CAPÍTULO 2: DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

2.1.- INTRODUCCIÓN

Se van a esbozar a continuación, algunos de los conceptos básicos de la acústica de los que se hace uso en el capítulo central del presente estudio, que sin duda alguna es el referente a los ensayos realizados; sin embargo, no es objeto de este proyecto el profundizar en el campo teórico de la acústica, por lo que solamente se aportará una idea genérica de los conceptos básicos de este campo.

Para conseguir la comprensión de los resultados que más adelante se incluyen, y para entender bien los objetivos que justifican este proyecto, bastará con entender las definiciones de este capítulo.

Es conveniente señalar que, si bien aquella persona iniciada en el mundo de la acústica, podría evitar esta lectura, el considerarlo es interesante a la hora de unificar criterios, para un mejor entendimiento de lo que en sucesivo se exponga.

2.2.- PARÁMETROS ACÚSTICOS. CONCEPTO DE INTENSIDAD SONORA

2.2.1.- PRESIÓN SONORA

Se llama presión sonora a las fluctuaciones, por encima o por debajo del valor normal o estático de presión del medio, que se producen al propagarse una onda sonora a través del mismo.

El oído humano es capaz de detectar sonidos cuya amplitud esté comprendida entre un mínimo de 20 μPa, y un máximo de unos 20 Pa, donde se sitúa el umbral del dolor. Esto nos da una idea del rango tan enorme que posee el oído humano, puesto que el valor mínimo es una millonésima parte del valor máximo.

Aunque el nivel de presión sonora, es el parámetro que más fácilmente se puede medir para caracterizar el nivel de ruido de un equipo, tiene el inconveniente de depender de otros factores además de la potencia de la fuente, como por ejemplo de la sala donde esté ubicada la misma. Esto último se detallará más adelante cuando se hable de las reflexiones.

El nivel de presión sonora se puede representar por la siguiente expresión:

$$L_P = 20 \cdot \log \frac{P_{RMS}}{P_{ref}} dB$$

Donde:

-P_{RMS}=Presión cuadrática media.

-P_{ref}=Presión de referencia=$2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

El nivel de presión sonora se suele denominar como LPS (SPL en nomenclatura anglosajona), además de la forma arriba reflejada.

Si nos fijamos en la presión de referencia, vemos que coincide con el valor del umbral auditivo antes apuntado, con lo cual el nivel mínimo de presión sonora queda en 0 dB, quedando el límite superior en 120 dB. Este límite superior sale de introducir el valor del umbral del dolor que ya se comentó, en la fórmula. De esta forma, hemos conseguido tener todo el rango auditivo en solo 120 dB, lo cual facilita mucho la interpretación de los resultados que se obtienen en las mediciones.

2.2.2.- POTENCIA SONORA

La potencia sonora o potencia acústica se define como la cantidad de energía acústica generada por una fuente en la unidad de tiempo, y se expresa en vatios (w).

$$W = I \cdot área$$

El nivel de potencia sonora, que no es más que la potencia sonora de la fuente expresada en escala logarítmica, es el parámetro que se usa habitualmente para expresar la potencia. Su uso está justificado por la comodidad que aporta, y su expresión matemática es la siguiente:

$$L_w = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \qquad \text{dB}$$

Donde W es la potencia de la fuente en vatios y W_0 es la potencia de referencia en vatios. Suele tomarse 1 picovatio como el valor de la potencia de referencia (10^{-12} vatios). Sustituyendo este valor en la ecuación anterior:

$$L_w = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{10^{-12}}\right) = 10 \cdot \log W + 120 \qquad \text{dB}$$

A diferencia del nivel de presión sonora, la potencia sonora tiene la ventaja de ser independiente de la localización, y de las condiciones que rodean a la fuente cuyo ruido está bajo estudio. Es más, el nivel de potencia sonora de una fuente es siempre el mismo, a no ser que la fuente cambie su modo de operación. Incluso la distancia de los puntos de medida a la fuente, no influye a la hora de calcular su potencia acústica.

2.2.3.- INTENSIDAD SONORA

La intensidad acústica o intensidad sonora de una onda acústica, se define como el valor medio de la energía que atraviesa un área unidad, perpendicular a la dirección de propagación de la onda en la unidad de tiempo.

