

EL

SONOMETRO.

MEDIDAS

CON EL

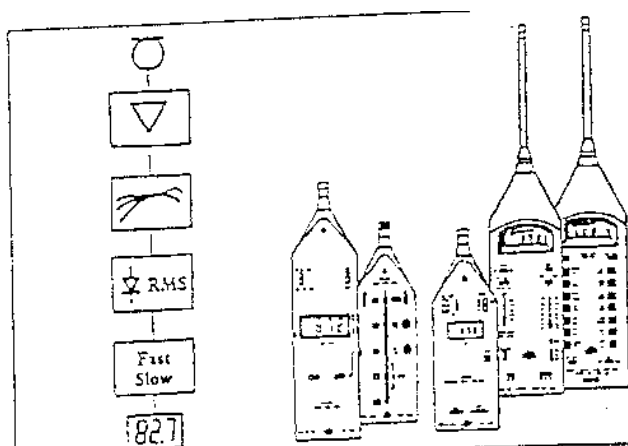
MODELO 2231

EL SONÓMETRO

El sonómetro es un instrumento de medida destinado a las medidas objetivas y repetitivas del nivel de presión sonora. Por su precisión, los sonómetros se clasifican en sonómetros patrones (tipo 0), de precisión (tipo 1), de uso general (tipo 2) y de inspección (tipo 3).

El diagrama de bloques de todo sonómetro contiene, al menos, los siguientes:

- 1.- **Micrófono.** Convierte las variaciones de presión sonora en variaciones equivalentes de señal eléctrica.
- 2.- **Preamplificador.** Transforma la alta impedancia del micrófono en baja.
- 3.- **Redes de ponderación en frecuencia.** Hacen que la respuesta en frecuencia del sonómetro sea semejante a la del oído humano
- 4.- **Detector integrador.** Convierte la señal alterna en continua.
- 5.- **Ponderación temporal.** Ajusta la constante de tiempo que se utilizará en las medidas, y con ello determina la velocidad de respuesta del sonómetro frente a las variaciones de presión sonora.
- 6.- **Indicador analógico o digital.** Visualiza el resultado de las medidas.



1.- **MICRÓFONO.** El mejor transductor acústico tanto para medidas de laboratorio como para las medidas en campo con condiciones a veces muy severas es el micrófono de condensador, que, entre otras, tiene las siguientes ventajas:

- Gran estabilidad ambiental.

- Amplio rango de respuesta en frecuencia plana.
- Baja distorsión.
- Muy bajo nivel de ruido interno.
- Gran rango dinámico.
- Alta sensibilidad.

Un micrófono de este tipo consiste en un diafragma metálico de muy poca masa, montado paralelo y muy próximo a una placa rígida. Esta disposición forma un condensador de aire cuya capacidad varía cuando el diafragma se desplaza al incidir en él una onda sonora. Cuando el condensador está polarizado con una tensión continua, las variaciones de capacidad originan variaciones de carga, lo cual se traduce en variaciones de tensión eléctrica, que son una fiel replica de las variaciones de presión que afectan al diafragma.

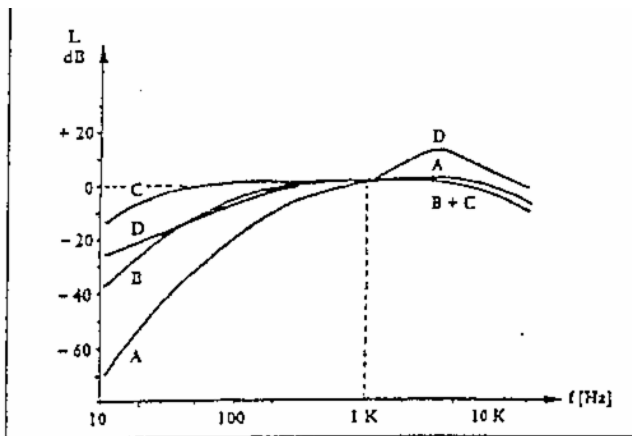
Los micrófonos de medida se diseñan en diferentes tamaños y para diferentes aplicaciones. Las características más importantes de todo micrófono son: sensibilidad, respuesta en frecuencia y directividad.

