



Cátedra

Fundamentos de Acústica y Electroacústica

Electiva de 6to Nivel

Docente:

Ing. Sebastián P. Ferreyra (Prof. Adjunto)

Departamento Ingeniería Electrónica
UTN.FRC
2018



Unidad X

Métodos y técnicas de medición en acústica

Contenidos de la presentación

- I.1 Metrología
- I.2 Metrología acústica
- I.3 Instrumentos de medición
- I.4 Actividad práctica
- I.5 Resumen
- I.6 Referencias

Metrología

La **metrología** es la ciencia que estudia las mediciones de las magnitudes, considerando métodos y medios usados en todas las actividades de la vida garantizando su *normalización* mediante la *trazabilidad*.

Los **ámbitos** de aplicación son el **científico, industrial y legal**. Actualmente la metrología posee diferentes áreas, tales como:

- **Metrología física** (acústica, óptica, eléctrica, mecánica)
- **Metrología química** (ambiental, salud pública, seguridad alimentaria, procesos)
- **Metrología legal** (reglamentos técnicos y legales referente a unidades de medida, métodos y procedimientos de medición, instrumentos de medición y unidades materializadas)

La terminología utilizada en esta ciencia está especificada en el *International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms* (VIM), publicado por el Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM).

El JCGM, conformado por el BIPM y siete organizaciones (IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, ILAC), publicó la *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM)

Metrología acústica

La **metrología** es la parte fundamental de la **Infraestructura Nacional de la Calidad** de un país industrializado, compuesta además por las actividades de normalización, ensayos, certificación y acreditación, que a su vez son dependientes de las actividades metrológicas que aseguran la exactitud de las mediciones que se efectúan en los ensayos, cuyos resultados son la evidencia para las certificaciones.

La **metrología** permite asegurar la *comparabilidad internacional de las mediciones* y por lo tanto *la intercambiabilidad de los productos* a escala internacional

La **metrología acústica** es el área de la *metrología física* que tiene por objeto de estudio las mediciones acústicas. Las magnitudes acústicas a medir son variadas y se aplican en la actualidad diversos métodos y sistemas de medición.

La **trazabilidad** es la propiedad del resultado de las mediciones efectuadas por un instrumento o por un patrón, tal que pueda relacionarse con patrones nacionales ó internacionales y a través de éstos a las unidades fundamentales del sistema internacional de unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, con todas las incertidumbres de medición determinadas.

Instrumentos de medición

Existe una gran variedad de instrumentos que se utilizan en mediciones acústicas, algunos de ellos son:

- *Micrófonos, Acelerómetros, Hidrófonos*
- *Medidor de nivel de presión sonora, Medidor de intensidad sonora*
- *Analizador de frecuencia, Analizador de Fourier*
- *Referencias acústicas (pistófonos, calibradores acústicos)*
- *Fuentes de potencia sonora de referencia, Proyector acústico*
- *Oído artificial, Mastoide artificial*
- *Simulador de cabeza y torso humano*
- *Medidores de distorsión, Frecuencímetros, Generadores de señales*
- *Amplificadores de medición, Amplificadores de potencia*
- *Dosímetros*
- *Auriculares normalizados*
- *Tubos de resonancia*
- *Virbometro, Fuente de vibraciones (shaker)*
- *Infraestructura acústica (cámara anecoica, reverberante, de transmisión, etc.)*
- *Otros*

Micrófono de medición

Un micrófono de medición es un **transductor acústico-mecánico-eléctrico** (TAME) que se caracteriza principalmente por poseer: respuesta en frecuencia plana, muy bajo nivel de ruido, muy baja distorsión armónica total, estabilidad térmica y alta sensibilidad.

Generalmente son de tipo **electroestático** tanto a **condensador** como **electrect**. Para el caso de micrófono tipo condensador, estos requieren una polarización externa de tensión continua (típicamente del orden de 200 V)



Micrófono B&K 4155



4137*



4954



4939



4176



4188



4189

Medidor de nivel de presión sonora

Dispositivo electrónico (analógico o digital) que permite medir en forma directa el nivel de presión sonora que produce una fuente acústica en una posición específica del espacio.

