

INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DEL RUIDO URBANO

Ing. Anibal Aguirre

ÍNDICE

1-INTRODUCCIÓN.....	2
2-SONIDO Y RUIDO.....	3
3-FÍSICA DEL RUIDO AMBIENTAL.....	5
4-EL OÍDO Y SU RESPUESTA.....	15
5-LOS EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD.....	21
6-MEDICIÓN DEL RUIDO.....	29
7-CONTROL DEL RUIDO.....	36

1-INTRODUCCIÓN

El presente manual representa una primera aproximación al conocimiento de la problemática del ruido urbano. Está orientado a la formación de promotores ambientales, cuya formación de base es esencialmente dispar, y a todo aquel que desee acercarse, de manera inicial, al conocimiento y medición del ruido urbano.

El ruido urbano, también llamado “ruido ambiental”, es uno de los agentes físicos que pueden volverse realmente molestos, más comunes en la vida diaria.

Es frecuente, en pobladores que habitan en zonas céntricas o en las cercanías de zonas fabriles, las quejas por los denominados “ruidos molestos” que en algunas ocasiones se traducen en denuncias en las instancias municipales. Pero los ruidos molestos reconocen una multiplicidad de fuentes de ocurrencia esporádica o permanente; el tránsito vehicular en una calle o avenida importante, la realización de un evento recreativo cercano, una obra en construcción prolongada, la cercanía con equipos emisores de ruidos como acondicionadores de aire o generadores de energía y la cercanía del paso del ferrocarril o de una aerovía, son entre otras tantas, las causantes de las quejas de los vecinos.

Si bien es cierto que el análisis científico e ingenieril de este fenómeno corresponde a una compleja disciplina llamada Acústica, la problemática de los ruidos urbanos molestos, su comprensión, análisis y posible mitigación son actividades de orden técnico, que al menos en la fase inicial han de ser atendidas por las autoridades locales a los efectos de resolver lo antes posible la queja del vecino, que en ciertas ocasiones amerita una urgencia importante.

Con el objetivo de proveer un conocimiento inicial para este primer abordaje el presente manual incluye una introducción a la física del sonido, a la percepción del mismo, a las técnicas básicas de medición y a la presentación de los casos prácticos más comunes con el fin de acercar al lector a la realidad práctica.

Como toda publicación técnica, seguramente será perfectible con el paso del tiempo. Es deseo del autor que las experiencias y sugerencias críticas de los lectores colaboren en ese proceso.

A la vez, el autor desea reconocer de manera explícita, como antecedentes en la materia los conocimientos y publicaciones de dos Profesionales Notables y Referentes de la especialidad como son el Prof. Ing Oscar Bonello y la Ingra. Nilda Vechiatti.

2-SONIDO Y RUIDO

El primer concepto específico a definir y el que representa el agente físico bajo estudio es el SONIDO.

Se define como sonido a una variación de presión que el oído humano es capaz de detectar.

Nota del Autor: En términos de ingeniería, el sonido es una vibración de comportamiento ondulatorio, que como tal tiene la propiedad de propagarse en un medio y cuya velocidad de propagación depende de las características del mismo. A manera de volverlo más sencillo, se desarrollan las siguientes ideas.

La Presión.

El hombre habita la superficie terrestre, donde la vida es posible, entre otras cosas, por la existencia del aire que respiramos. El aire está compuesto en su mayoría (casi un 80%) por Nitrógeno gaseoso y en un 20% por Oxígeno. Acaso sea la costumbre desde el inicio de los tiempos, lo que haya quitado la percepción que esta masa de aire “pesa” sobre las personas. A este fenómeno de la fuerza del aire sobre la superficie de la tierra se la denomina presión, concretamente “presión atmosférica”. Como esta presión depende de la cantidad de aire que hay sobre un objeto, la presión que se registra en la cima del Cerro Aconcagua, casi a 7000m de altura es mucho menor que la registrada en la Ciudad de Avellaneda, dado que sobre una persona que está casi al nivel del mar se “apoya” una columna de aire mucho más alta que la que está en las alturas de los Andes.

La Presión atmosférica se mide en una unidad llamada “Pascal” (se abrevia Pa) en honor a Blaise Pascal, matemático y físico Francés del siglo XVII.

Es común escuchar en la radio local (Capital y Gran Buenos Aires) la frase “*la presión es 1013 hectopascasles*”, de donde el prefijo “hecto” significa cien y por lo tanto “*1013 hectopascasles*” (se abrevia 1013HPa) equivalen a 101300Pa.

A modo de ejemplo en la ciudad de Córdoba Capital cuya altura ronda los 500m sobre el nivel del mar, una Presión Atmosférica típica ronda en los 950HPa, y en la cumbre del Cerro Aconcagua la Presión es del orden de los 450HPa; como puede verse claramente, la Presión Atmosférica disminuye con la altura.

La Presión Sonora.

El sonido fue definido como una variación de presión, pero como se observará a continuación esta variación de presión que el oído humano es capaz de percibir es de un nivel MUCHO MENOR a la presión atmosférica¹ (ver Nota al pie).

Comparado con la presión atmosférica del aire (101300 Pa), las variaciones de presión sonora audible son muy pequeñas, en un margen que puede ir desde los 20 μ Pa (debe leerse micropascales que equivalen a 20×10^{-6} Pa) hasta 100 Pa (en decir más de cien mil veces menos que la Presión Atmosférica).

20 μ 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. Como puede apreciarse la diferencia entre el mínimo sonido audible (20 μ Pa) por una persona y el máximo nivel que puede tolerarse (100Pa) es de un millón de veces y es precisamente por esa diferencia de valores tan grande que es preciso utilizar una unidad de medida que simplifique la lectura, **esa unidad es el decibel**.

Ruido

Hasta la intervención del hombre como generador de sonidos, los únicos sonidos eran de la naturaleza y por cierto bien pocos, a saber: el sonido de los animales, el viento, el discurrir del agua de un río, el mar, la lluvia y los truenos, nada más aunque no se pueda creer. De hecho, actualmente las personas suelen sorprenderse cuando solo están expuestas a los sonidos de la naturaleza, parece una rareza para quienes suelen habitar pequeñas o grandes ciudades.

La intervención del hombre en el desarrollo de la vida en comunidad ha provocado una diversidad de sonidos, muchos de ellos que pueden ser definidos como ruido, ***donde el ruido debe entenderse como un sonido NO deseado que puede ocasionar un malestar menor o mayor.***

¹ La Presión Atmosférica si bien varía a lo largo del día, puede ser considerada "estática" frente a la Presión Sonora cuyas variaciones pueden ir de 20 veces por segundo a 20.000 veces por segundo y por lo tanto si bien es de una magnitud mucho menor, es una presión dinámica y el oído humano puede detectarla.

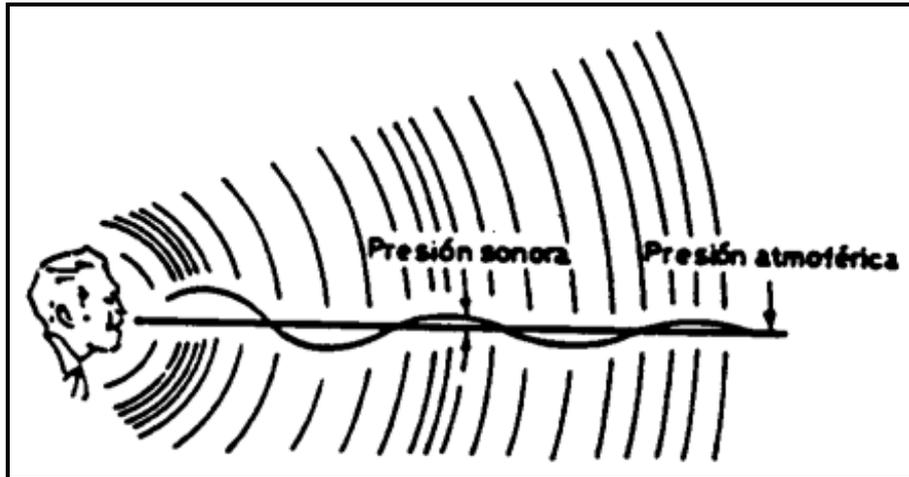


Figura 1: Gráfico que ilustra la diferencia de magnitudes entre la presión atmosférica (estática) y la presión sonora (dinámica). (Fuente Generalitat Valenciana)

3-FÍSICA DEL RUIDO AMBIENTAL

Se ha definido al sonido como una variación de presión, pero es conveniente realizar una descripción más amplia y a la vez sencilla de entender.

El ser humano es capaz de oír porque una pequeña perturbación de aire (dentro de un entorno de frecuencias que se detallarán más adelante) puede ser detectada por órganos internos del oído que se describirán en secciones posteriores. ¿Pero cómo se origina esa perturbación y cómo llega a nuestros oídos?

El sonido no es más que una vibración, pero a diferencia de las vibraciones más comunes que son las de un material sólido que una persona puede percibir apoyando la mano sobre el sólido vibrante, es una vibración de las moléculas de los gases que integran el aire, que “chocando” unas contra otras, van trasladando ese pequeño movimiento de aire, desde la fuente que origina la vibración hasta el oído humano o hasta un transductor electromecánico comúnmente llamado micrófono.

Esta vibración del aire es generada por algún artefacto que este experimentando una vibración mecánica, por las cuerdas vocales de una persona o por un instrumento musical, y que por lo tanto está en movimiento sea perceptible o no. A su vez este movimiento mecánico se traslada a las moléculas del aire circundante a él, originando la perturbación en el aire ya descrita.

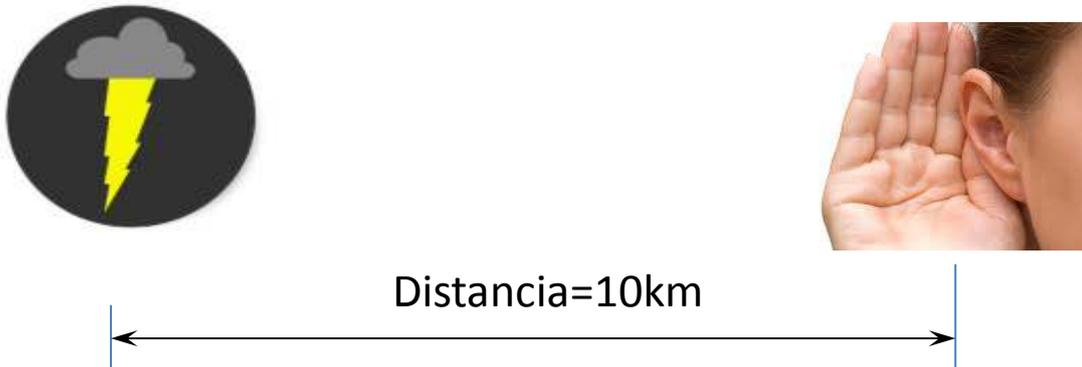
Al sonido se lo considera una “onda” porque cumple con las características básicas del movimiento ondulatorio, fundamentalmente la propagación. La propagación de un fenómeno puede definirse de manera sencilla como la capacidad de trasladar en el espacio una perturbación (en nuestro caso el ruido) conforme va pasando el tiempo. A

la velocidad con que se traslade la perturbación se la conoce como “velocidad de propagación en un medio dado”.