2.- PREAMPLIFICADOR. – Va colocado inmediatamente detrás del micrófono para reducir la alta impedancia del micrófono y así poder utilizar cables alargadores para conectarlo al resto de la cadena de medida con una impedancia de entrada relativamente baja. El preamplificador debe tener un ruido eléctrico muy bajo y una dinámica y rango de frecuencia mayor que las del micrófono que se le conecte.

Antes de iniciar las medidas es importante calibrar conjuntamente el micrófono y el instrumento de medida para comprobar el funcionamiento de todo el sistema y asegurar la precisión de las medidas.

3.- REDES DE PONDERACIÓN EN FRECUENCIA. La señal entregada por el micrófono y acondicionada por el preamplificador pasa por una serie de circuitos amplificadores para acomodar el rango de lectura con los niveles a medir, y posteriormente pasa a la red de ponderación. Estas redes de ponderación se introducen para que el sonómetro tenga una respuesta en frecuencia similar a la del oído humano. Las curvas de ponderación dan cuenta de la distinta sensibilidad del oído humano para cada frecuencia, y se corresponden con las curvas de igual nivel de sonoridad o curvas **isofónicas**.

Las curvas internacionalmente aceptadas se denominan **A, B y C**, y se corresponden con las isofónicas de 40, 70 y 100 fonios (a veces se utiliza también la curva **D**). Se expresan en **dB(A)**, **dB(B)** y **dB(C)** las medidas realizadas con estos filtros.



La curva **A** debería utilizarse para niveles bajos, la **B** para medios y la **C** para altos. Sin embargo, en la práctica la única que se emplea es la A que presenta buena correlación entre los valores medidos y la molestia o peligrosidad del sonido. La ponderación **D** está normalizada para la medida de ruido de aviones y enfatiza las señales entre 1 y 10 KHz.

4.- DETECTOR INTEGRADOR. La señal eléctrica después de pasar la red de ponderación, ó sin ponderar, es una señal alterna, variable con el tiempo que no es susceptible de ser medida, por lo cual hay que convertirla en una señal continua proporcional a uno de estos parámetros:

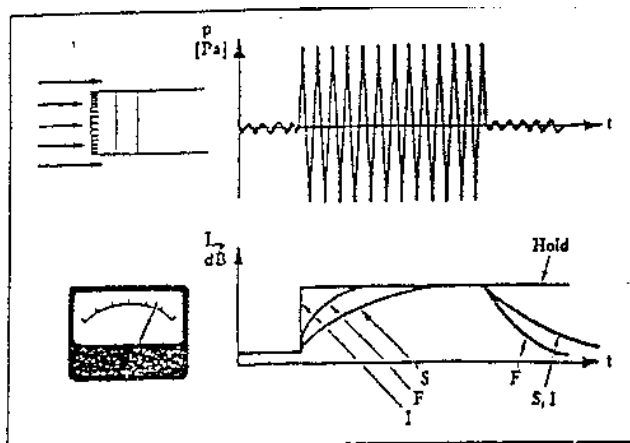
Nivel de pico: es la máxima amplitud instantánea de la señal. Se utiliza para valores de muy corta duración, como impactos, impulsos, etc.

Nivel eficaz: también llamado valor **RMS** (Root Mean Square) es la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de la variable que se trate. Este valor es una medida de la energía transportada por la señal.

