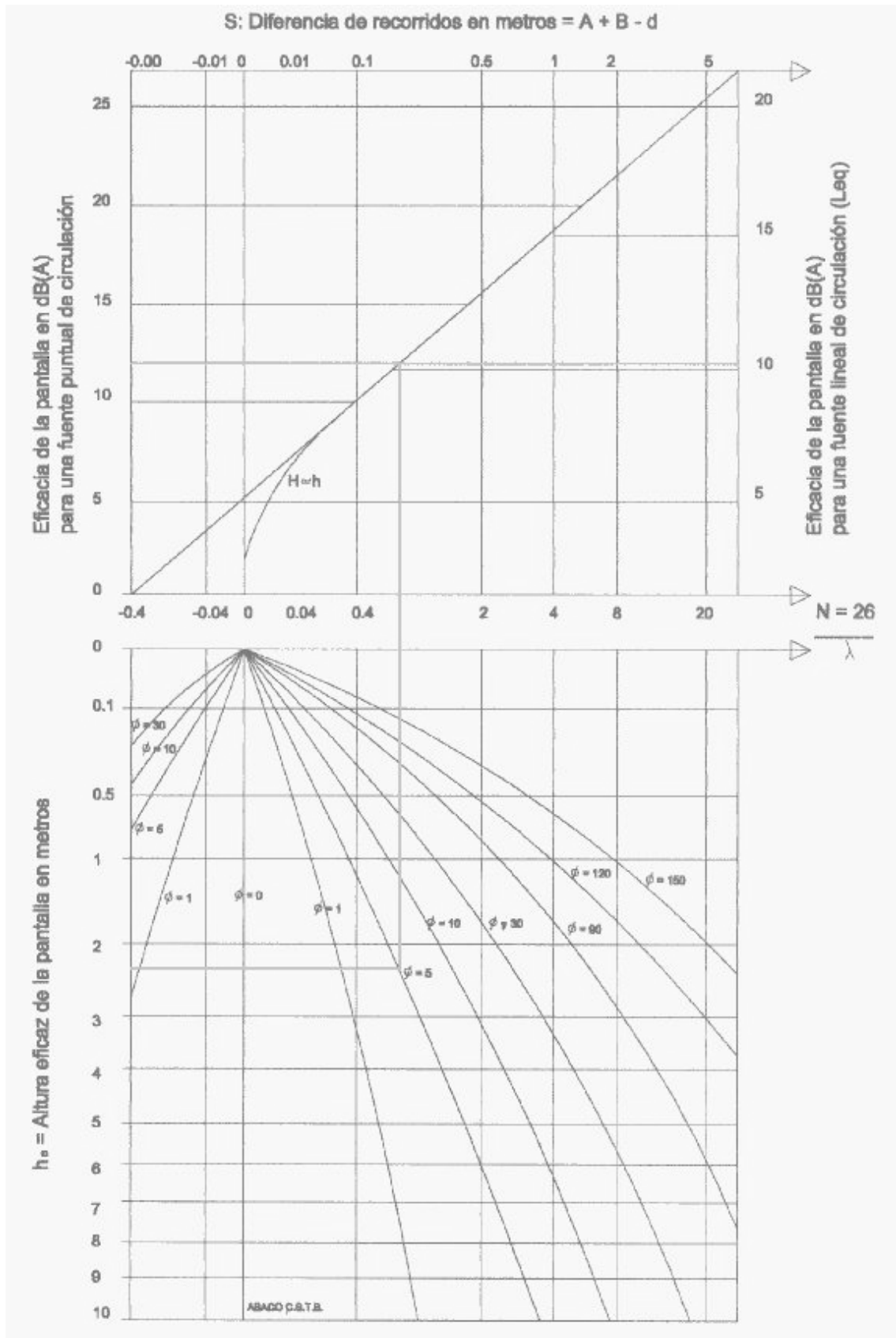


Figura 6.6. Ábaco de Difracción de una Pantalla de Longitud Infinita (adaptado del C.S.T.B).