En términos matemáticos se describe con la ecuación: $a = A \cdot \sin [(t + x/c)]$, donde la letra “t” simboliza el tiempo, la “x” el espacio y la “c” la velocidad de propagación del fenómeno.

Puede resultar complejo, pero la citada expresión nos permite calcular la perturbación para cualquier punto del espacio en cualquier momento, y deja establecido que la misma se mueve a una velocidad determinada; esta velocidad depende esencialmente de la densidad del medio, y para el caso del aire de la presión y la temperatura. Para el caso que nos ocupa, y a una temperatura de 21°C la velocidad de propagación del sonido será de 344m/s.

Ejemplo 1: Si en una tormenta que se encuentra a 10km de nuestra posición, ¿cuánto tiempo tarda en viajar el sonido causado por la caída de un rayo? Debe suponerse una velocidad del sonido de 344m/s.



Si el rayo cae a 10km, o sea 10.000m y viaja a 344m/s, de la física elemental se conoce que: $velocidad = distancia\ recorrida / tiempo$, para el presente caso que se pide el tiempo, se despeja, obteniéndose: $tiempo = distancia\ recorrida / velocidad$, donde reemplazando por los valores, $tiempo = 10.000m / 344m/s = 29,07s$

*El tiempo en que tarda en viajar el sonido desde donde cayó el rayo, hasta la posición de quien escucha a 10km es de **29,07 segundos**.*

Debe quedar claro que como el sonido es una perturbación mecánica, este solo puede propagarse con mayor o menor dificultad en medios sólidos, líquidos o gaseosos, PERO NUNCA PUEDE PROPAGARSE EN EL VACÍO.

Amplitud y Frecuencia

El sonido como toda onda presenta ciertos parámetros físicos que pueden definirse desde la representación matemática del mismo, que es, de manera simplificada una onda senoidal, es decir la función matemática conocida como seno, cuya expresión más simplificada es $y=A \text{ sen}(2*\pi*f*t)$ y su representación gráfica es la siguiente.

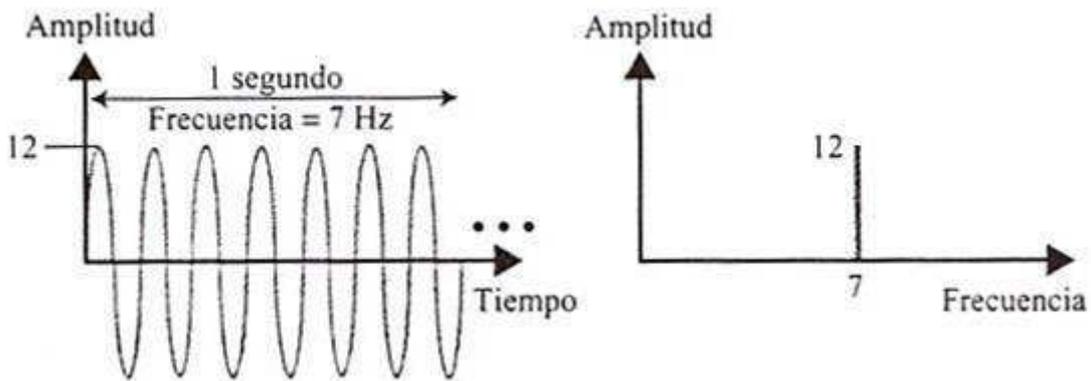


Figura 2: Gráfico de una señal senoidal en el dominio del tiempo y en el de la frecuencia

Donde A: amplitud, f: frecuencia y t es el tiempo.

En términos de sonido la amplitud “A”, que es la altura de la onda (en la figura el número 12) significaría lo que coloquialmente se denomina “intensidad o volumen”, afirmar que un sonido “aumento su volumen” quiere decir que el valor de amplitud de la señal se incrementó, por ejemplo pasó de 12 a 50.

La frecuencia es la magnitud que cuantifica cuantas repeticiones de la forma de onda (llamados correctamente ciclos) entran en 1 segundo de tiempo. Para el caso de la figura pueden contarse 7 ciclos en un segundo, entonces se afirma que la onda tiene una frecuencia de 7 Hertz², que se abrevia 7Hz.

Entonces una onda tiene mayor frecuencia que otra si repite sus formas más veces que otra en la misma cantidad de tiempo.

Por ejemplo en la siguiente figura se puede apreciar que la señal de color violeta (la inferior de la gráfica) tiene mayor frecuencia que la señal azul, la verde, la naranja y que la roja (la superior en la gráfica) es la de menor frecuencia.

² **Heinrich Rudolf Hertz** (Hamburgo, 22 de febrero de 1857 – Bonn, 1 de enero de 1894) fue un físico alemán descubridor del efecto fotoeléctrico y de la propagación de las ondas electromagnéticas, así como de formas de producirlas y detectarlas. La unidad de medida de la frecuencia, el hercio («Hertz» en la mayoría de los idiomas), lleva ese nombre en su honor.

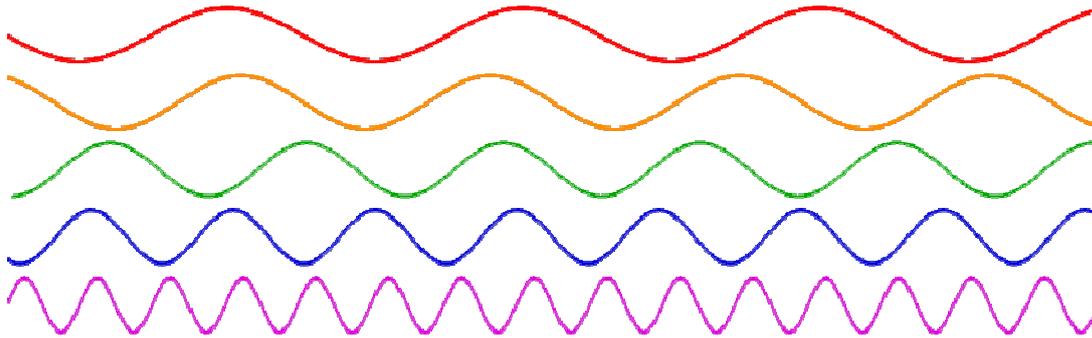


Figura 3: Gráfico de ondas senoidales de distintas frecuencias

En términos de sonido audible, una señal de frecuencia alta se conoce como una señal aguda, también llamada coloquialmente como “los altos” y que son reproducidas por altavoces denominados “*tweeters*”³, y una señal de frecuencia baja se la conoce coloquialmente como “los bajos” y son reproducidas por altavoces denominados “*woofers*”⁴. La frecuencia puede asociarse de manera intuitiva a un fenómeno vibratorio donde si la vibración se percibe “lenta” nos referimos a frecuencias bajas y si la vibración se percibe “rápida” la frecuencia es alta. A modo de ejemplo alcanzable, la vibración producida por el motor de un automóvil “regulando” es de frecuencia baja, mientras que la vibración asociada al torno de un dentista es de frecuencia alta.

Las señales asociadas al sonido pueden representarse de dos formas distintas, tal como se muestra en la Figura 2, una representación, a la izquierda, donde puede verse el nivel de amplitud (en nuestro caso 12) y como varía este valor con el tiempo, y otra representación, mas simplificada, donde podemos visualizar de manera más sencilla el nivel de amplitud y la frecuencia de nuestra señal. La representación de niveles de amplitud para distintas frecuencias es usual encontrarlas como instrumentos indicadores de los ecualizadores gráficos en los reproductores comerciales, se denominan técnicamente analizadores de espectro y se muestra en la Figura 4.

³ Un *tweeter* es un altavoz especializado en altas frecuencias (3 kHz) a 20 kHz), es decir, optimizado para reproducir el rango de sonidos agudos. Su nombre proviene del inglés de asociar los sonidos agudos con el chirrido de un pájaro: “tweet”

⁴ *Woofers* es el término usado comúnmente para designar al altavoz diseñado para producir sonidos de bajas frecuencias, frecuentemente entre los 40 hasta 1000 hercios o más. Su nombre proviene del inglés de asociar los sonidos graves con el ladrido de un perro: “woof”.



Figura 4: vista de un analizador de espectro de audio para un reproductor comercial

Las señales de audio reales poseen una composición de una complejidad muy superior al seno de una sola frecuencia mostrada en la Figura 2. Las señales reales están formadas de manera teórica por una suma infinita de señales senoidales y cosenoidales tal lo establecido por el matemático francés Fourier⁵. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 5 una señal de amplitud en el tiempo (dura 4 segundos) de la frase “bienvenidos los promotores ambientales”.

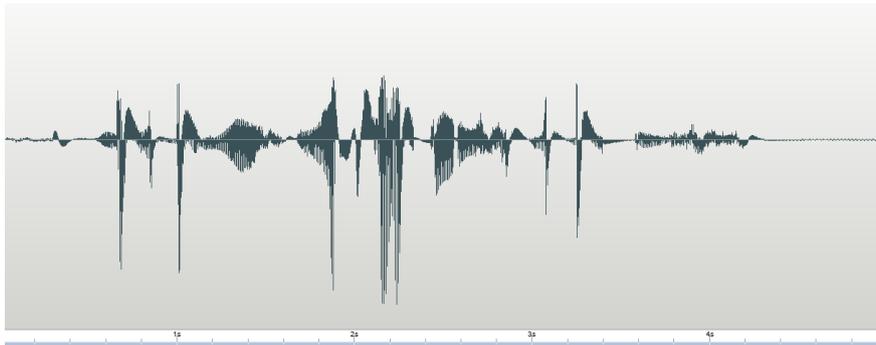


Figura 5: Amplitud de una señal real en 4 segundos de tiempo

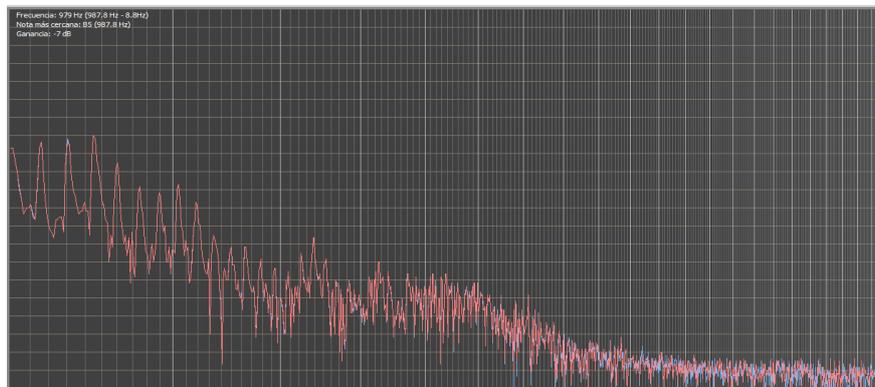


Figura 6: Espectro de la señal real de la Figura 5

⁵ Jean-Baptiste Joseph Fourier (Auxerre, Francia, 21 de marzo de 1768 - París, 16 de mayo de 1830), matemático y físico francés conocido por sus trabajos sobre la descomposición de funciones periódicas en series trigonométricas convergentes llamadas Series de Fourier

Espectro de Frecuencias

El espectro audible, también denominado campo tonal, se halla conformado por las audiofrecuencias, es decir, **toda la gama de frecuencias que pueden ser percibidas por el oído humano.**

Un oído sano y joven es sensible a las frecuencias comprendidas entre los 20 Hz y los 20 kHz. No obstante, este margen varía según cada persona y se reduce con la edad (llamamos presbiacusia a la pérdida de audición con la edad). Este rango equivale muy aproximadamente a diez octavas completas ($2^{10}=1024$).

