

20 Preguntas sobre Acustica Arquitectonica

1- ¿Que es el Sonido?

El sonido es una vibración que se transmite por un medio elástico, bien sea gaseoso, líquido o sólido. Cuando nos referimos al sonido audible por el oído humano, estamos hablando de la sensación detectada por nuestro oído, que producen las rápidas variaciones de presión en el aire por encima y por debajo de un valor estático. Este valor estático nos lo da la presión atmosférica (alrededor de 100.000 pascals) el cual tiene unas variaciones pequeñas y de forma muy lenta, tal y como se puede comprobar en un barómetro.

¿Cómo son de pequeñas y rápidas las variaciones de presión que causan el sonido? Cuando las rápidas variaciones de presión se centran entre 20 y 20.000 veces por segundo (igual a una frecuencia de 20 Hz a 20 kHz) el sonido es potencialmente audible, independientemente de que sean presiones tan pequeñas como la millonésima parte de un pascal. Los sonidos muy fuertes son causados por grandes variaciones de presión, por ejemplo una variación de 1 pascal se oiría como un sonido muy fuerte, siempre y cuando la mayoría de la energía de dicho sonido estuviera contenida en las frecuencias medias (1kHz - 4 kHz) que es donde el oído humano es más sensitivo.

2- ¿Que es la Frecuencia f (Hz)?

Como hemos visto el sonido se produce como consecuencia de las compresiones y expansiones de un medio elástico, por tanto la frecuencia es el valor correspondiente a las vibraciones que se generan en el. La frecuencia de una onda sonora se define como el número de pulsaciones (ciclos) que tiene por unidad de tiempo (segundo). La unidad correspondiente a un ciclo por segundo es el herzio (Hz).

Las frecuencias más bajas se corresponden con lo que habitualmente llamamos sonidos "graves", que son sonidos de vibraciones lentas. Las frecuencias más altas se corresponden con lo que llamamos "agudos" y son de vibraciones muy rápidas.

El espectro de frecuencias audible varía según cada persona, edad etc. Sin embargo normalmente se acepta como el intervalos entre 20 Hz y 20 kHz.

3- ¿Que es un Decibelio dB?

El decibelio es una unidad logarítmica de medida utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia. En todos los casos se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia. Normalmente el valor tomado como referencia es siempre el menor valor de la cantidad. En algunos casos puede ser un valor promediado aproximado. En Acústica la mayoría de las veces el decibelio se utiliza para comparar la presión sonora, en el aire, con una presión de referencia.

Este nivel de referencia tomado en Acústica, es una aproximación al nivel de presión mínimo que hace que nuestro oído sea capaz de percibirlo. El nivel de referencia varía lógicamente según el tipo de medida que estemos realizando. No es el mismo nivel de referencia para la presión acústica, que para la intensidad acústica o para la potencia acústica. A continuación se dan los valores de referencia.

Nivel de Referencia para la Presión Sonora (en el aire) = 0.00002 = 2E-5 Pa (rms)

Nivel de Referencia para la Intensidad Sonora (en el aire) = $0.000000000001 = 1E-12 \text{ w/m}^2$

Nivel de Referencia para la Potencia Sonora (en el aire) = $0.000000000001 = 1E-12 \text{ w}$

Como su nombre indica el decibelio es la décima parte del Bel. El Bel es el logaritmo en base 10 de la relación de dos potencias o intensidades. No obstante esta unidad resulta demasiado grande por lo que se ha normalizado el uso de la décima parte del Bel, siendo el decibel o decibelio. La fórmula para su aplicación es la siguiente, partiendo que la intensidad acústica en el campo lejano es proporcional al cuadrado de la presión acústica, se define el nivel de presión sonora como:

$$L_p = 10 \log (p^2/p_r) = 20 \log p/p_r$$

Siendo L_p = Nivel de Presión sonora; p la presión medida; p_r la presión de referencia ($2E-5 \text{ Pa}$)

Como es fácil ver el nivel de referencia siempre se corresponde con el nivel de 0 dB:

$$L_p = 20 \log (0.00002/0.00002) = 20 \log(1) = 20 * 0 = 0 \text{ dB}$$

Por la tanto en 0 dB tenemos el umbral de audición del oído humano, se supone que no es posible oír por debajo de este nivel, o sea variaciones de nivel en la presión del aire inferiores a 0,00002 pascal.