1ª Fase

Para este primer paso, el cálculo de la atenuación sonora se realizara según ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del C.S.T.B. (Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment). Este ábaco (Figura 6,6), permite utilizar los parámetros representados en las figuras 6,7 y 6,8, que posee una corrección en el caso de pantallas de pequeña altura. También este ábaco refleja los resultados de una integración aproximada, permitiendo obtener directamente un resultado fiable para una fuente lineal (tres dimensiones) a partir de un cálculo efectuado en un perfil transversal.

El ábaco tiene dos posibilidades para la elección de los parámetros que permiten evaluar la atenuación:

- La parte superior del ábaco nos introduce directamente relacionando la diferencia de distancias  $\delta = A + B - d$  con la eficacia de la pantalla. La diferencia de la distancia esta situada en la parte superior del ábaco. La atenuación en difracción, para una fuente puntual, está situada en la ordenada izquierda de éste, La atenuación en difracción para fuente lineal esta situada en la ordenada derecha. La escala situada sobre el eje de abscisas, en el centro del ábaco, tiene en cuenta el valor del número de FRESNEL;  $N = 2 \delta / \lambda$  siendo  $\lambda$  la longitud de onda del ruido y  $\delta = A + B - d$  que representa la diferencia de distancias debidas a la pantalla.

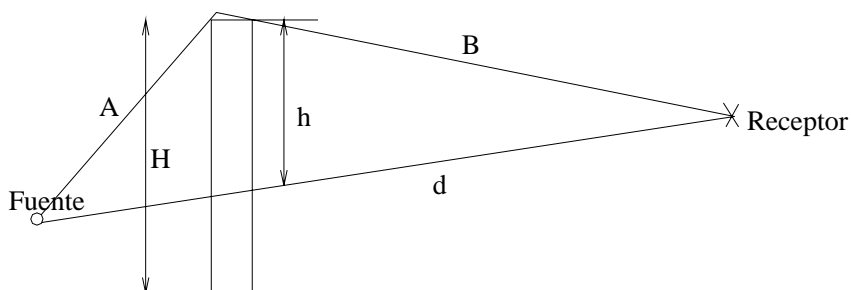


Figura 6,7.- Cálculo de los Parámetros Introducidos en la Parte Superior del Ábaco de Difracción



- La parte inferior del ábaco permite la entrada de parámetros según la figura 6,8 para la evaluación de la atenuación por difracción:

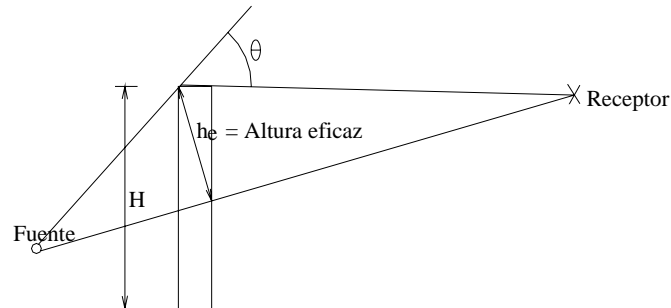


Figura 6,8.- Cálculo de los Parámetros Introducidos en la Parte Inferior del Ábaco de Difracción.

En los perfiles transversales de los puntos donde se sitúan hipotéticamente las pantallas sonoras, fuente y receptor se obtienen los valores del ángulo  $\theta$ . Conociendo la altura eficaz ( $h_e$ ) y conociendo el ángulo  $\theta$  se entrará en el ábaco por la parte inferior hasta el corte con la correspondiente línea del ángulo  $\theta$ . Esta línea se prolonga hasta la diagonal del ábaco superior, siendo el corte con el eje de ordenadas la atenuación eficaz de la pantalla para fuentes lineales (derecha) o para fuentes puntuales (izquierda).

## 2ª Fase

La atenuación antes obtenida es para pantallas de longitud infinita y altura conocida. Por tanto, es preciso calcular la longitud que deben tener las pantallas para atenuar, de forma particularizada y adecuada.

En la práctica, el dimensionamiento de la longitud de las pantallas se realiza mediante la adopción de simplificaciones que permiten la estimación rápida de la longitud en función de la atenuación deseada.