Frecuencias más graves incluso de hasta 4 ciclos por segundo son perceptibles a través del tacto, cuando la amplitud del sonido genera una presión suficiente.

Fuera del espectro audible:

- Por encima estarían los ultrasonidos (Ondas acústicas de frecuencias superiores a los 20 kHz).
- Por debajo, los infrasonidos (Ondas acústicas inferiores a los 20 Hz).

El espectro audible podemos subdividirlo en función de los tonos:

1. Tonos graves (frecuencias bajas, correspondientes a las 4 primeras octavas, esto es, desde los 16 Hz a los 256 Hz).
2. Tonos medios (frecuencias medias, correspondientes a las octavas quinta, sexta y séptima, esto es, de 256 Hz a 2 kHz).
3. Tonos agudos (frecuencias altas, correspondientes a las tres últimas octavas, esto es, de 2 kHz hasta poco más de 16 kHz).

En Occidente se suele dividir el espectro audible en 11 secciones que denominamos octavas.

El término de *octava* se toma de una escala musical. La octava es el intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencias igual a 1:2 y que corresponde a ocho notas de una escala musical diatónica; o trece en una escala cromática. Por ejemplo: si comenzamos con una nota como DO, la octava completa será: DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-DO. Si el primer LA estaba afinado en 440 Hz el segundo LA (octava siguiente) estará en 880 Hz.

El valor máximo de las frecuencias de cada octava es el doble del de la anterior.

1. La primera y segunda octava (los tonos más graves, 16 - 64 Hz). No todas las personas son capaces de percibirlos, depende de la sensibilidad del oído de cada persona.
2. La tercera y cuarta octava (tonos graves medios, 64 - 250 Hz).

3. La Quinta, Sexta y Séptima octava (tonos medios, 250 Hz – 2.000 Hz). Contienen el tono fundamental y los primeros armónicos de la mayoría de las fuentes sonoras.
4. La “octava” octava (tonos agudos, 2.000 Hz – 4.096 Hz). Comprende el margen en que el oído humano tiene mayor sensibilidad.
5. La novena y décima octava (tonos agudos de frecuencia alta, 4.097 a 16.000 Hz). Corresponden a un chirrido desagradable y por ello no se utilizan para hacer música.
6. La undécima octava (los tonos más agudos del espectro audible, 16.000 a 20.000 Hz). No todas las personas son capaces de percibirlos, depende de la sensibilidad del oído de cada persona.

A modo de resumen se muestra la siguiente tabla (Tabla1), que indica la frecuencia inicial y final de cada octava, su frecuencia central y el ancho de cada una, ES IMPORTANTE OBSERVAR QUE LAS OCTAVAS NO SON TODAS IGUALES, DE HECHO SE HACEN MAS ANCHAS (es decir ocupan más espectro audible) A MEDIDA QUE AUMENTA LA FRECUENCIA.

Octava	f_0 [Hz]	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]	Δf [Hz]
1	31,5	22	44	22
2	63	44	88	44
3	125	88	177	88
4	250	177	354	177
5	500	354	707	354
6	1000	707	1414	707
7	2000	1414	2828	1414
8	4000	2828	5657	2828
9	8000	5657	11314	5657
10	16000	11314	22627	11314

Tabla 1: Tabla de las 10 octavas del espectro audible

ES IMPORTANTE TENER EN CUENTA LA OBSERVACION PRECEDENTE, PUESTO QUE EN LA MAYORÍA DE LOS GRÁFICOS EL ANCHO DE LAS OCTAVAS APARECE DIBUJADO DEL MISMO ANCHO, PERO DEBE OBSERVARSE QUE EL EJE DE LA FRECUENCIA ES LOGARÍTMICO Y POR LO TANTO LO QUE PARECE DEL MISMO ANCHO, EN REALIDAD NO LO ES.

A efectos de ilustrar lo antes señalado se muestra un gráfico de amplitudes de las octavas 2da a la 10ma, puede apreciarse que la segunda octava ocupa más de 40Hz

(la realidad es 44Hz pero no se aprecia) y la décima más de 10.000Hz (la realidad es 11314Hz, pero no se aprecia)

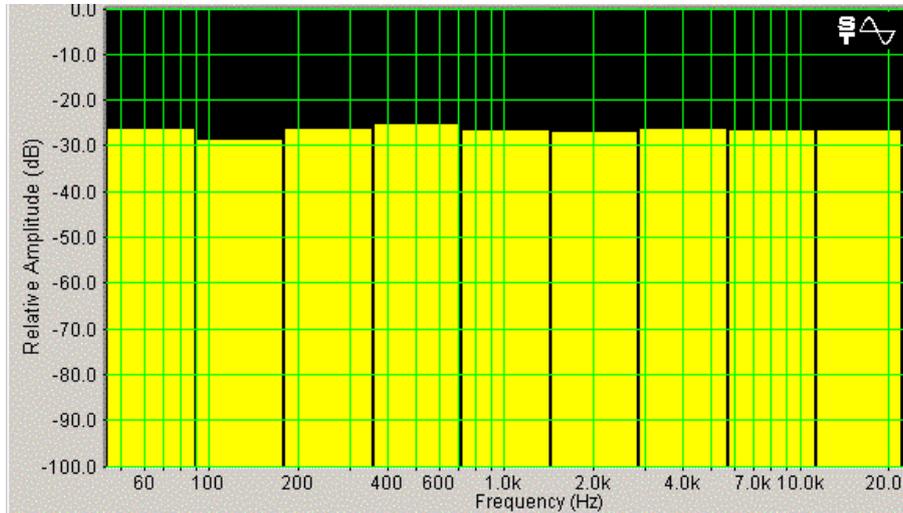


Figura 7: Gráfico del espectro por octavas, desde la 2da a la 10ma (Fuente Spectralab)

El decibel

Como se ha explicado, el sonido es una onda de presión mecánica, y por lo tanto su amplitud necesariamente es un valor de presión. La presión tiene varias unidades de medida, pero de manera introductoria utilizaremos el Pascal (se abrevia Pa) y sus submúltiplos, por ejemplo el micropascal (se abrevia μPa) que equivale a una millonésima parte de un Pascal, o sea 1×10^{-6} Pa. La dificultad práctica que se encuentra al medir estos niveles de presión asociados a distintos sonidos, radica en que pueden encontrarse niveles de presión muy bajos en entornos naturales, por ejemplo de $100 \mu\text{Pa}$ y pueden encontrarse niveles de presión muy elevados asociados a ruidos muy intensos como puede ser el ruido de un avión al despegar cuyo nivel de presión se acerca a los $100.000.000 \mu\text{Pa}$. Queda expuesto que se hace difícil utilizar un instrumento con un rango dinámico (diferencia entre la indicación mínima y máxima) tan amplia. Es aquí donde convergen dos circunstancias, la primera, la necesidad de contar con una manera más sencilla de representar una dispersión de valores muy amplia y la segunda, el conocimiento del comportamiento del oído como detector de las ondas de presión sonora. Un buen aporte a esta segunda circunstancia se le debe al científico escocés Alexander Graham Bell, aproximando la respuesta del oído a la función matemática logaritmo (ver Figura 8).

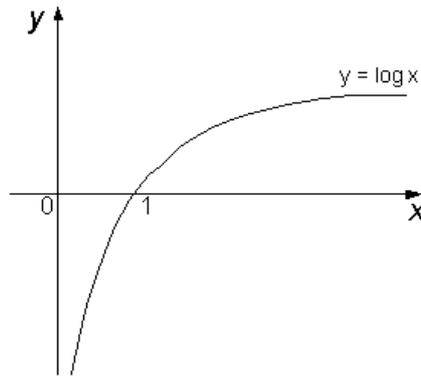


Figura 8: Gráfica de la función $y=\log(x)$

La mencionada aproximación puede explicarse de la siguiente manera: el oído (sano) puede escuchar bien ruidos de baja o moderada intensidad, pero cuando el ruido se hace muy intenso, el oído tiene una respuesta “más moderada” a modo de preservación. Es por eso que en la curva de la Figura 8, puede observarse que a medida que los valores de “x” se incrementan la curva comienza a “achatare” un poco, a crecer a un ritmo menor. Esta aproximación logarítmica, aplicada a la Presión de Sonido, permitió una expresión más sencilla del Nivel de Presión Sonora (en inglés SPL) como $SPL= 20*\log (P/Pref)$, donde P es la presión de sonido medida en el lugar de interés, Pref es el valor de umbral mínimo o sea $20 \mu Pa$ y el resultado de toda esa cuenta da un número, y a ese número se le asigna la unidad de “decibel” (se abrevia **dB**), nombre que surge de tomar la décima parte de “un Bell”, cuyo nombre proviene del científico citado. La Figura 9 permite asociar visualmente los niveles de presión medidos en Pascales y los decibeles con algunas fuentes de ruidos conocidas.

Lo que permite la utilización del decibel, es apreciar de manera sencilla cuanto mayor o cuanto menor, es la magnitud medida respecto de una unidad de referencia, *es decir es una unidad relativa a una referencia que permite una comparación simple*. Por ejemplo un valor de +10dB indica que lo medido es mayor que la referencia, mientras que un valor de -10dB indica que el valor es menor que el valor de referencia.

Ejemplo 2: ¿Cuál es el valor en decibeles del Nivel de Presión Sonora (SPL), si en una oficina comercial se registra una variación de Presión de $100.000 \mu Pa$?

Aplicando la expresión de SPL, primero se realiza en cociente entre $100.000 \mu Pa/20 \mu Pa =5000$, luego a este valor se le aplica el logaritmo y se lo multiplica por 20, resultando $SPL= 20\log (5000)=73,97dB$.*

Es decir, puede afirmarse que el SPL objetivo es de aproximadamente 74dB “lineales”. (Estos dB “lineales” NO SON los dBA que se verán en al Cap. 4)

Esta propiedad del decibel permite que pueda utilizarse en otras especialidades de la electrónica como la medición de potencia en radiofrecuencias, intensidad de campo eléctrico, ganancia de antenas y medición de parámetros de dispersión, en todos los casos lo que cambiará es la unidad de referencia tomada. Así como para el sonido se toma una Presión de referencia, para la potencia se tomará una potencia de referencia, para el campo eléctrico, un campo eléctrico de referencia y para la medición de ganancia de antenas, una ganancia de referencia.