La razón por la que se utiliza el decibelio es que si no, tendríamos que estar manejando números o muy pequeños o excesivamente grandes, con lo que la posibilidad de error sería grande al hacer cálculos. También hay que tener en cuenta que el comportamiento del oído humano está más cerca de una función logarítmica que de una lineal, ya que no percibe la misma variación de nivel en las diferentes escalas de nivel, ni en las diferentes bandas de frecuencias.

4- ¿Cómo se mide el Nivel Sonoro?

Para medir el nivel sonoro disponemos de los Sonómetros. Estos aparatos nos permiten conocer el Nivel de Presión sonora o SPL (Sound Pressure Level). Los parámetros de estos siempre se dan como decibelios dB y se calibran en referencia al valor antes señalado de ($2E-5 \text{ Pa}$). Con el sonómetro es posible además del hallar el valor RMS de la presión, ver los picos máximos y niveles mínimos de la medida. Los sonómetros normalmente no dan la medida en dB lineales si no que dan ya con la ponderación deseada, dBA/dBC etc.

Una función muy utilizada a la hora de medir niveles de presión acústica y que ofrecen los sonómetros es la medición en modo Leq. Normalmente se utiliza el Leq 1' (leq a un minuto). El sonómetro mide las diferentes presiones que se generan durante un tiempo determinado (Leq X) siendo X = 1 minuto en nuestro caso, el valor que nos da al finalizar el minuto de medida es un valor en dB que equivaldría al de una señal de valor continuo durante todo el minuto y que utilizaría la misma energía que se ha medido durante el minuto. Hay que observar que en una medida de un minuto los valores varían y si se quiere determinar un valor medio de ruido hay que hacerlo con la función Leq, de otra forma se obtendrán valores erróneos puesto que podemos tener valores de pico durante un instante y no ser representativos del nivel de ruido normal que se está intentando determinar.

5- ¿Que es el dBA o la ponderación -A-?

El oído no se comporta igual para el mismo nivel de presión en diferentes frecuencias. Por ejemplo tomemos un sonido lineal en toda la banda de 20 Hz a 20 kHz tenemos en todas las bandas un nivel de 30 dB, si nuestro oído fuese lineal oíríamos los mismo o mejor con la misma intensidad auditiva las frecuencias más bajas, que las medias y que las agudas. Sin embargo esto no es cierto, el oído humano tiene una menor sensibilidad en las frecuencias graves y agudas que frente a las medias. Lo que más oímos por tanto son las frecuencias medias, y las que menos las más graves seguidas de las más agudas.

Como vemos es necesario encontrar una forma de ajustar los niveles de dB que hemos medido con la percepción que el oído tiene de los mismos según cada frecuencia. Esta corrección se realiza ponderando los dB medidos mediante una tabla de ponderación ya especificada y que se llama tabla "A". Los decibelios ya ponderados en "A" se representan como dBA y los no ponderados, llamados lineales, como dB.

Por ejemplo si en una frecuencia de 100 Hz hemos medido 80 dB, al ponderarlo pasaran a ser 60,9 dBA, esto quiere decir que un nivel de presión sonora de 80 dB en una frecuencia de 100 Hz es oída por nuestro sistema de audición como si realmente tuviese 60,9 dBA y no 80 dB.

Tablas de Ponderacion A,C y U (dB).