El método utilizado consiste en considerar que el nivel sonoro que se alcanza en el punto donde está situado el receptor es el resultado de la suma energética de los niveles correspondientes a tres segmentos de la fuente lineal. Dos segmentos que

corresponde a una propagación directa del ruido a ambos lados de la pantalla, y un segmento que corresponde a la zona de protección de la barrera, como se observa en la figura 6,9, en un ejemplo de una carretera.

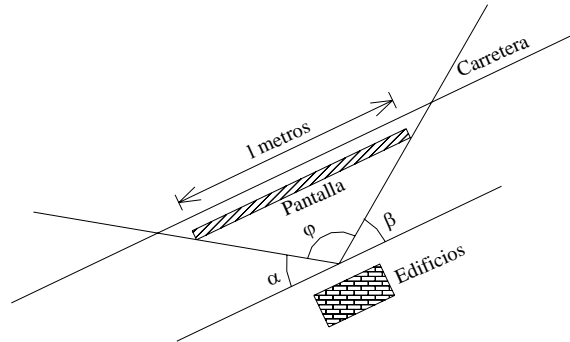


Figura 6,9. Esquema de Protección de un Edificio Contra el Ruido que Provoca una Carretera Mediante una Barrera Artificial.

La energía correspondiente a los segmentos laterales se calcula a partir de la expresión:

$$L(\alpha + \beta) = L_d + 10 \log ((\alpha + \beta)/180) \quad \text{dB (A)}$$

Donde “ $L_d$ ” es el nivel sonoro producido por la fuente a la distancia “ $d$ ” a la que está situado el receptor. Los ángulos de recepción directa son “ $\alpha$ ” y “ $\beta$ ”.

La energía correspondiente a la zona protegida por la pantalla se calcula mediante la expresión:

$$L(\varphi) = L_d + (10 \log \varphi/180)) - \text{Atenuación (infinita, 1ª fase)} \quad \text{dB (A)}$$

Donde “ $\varphi$ ” es el ángulo de cobertura de la pantalla, y la atenuación expresada en dB (A), resultante de aplicar la 1ª Fase con el ábaco C.S.T.B. El nivel sonoro resultante como consecuencia del efecto de una pantalla de longitud finita será:

$$L = L(\alpha + \beta) \oplus L(\varphi) \quad \text{dB(A)} \quad \oplus \text{ Suma energética}$$

Dado que  $\alpha + \beta = 180 - \varphi$ , conociendo el nivel sonoro deseado para el punto receptor y la atenuación proporcionada para la pantalla considerada infinita, podemos obtener el valor de  $\varphi$  y por lo tanto de la longitud de la pantalla.

Dado que  $\alpha + \beta = 180 - \varphi$ , conociendo el nivel sonoro deseado para el punto receptor y la atenuación proporcionada para la pantalla considerada infinita, podemos obtener el valor de  $\varphi$  y por lo tanto de la longitud de la pantalla.

#### 4.- PARAMETROS ESTÁNDARES SOBRE EL RUIDO

En este apartado se van a describir los parámetros que suelen utilizarse para cuantificar los sonidos tanto estables como variables.

El principal requisito que debe cumplir un parámetro o criterio sobre el ruido es que sus valores tengan una correspondencia con la percepción del ruido, además de ser fácil de medir y predecir, así como fácil de entender y aplicable a cualquier fuente de ruido. Debido a que es difícil que un solo parámetro cumpla con todos estos requisitos, se propone un conjunto diferente de parámetros, siendo los más comunes los siguientes:

- **Nivel de Presión Sonora, Continuo Equivalente Ponderado -A.  $L_{eq,T}$**  Aquel nivel continuo en dB(A) el cual, produciría la misma energía sonora en el mismo tiempo que el suceso dado. Normalmente el periodo de observación se entiende que es de 24 horas a menos que se indique lo contrario.

$$L_{24h} = 10 \log \left[ 1 / 24 \sum_1^{24} 10^{0.1 L_{1h}(i)} \right]$$

siendo " $L_{1h}$ " el Nivel Sonoro Equivalente 1 hora.