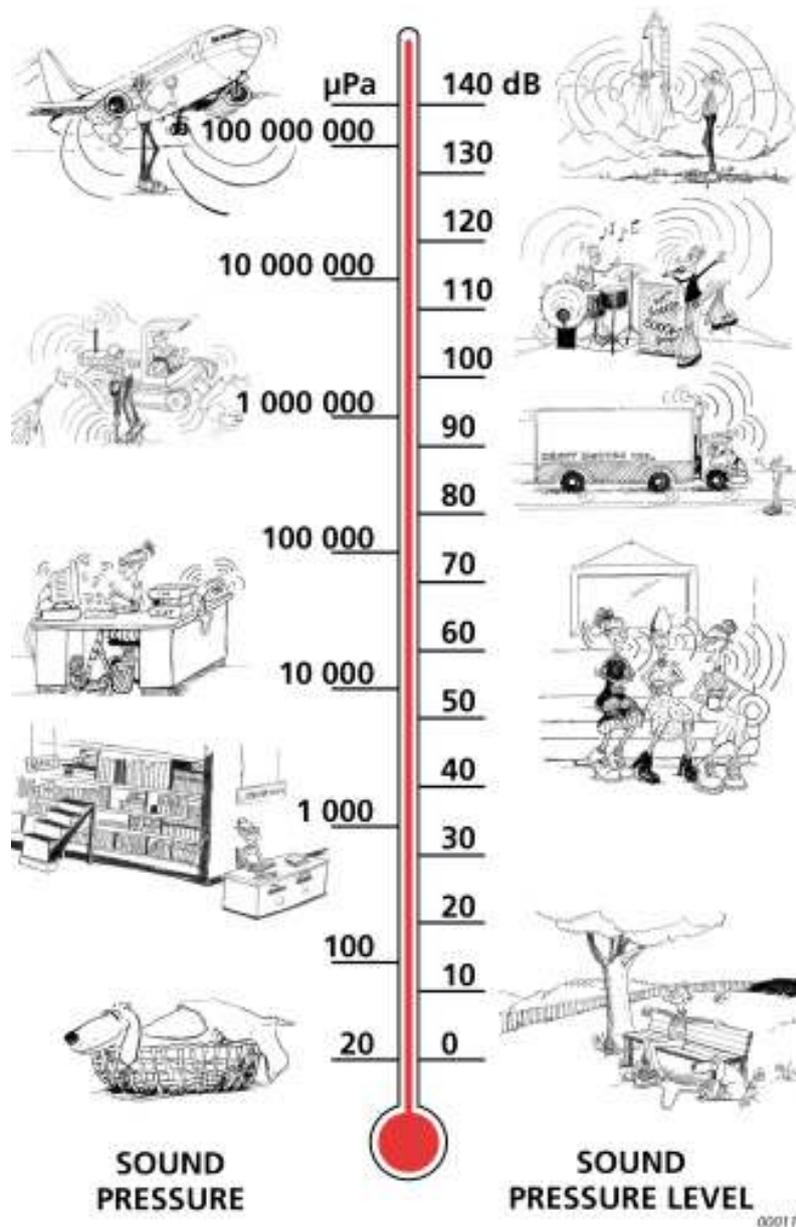


Figura 9: Comparación entre valores de Presión en Pa y SPL en dB (fuente B&K)

Nota del Autor: el VU-metro: una aplicación muy convencional de la utilización del decibel, es en los instrumentos indicadores de panel para audio conocidos como VU-metros(ver Figura 10)



Figura 10: Instrumentos VU-metro de aguja y de LEDs

El VU-metro es un instrumento que fue diseñado en el año 1939 al solo efecto de poder comparar señales en las líneas telefónicas y en las cascadas de amplificadores.

VU, significa en inglés "Volume Unit" y se diseñó de manera de aproximar la respuesta del oído y por lo tanto se puede considerar de respuesta logarítmica. El objetivo central fue definir el valor cero del VU-metro, que es donde comienza la escala color roja, para luego en uso corriente acondicionar las señales para que sus magnitudes no se aparten demasiado tiempo de ese valor a fin de evitar la distorsión de las mismas. Fue así como se definió el valor 0 VU, como una tensión RMS (eficaz) de 1,228V, para una señal de frecuencia de 1000Hz sobre una impedancia de 600Ω. Es común ver que los VU-metros a veces presenten escalas en dB dada su respuesta logarítmica, en ese caso el valor 0 del instrumento es en realidad el valor +4dB, dado que el valor de tensión 1,228V equivale a +4dB, si la tensión de referencia tomada es de 0,775 Vrms, tal lo establece la norma IEC 268-17

4-EL OÍDO Y SU RESPUESTA

El sistema auditivo consta de tres secciones básicas, el oído externo, el medio y el oído interno (ver Figura 11). Su importancia es central a la hora de apreciar los sonidos. Cada una de estas secciones tiene un propósito específico en la difícil tarea de detectar e interpretar los sonidos. El oído externo capta los sonidos del exterior y sirve de canal para transmitir dichos sonidos al oído medio. Allí, se transforma la energía de las ondas sonoras en vibraciones internas de la estructura ósea media; luego, dichas vibraciones, se convierten en ondas comprimidas que pasan a los fluidos

internos. En el oído interno se transforma la energía de las ondas comprimidas en impulsos nerviosos, para que puedan ser transmitidos al cerebro.

El oído externo está formado por la oreja y un canal auditivo de, aproximadamente, 2 cm de largo. La función de la oreja es proveer protección al oído medio con el fin de prevenir cualquier daño al tímpano. Cuando el sonido atraviesa el oído externo, aún lo hace en forma de ondas a presión o impulso, con regiones donde la presión se ve alterada. No sucede sino hasta que el sonido llega al tímpano que la energía de las ondas mecánicas se convierte en vibraciones internas del hueso.

El oído medio es una cavidad llena de aire donde se encuentra el tímpano y tres huesos pequeños interconectados –el martillo, el yunque, y el estribo. El tímpano es una membrana fuertemente estirada que vibra cuando la presión de las ondas sonoras la alcanzan.



Figura 11: Secciones del oído

Una compresión fuerza al tímpano hacia adentro, mientras que una refracción lo empuja hacia fuera, de esta manera, el tímpano vibra a la misma frecuencia que la onda sonora produciéndose el fenómeno de la acústica. Al estar conectado al martillo, los movimientos del tímpano activan a los tres huesillos para que se muevan a la misma frecuencia que el sonido. A su vez, el estribo se encuentra conectado al oído

interno; y así, las vibraciones que llegan a este se transmiten al fluido del oído medio donde se comprimen las ondas sonoras.

Los tres pequeños huesos actúan como palancas para amplificar las ondas. Debido a una ventaja mecánica, la forma del estribo es más eficiente que la del martillo. Inclusive es mejor que la del tímpano ya que desde que la presión de la onda choca contra la superficie plana del tímpano, se concentra en las pequeñas curvas del estribo, por ello la fuerza del estribo al vibrar es 15 veces mayor que la del tímpano. Esta característica realza nuestra habilidad para oír aquellos sonidos casi imperceptibles. La cavidad del oído medio se conecta a la boca por el Tubo de Eustaquio. Esta conexión permite igualar la presión dentro de las distintas cavidades del oído. Durante un resfriado, este tubo se bloquea con mucosa y es incapaz de equilibrar la presión; generalmente esto provoca dolor de oídos y otros malestares.

El oído interno (Figura 12) está formado por la cóclea, los canales semicirculares o el laberinto, y el nervio auditivo. La cóclea y los canales semicirculares están llenos con un fluido acuoso. Dicho fluido y las células nerviosas del laberinto no cumplen función alguna en el momento de la audición; ellos, simplemente, sirven como acelerómetros para la detección de movimientos acelerados y colaboran en mantener el equilibrio. La cóclea es un órgano con forma de caracol que debería ser capaz de estirarse aproximadamente unos 3 cm. Además de estar llena de fluido, la superficie interna de la cóclea está recubierta por más de 20.000 células nerviosas, tan finas y delgadas como un cabello, que cumplen uno de los papeles más críticos dentro de nuestro sistema auditivo.

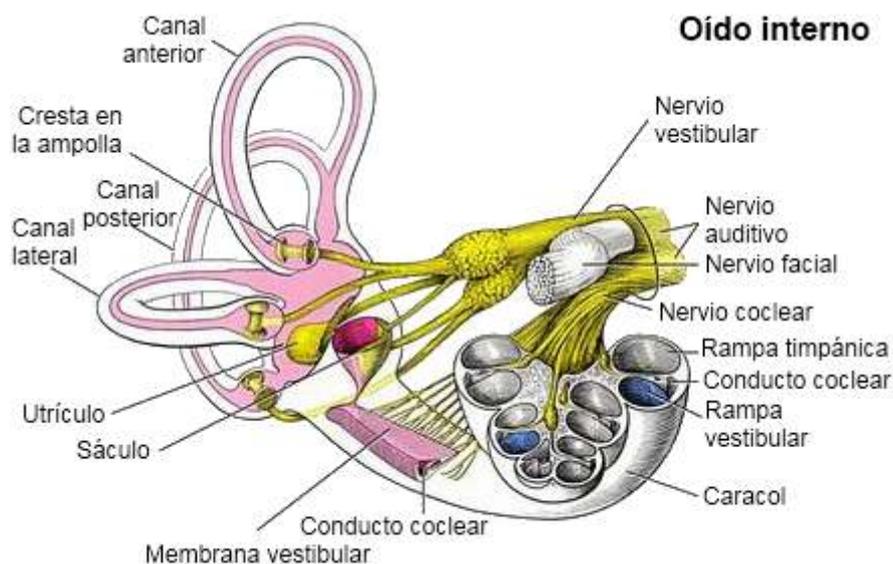


Figura 12: Oído interno

Estas células nerviosas difieren de otras en su longitud por pocos nanómetros; asimismo poseen diferentes grados de elasticidad al fluido que pasa sobre ellas. Mientras las ondas comprimidas se mueven en la interface entre el martillo y la ventana oval del oído interno hacia la cóclea, las pequeñas células nerviosas se activan. Cada una de ellas tiene una sensibilidad natural a una particular frecuencia de vibración. Cuando la frecuencia de las ondas comprimidas encaja con la frecuencia natural de las células nerviosas, éstas resuenan con una prolongada amplitud de vibración. Dicho aumento de amplitud induce a que las células liberen un impulso eléctrico que se transmite hacia el cerebro mediante el nervio auditivo. Mediante un proceso que no se conoce del todo, el cerebro es capaz de interpretar las cualidades del sonido al recibir dichos impulsos nerviosos.

Respuesta del oído

El oído, como todo sistema biológico es un sistema complejo y por lo tanto su funcionamiento también lo es. Básicamente el oído (como sistema completo) no responde igual para todas las frecuencias que es capaz de detectar.

En el año 1933 los físicos estadounidenses Harvey Fletcher y Wilden A. Munson publicaron los resultados experimentales⁶ sobre el comportamiento del oído, conocidos actualmente como “las curvas Fletcher- Manson” (ver Figura 13).