Nominal	Exacta			
Frecuencia	Frecuencia	A-weight	C-weight	U-weight
20	19.95	-50.5	- 6.2	0.0
31.5	31.62	-39.4	- 3.0	0.0
40	39.81	-34.6	- 2.0	0.0
50	50.12	-30.2	- 1.3	0.0
63	63.10	-26.2	- 0.8	0.0
80	79.43	-22.5	- 0.5	0.0
100	100.00	-19.1	- 0.3	0.0
125	125.9	-16.1	- 0.2	0.0
160	158.5	-13.4	- 0.1	0.0
200	199.5	-10.9	0.0	0.0
250	251.2	- 8.6	0.0	0.0
315	316.2	- 6.6	0.0	0.0
400	398.1	- 4.8	0.0	0.0
500	501.2	- 3.2	0.0	0.0
630	631.0	- 1.9	0.0	0.0
800	794.3	- 0.8	0.0	0.0
1000	1000.0	0.0	0.0	0.0
1250	1259	+ 0.6	0.0	0.0
1600	1585	+ 1.0	- 0.1	0.0
2000	1995	+ 1.2	- 0.2	0.0
2500	2512	+ 1.3	- 0.3	0.0
3150	3162	+ 1.2	- 0.5	0.0
4000	3981	+ 1.0	- 0.8	0.0
5000	5012	+ 0.5	- 1.3	0.0
6300	6310	- 0.1	- 2.0	0.0
8000	7943	- 1.1	- 3.0	0.0
10000	10000	- 2.5	- 4.4	0.0
12500	12590	- 4.3	- 6.2	- 2.8
16000	15850	- 6.6	- 8.5	-13.0

2000019950- 9.3-11.2-25.3

6- ¿Cómo se suman los niveles de sonido?

Hemos visto que el decibelio es una función logarítmica y por tanto cuando hablamos de dB de presión sonora no es posible sumarlos de forma lineal. Por ejemplo 30 dB + 30 dB no es igual a 60 dB si no a 33 dB como vamos a ver a continuación.

Para poder sumar dos decibelios podemos emplear la siguiente ecuación:

$$\text{Suma dB1} + \text{dB2} = 10 \log (10^{(\text{dB1}/10)} + 10^{(\text{dB2}/10)})$$

$$30 \text{ dB} + 30 \text{ dB} = 10 \log(10^{(30/10)} + 10^{(30/10)}) =$$

$$10 \log(10^3 + 10^3) = 10 \log (1000 + 1000) = 33 \text{ dB}$$

La suma de dos dB nunca supera en 3 dB al mayor de los dos valores involucrados. Si la diferencia que hay entre los dos valores a sumar es mayor de 10 dB la suma no tiene valor práctico y se toma el valor del mayor de los dos. Por ejemplo, si sumamos 20 dB + 10 dB el resultado será igual a 20 dB (aproximado). Solamente son significativos para la suma los valores que tienen una diferencia menor a 10 dB.

7- ¿A partir de que niveles el sonido es perjudicial?

Por encima de los 100 dBA es muy recomendable siempre que sea posible utilizar protectores para los oídos. Se considera necesario el utilizar protectores en ambientes con niveles de 90 dBA, siempre y cuando la exposición sea prolongada. Los daños producidos en el oído por exposiciones a ruidos muy fuertes son acumulativos e irreversibles, por lo que se deben de extremar las precauciones.

La OMS plantea que la exposición prolongada a ruidos elevados puede producir trastornos nerviosos, cardiacos y mentales.

8- ¿Que es el Nivel de Presión Acústica?

A la presión generada por una fuente sonora en un punto determinado se le denomina presión sonora. El nivel de presión sonora SPL (Sound Pressure Level) se mide en dB(A) SPL y determina el nivel de presión que realiza la onda sonora en relación a un nivel de referencia que es 2×10^{-5} Pascal en el aire. Su valor depende del punto donde midamos el local y las características acústicas de este. Realmente no da mucha información sobre las características acústicas o de la fuente, a no ser que se haga un análisis frecuencia de los niveles de presión.