La intensidad sonora se define a partir del vector intensidad, por lo cual tiene también carácter vectorial. Este carácter es una de las principales ventajas del cálculo de potencia a partir de la intensidad, puesto que el carácter vectorial permite identificar la localización de un ruido.

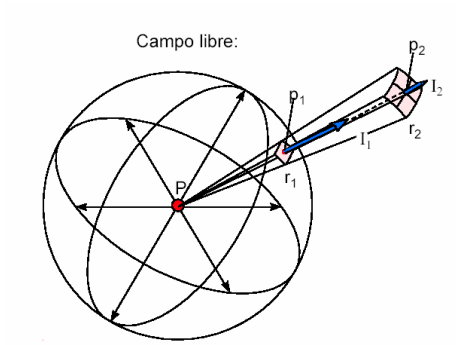

Fig. 2.1

El vector intensidad describe la cantidad y dirección del flujo de energía acústica, en un lugar determinado, como se puede deducir de la definición que se hace de esta magnitud más abajo en este apartado, y de la figura 2.1.

Al igual que para las magnitudes anteriores, para la intensidad también se define el nivel de intensidad sonora como:

$$L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right)$$

Donde $I_{ref}=10^{-12}$ W/m^2

La sonda de intensidad consta de dos micrófonos a partir de los cuales se mide la intensidad, puesto que ésta no puede ser medida directamente. Relacionando la presión sonora con la velocidad radial, el equipo consigue obtener el valor de la intensidad del sonido midiendo presiones.

Sabemos que, por definición, el vector intensidad es igual al producto de la presión instantánea por la velocidad de las partículas en esa posición, promediado en el tiempo:

$$\vec{I} = \overline{p(t) \cdot \vec{v}(t)}$$

Siendo la velocidad:

$$V = -\int \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} dt$$

Para conseguir relacionar la presión del sonido con la velocidad radial y poder calcularla experimentalmente, se hacen una serie de aproximaciones:

- Se aproxima la parcial de la presión con respecto a la distancia, por un cociente de incrementos, puesto que podemos suponer que el gradiente de presión en la curva de la onda entre los dos puntos donde medimos, es una recta. De esta manera queda:

  $$\frac{\partial p}{\partial r} \approx \frac{p_1 - p_2}{\Delta r}$$

  Por tanto, podemos medir este gradiente tomando dos puntos separados por una distancia Δr y recogiendo la presión en dichos puntos.
- En el intervalo Δr comentado, se supone una presión uniforme e igual a la media aritmética de las presiones en los dos puntos de medida.
- Por último, se supone también que la densidad del medio (aire en nuestro caso) es constante en toda la longitud Δr.

De esta forma, la expresión vista para la intensidad sonora queda:

$$\vec{I} = \overline{p(t) \cdot \vec{v}(t)} = -\frac{p_1 + p_2}{2\rho\Delta r} \int (p_1 - p_2) dt$$

Esta es la expresión que usa el equipo para calcular la intensidad sonora a partir de las presiones en dos puntos cercanos.

2.3.- CONCEPTOS SOBRE MEDICIÓN DE INTENSIDAD ACÚSTICA.

A continuación se detallan algunas consideraciones importantes a la hora de realizar medidas de intensidad acústica, que tienen que ver tanto con el entorno como con el propio parámetro a medir.

2.3.1.- CAMPO LIBRE Y CAMPO DIFUSO

Se define campo libre como aquel donde la propagación sonora se produce sin que existan reflexiones; esto es, espacios ideales. En la práctica este tipo de campos se dan en cámaras anecóicas, semianecóicas o al aire libre.

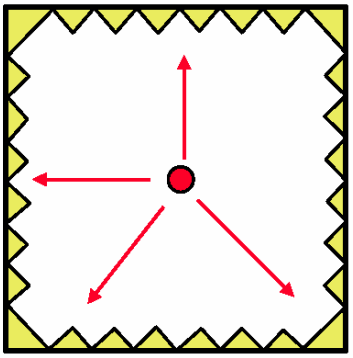

Fig. 2.2

Otra característica de estos campos ideales es que $L_i=L_p$, y por tanto, el nivel de intensidad sonora también cae 6 dB cada vez que se duplica la distancia a la fuente.