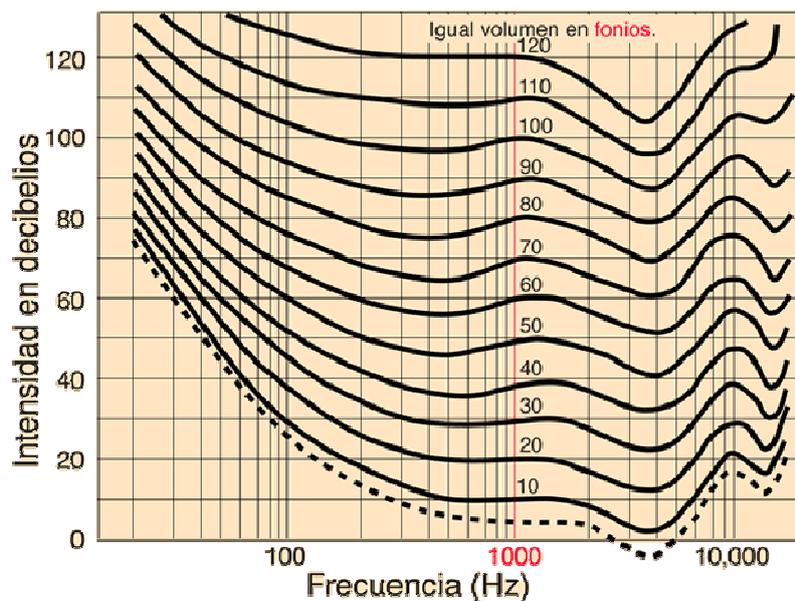


Figura 13: Curvas de Fletcher -Munson

⁶ Fletcher, H. and Munson, W.A. "Loudness, its definition, measurement and calculation", *Journal of the Acoustic Society of America* 5, 82-108 (1933)

La teoría de Fletcher y Munson, es el experimento que grafica los niveles de audición en el oído humano, los niveles de sensibilidad que este último tiene al percibir las ondas del sonido y la sensibilidad que tiene el oído humano dependiendo de la frecuencia y del volumen.

El humano a la hora de percibir el sonido es más sensible a las frecuencias medias y medias-altas, y menos sensibles a las frecuencias agudas y graves, por lo tanto en términos de medidas, el oído humano puede oír desde los 20 Hz hasta los 20 kHz en frecuencia o tono, y en intensidad desde 0 dB hasta 120 dB, fuera de éstos límites se pueden presentar problemas físicos como dolor o la ruptura del aparato auditivo. Más tarde las curvas de Fletcher y Munson fueron rediseñadas puesto que la percepción del sonido cambia en relación a ciertos factores, entonces para poder medir las representaciones de la subjetiva “sonoridad” humana se elaboraron las ponderaciones, que son los métodos para ajustar las mediciones y hacerlas aproximar en promedio a la respuesta “real” del oído humano bajo ciertos supuestos.

A continuación se mencionan las curvas más utilizadas (ver Figura 14):

Ponderación A: es la que se ocupa para medir relaciones señales-ruido en medidas eléctricas, representa a cómo oirá el oído humano una señal sin ponderar a niveles cercanos a su umbral de audición.

Ponderación B: representa a cómo oirá el oído humano una señal sin ponderar a niveles medios de la capacidad de audición.

Ponderación C: representa a cómo oirá el oído humano una señal sin ponderar a niveles cercanos a su umbral del dolor

Ponderación D: es utilizada para medir ruidos emanados por los aviones que superan el umbral del sonido percibido, en bajas frecuencias se parece la curva de la ponderación B.

La curva “A”

Como se señaló en la sección anterior el oído no responde de la misma manera dentro del entorno de audición del oído humano, que es considerado desde los 20Hz para los bajos hasta los 20kHz para los agudos, y a su vez esta capacidad va disminuyendo con la edad.

Cuando se efectúa una medición de ruido, estamos midiendo de manera objetiva, un nivel de presión sonora, cuyos valores dependen de la fuente que los cause (ver

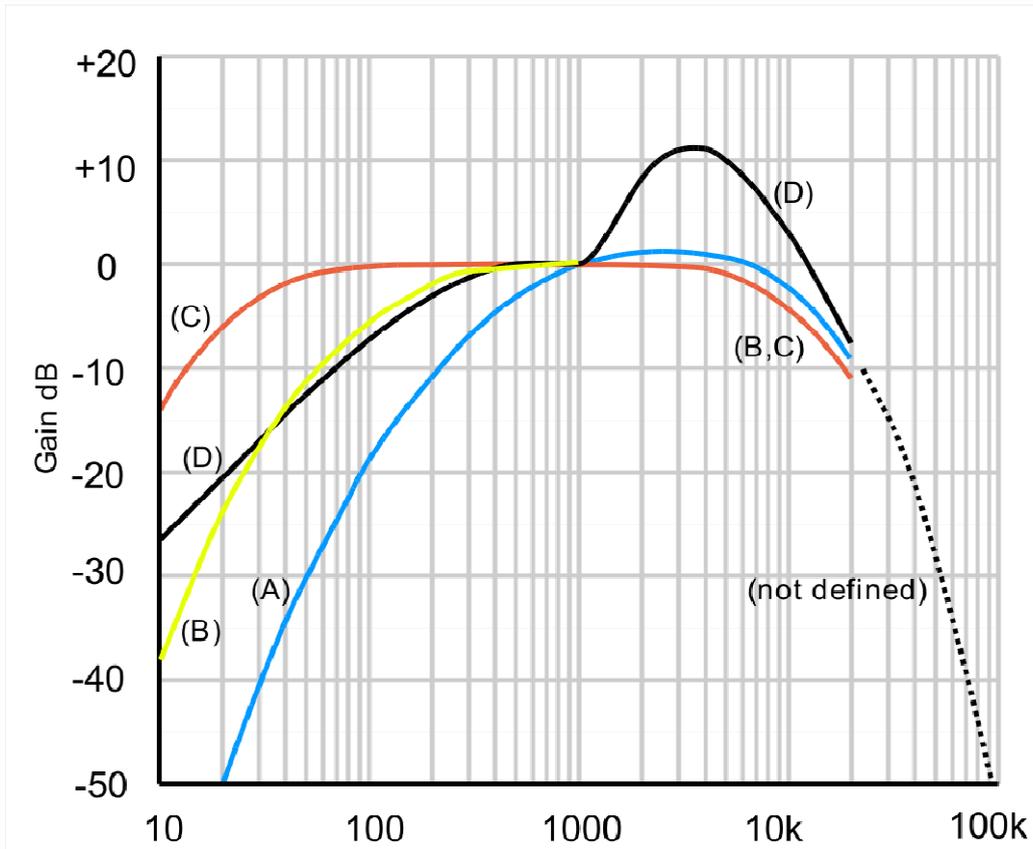


Figura 14: Curvas de Ponderación

Figura 9). Pero, para la mayoría de las aplicaciones LA MEDICION DE RUIDO ESTA ASOCIADA A LA MOLESTIA O NO QUE PUDIERA CAUSARLE A UNA PERSONA O A UN GRUPO DE PERSONAS, y por lo tanto, LO IMPORTANTE es realizar una medición que REPRESENTE LO QUE SUCEDE EN EL OÍDO DE UNA PERSONA, a esa medición se la llama “medición subjetiva” y para poder realizarla técnicamente es necesario que la presión medida por el instrumento sea filtrada por un sistema cuya función describa el funcionamiento del oído, y la función que responde a esta situación es la **curva A** (Ver Figura 14- color celeste-). Lo que realiza un instrumento que procesa la señal con la curva A, es atenuar los tonos bajos del ruido (si el ruido tuviere tonos bajos, por ejemplo debajo de los 700Hz) y los tonos altos por sobre los 10.000Hz (10kHz) y deja pasar sin procesamiento alguno los tonos cercanos a 1000Hz (1kHz); en definitiva “imita” la respuesta del oído humano.

Aquellas mediciones que fueron realizadas con la ponderación de la curva A, dan como resultado un nivel de presión sonora (SPL) en unidades de dBA . Por lo tanto observar un valor medido en unidades dBA (ver Figura 15), significa de manera directa que la medición fue realizada utilizando esa curva a fin de emular lo que escucharía un oído humano recibiendo en el lugar donde fue hecha la medición.

A continuación se presenta una tabla (Tabla 2) con tonos de distinta frecuencia de magnitud 80dB sin ninguna ponderación, y que valores resultan luego de aplicar la curva A. Puede apreciarse como para los tonos más bajos y más altos el nivel en dBA es menor a 80dB (que es valor real de la presión sonora), mientras que para 1kHz el valor en dB coincide con el valor en dBA



Figura 15: medición de ruido indicado en dBA

Frecuencia	Nivel en dB	Ponderación A	Nivel Pond. A
63	80	-26.2	53.8
125	80	-16.1	63.9
250	80	-8.6	71.4
500	80	-3.2	76.8
1k	80	0	80
2k	80	+ 1.2	81.2
4k	80	+ 1.0	81
8k	80	- 1.1	78.9

Tabla 2: valores objetivos en dB y valores ponderados en dBA

5-LOS EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD

Para entender los efectos del ruido es conveniente definir el término salud, según la Organización Mundial de la Salud.

«La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades.» La cita procede del Preámbulo de la Constitución de la Organización Mundial de la Salud, que fue adoptada por la

Conferencia Sanitaria Internacional, celebrada en Nueva York del 19 de junio al 22 de julio de 1946, firmada el 22 de julio de 1946 por los representantes de 61 Estados (Official Records of the World Health Organization, N° 2, p. 100), y entró en vigor el 7 de abril de 1948. La definición no ha sido modificada desde 1948.⁷

Mediante esta definición se vuelve más sencillo comprender que ciertos ruidos, y ciertos niveles de ruido pueden alterar el bienestar físico, mental y social de una persona. También es necesario comprender que el ruido también está asociado al ámbito y actividad desarrollada; puede resultar obvio pero el nivel de ruido tolerado en un salón de baile poco y nada tiene que ver con el nivel de ruido tolerado en un hospital o en una escuela. Esta circunstancia amerita que al hablar de ruido y sus efectos, sea necesario en general aclarar el ámbito donde se desarrolla la actividad y el tiempo de duración.

A los efectos del presente texto es necesario definir al Ruido Ambiental en los términos de la OMS como:

“...el ruido emitido por todas las fuentes a excepción de las áreas industriales. Las fuentes principales del ruido urbano son el tránsito automotor, ferroviario y aéreo, la construcción y obras públicas y el vecindario. Las principales fuentes de ruido en interiores son los sistemas de ventilación, máquinas de oficina, artefactos domésticos y vecinos. El ruido característico del vecindario proviene de locales, tales como restaurantes, cafeterías, discotecas, etc.; música en vivo o grabada; competencias deportivas (deportes motorizados), áreas de juegos, estacionamientos y animales domésticos, como el ladrido de los perros. Muchos países han reglamentado el ruido urbano del tránsito de aviones y autos, maquinaria de construcción y plantas industriales a través de normas de emisión y reglamentos para las propiedades acústicas de los edificios. Pero pocos países tienen reglamentos para el ruido urbano del vecindario, probablemente debido a la falta de métodos para definirlo y medirlo y la dificultad de controlarlo. En las grandes ciudades de todo el mundo, la población está cada vez más expuesta al ruido urbano debido a las fuentes mencionadas y sus efectos sobre la salud se consideran un problema cada vez más importante...”