- **Nivel sonoro día-tarde-noche.**

La Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, propone el indicador  $L_{den}$ , nivel equivalente día-tarde-noche en decibelios A, y se calcula según la siguiente fórmula:

$$L_{den} = 10 \otimes \text{Log} \left( \frac{12 \otimes 10^{\frac{L_{Day}}{10}} + 4 \otimes 10^{\frac{L_{evening}}{10}} + 8 \otimes 10^{\frac{L_{night}}{10}}}{24} \right)$$

$L_{Day}$ .- Nivel sonoro para el día, el horario por defecto entre 07:00-19:00 horas

$L_{evrning}$ .- Nivel sonoro para la tarde, el horario por defecto entre 19:00-23:00 horas

$L_{night}$ .- Nivel sonoro para la noche, el horario por defecto entre 23:00-07:00 horas

- **Nivel de Exposición Sonora (SEL),  $L_{AE}$ :** Aquel nivel constante en dB(A) que, para una duración de un segundo tiene la misma cantidad de energía acústica que el suceso de ruido dado Ponderado-A. Índice útil para calcular los niveles sonoros que resultan de cualquier combinación de fuentes sonoras.

$$L_{AE} = 10 \log (E_A/E_0)$$

correspondiéndose “ $E_A$ ” es la exposición sonora con ponderación A, en pascales al cuadrado segundo. “ $E_0 = p_0^2 t_0$ ” es la exposición sonora de referencia, en pascales al cuadrado segundo, y “ $t_0$ ” el tiempo de referencia un segundo.

- Relación entre el nivel de exposición sonora y el nivel sonoro continuo equivalente. Para un suceso acústico único, el nivel sonoro continuo equivalente, para un intervalo de tiempo T, se relaciona con el nivel de exposición sonora producido por la fuente de sonido mediante la siguiente ecuación, donde los tiempos se expresarán en segundos.

$$L_{eq} = L_{AE} - 10 \log (T/t_0)$$

Si se produce una  $n$  serie de sucesos acústicos durante el intervalo de tiempo T, se calculará con la expresión siguiente:

$$L_{eq} = 10 \log [(1/T) \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{AE}(i)}]$$

Siendo “ $L_{AE}(i)$ ” el nivel de exposición sonora de cada suceso

- **Nivel Porcentual,  $L_{N,T}$ :** Son términos estadísticos. Aquel nivel de ruido en dB(A) que se ha excedido durante un N% del periodo de medida T. Los mas utilizados son  $L_{90,T}$ : se usa para estimar el nivel de ruido de fondo en un ambiente y el  $L_{10,T}$ : que estima los niveles máximos o picos sonoros.
- **Indice de Ruido de Tráfico, TNI.** Utilizado como descriptor del ruido de tráfico de carretera, que se define por la expresión.

$$TNI = 4 ( L_{10,T} - L_{90,T} ) + L_{90,T} - 30$$

Para dosis de ruido, la lesión auditiva no solo depende del nivel de sonoro, sino también del tiempo de exposición, por ello no solo hay que medir el Nivel de Ruido, sino también el tiempo de exposición. Los parámetros que miden esta dosis son, “el Nivel Continuo Equivalente en dB(A) a que esta expuesto el trabajador durante 8 horas diarias y 40 horas semanales”. Para calcularlo, están definidas los dos siguientes valores:

**Nivel diario equivalente (NDE).**

$$NDE = 10 \log 1 / 8 \sum t_i \times 10^{N_i \times 0.1}$$

donde “ $N_i$ ” es el Nivel sonoro horario y  $t_i$  el tiempo en horas.

**Nivel Semanal equivalente (NSE)**

$$NSE = 10 \log 1 / 5 \sum t_i \times 10^{NDE_i \times 0.1}$$

## 5.- REGLAS BASICAS PARA REALIZAR MEDIDAS ACUSTICAS

El empleo del sonómetro para la realización de medidas acústicas exige seguir una serie de pasos imprescindibles para lograr una medida adecuada. Igualmente se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones que nos llevarán a lograr una determinación correcta.

Determinación del tipo de campo sonoro donde se va a realizar las medidas y definición clara del problema.