En la figura de la izquierda (fig. 2.2), se puede ver la representación de un campo libre, en el cual no existen reflexiones y, por tanto, el sonido se mueve únicamente como se ve.

Por el contrario, un campo difuso es aquel en el que el sonido se refleja con igual módulo y probabilidad en todas direcciones; es decir, la energía se distribuye uniformemente por toda la habitación. Entonces, el módulo del vector intensidad es 0.

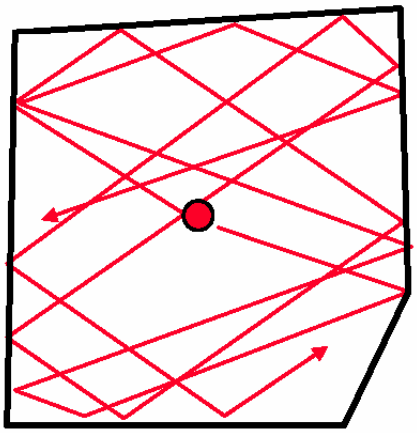

Fig. 2.3

En la realidad lo anterior se corresponde con las llamadas cámaras reverberantes. En ellas se puede medir la potencia total que sale

de la fuente, pero el nivel de presión sonora en cada punto, será suma del sonido que llega de la fuente directamente, el cual depende de la distancia a la misma, más el que llega reflejado que depende de las características absorbentes del local.

La figura 2.3 representa un campo difuso y las múltiples reflexiones que en él se dan.

En la realidad, las medidas se llevan a cabo en cámaras que no son ninguna de las anteriores, sino una mezcla de ambas. Por esto se hace necesario identificar la posición de medida más correcta, puesto que si se lleva a cabo demasiado cerca, el nivel de presión sonora puede variar con un pequeño desplazamiento del sonómetro. En esta situación afecta más la geometría de la máquina. A esta zona se la denomina como campo próximo, y se encuentra a distancias inferiores a la longitud de onda de la frecuencia más baja emitida por la máquina, o a una distancia inferior al doble de la longitud máxima de la máquina.

Cuando las medidas se realizan demasiado lejos, las reflexiones toman un papel mucho más importante, por lo que será muy difícil determinar que parte del sonido proviene directamente de la fuente, y cual de las reflexiones. A esta otra zona se la denomina campo reverberante.

Las zonas intermedias entre estas dos son las idóneas para realizar las mediciones. Son las que poseen las condiciones de campo libre.

2.3.2.- CAMPO ACTIVO Y CAMPO REACTIVO

La intensidad sonora en un punto, medida en dirección perpendicular respecto al área especificada, se expresa como:

$$\vec{I} = p(t) \cdot \vec{v}(t) \left[W / m^2 \right]$$

En todos los campos sonoros la velocidad se divide en dos componentes: uno en fase con la presión y otro desfasado con ella, por tanto, aparecen también dos valores de la intensidad.

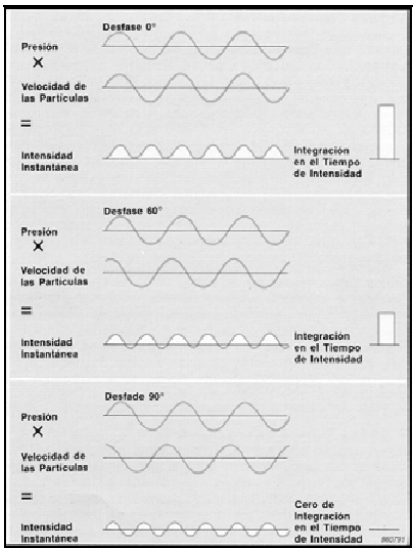

Fig. 2.4

Intensidad activa es aquella a la que nos referimos simplemente como intensidad sonora, y está formada por el producto de la presión y la componente en fase de la velocidad. Se caracteriza por tener un promedio temporal distinto de cero, tener una dirección normal a los frentes de onda y porque está asociada al flujo de energía sonora.