9- ¿Que es el Nivel de Intensidad Acústica?

Se puede definir como la cantidad de energía sonora transmitida en una dirección determinada por unidad de área. Se puede citar dentro de un rango de entre 0.000000000001 w por metro cuadrado, hasta 1 w.

Para realizar la medida de intensidades se utiliza actualmente analizadores de doble canal con posibilidad de espectro cruzado y una sonda que consiste en dos micrófonos separados a corta distancia. Permite determinar la cantidad de energía sonora que radia una fuente dentro de un

ambiente ruidoso. No es posible medirlo con un sonómetro. El nivel de intensidad sonora se mide en w/m^2 .

10- ¿Que es el Nivel de Potencia Acústica?

El nivel de potencia Acústica es la cantidad de energía total radiada en un segundo por una fuente y se mide en w . La referencia es $1p_w = 1E-12 w$. Para determinar la potencia acústica que radia una fuente se utiliza un sistema de medición alrededor de la fuente sonora a fin de poder determinar la energía total irradiada.

La potencia acústica es un valor intrínseco de la fuente y no depende del local donde se halle. Es como una bombilla, puede tener 100 w y siempre tendrá 100 w la pongamos en nuestra habitación o la pongamos dentro de una nave enorme su potencia siempre será la misma. Con la potencia acústica ocurre lo mismo el valor no varía por estar en un local reverberante o en uno seco. Al contrario de la Presión Acústica que sí que varía según varíe las características del local donde se halle la fuente, la distancia etc.

11- ¿Cuál es la velocidad de propagación del sonido en el aire, agua etc...?

La velocidad de propagación del sonido en el aire es de unos 334 m/s pero está directamente relacionada con la temperatura. La velocidad de propagación es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta y es alrededor de 12 m/s mayor a 20° . La velocidad es siempre independiente de la presión atmosférica.

En el agua la velocidad de propagación es de 1500 m/s . Es posible obtener medidas de temperatura de los océanos midiendo la diferencia de velocidad sobre grandes distancias.

12- ¿Que es el Tiempo de Reverberación?

El Tiempo de Reverberación RT , es el tiempo que tarda una señal, después de ser emitida, en atenuarse 60 dB. Para realizar la medida se genera un ruido instantáneo y se mide a partir de que este deja de sonar, entonces se determina el tiempo que tarda la señal en caer 60 dB.

El Tiempo de Reverberación se mide de forma frecuencia, un local no tiene el mismo RT en 200 Hz que en 4 kHz. Ello es debido a que el RT viene determinado por el Volumen de la sala, y por los coeficientes de absorción de los materiales en sus superficies. Como los coeficientes de absorción para los materiales son diferentes en cada frecuencia, las reflexiones generadas en el interior del local serán igualmente diferentes, por lo tanto el RT total será la media entre los valores para cada frecuencia analizada. Generalmente se calculan valores para 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, pudiendo ser usados en ocasiones los valores de 63 Hz y 4 kHz.

Para estimar el RT de un local de forma sencilla y sin realizar mediciones, se puede utilizar entre otras, la fórmula de Sabine:

$$RT_{60} = 0,163 * (V/A)$$

V = Volumen de la sala en m^3 y A = Superficie de Absorción en m^2

Como norma cuanto mayor es el volumen del local mayor debe ser el RT y si los materiales que lo componen internamente son poco absorbentes el RT también aumentara.

El valor de RT es muy importante si se quiere conseguir buenos niveles de inteligibilidad dentro de los locales.

13- ¿Que es el Coeficiente de Absorción de un material?

El coeficiente de absorción de un material es la relación entre la energía absorbida y la energía reflejada por este. Dada esta formulación, su valor siempre está comprendido entre 0 y 1. El máximo coeficiente de absorción está determinado por un valor de 1 donde toda la energía que incide en el material es absorbida por el mismo, y el mínimo es 0 donde toda la energía es reflejada.