En espacios cerrados nos podremos encontrar con el *campo próximo*, estando la fuente de ruido cerca, y en donde por regla general las medidas no son muy fiables. Con el *campo lejano*, las condiciones son muy parecidas a las del *campo libre*, y el *campo reverberante* donde predominan el sonido reflejado sobre las paredes, suelos y otras superficies, las ondas estacionarias (ondas periódicas con una distribución fija de amplitud en el espacio, que resultan de la interferencia de ondas progresivas de la misma frecuencia y tipo) que producen aumentos y disminuciones alternativas de las ondas sonoras.

En espacios exteriores o libres, es el *campo libre* el más característico, donde predomina el sonido directo y el nivel de presión sonora decrece 6 dB por cada duplicación de la distancia de la fuente.

Seleccionar los aparatos o aparato más adecuado, incluyendo el tipo de micrófono.

La selección será apropiada solo cuando la determinación del campo sonoro se haya definido de forma correcta. Muchos de los procedimientos de medida están ya descritos en diferentes normas, a veces proporcionadas por los equipos.

Muchas ordenanzas, normas o especificaciones exigen la obtención de los niveles sonoros con ponderación A, de manera que para cumplir con estas exigencias es valido un sonómetro con promedio temporal exponencial o un sonómetro integrador. Pero en ocasiones esos niveles sonoros se han de presentar en términos de niveles de presión sonora de bandas de octava o tercios de octava, de manera que será preciso un analizador de espectro o un juego de filtros de frecuencia si se utiliza un sonómetro.

Establecer las posiciones para realizar las medidas así como su localización.

El número de posiciones que se deben establecer ha de ser el suficiente como para determinar el nivel de ruido ambiental y las características de la fuente del ruido

con la precisión requerida. Mediante la figura 6,13 se puede obtener el número mínimo de posiciones necesario para determinar el nivel medio de presión sonora, para un valor de confianza del 90 %.

Para frecuencias altas, generalmente el campo sonoro es uniforme, siendo necesarias pocas localizaciones del micrófono, no así en campos donde predominan las frecuencias bajas.

Como ejemplo, para hacer mediciones de ruido en una comunidad, las posiciones pueden venir localizadas bien en cualquier lugar a lo largo de la línea que limita la propiedad o bien allí donde es más probable que se encuentren las personas de la propiedad adyacente. Si el caso es evaluar lugares de reunión o espacios públicos, el micrófono deberá localizarse en las ubicaciones normales de las personas, a una altura de 1.5 a 1.7 m. si éstas están de pie o de 1.2 a 1.3 m si están sentadas. Pero sea como sea, las posiciones no deben ubicarse a menos de 1.2 m. de una superficie reflectante, dígase una pared, suelo o techo, para impedir reflexiones de las ondas que puedan influir significativamente en los resultados de la medida.

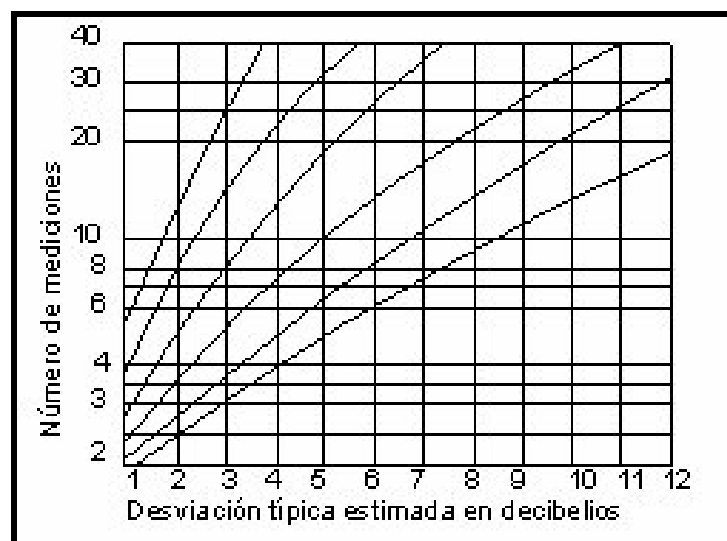


Figura 6,10.- Determinación del Número de Posiciones para Determinar una Medida de Ruido.

Asegurarse de que el instrumento está correctamente calibrado.

Por regla general son los propios aparatos medidores los que poseen un procedimiento para su calibración. Se recomienda que se use la calibración tanto al comienzo como al final de cada sesión de medida.