Respecto a los efectos sobre la salud la Organización Mundial de la Salud señala ⁸:

⁷ Extraído del sitio de la Organización Mundial de la Salud www.who.int

⁸ Ver documento OMS titulado “Guías para el Ruido Urbano”, de Berglund, Lindvall y Schwela

Interferencia en la percepción del habla. Gran parte de la población es susceptible a interferencias en la comunicación oral y pertenece a un subgrupo vulnerable. Los más sensibles son los ancianos y las personas con problemas de audición. Incluso las deficiencias auditivas leves en la banda de alta frecuencia pueden causar problemas con la percepción del habla en un ambiente ruidoso. A partir de los 40 años, la capacidad de las personas para interpretar mensajes orales difíciles con poca redundancia lingüística se deteriora en comparación con personas de 20 a 30 años. También se ha demostrado que los altos niveles de ruido y una mayor reverberación tienen más efectos sobre los niños (que aún no han completado la adquisición del lenguaje), que sobre los adultos jóvenes.

Cuando se escuchan mensajes complicados (en la escuela, en lengua extranjera o en una conversación telefónica), la razón de la señal en comparación con el ruido debe ser al menos de 15 dB con un nivel de voz de 50 dB(A). Ese nivel de ruido corresponde en promedio a un nivel casual de voz en hombres y mujeres ubicados a un metro de distancia. En consecuencia, para una percepción clara del habla, el nivel de ruido de fondo no debe ser mayor de 35 dB(A). En aulas o salas de conferencias, donde la percepción del habla es de gran importancia, o para grupos sensibles, los niveles de ruido de fondo deben ser los más bajos posibles. El tiempo de reverberación de menos de 1 segundo también es necesario para una buena comunicación oral en habitaciones más pequeñas. Para grupos sensibles, como los ancianos, se recomienda un tiempo de reverberación por debajo de 0,6 segundos para una adecuada comunicación oral, incluso en un ambiente tranquilo.

Deficiencia auditiva. El ruido que genera deficiencias auditivas no está restringido a situaciones ocupacionales. En los conciertos al aire libre, discotecas, deportes motorizados y de tiro, altavoces o actividades recreativas también se dan altos niveles de ruido. Otras fuentes importantes son los audífonos, así como los juguetes y fuegos artificiales que emiten ruido de impulso. La norma ISO de 1999 presenta un método para calcular la deficiencia auditiva provocada por el ruido en poblaciones expuestas a todo tipo de ruido (continuo, intermitente, de impulso) durante las horas de trabajo. Ese método también se debería usar para calcular la deficiencia auditiva causada por la exposición a ruidos ambientales y de actividades y recreativas. La norma ISO de 1999 implica que la exposición de largo plazo a niveles de ruido de LAeq⁹, 24h de hasta 70

⁹ LAeq: Como el ruido por lo general no es un continuo, sino que fluctúa instante a instante se realiza un promedio que expresa la media, ponderada por la Curva "A" y por lo tanto medida en dBA, de la energía

dB(A) no producirá deficiencias auditivas. Para evitar la pérdida de audición debido a la exposición a ruidos de impulso, las presiones sonoras máximas nunca deben exceder de 140 dB para adultos y de 120 dB para niños.

Trastornos del sueño. Los efectos cuantificables del ruido sobre el sueño se inician a partir de LAeq de 30 dB(A). Sin embargo, mientras más intenso sea el ruido de fondo, mayor será su efecto sobre el sueño. Los grupos sensibles incluyen principalmente a los ancianos, trabajadores por turnos, personas con trastornos físicos o mentales y otros individuos con dificultades para conciliar el sueño.

El trastorno del sueño debido a sucesos de ruido intermitente aumenta con el nivel máximo de ruido. Incluso si el nivel total de ruido equivalente es bastante bajo, unos pocos sucesos de ruido con un alto nivel de presión sonora máxima afectará el sueño. Por ende, para evitar trastornos del sueño, las normas para el ruido urbano se deben expresar en función del nivel sonoro equivalente del ruido, de los niveles máximos de ruido y del número de sucesos de ruido. Se debe observar que el ruido de baja frecuencia, por ejemplo, de los sistemas de ventilación, puede perturbar el reposo y sueño aun en niveles bajos de presión sonora. Cuando el ruido es continuo, el nivel de presión sonora equivalente no debe exceder 30 dB(A) en interiores, si se desea evitar efectos negativos sobre el sueño. Incluso para el ruido con una gran proporción de sonidos de baja frecuencia, se recomienda un valor guía inferior. Cuando el ruido de fondo es bajo, el ruido por encima de 45 dB LAmax¹⁰ debe ser limitado y para las personas sensibles se prefiere un límite mucho menor. Se cree que la mitigación del ruido en la primera parte de la noche es un medio efectivo para ayudar a las personas a conciliar el sueño. Se debe señalar que el efecto del ruido depende en parte de la naturaleza de la fuente. Un caso especial son los recién nacidos que están en incubadoras, para quienes el ruido puede causar trastornos de sueño y otros efectos sobre la salud.

Adquisición de la lectura. La exposición crónica al ruido durante la primera infancia puede dificultar la adquisición de la lectura y reducir la motivación. Las pruebas indican que mientras mayor sea la exposición, mayor será el daño. Existe una reciente

sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo, es decir, representa el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido, durante el mismo intervalo de tiempo

¹⁰ LAmax: máximo Nivel de Presión Sonora registrado y ponderado por la Curva "A" y por lo tanto medido en dBA.

preocupación por los cambios físicos y fisiológicos concomitantes (presión arterial y nivel de la hormona del estrés). Todavía no existe información suficiente sobre esos efectos como para establecer valores guía específicos. Sin embargo, está claro que las guarderías infantiles y las escuelas no deben estar cerca de fuentes de ruido significativas, como las carreteras, aeropuertos y fábricas.

Molestia. La capacidad de un ruido para provocar molestia depende de sus características físicas, incluido el nivel de presión sonora, espectro y variaciones de esas propiedades con el tiempo. Durante el día, pocas personas se sienten altamente perturbadas por niveles de LAeq por debajo de 55 dB(A), y pocas se sienten moderadamente perturbadas con niveles de LAeq por debajo de 50 dB(A). Los niveles de sonido durante la tarde y la noche deben ser 5 a 10 dB menos que durante el día. El ruido con componentes de baja frecuencia requiere valores guía inferiores.

Para el ruido intermitente, se debe considerar el nivel máximo de presión sonora y el número de sucesos de ruido. Las guías o medidas para reducir el ruido también deben tomar en cuenta las actividades residenciales al aire libre

Comportamiento social. Los efectos del ruido ambiental se pueden determinar al evaluar su interferencia en el comportamiento social y otras actividades. Los ruidos urbanos que interfieren el descanso y la recreación parecen ser los más importantes. Existen pruebas consistentes de que el ruido por encima de 80 dB(A) reduce la actitud cooperativa y que el ruido fuerte también aumenta el comportamiento agresivo en individuos predispuestos a la agresividad. También existe la preocupación de que los altos niveles de ruido crónico contribuyan a sentimientos de desamparo entre los escolares. Se requiere mayor investigación para elaborar guías sobre este tema y sobre los efectos cardiovasculares y mentales.

Respecto de la consideración según el lugar donde se manifieste el ruido se puede identificar en:

Viviendas. Los efectos del ruido en la vivienda son trastorno del sueño, molestias e interferencia en la conversación. En los dormitorios, el efecto crítico es el trastorno del sueño. Los valores guía para dormitorios son 30 dB LAeq para el ruido continuo y 45 dB LMax para sucesos de ruido únicos. Los niveles inferiores de ruido pueden ser molestos según la naturaleza de la fuente. Durante la noche, los niveles de sonido en exteriores a un metro de las fachadas de las casas no deben exceder 45 dB LAeq para

que las personas puedan dormir con las ventanas abiertas. Ese valor se obtuvo al suponer que la reducción del ruido exterior al pasar al interior por una ventana abierta es de 15 dB. Para conversar sin interferencia en interiores durante el día, el nivel del ruido no debe ser mayor de 35 dB LAeq. El nivel máximo de presión sonora se debe medir con el medidor de presión sonora fijado en "Fast".

Para proteger a la mayoría de las personas de ruidos muy molestos durante el día, el nivel de sonido exterior proveniente del ruido continuo no debe exceder 55 dB LAeq en balcones, terrazas y áreas exteriores. Durante el día, el nivel de ruido moderadamente molesto no debe exceder 50 dB LAeq. Cuando resulte práctico y factible, el nivel más bajo de sonido en exteriores se debe considerar como el nivel máximo de sonido aconsejable para un nuevo evento.

Escuelas y centros preescolares. En las escuelas, los efectos críticos del ruido son la interferencia en la comunicación oral, disturbios en el análisis de información (por ejemplo en la comprensión y adquisición de lectura), comunicación de mensajes y molestias. Para poder oír y comprender los mensajes orales en el salón de clase, el nivel de sonido de fondo no debe ser mayor de 35 dB LAeq durante las clases. Para los niños con deficiencia auditiva, se puede requerir incluso un nivel de sonido inferior. El tiempo de reverberación en el salón de clase debe ser de 0,6 segundos y de preferencia, inferior para niños con deficiencia auditiva. En las salas de reuniones y cafeterías escolares, el tiempo de reverberación debe ser de menos de 1 segundo. En los campos de juego, el nivel de sonido del ruido de fuentes externas no debe exceder 55 dB LAeq, el mismo valor dado para áreas residenciales exteriores durante el día. Para los centros preescolares se aplican los mismos efectos críticos y valores guía de las escuelas. Durante las horas de descanso en dormitorios de centros preescolares se deben aplicar los valores guía para dormitorios de viviendas.

Hospitales. Para la mayoría de espacios de los hospitales, los efectos críticos son trastorno del sueño, molestia e interferencia en la comunicación oral, incluidas las señales de alarma. El L_{Amax} de sucesos de sonido durante la noche no debe exceder 40 dB(A) en interiores. Para los pabellones de hospitales, el valor guía en interiores es de 40 dB L_{Amax} durante la noche. Durante el día y la tarde, el valor guía en interiores es de 30 dB LAeq. El nivel máximo se debe medir con el medidor de presión sonora fijado en "Fast".

Debido a que los pacientes tienen menor capacidad para enfrentar el estrés, el nivel LAeq no debe ser mayor de 35 dB en la mayoría de habitaciones donde se trata y

revisa a los pacientes. Se debe prestar atención a los niveles de sonido en las unidades de cuidados intensivos y en las salas de operaciones. Las incubadoras con sonidos en el interior pueden generar problemas de salud a los recién nacidos, incluidos trastorno del sueño y deficiencia auditiva. Se requiere mayor investigación para establecer valores guía de sonido en incubadoras.