El coeficiente de absorción varía con la frecuencia y por tanto los fabricantes de materiales acústicos dan los coeficientes de absorción por lo menos en resolución de una octava.

Sabiendo los materiales de una sala y sabiendo sus coeficientes de absorción podemos saber cómo sonora esa sala en cada frecuencia y podremos también saber, mediante la fórmula de Sabine, Eyring etc, el tiempo de reverberación por frecuencias.

14- ¿Que es Eco, Reverberación y Resonancia?

Cuando se genera un sonido en el interior de un local las superficies que componen el mismo producen diferentes efectos dependiendo de las características de las mismas.

En la mayoría de los casos se percibe primeramente el sonido directo, que no es más que el sonido proveniente de la fuente sonora que llega a nuestro oído sin que se haya realizado ninguna reflexión. Una vez recibido el sonido directo, llegará con un tiempo de retraso el sonido reflejado por las superficies del local.

Si el retraso entre el sonido directo y el reflejado es mayor de 20 ms, nuestro sistema de audición será capaz de separar las dos señales, esto es lo que se entiende por eco.

Cuando en la misma situación que en el caso anterior, el sonido reflejado nos llega con un tiempo inferior a 20 ms, nuestro sistema de audición no es capaz de separar ambas señales y las toma como una misma pero con una duración superior, esto efecto se entiende como reverberación.

Cuando el tiempo de reverberación alcanza valores muy altos con respecto al sonido directo, puede ocurrir un enmascaramiento de este y se puede perder la capacidad de entender la información contenida en el mensaje que se percibe.

La resonancia se ocasiona cuando un cuerpo entra en oscilación producto de la vibración producida por una onda sonora que incide sobre el y su frecuencia coincide con la frecuencia de oscilación del propio cuerpo o esta es múltiplo entero de la frecuencia de la onda que le incide.

15- ¿Que es la altura (tono) de un sonido?

El tono de un sonido es un fenómeno subjetivo y por tanto no es posible medirlo de forma objetiva. Normalmente cuando se aumenta la frecuencia de un sonido, su altura también sube, sin embargo esto no se da de forma lineal, o sea no se corresponde la subida del valor de la frecuencia con la percepción de la subida de tono.

La valoración subjetiva del tono se ve condicionada no solo por el aumento de la frecuencia sino también por la intensidad, y por el valor de dicha frecuencia. Para frecuencias inferiores a 1.000 Hz (incluida esta), si se aumenta la intensidad el tono disminuye, entre 1.000 Hz y 5.000 Hz el tono es prácticamente independiente de la intensidad que tenga, por encima de 5.000 Hz el tono aumenta si aumenta la intensidad.

La unidad de altura es el "Mel". (En ocasiones se utiliza el "Bark" equivalente a 100"Mels").

16- ¿Que es el timbre?

¿Por qué podemos distinguir el sonido de un piano al de una trompeta?

El timbre hace posible que cada instrumento pueda tener un color determinado y particular que lo distingue de otros aun cuando su espectro sonoro pueda parecer similar.

El timbre está formado por un conjunto de frecuencias de alturas sonoras fijas. De forma sencilla se puede decir que el timbre lo forma la frecuencia fundamental del instrumento, más su composición armónica.

La frecuencia fundamental de dos instrumentos diferentes puede ser la misma, pero su composición armónica es diferente y es lo que hace que los podamos distinguir. Por ejemplo: si generamos una frecuencia de 440 Hz con un piano y con una guitarra, aun cuando ambos están afinados en la misma frecuencia y generando la misma, cada uno suena diferente. Esto es debido a que cada instrumento genera una serie de armónicos según la construcción del propio instrumento, en el piano el arpa metálica y la caja generan una serie de armónicos con una serie de niveles sonoros que le dan su sonido característico. En la guitarra la caja, las cuerdas etc le confieren a la misma frecuencia un sonido diferente.