Anotar los niveles sonoros.

Se anotarán además de los que se especifiquen, aquellos que sean relevantes para la medida.

Aplicar todas las correcciones necesarias a las medidas obtenidas.

Para obtener una corrección válida si se utiliza un sonómetro, las medidas se deben realizar usando la misma ponderación de frecuencia y la misma ponderación exponencial del tiempo (Fast o Slow). Si se utiliza un analizador de espectro, las correcciones deben realizarse por separado para cada nivel de presión sonora de banda.

- **Corrección por las reflexiones de las superficies próximas:** cuando existan elementos no asociados a la medida y puedan contribuir con un nivel de presión sonora significativa deberá corregirse.
- **Corrección para el ruido de fondo:** Un factor que puede influir en la precisión de las medidas es el nivel de fondo comparado con el nivel sonoro que se está midiendo. Es un nivel que hay que restar. Ejemplo. Para una máquina, primero se mide el nivel sonoro en conjunto. Se para la máquina y se mide el ruido de fondo. El valor obtenido de fondo se resta al medido en conjunto.

$$L = 10 \log (10^{0.1 L_c} - 10^{0.1 L_s} )$$

“L” es el nivel de presión sonora de la fuente en ausencia de ruido de fondo,

“Lc” es el nivel de conjunto de presión sonora de la máquina y del ruido de fondo y

“Ls” el nivel de presión sonora del ruido de fondo a solas.

- **Influencia del operador:** La presencia del operador no solo puede bloquear el sonido que llega en una dirección dada, sino que puede causar reflexiones que produzcan errores de medida. Se aconseja que el operador se sitúe en el plano normal al eje del micrófono y a una distancia de 0.5 m o más.



- **Influencia ambiental.**
  - **Viento.** El viento a través del micrófono produce mucho ruido extraño. Para reducir este ruido, se debe utilizar siempre sobre el micrófono una pantalla antiviento especial, generalmente consistente en una bola de espuma porosa. Si la velocidad del viento se estimara alrededor de 1.6 m/s se empleará dicha pantalla antiviento, pero si son superiores a 3 m/s se desistirá de realizar las mediciones.
  - **Humedad:** Principalmente puede afectar a los micrófonos y sobre todo a los de tipo condensador, si la humedad relativa es alta. Se deberá proteger de la lluvia, para impedir la entrada directa de agua por el micrófono, que produciría un funcionamiento intermitente.
  - **Temperatura:** Los sonómetros trabajan en una alta gama de temperaturas, sin embargo hay que evitar los cambios bruscos de temperatura que pueden llegar a una condensación del micrófono, y al igual que en el apartado anterior son los de tipo condensación los que mas se pueden ver influenciados.
  - **Presión atmosférica:** La respuesta no se suele ver afectada significativamente por los cambios ordinarios de la presión atmosférica, y sobre todo si es a nivel del mar. Pero a grandes alturas la sensibilidad se puede ver algo afectada, especialmente a altas frecuencias, que ser tenida en cuenta utilizando para su corrección los datos que aporta el fabricante del micrófono.
  - **Vibraciones:** Aunque el micrófono y el sonómetro son relativamente insensibles a la vibración, siempre conviene aislarlos de vibraciones fuertes y choques.
  - **Campos magnéticos o electrostáticos:** suelen tener efectos insignificantes. Sin embargo cerca de máquinas o transformadores, el

micrófono debe ser protegido. Las descargas electrostáticas pueden ser un gran problema para los sonómetros, de manera que deberá seguir las especificaciones que el fabricante indique en el manual de instrucciones.

Si se va a emitir un informe de medidas deberá contener al menos la siguiente información

- Un croquis del lugar de la medida con la dimensiones aplicables como el tamaño de la habitación, posición del micrófono y objeto que se va a medir.
- Modelo y número de serie de los instrumentos que se utilicen, así como especificaciones técnicas más importantes a tener en cuenta en la medida.
- Método de calibración.
- Red de ponderación y respuesta del detector utilizada.
- Descripción del tipo de sonido.
- Nivel de ruido de fondo y correcciones que se han utilizado en la medida.
- Condiciones ambientales incluyendo el tipo de campo sonoro.
- Datos sobre el objeto a medir.