Actualmente, existen tres tipos:

- a) medidores de nivel de presión sonora
- b) medidor de nivel de presión sonora integrador
- c) medidor de nivel de presión sonora sonoro integrador + analizador de frecuencia

Generalmente estos dispositivos poseen un canal de entrada por donde se conecta el micrófono de medición

Básicamente permite realizar mediciones de: L_p , L_p ponderados (A, C, Z, B y D), percentiles estadísticos, L_{eq} , SEL, L_{max} , L_{min} entre otros descriptores de ruido. Los tiempos de integración normalizados son Slow, Fast, Impulse, Peak

Medidor de nivel de presión sonora



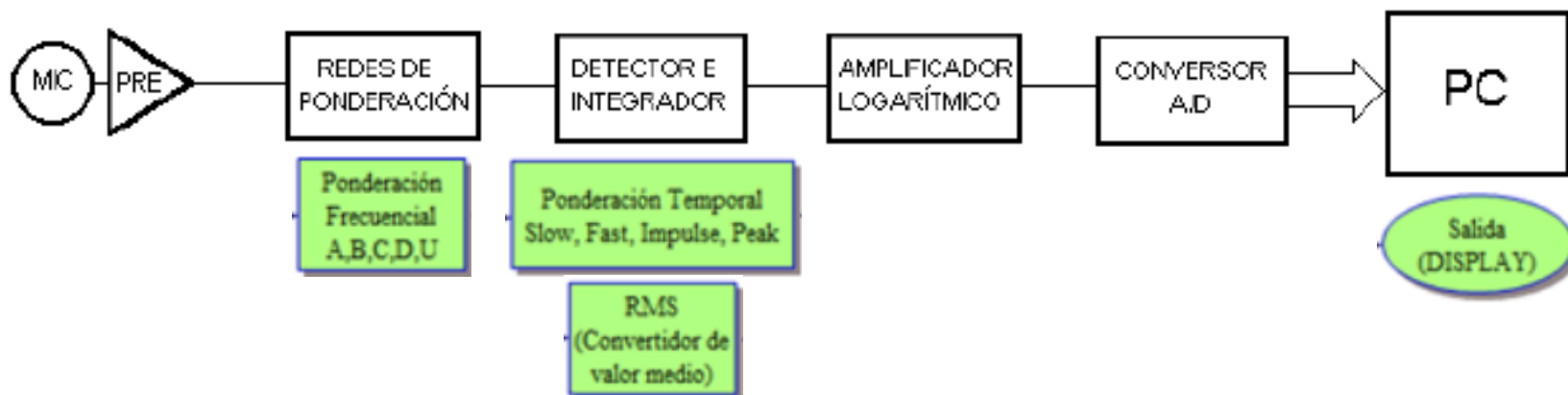
**Medidor de nivel sonoro
B&K 2250**



**Medidor de nivel sonoro
B&K 2238**

Medidor de nivel de presión sonora

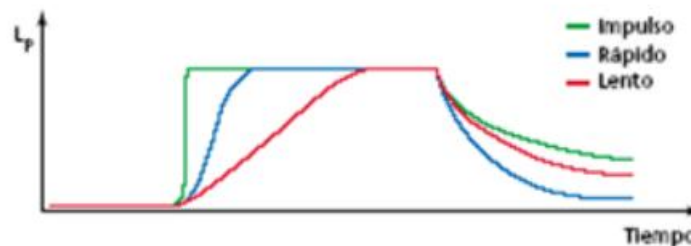
Diagrama de bloques



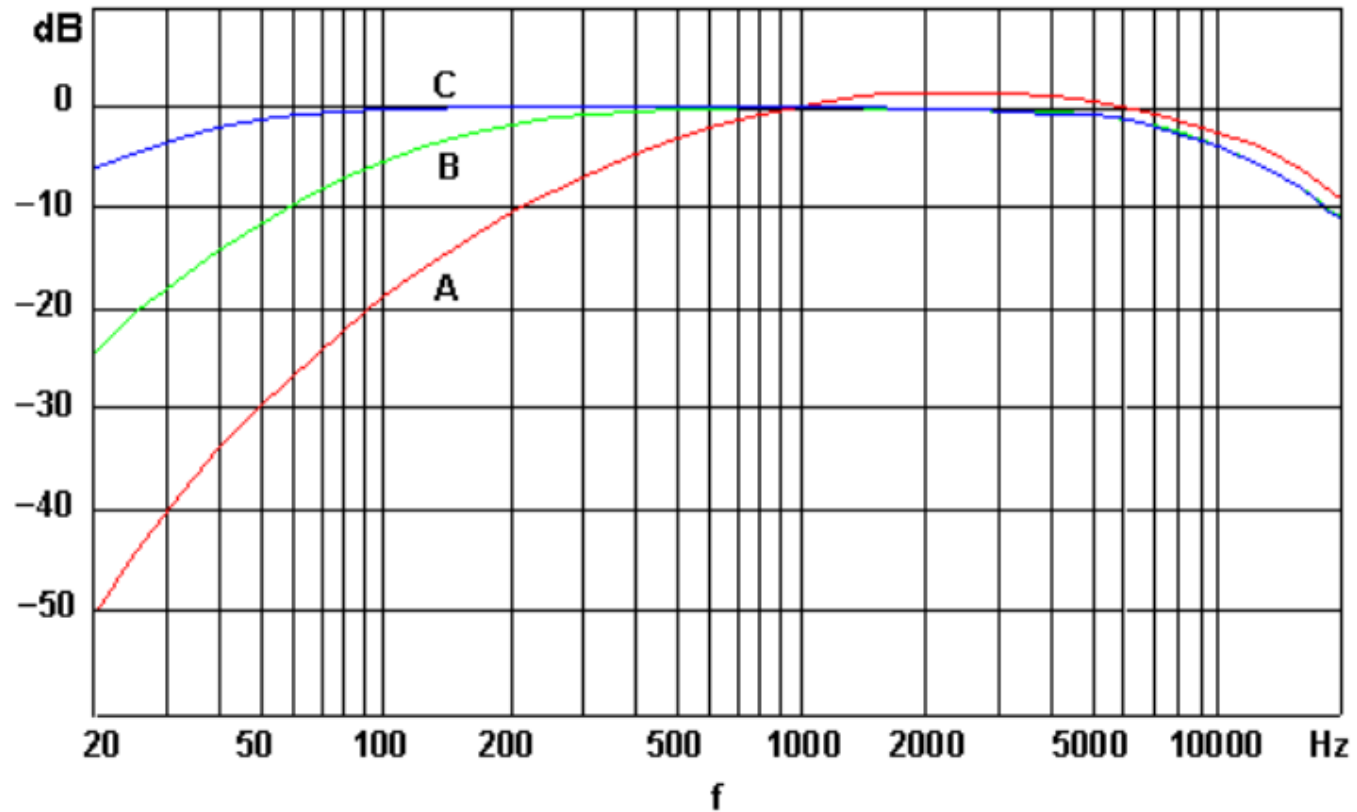
Ponderación Temporal

Diagrama de bloques

Ponderación Temporal	Descripción
Slow(S) Respuesta lenta.	Se utiliza para medir ruidos que no fluctúan rápidamente. La constante de tiempo es de 1 s. El instrumento responde lentamente ante los eventos sonoros.
Fast (F) Respuesta rápida.	La constante de tiempo para este tipo de respuesta es de 125 ms. Se utiliza para las medidas de ruido fluctuante. Brinda una respuesta al estímulo sonoro más rápida y por tanto, puede reflejar fluctuaciones poco sensibles a la ponderación anterior.
I Respuesta Impulsiva.	Se utiliza únicamente para medir ruidos impulsivos, con una constante de tiempo de 35 ms. Así, la escala de impulso tiene una constante de tiempo de subida muy rápida y una constante de tiempo de decaimiento muy lenta (1.5 s). Su finalidad es la de presentar un valor que represente cómo considera de alto el oído humano un sonido de corta duración, es decir, qué tan molesto es, en lugar de qué riesgo de daño auditivo presenta.
Peak	Permite cuantificar niveles picos de presión sonora muy intensos y de corta duración, la constante de tiempo es de 50 microsegundos. Posibilita la determinación de riesgo de daño auditivo ante los impulsos.