Intensidad reactiva es la que surge del producto de la presión por la componente de la velocidad de la partícula desfasada con ella. Está caracterizada por tener un promedio temporal igual a cero, por tener dirección opuesta al gradiente de presión, por estar asociada al flujo fluctuante local de energía y porque no da como resultado energía sonora propagada en el campo alejado de la fuente.

Esto afecta a las medidas de intensidad realizadas cerca de la fuente, como se ve en la figura siguiente, a no ser que usemos un equipo de buena calidad, debido a la contribución de la intensidad reactiva.

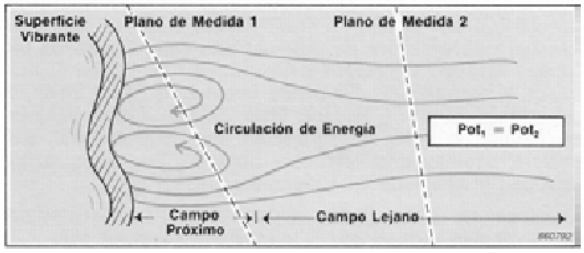

Fig. 2.5

Este parámetro puede limitar, por tanto, la distancia mínima de la superficie de medida a la fuente, cuando realizamos medidas de intensidad.

2.3.3.- EFECTO DE FUENTES EXTERNAS

Está claro que si el parámetro que nosotros medimos para nuestros cálculos, tiene carácter vectorial, podremos identificar de alguna manera, el sentido de dicho vector. De esta forma, al medir el nivel de intensidad de sonido en lugar del nivel de presión, podemos suplir el efecto de fuentes de ruido distintas de la fuente bajo estudio, siempre que estas estén fuera del volumen determinado por la superficie de medida.

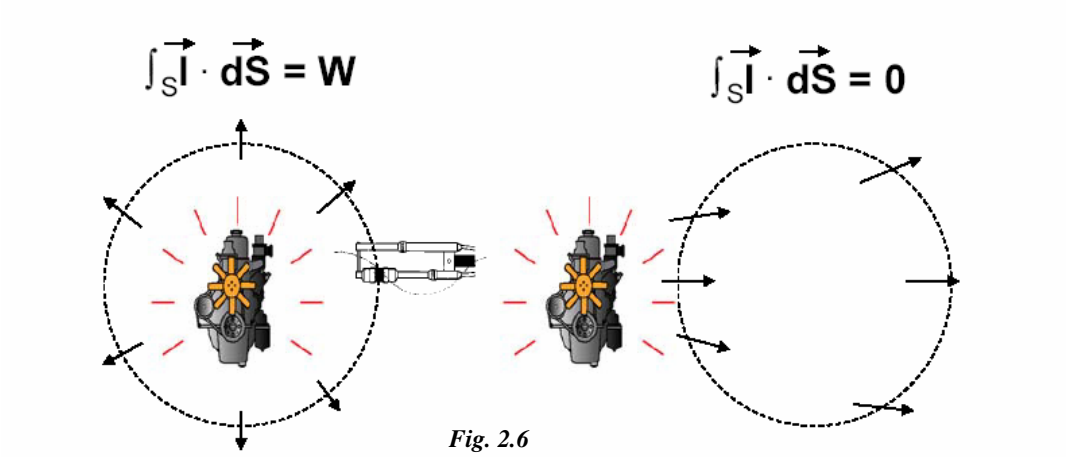

Fig. 2.6

Como se ve en el dibujo (fig. 2.6), cuando una fuente de ruido se encuentra situada fuera de la esfera representada con línea discontinua, su contribución al nivel de potencia de la fuente que pudiese estar dentro de la esfera será negativa en la superficie por donde entra, y positiva en la superficie a través de la que sale. Esto quiere decir que si nosotros medimos en toda la superficie estaremos midiendo la contribución positiva y la negativa que, salvo que existan elementos absorbentes dentro de la esfera, tendrá igual valor y, por tanto, se anularán.

Esto último indica que se necesita definir una superficie sobre la cual se llevarán a cabo las medidas, que debe tener una forma y dimensiones perfectamente definidos y que dichas medidas se deben llevar a cabo sobre toda la superficie, para que lo explicado arriba sea realmente cierto.