Cuando se habla de niveles de presión sonora, siempre se refiere a valores eficaces definidos cómo:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

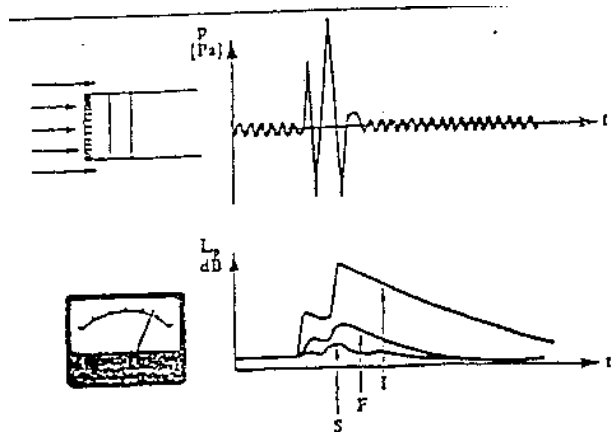
5.- PONDERACIÓN TEMPORAL. Para el cálculo de los valores eficaces, en acústica se han normalizado tres tiempos de integración, constantes de tiempo o ponderaciones temporales (de las tres formas que se las conocen). Estas tres ponderaciones temporales son las siguientes: **Fast** (rápido), **Slow** (lento) e **Impulse** (impulso). Sus nombres indican la velocidad con que el sonómetro sigue las fluctuaciones del ruido y se corresponden con unos tiempos de integración de 250 ms (fast), 2 s (slow) y 35 ms (impulse).



La figura muestra la respuesta del sonómetro frente a la señal de larga duración.

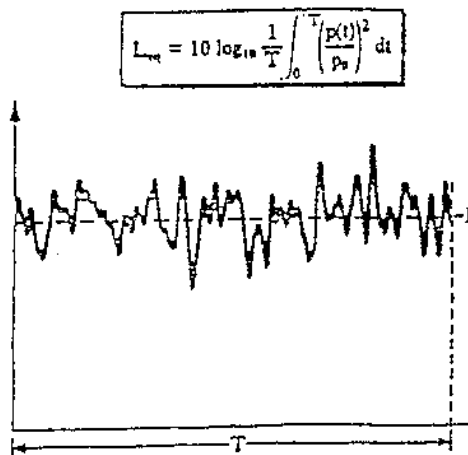
Si hubiéramos empleado un detector de pico, la lectura habría sido 3 dB superior, ya que la relación entre el valor de pico el eficaz para una sinusoides es , y por lo tanto:

$$20 \log 2 = 3 \text{ dB}$$



Si la señal a medir consta de impulsos aislados, o tiene un alto contenido de ruido de impacto, el nivel medido difiere mucho al usar unas constantes u otras, ya que la energía del impulso ha de repartirse en el tiempo de integración.

Otro parámetro muy importante que se utiliza como indicador de nivel de presión sonora, es el nivel continuo equivalente o **Leq**. Esta medida representa el nivel que manteniéndose constante durante el tiempo que dura la medida tiene el mismo contenido energético que el nivel variable observado. También puede interpretarse como un cálculo del valor eficaz cuyo tiempo de integración se extiende al tiempo de la medida.



6.- INDICADOR ANALÓGICO O DIGITAL. Antiguamente los siguientes indicadores eran solamente analógicos, pero hoy en día se combinan indicadores analógicos y digitales. Hay que tener en cuenta la precisión del sistema indicador, que normalmente en digitales es 0.1 dB, mientras que los cuasi-analógicos sólo sirven para dar una idea de los niveles de entrada mientras se visualiza otro parámetro, como **Leq**, **LMAX**, **LMI**, etc.

Los indicadores digitales que siguen las normas **IEC** se actualizan cada segundo y presentan el nivel máximo alcanzado en el segundo anterior. Este nivel se representa como **SPL** (Sound Pressure Level), mientras que la denominación **INST** (instantáneo) se reserva a aquellos indicadores del nivel presente en el instante de la actualización de la pantalla.

OTRAS CARACTERÍSTICAS. Los sonómetros permiten hacer medidas en un rango determinado de frecuencias, generalmente de octavas y a veces también en tercios de octavas. Para ello en algunos modelos, como en el 2231 de Brüel & Kjær (el de esta práctica) hay que incorporar un modelo de filtros. El paso de una banda a la contigua se hace normalmente.