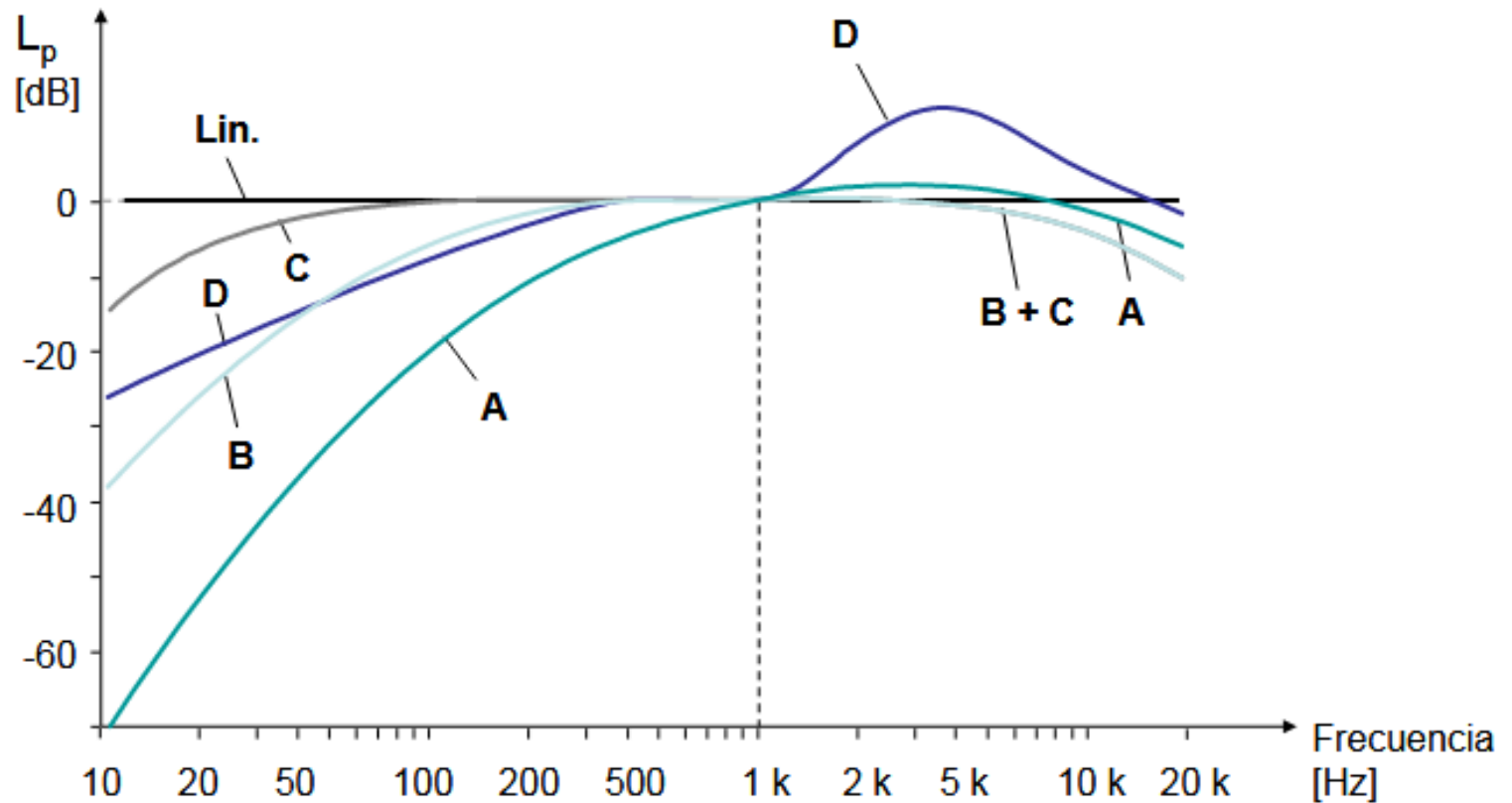


Redes de ponderación espectral



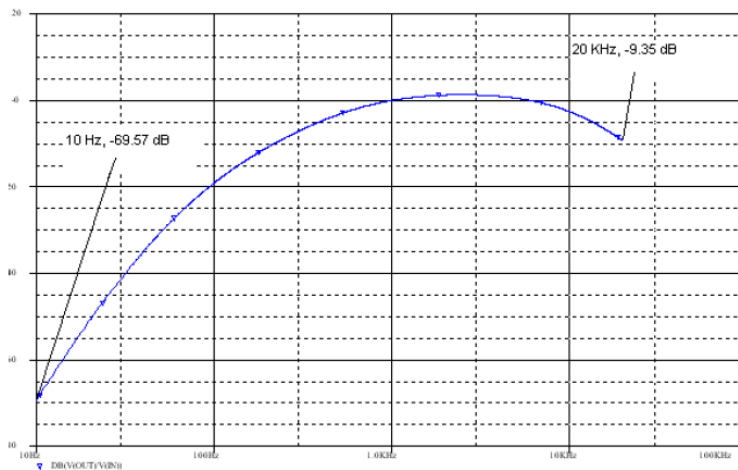
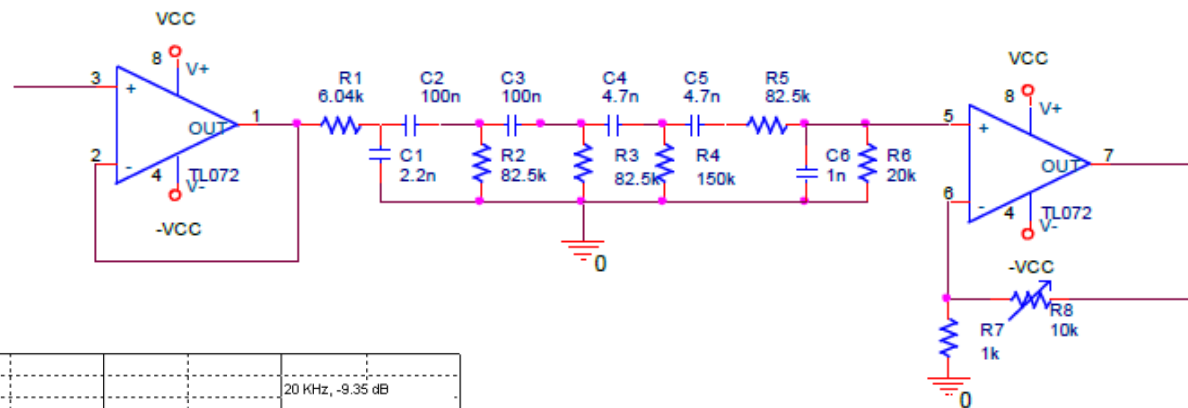
Curvas de ponderación A, B y C

Redes de ponderación espectral



Redes de ponderación espectral “A”