### **5.1.- Redacción de Prescripciones Técnicas de los Proyectos.**

Para la prevención de impactos que las distintas actividades o proyectos puedan cometer en el medio ambiente, la administración fija un régimen de actuaciones a desarrollar en la aplicación de procedimientos y técnicas que permitan una adecuada valoración anticipada de los efectos ambientales de un conjunto de actividades.

En la Comunidad Andaluza tras la Ley 7/94 de protección Ambiental y dentro del ámbito de la redacción de proyectos y para cumplimentar lo establecido en la Orden de 23 de febrero de 1996, que desarrolla el Decreto 74/96, sobre la Calidad del Aire, en materia de medición, evaluación y valoración de ruidos y vibraciones, se debe realizar un informe anexo al proyecto de la actividad a implantar para evaluar el cumplimiento en materia de calidad del aire. En él, más concretamente, se evalúa si la actividad a estudio, en prevención a los impactos futuros al entorno, cumple con los límites de emisión e inmisión recogidos en el Decreto sobre Calidad del Aire.

A continuación, se dan unas pautas o directrices de cómo se debe cumplimentar, y para ello, se deben seguir los siguientes apartados:

Definición del tipo de actividad.- Se describirá la actividad que se desea desarrollar, enumerando los focos generadores de ruido, ubicación de estos dentro del edificio y horario previsto de funcionamiento tanto de la actividad como de los diferentes focos generadores de ruido. Se describirá el entorno donde se ubica la actividad. Además se deberá incluir el diseño de las instalaciones acústicas introducidas en el proyecto, incluyendo planos de detalle con descripción y justificación numérica de los sistemas acústicos utilizados.

Identificación de los Niveles Sonoros de Emisión.- Se indicarán a partir de los espectros de emisión si se conocen, si no fuese así se recurrirá a determinaciones empíricas, o a los espectros sonoros equivalentes en ruido blanco o rosa (el ruido blanco es aquel que contiene todas las frecuencias con la misma intensidad con una pendiente de 3dB/octava en su espectro en tercios de octava, el rosa es igual que el blanco pero con la pendiente constante).

Por ejemplo para pubs o bares con música su espectro de frecuencias según bandas de octava son los representados en la tabla 6,3., recogidos de la Orden de 23 de febrero de 1996 de la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma Andaluza.

**Tabla 6,3.- Espectro de Frecuencias Para Pubs y Bares con Música (Orden 23-2-96 J.A.).**

| Frecuencias Hz | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2 K | 4K |
|----------------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| Espectro       | 90 | 90  | 90  | 90  | 90 | 90  | 90 |

Identificación de los niveles sonoros de recepción según normas vigentes. En este apartado se considerarán tanto los Niveles de Inmisión sonora en el interior (N.A.E) que evalúan las molestias producidas por un ruido en el interior de la actividad, como los Niveles de Emisión sonora en el Exterior (N.E.E), que evalúan las molestias producidas por un ruido en el exterior la actividad. Para ello se recurren a las tablas del Anexo III

del Decreto 74/96, sobre la Calidad del Aire, que recogen valores globales en dB(A). Para establecer los espectros equivalentes a dichos valores globales en dB(A) se recurren a las Curvas NC (Noise Criterium).

Identificación de los elementos Aislantes Acústicos. Se enumeraran los aislantes acústicos con sus características. Para determinar su capacidad aislante del ruido según el espectro de frecuencias se recurrirán bien a las especificaciones técnicas del fabricante si las posee, o a las curvas STC (Clase de Transmisión del sonido) que determina la reducción del sonido según el espectro de frecuencias debida a sus propiedades de aislamiento.

Cálculo de los Niveles de Emisión al Exterior y Aislamiento Acústico.- A partir de los datos recogidos en los apartados anteriores se calcula si los niveles que emite la actividad al exterior cumple con la normativa, evaluando además si el aislamiento recogido en el proyecto es el suficiente para reducir el impacto sonoro en el exterior de la actividad a desarrollar. Esta evaluación se realizará de forma global, es decir, utilizando como parámetro el  $L_{eq}$ .