El margen de medida de un sonómetro está limitado interiormente por el ruido eléctrico o térmico del micrófono y circuitería. En cuanto al límite superior de la medida normalmente se expresa en valores de pico, que son los que saturan la medida. Se completa la información con el factor de cresta del detector (el factor de cresta de una señal es el cociente entre el valor de pico y el nivel eficaz; para una senoide su valor es $\sqrt{2}$).

La dinámica del equipo se define como la diferencia entre la señal mas baja y más alta que pueden medirse sin cambiar el rango. La dinámica real suele ser mayor que la que figura, debido a que el fondo de escala es eficaz y no de pico.

Generalmente los sonómetros incorporan indicadores de saturación. Cuando se activa el indicador de saturación, esta mostrando que algún circuito electrónico está recibiendo una señal superior a la admisible, aunque el indicador no lo acuse por estar midiendo valores eficaces. Un circuito saturado introduce error en la medida, pues por un lado se está recortando la amplitud de la señal, y por otro lado está generando armónicos. Cuando ocurra esto, hay que pasar al rango de escala inmediatamente superior del sonómetro.

MEDIDAS CON EL SONÓMETRO (Modelo 2231)

MODO DE OPERAR

– Poner el sonómetro en funcionamiento (**Power** en posición **On**) y antes de comenzar a medir comprobar lo siguiente:

Ext. Filter – está en posición **Out Pol.** **Voltaje** – está en posición **0 V**.

Load/Run – está en posición **Run Fr./Rdm.** – está en posición **Fr.**

No debe aparecer Bat en la parte izquierda de la pantalla, pues esto indicaría que las pilas están bajas (Bat intermitente), o se han descargado (Bat fijo).

– Realizar medidas de cada uno de los parámetros utilizando las distintas ponderaciones en frecuencias y temporales.

– Cambiar los rangos de escala (tecla **FSD** y **Selector** % ó %) hasta que aparezcan los indicadores de medida por debajo del rango y medida por encima del rango.

– Introducir un tiempo de medida igual a 1 minuto y 10 segundos (en nuestro caso 20 segundos para la fuente de ruido) comprobando que transcurrido este tiempo la medida se interrumpe. Comenzar otra medida con **Reset All** e interrumpirla antes de terminar con **Pause**. Para continuar presionar de nuevo **Pause**.

– A continuación se pone el sonómetro en **Off** y se incorpora el módulo de filtros. Poner la tecla **Ext. Filter** en la posición **In** y el sonómetro en **On**.

– Poner en funcionamiento la fuente sonora, utilizando ruido rosa y todo el rango de frecuencias. Seleccionar en el filtro el ancho de banda y el tamaño de paso en **1/1 Oct**, y **Fast** en la velocidad de registro. Configurar el sonómetro para medir el **Leq** con ponderación **A**, constante de tiempo **Fast** y el rango de escala adecuado.

– Comenzar la medida con **Reset All** y anotar los resultados obtenidos en cada banda de octava y el nivel total (**LIN** en el módulo de filtros). Para pasar de una banda a otra utilizar **Up** ó **Down**. Repetir las medidas cambiando únicamente la ponderación **A** a la **Lineal (L# -)** y anotar los resultados.

– Recoger en una tabla los resultados para cada banda de octava y totales, correspondientes a **pond. A**, **pond. Lin** y su cociente (**pond. A/pond. Lin**).