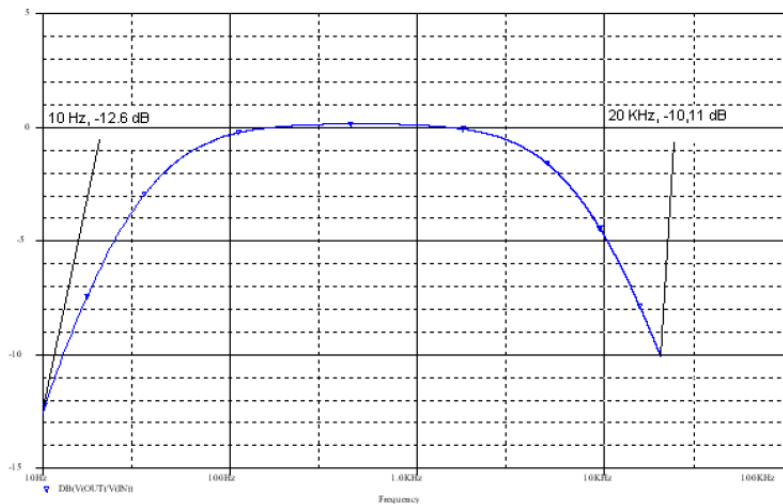
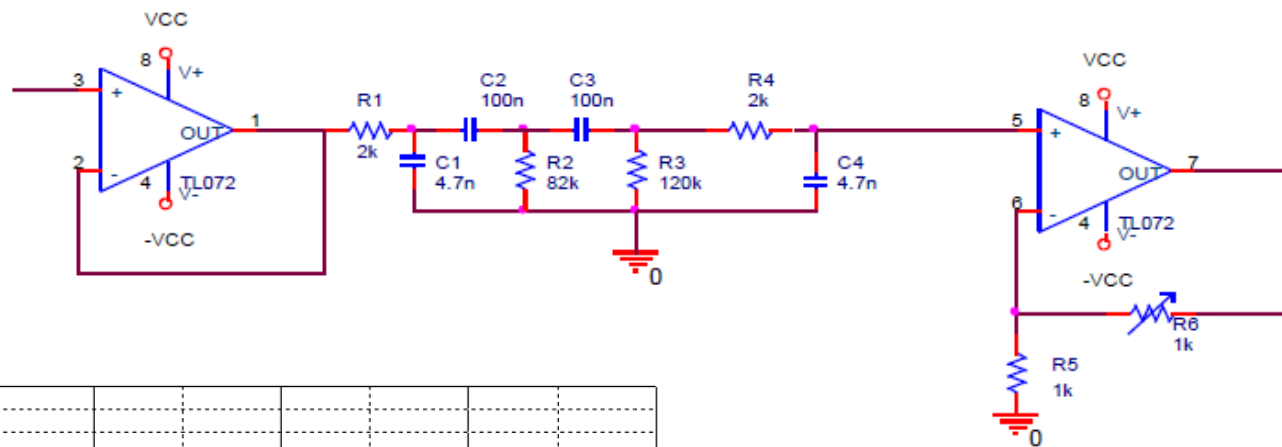
$$H_A(s) = \frac{4\pi^2 \cdot 12200^2 \cdot s^4}{(s + 2\pi \cdot 20,6)^2 \cdot (s + 2\pi \cdot 12200)^2 \cdot (s + 2\pi \cdot 107,7) \cdot (s + 2\pi \cdot 738)}$$