Ceremonias, festivales y eventos recreativos. En muchos países se realizan ceremonias, festivales y eventos regulares para celebrar ciertos acontecimientos. Por lo general, esos sucesos producen sonidos fuertes, incluida la música y sonidos de impulso. Existe preocupación respecto al efecto de la música fuerte y sonidos de impulso en los jóvenes que asisten frecuentemente a conciertos, discotecas, salas de video, cines, parques de diversión y eventos al aire libre. En esos eventos, el nivel de sonido generalmente sobrepasa los 100 dB LAeq. Esa exposición podría generar deficiencia auditiva significativa después de asistencias frecuentes.

En esos locales se debe reglamentar la exposición ocupacional de los empleados y como mínimo, se deben aplicar las mismas normas a los clientes. Los clientes no deben estar expuestos a niveles de sonido por encima de 100 dB LAeq durante un período de cuatro horas más de cuatro veces al año. Para evitar la deficiencia auditiva aguda, el L_{Amax} siempre debe estar por debajo de 110 dB.

Audífonos. Para evitar deficiencias auditivas provocadas por música a través de audífonos en adultos y niños, el nivel de sonido equivalente durante 24 horas no debe exceder 70 dB(A). Eso implica que para una exposición diaria de una hora, el nivel LAeq no debe ser mayor de 85 dB(A).

Para evitar deficiencias auditivas agudas, el L_{Amax} siempre debe estar por debajo de 110 dB(A).

Las exposiciones se expresan con el nivel de sonido equivalente en el campo libre.

Juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego. Para evitar un daño mecánico agudo en el oído interno provocado por sonidos de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego, los adultos nunca deben estar expuestos a niveles de presión sonora de más de 140 dB(lin). Para los niños cuando juegan, la presión sonora máxima producida por los juguetes no debe exceder 120 dB(lin), medida cerca del oído (100 mm). Para evitar deficiencias auditivas agudas, el L_{Amax} siempre debe estar por debajo de 110 dB(A).

Parques y áreas de conservación. Se deben preservar las áreas exteriores tranquilas y mantener una proporción baja de señal en relación con el ruido.

Finalmente la OMS publica una tabla con valores referenciales tanto de niveles de exposición como de tiempo para diversas situaciones y ámbitos reconocibles y habituales. Si bien esta Tabla no constituye una recomendación legal es una buena referencia a tomar en cuenta a modo de experiencia comparada.

Ambiente Especifico	Efecto(s) critico(s) sobre la salud	L _{Aeq} [dB(A)]	Tiempo [horas]	L _{max fast} [dB]
Exteriores	Molestia grave en el día y al anochecer	55	16	-
	Molestia moderada en el día y al anochecer	50	16	-
Interior de la vivienda, dormitorios	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer	35	16	
	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Trastorno del sueño, ventana abierta (valores en exteriores)	45	8	60
Salas de clase e interior de centros preescolares	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	35	Durante clases	-
Dormitorios de centros preescolares, interiores	Trastorno del sueño	30	Durante el descanso	45
Escuelas, áreas exteriores de juego	Molestia (fuente externa)	55	Durante el juego	-
Hospitales, pabellones, interiores	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	40
	Trastorno del sueño durante el día y al anochecer	30	16	-
Hospitales, salas de tratamiento, interiores	Interferencia en el descanso y la recuperación	#1		
Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	70	24	110
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	Deficiencia auditiva (patrones: < 5 veces/año)	100	4	110
Discursos públicos, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes	Deficiencia auditiva (valor de campo libre)	85 #4	1	110
Sonidos de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas	Deficiencia auditiva (adultos)	-	-	140
	Deficiencia auditiva (niños)	-	-	#2 120 #2
Exteriores de parques de diversión y áreas de conservación	Interrupción de la tranquilidad	#3		

#1: Lo más bajo posible.

#2: Presión sonora máxima (no LAF, máx) medida a 100 mm del oído.

#3: Se debe preservar la tranquilidad de los parques y áreas de conservación y se debe mantener baja la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo.

#4: Con audífonos, adaptado a valores de campo libre.

6-MEDICIÓN DEL RUIDO

La medición del ruido, o del Nivel de Presión Sonora (**SPL** en inglés o **NPS** en español), es la operación por la cual, mediante la utilización de un instrumento adecuado se toman lecturas del SPL de uno o más puntos de interés siguiendo los procedimientos establecidos por la Normativa Legal vigente.

El instrumento con el cual se toman las lecturas se **DENOMINA SONÓMETRO O MEDIDOR DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA, NUNCA DECIBELÍMETRO.**

La confusión de denominación, muy común por cierto, emana de la situación de que las lecturas de los sonómetros son expresadas en decibeles (por lo general dBA, dBC o a veces dB lineal), pero como se señaló en el apartado correspondiente el decibel es una unidad utilizada en otros campos de la ingeniería de medición y por lo tanto, el dispositivo utilizado para caracterizar el nivel de ruido, será en adelante, EL SONÓMETRO.

El Sonómetro, como todo instrumento de medición, DEBE PRESENTAR al momento en que lo utilice para la evaluación de ruido, su Certificado de Calibración correspondiente válido al momento de ser utilizado. **SIN EL MENCIONADO CERTIFICADO LA MEDICIÓN NO TENDRÁ VALIDEZ LEGAL ALGUNA.**

El Certificado de calibración de cualquier instrumento es el resultado de una caracterización protocolizada que un laboratorio acreditado hace periódicamente (por ejemplo una vez al año) del Sonómetro en cuestión y certifica que el mismo se encuentra midiendo dentro de un nivel de incertidumbre que es permitido por la Normativa Vigente o por los parámetros de Calidad de la medición que se deseen obtener. Por ejemplo, no es lo mismo registrar un valor de SPL de 58dBA con una incertidumbre de +/-1dB (lo que indica que el valor real se ubicaría entre 59dBA y 57dBA), que medir 58dBA con una incertidumbre de +/-3dB (lo que indica que el valor real se ubicaría entre 61dBA y 55dBA). Claramente la calidad exigida en la primera medición es superior a la segunda.

Tipos de medición

Existen dos tipos de medición básicas para caracterizar un ruido, la más convencional es la denominada medición de “banda ancha”, para la cual se utiliza un sonómetro calibrado Clase1 o Clase 2¹¹ (dependiendo de la calidad de medición requerida) en la cual es instrumento (ver Figura 16) presenta un valor de SPL ponderado típicamente en dBA (podría ser dBC pero es menos usual) que es el resultado de un promedio “rápido” o “lento”, según seleccione quien este midiendo. El valor leído, una vez desaparecidas las fluctuaciones, si las hubiera, será el valor del nivel de presión sonora del lugar.

Esta técnica es la más utilizada para la medición del denominado “Ruido molesto al vecindario” y por lo tanto su realización práctica será explicada mas adelante.



Figura 16: Sonómetro de banda ancha Clase 1. Fuente Brüel&Kjaer

La segunda técnica de medición es el análisis espectral también conocido por “medición en banda de octava”. En este caso el instrumento medidor no indica un valor

¹¹ La clase del sonómetro está definida por la norma IEC 61672, básicamente un sonómetro Clase 1 posee aproximadamente una incertidumbre de medición de +/-1dB, mientras un Clase 2 una de +/- 2dB

final sino que muestra un gráfico de barras (ver Figura 17 y Figura 18) donde la “altura” de cada barra indica el nivel de presión sonora para una octava o para 1/3 de octava según se seleccione.



Figura 17: Analizador de ruido por banda de octavas y tercios de octava. Fuente B&K

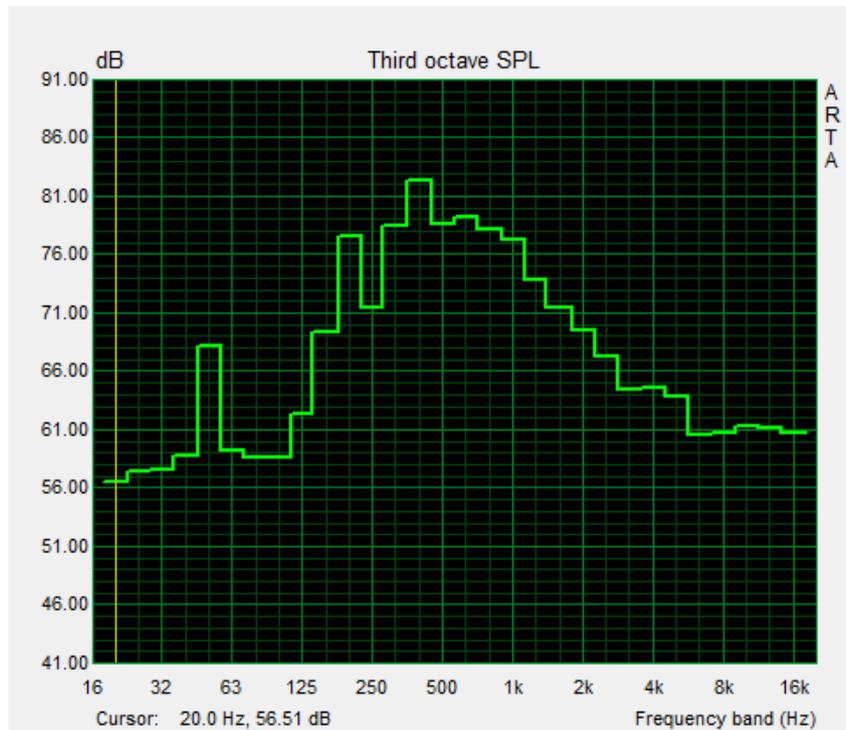


Figura 18: Gráfico de análisis por tercio de octava mediante software. Fuente ARTA Soft.

El método del análisis espectral sin dudas brinda una descripción más detallada del ruido medido, pero su utilidad está centrada en la identificación de las principales frecuencias que lo componen a los efectos de poder diseñar alguna medida específica para la atenuación del mismo. Por lo general se utiliza esta medición, luego de realizar una medición de banda ancha cuyos resultados requieran de un análisis mas profundo.

Medición Ruido Molesto al Vecindario.

En el Punto 5 ya se han mencionado las distintas fuentes que provocan los ruidos molestos al vecindario. El ruido que el vecino termina por denunciar a la autoridad pública, suele ser un ruido continuo o intermitente pero que ocurre a diario.

Ejemplo: es conocido el ruido molesto que puede causar un martillo neumático que está efectuando una reparación en la calle, pero va de suyo que esto sucede a una determinada hora del día y que en algún momento, la calle será finalmente reparada y por lo tanto el martillo dejara de operar en ese lugar. Sin embargo el ruido provocado por un sistema de acondicionamiento de aire que ocurre todas las noches, a pesar de ser mucho menor en magnitud que el del martillo neumático, es realmente un ruido molesto para el vecino y merece la atención de los especialistas. Como regla general (no absoluta), en una zona residencial, los ruidos molestos son aquellos que ocurren de manera continua o periódica en las horas de sueño, es decir entre las 22:00hs y las 06:00hs. Si bien muchas de las fuentes que los causan también están emitiendo en horario diurno, el propio ruido que se genera en las horas del día los termina enmascarando y entrada la noche, estos ruidos se vuelven evidentes y muchas veces “molestos” y por lo cual merecen ser analizados por un especialista con instrumental calibrado.