A continuación se muestra una foto de nuestro montaje (fig. 2.7), donde se puede comprobar como se ajusta perfectamente a lo citado en los párrafos anteriores.

Fig. 2.7

2.3.4.- LIMITACIONES: DIRECTIVIDAD DE LA SONDA, ALTAS FRECUENCIAS Y BAJAS FRECUENCIAS.

1) La directividad es la mayor o menor sensibilidad (Sensibilidad: Relación entre el nivel eléctrico de salida del micrófono y la presión sonora incidente) de un micrófono, en función de la dirección en que esté orientado este respecto de la dirección de propagación del sonido; es decir, que el nivel de presión que un micrófono capta, depende también de la orientación que este tenga respecto de la fuente emisora del sonido.

El patrón polar de un micrófono nos muestra la distribución de esta propiedad en el espacio, por lo que nos da una idea de cómo responde un micrófono respecto al sonido incidente en función de su orientación. Existen distintos tipos de patrones para distintos tipos de micrófonos. Nosotros vamos a utilizar micrófonos cardioides que tienen una mayor sensibilidad hacia delante; pero como utilizamos dos, nos aparece un patrón polar en forma de ocho, como se ve en la figura 2.8.

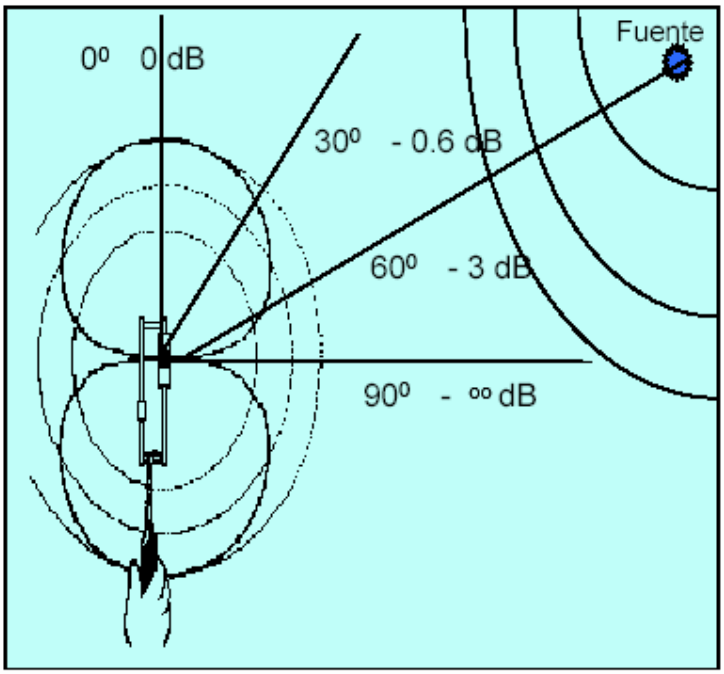

Fig. 2.8

Esta característica es fundamental puesto que una de las mayores ventajas de este instrumento es la capacidad de determinar la procedencia del sonido. Por otra parte es obvio que debe influir la dirección, puesto que estamos midiendo una propiedad que tiene carácter vectorial.

¿De qué manera influye la directividad a la hora de otorgar carácter vectorial a nuestras medidas? Puesto que los elementos importantes de la sonda son dos micrófonos, que como ya se ha comentado no miden igual en todas las direcciones, dependiendo de la orientación con la que coloquemos la sonda, medirá un valor mayor o menor de intensidad. ¿Quiere esto decir que al mover la sonda la intensidad en ese punto es menor? No, lo que quiere decir es que en ese punto, y en la dirección que nosotros estamos apuntando con el eje de la sonda, la intensidad es menor. La intensidad será máxima cuando apuntamos en dirección a la fuente que emite el sonido. De esta manera, nosotros realizamos nuestra medida barriendo toda la superficie de medida con la sonda y los puntos donde más directamente estemos apuntando a la fuente, serán los que aparezcan con una intensidad mayor.