-- Para 1 octava:

Ponderación A			Ponderación Lin			Pond. A / Pond. Lin
Rango de escala, FSD (dB)	Rango de frecuencias (Hz)	Leq (dB)	Rango de escala, FSD (dB)	Rango de frecuencias (Hz)	Leq (dB)	Leq (Adimensional)
80.5	31.5	34.6	100.5	31.5	58.8	0.588
90.5	63	49.2	100.5	63	69.9	0.704
100.5	125	70.0	100.5	125	82.4	0.850
100.5	250	77.9	100.5	250	86.4	0.902
100.5	500	86.5	100.5	500	85.1	1.016
100.5	1000	83.0	100.5	1000	79.6	1.043
100.5	2000	78.4	100.5	2000	78.2	1.003
100.5	4000	76.9	100.5	4000	73.4	1.048
100.5	8000	74.6	100.5	8000	69.0	1.081
100.5	16000	60.5	100.5	16000	51.5	1.180
110.5	LIN	89.9	100.5	LIN	93.4	/

Sólo hemos hecho la banda de 1 octava debido a la falta de tiempo para medir la banda de un 1/3 de octava.

– Obtener la curva de **pond. A** representando el cociente entre los valores ponderados y sin ponderar en función de la frecuencia.

Hoja adjunta.

– Comprobar que el nivel total (L) coincide con la suma logarítmica de los niveles en cada banda de octava (Li).

$$L = 10 \log \{ \text{antilog} (L1/10) + \text{antilog} (L2/10) + \dots + \text{antilog} (Ln/10) \}$$

Para **ponderación Lin**: $93.4 = 10 \log \{ \text{antilog} (5.88) + \dots + \text{antilog} (5.15) \} = 90.5$

La aproximación es bastante buena, por lo que si se cumple.

Para **ponderación A**: $89.9 = 10 \log \{ \text{antilog} (3.46) + \dots + \text{antilog} (6.05) \} = 89.4$

La aproximación es todavía mejor que para la ponderación **Lin**. Es prácticamente igual.

– Por último medir el nivel de ruido en distintas dependencias de la Escuela (sala de estudios, aula vacía, cafetería, laboratorio de hidráulica, exterior del edificio, etc.), comentando los resultados.

-- Para ponderación temporal **FAST**, ponderación en frecuencia **All Pass**, con un rango de escala **variante** para cada caso y **1 minuto y 10 segundos** en el tiempo de medida, los resultados obtenidos son los siguientes:

Parámetros	Aula (FSD =	Pasillo (FSD =	Cafetería (FSD	Calle (FSD =	S. Estudio (FSD
------------	-------------	----------------	----------------	--------------	-----------------

	120.5 dB)	110.5 dB)	= 110.5 dB)	110.5 dB)	= 100.5 dB)
MaxP (dB)	113.9	98.2	104.1	95.1	93.0
Inst (dB)	71.8	82.1	79.7	75.1	66.9
Peak (dB)	95.6	90.5	93.0	101.9	82.2
SPL (dB)	87.7	84.9	80.4	85.2	74.0
Leq (dB)	72.1	79.4	83.2	79.7	76.2
SEL (dB)	90.5	97.7	101.6	98.0	94.6
UNR (%)	8.95	0	0	0	0
OVR (%)	0	0	0	0	0
OVL (%)	0	0	0	0	0
MINL (dB)	U_ _ _	63.4	75.5	68.5	59.6
MAXL (dB)	94.1	89.2	96.1	88.4	90.2

A la vista de los resultados obtenidos, donde mayores niveles de ruido se dan es en la cafetería salvo en los parámetros de INST que es más alto en el pasillo, el parámetro PEAK que fue más alto en la calle y en el aula, y también en el parámetro SPL donde es el segundo más bajo tras la sala de estudios. Todos estos parámetro están relacionados al nivel RMS.

Por el contrario la sala de estudios es donde niveles mas bajos hemos encontrado de ruidos.

En cuanto a los niveles referidos al rango de escala, lo elegimos en prácticamente todos los lugares de forma acertada salvo en el aula, donde no fue capaz de medir el mínimo nivel de RMS (MINL), ya que estuvo un 8.95% del tiempo de medida por debajo del rango escogido. Y tampoco llego la medida a estar en ningún momento saturada.