En la República Argentina, en Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM)¹², ha elaborado la Norma IRAM 4062, conocida como “Ruidos Molestos al Vecindario”, la cual establece todo el procedimiento de medición y evaluación de un ruido para definirlo como molesto o no.

¹² La Sigla IRAM no responde al nombre del Instituto. Ha quedado de manera histórica del antiguo Instituto de Racionalización Argentino de Materiales

Utilización de la Norma IRAM 4062

La presente Norma, como todas en general se caracterizan por brindar unas definiciones iniciales que permiten, para este caso comprender: “con que instrumento” “que”, “como”, “donde” y “cuando” se debe efectuar la medición.

A Saber:

Tipo de Instrumental:

- Sonómetro según IRAM 4074, tipo 2 o mejor
- Filtros según IRAM 4081

Condiciones de medición:

- En dB(A)
- En respuesta lenta
- A los efectos de esta norma dicho nivel se denominará LAeq

Sitios de medición:

- Interiores: a 1 m de las paredes y altura entre 1,2 m y 1,5 m
- Exterior: a 3,5 m de las paredes y altura entre 1,2 m y 1,5 m

Niveles a determinar:

- LAeq: Nivel sonoro continuo equivalente causante de la molestia
- Lf: Nivel de ruido de fondo

Horarios de Referencia. La base de la evaluación es la caracterización del ruido a lo largo de tres horarios definidos como:

- Diurno: entre 8 hs y las 20 hs
- Nocturno: entre las 22 hs y las 6 hs
- Descanso: entre las 6 hs y las 8 hs y entre 20 y 22 hs

La norma basa su método de evaluación, para determinar si el ruido es molesto o no, en dos magnitudes. La primera denominada “Ruido de Fondo” (con siglas Lf) es una magnitud que registra el nivel de ruido existente en el lugar en ausencia de ruido molesto. Como en la práctica, generalmente el ruido de fondo no puede medirse (por la imposibilidad de quitar el ruido molesto del ambiente) se recurre a una expresión

calculada, que como se apreciará a continuación, cuyo valor está determinado por los factores que configuran en entorno donde se está efectuando la medición. La segunda magnitud denominada “Nivel de Ruido Equivalente con Curva “A”” (con siglas LAeq), es el valor de SPL medido con un sonómetro de banda ancha.

La norma establece que un Ruido es molesto si para un ruido de banda ancha no impulsivo se cumple que $LA_{eq} - L_f \geq 8\text{dBA}$

Para poder realizar la mencionada operación, no solo es necesario medir el SPL y el Lf (si se pudiera) en los puntos de interés, o en su defecto determinar el valor de Lf calculado (por no poder haber sido medido) que surge de las siguientes consideraciones:

$$L_f \text{ calculado} = L_b + k_z + k_u + k_h$$

Donde Lb es un valor fijo de 40dBA

Y kz (es el factor de zona), ku (factor de ubicación de la finca) y kh (factor de horario) surgen de las condiciones de entorno de la medición y sus valores pueden extraerse de las siguientes tablas.

Para kz

Zona	Tipo	K_z
Hospitalaria, rural (residencial)	1	-5
Suburbana con poco tránsito	2	0
Urbana (residencial)	3	5
Residencial urbana con alguna industria liviana o rutas principales	4	10
Centro comercial o industrial intermedio entre los tipos 4 y 6	5	15
Predominantemente industrial con pocas viviendas	6	20

Para ku

Ubicación en la finca	K_u
Interiores: locales linderos con la vía pública	0
Locales no linderos con la pública	-5
Exteriores: áreas descubiertas no linderas con la vía pública. Por ejemplo: jardines, terrazas, patios, etc.	5

Para k_z

Periodo	K_h
Días hábiles: de 8 h a 20 h	5
Días hábiles: de 6 h a 8 h y de 20 a 22 h Días feriados: de 6 a 22 h	0
Noche: de 22 h a 6 h	-5

Ejemplo 3: Suponga que un aula que linda con la Calle Monseñor de Andrea de la Sede España de la UNDAV se percibe a las 21:00Hs un ruido no impulsivo de banda ancha que se supone molesto. Los Promotores ambientales realizan una medición en el centro del aula, estando esta vacía y sin ningún equipo que emita sonido dentro de ella. El Sonómetro indica 50dBA, desea determinarse si es un Ruido molesto según la Norma IRAM 4062.

Evidentemente ya se tiene el valor $L_{Aeq}=50dBA$

Ahora debe determinarse por cálculo L_f , dado que no se puede hacer cesar la molestia para poder medir el ruido de fondo que sería lo ideal.

Entonces de las Tablas de k_z, k_u y k_h se establece que:

$L_b=40dBA$, es un valor fijo.

$K_z=15dBA$, por tratarse de una zona en un centro comercial (tipo 5)

$K_u=0dBA$, por ser un local lindero con la vía pública

$K_h=0dBA$, por ser el horario a las 21:00hs.

Entonces L_f calculado= $L_b+k_z+k_u+k_h =40dBA+15dBA+0dBA+0dBA=55dBA$

*Siguiendo $L_{Aeq} - L_f= -5dBA$ por lo tanto es MENOR que 8dBA (positivo) resultando **NO MOLESTO** en los términos de la NORMA IRAM 4062.*

Nota del Autor: *Es preciso señalar, que si bien el resultado dio “NO MOLESTO”, posiblemente el nivel de SPL medido de 50dBA resulte una molestia para los alumnos en el aula; debe recordarse que la OMS para el caso de un aula recomienda un SPL de 35dBA, esta situación se explica porque el valor del “Ruido de fondo” ha sido obtenido por cálculo (con las tablas de la Norma) y no por la medición del mismo, la*

cual probablemente resultaría en un valor menor que el calculado , pero la medición del Lf no siempre es posible.

Nota del Autor

Para el caso que esté midiendo ruido en ámbitos exteriores, debe tomarse particular atención en la elección del momento de la toma de la muestra, es decir, si el ruido a medir no está vinculado al tránsito automotor debe tomarse la precaución de medir en Ausencia del mismo, igualmente deben evitarse los ruidos de la naturaleza como la caída de lluvia o la presencia de viento. En resumen, se DEBE tomar la lectura ya sea del ruido de fondo (si fuese posible de medir) y del ruido molesto, en ausencia de otras fuentes emisoras de ruido que pudieren alterar el valor a caracterizar

7-CONTROL DEL RUIDO

Finalmente es preciso mencionar, que tipo de acciones pueden tomarse, cuando se pudo constatar que un ruido es molesto.

El camino del ruido podría establecerse en tres partes: donde se genera el ruido que llamaremos fuente, el espacio por el que se propaga hasta llegar al lugar de interés, a lo que llamaremos camino de propagación (que podría ser el aire o un medio sólido por donde se propague una vibración) y finalmente el receptor que es a quien debe protegerse.

Evidentemente una buena caracterización del ruido permitirá encontrar la mejor estrategia y también la solución de ingeniería posible. Si bien las medidas de atenuación en general suelen existir, no siempre son implementables o económicamente viables.

A modo de introducirnos en posibles medidas de control del ruido, se recurre a una publicación de la Especialista, Ingra Nilda Vechiatti que al respecto propone:

1) Reducir la emisión de ruidos en las fuentes.

Por ejemplo, para disminuir el ruido de tráfico vehicular deberán tenerse en cuenta factores como: diseños urbanísticos, ordenamiento del tránsito, colocación de asfalto en la calzada, asegurarse que los vehículos cumplan con la V.T.V, etc. Para el ruido comunitario generado en locales de esparcimiento nocturno, por ejemplo, la forma de controlar los ruidos actuando sobre la fuente

consiste en adoptar normas adecuadas para reducir los niveles sonoros máximos permitidos en el interior. Los ruidos originados en el movimiento propio de la ciudad pueden controlarse en parte mediante ordenamiento del tráfico, regulación de semáforos y recorridos del transporte público y, en todos los casos, instruyendo a la población en el mutuo respeto de las reglas elementales de convivencia, es decir realizando sus actividades sin molestar a los demás.

2) Evitar la propagación de los ruidos.

Si el control del ruido en las fuentes es irrealizable o resultó insuficiente, se deben buscar soluciones en el ambiente. En otras palabras, se buscará actuar sobre las vías de propagación del ruido. Dichas vías pueden ser aéreas o sólidas, según el ruido se transmita por el aire o a través de otros elementos, como por ejemplo las paredes, pisos, losas, etc. de un edificio. Controlar el ruido en el ambiente significa disminuir o evitar que las ondas sonoras se propaguen, a partir de las fuentes, hacia los sujetos expuestos al ruido. Este tratamiento del ambiente se realizara sobre la base de la absorción y el aislamiento acústico. Desde el punto de vista de evitar la propagación de los ruidos, debe anularse el camino de las ondas sonoras a partir de la fuente, ya sea empleando tabiques, barreras acústicas o una cabina que encierre a una maquina ruidosa, por ejemplo. Para el caso de ruido comunitario generado en locales de esparcimiento nocturno, por ejemplo, la forma de evitar que los ruidos se propaguen hacia el exterior, es actuar en lo referente a formas constructivas (gran aislamiento en paredes, puertas, ventanas y techo). Además debería existir una zonificación, de modo que los locales ruidosos se ubiquen en zonas suburbanas con baja densidad poblacional, donde existe gran distancia entre vecinos.

3) Proteger al receptor.

Agotadas las medidas de ingeniería destinadas a disminuir los niveles sonoros excesivos en las fuentes y en su propagación, se procederá a analizar medidas de protección directa de los sujetos afectados. El control de los ruidos que

ingresan a las viviendas particulares e interfieren con el descanso o actividades intelectuales puede hacerse usando métodos varios, tales como colocación de ventanas dobles, balcones con tratamiento absorbente o cerrados con mamparas, si es posible. Una forma de eludir ruidos provenientes de autopistas es evitar las construcciones para vivienda en una franja de al menos 100 metros a cada lado.

Aquí se da por finalizado el presente trabajo, que tiene por objeto brindar una introducción básica a una pequeña parte de la disciplina de la Ingeniería conocida como Acústica. Es deseo del autor que estas líneas puedan motivar a los no iniciados a introducirse en amplio mundo del sonido y sus complejidades. Buen comienzo.

Sobre el Autor:

Anibal Aguirre es Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad de Buenos Aires y Especialista en Sistemas Avanzados de Información para la Seguridad y la Defensa de la Universidad Politécnica de Madrid.

Es Personal Científico del Ministerio de Defensa y Docente Universitario de Grado y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UBA y de la Universidad Tecnológica Nacional.