Todo eso se puede comprobar fácilmente viendo por ejemplo los mapas de ruido que genera el programa dBFA, como el mostrado en la fig. 2.9:

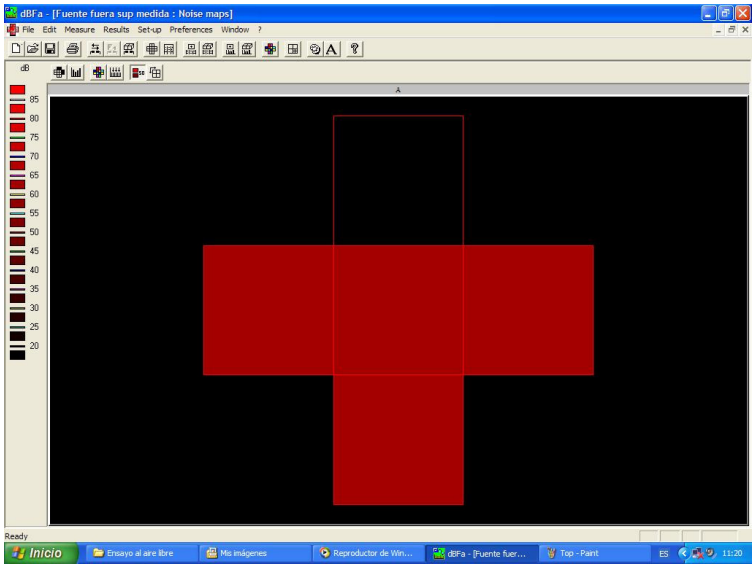

Fig. 2.9

Este mapa corresponde al ensayo en el que se sacó la fuente fuera de la superficie de medida. Como se puede observar, la cara frente a la que se colocó la fuente está completamente negra indicando que la intensidad es totalmente negativa, es decir, que estamos apuntando justo en sentido contrario a la fuente.

2) Otra limitación de las medidas de intensidad está en las frecuencias altas. Nos encontramos aquí que la limitación puede venir de que la aproximación que hacemos entre el cociente incremental, y la derivada de presión respecto a distancia no se cumpla bien a elevadas frecuencias dando lugar a errores. En ese caso los errores dependen del espaciador usado (mayores cuanto mayor sea el espaciado) y de la frecuencia (mayores cuanto mayores sean las frecuencias). Normalmente el fabricante incluye junto con la sonda una tabla en la que se detalla el error que se comete, para cada frecuencia, según el espaciamiento entre los micrófonos. A continuación se incluye un ejemplo de una gráfica que expresa lo comentado aquí:

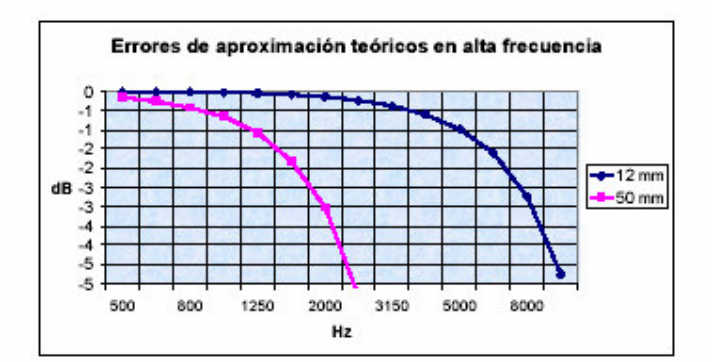

Fig. 2.10

La limitación a altas frecuencias puede venir también provocada por la resonancia que se produce alrededor del espaciador de 12 mm, y los micrófonos de media pulgada. Esta resonancia provoca una caída de la sensibilidad para la presión e intensidad a lo largo del eje de la sonda.

Existen equipos con capacidad para contrarrestar este problema, por lo que realmente, en la práctica, se pueden realizar medidas con resultados adecuados hasta un límite de 10 kHz con el espaciador de 12 mm.

3) Por último vamos a comentar algo acerca de las limitaciones a bajas frecuencias. En este caso el error viene provocado por el cambio de fase en el espaciador, de manera que si ese cambio de la onda es muy pequeño, del orden del error de fase del equipo, se producirá un error en la estimación del valor de la intensidad.

Este error de fase del equipo está limitado, por lo que únicamente será necesario en algunos casos usar un espaciador mayor para salvar el error comentado.