17- ¿Que es el efecto Doppler?

El efecto Doppler se origina cuando hay un movimiento relativo entre la fuente sonora y el oyente. El resultado es la aparente variación del sonido. Existe una variación en la frecuencia que percibimos con la frecuencia que la fuente origina.

La frecuencia se puede determinar según las siguientes fórmulas:

Fuente móvil: $f_x = (c/(c-u))f_s$

Receptor en movimiento: $f_x = ((c-v)/c)f_s$

Ambos en movimiento: $f_x = ((c-v)/(c-u))f_s$

f_x = Frecuencia aparente

c = Velocidad del sonido

v = Velocidad del observador

u = Velocidad de la fuente

f_s = Frecuencia de la fuente

18- ¿Que es una octava?

El término de octava se toma de una escala musical, se considera el intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencias igual a 2 y que corresponde a ocho notas de

dicha escala musical. Por ejemplo: si comenzamos con una nota como DO, la octava completa será: DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-DO. Si el primer DO estaba afinado en 440 Hz el segundo estará en 880 Hz, ya que hemos indicado que en la octava hay una relación de frecuencias igual a 2.

18- ¿Que es el ruido rosa?

El ruido rosa es un ruido cuyo nivel sonoro está caracterizado por un descenso de tres decibelios por octava. Cuando el ruido rosa se visualiza en un analizador con filtros de octava, el ruido se ve como si todas las bandas de octava tuviesen el mismo nivel sonoro, lo cual es cierto, pero realmente el ruido rosa no tiene el mismo nivel en todas las frecuencias.

Esto ocurre por que los filtros de octava, son filtros proporcionales y cada vez que subimos una octava, doblamos el ancho de banda lo que trae como consecuencia una caída de 3 dB por octava.

Se utiliza para analizar el comportamiento de salas, altavoces, equipos de sonido etc. Es una señal conocida, y por tanto dentro de una sala podemos conocer datos sobre el comportamiento acústico de esta, el altavoz etc. Normalmente se genera entre 20 Hz y 20 kHz.

19- ¿Que es el ruido blanco?

El ruido blanco es un ruido cuyo nivel es constante en todas las frecuencias. Si lo visualizamos con un analizador con filtros de octava, veremos que el espectro mostrado no es lineal, si no que aumenta 3 dB por octava. Esto se debe al mismo fenómeno que con el ruido rosa, al doblar la octava se dobla el ancho de banda y si se tenemos el mismo nivel sonoro en todas las frecuencias, el nivel sonoro por octava se doblara y aumentara 3 dB con respecto al anterior.

20- ¿Que es la disminución espacial del nivel sonoro?

Si tenemos una fuente sonora determinada, y estamos situados a una distancia de ella, al alejarnos o acercarnos el nivel de presión sonora varía según las características de la fuente, el lugar donde se encuentre, la distancia entre otros factores. Podemos calcular el nivel de presión acústica dentro de un local en cualquier punto con la siguiente formula:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

L_p = Nivel de presión sonora.

L_w = Nivel de potencia de la fuente sonora en dB.

Q = Directividad de la fuente sonora.

r = distancia entre la fuente y el punto de medida en metros.

R = constante acústica del local (m^2).

En espacios al aire libre se considera que cada vez que se dobla la distancia entre la fuente sonora y el oyente, se disminuye el nivel sonoro en 6 dB. Por ejemplo, si utilizamos un sonómetro y medimos el nivel de presión sonora a 5 m, obtenemos un valor supuesto de 80 dB, si ahora nos distanciamos a 10 metros más, o sea doblamos la distancia del punto inicial, obtendremos una lectura de 74 dB, 6 dB menos que en el primer punto, si por ultimo nos alejamos 20 metros de este último punto, doblando así su distancia, estamos a 40 metros de la fuente, obtendremos también un descenso de 6 dB, tendremos por tanto, 68 dB.