Simulación PSpice

Redes de ponderación espectral “C”

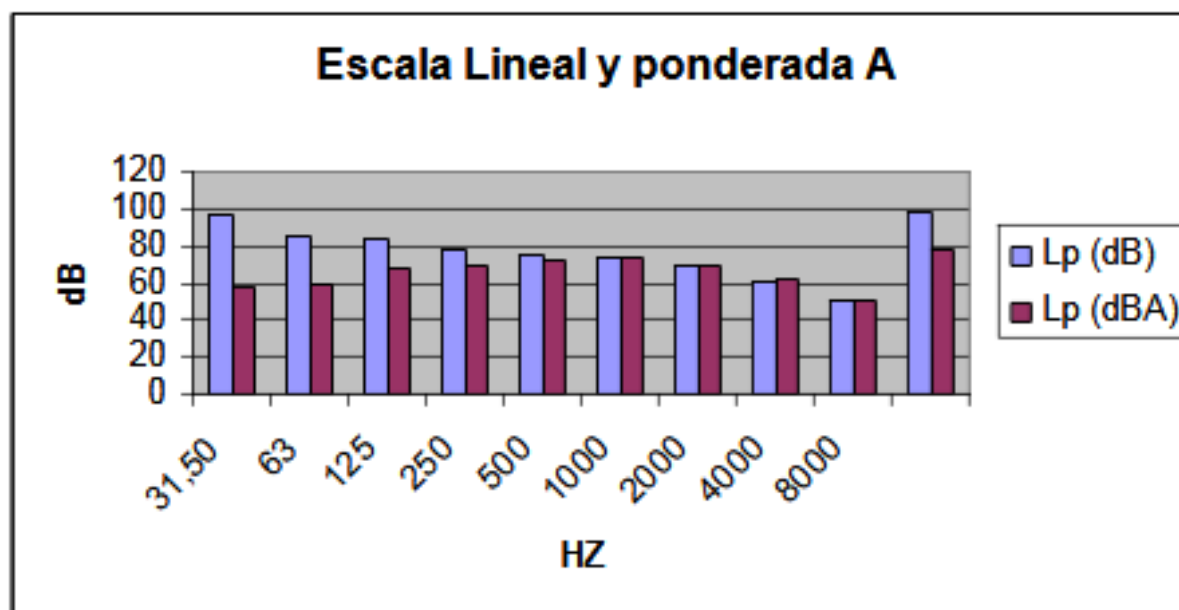
$$H_C(s) = \frac{4\pi^2 \cdot 12200^2 \cdot s^4}{(s + 2\pi \cdot 20,6)^2 \cdot (s + 2\pi \cdot 12200)^2}$$



Simulación Pspice

Ejemplo de aplicación del filtro A

Banda frecuencia	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Valor global
Lp (dB)	96,46	85,53	84,29	78,76	75,7	73,71	68,88	61,17	51,2	97,86
Corrección dB	-39	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1	
Lp (dBA)	57,46	59,53	68,29	69,76	72,7	73,71	69,88	62,17	50,2	78,55



Ponderaciones A, B, C y D

La **escala “A”** está pensada como atenuación al oído cuando soporta niveles de presión sonora bajos (<55dB) a las distintas frecuencias. Equivale a *inversa de la curva de 40 fonios*

La **escala “B”** representa la atenuación para niveles intermedios (55-85 dB). Equivale a *inversa de la curva de 55 fonios*

La **escala “C”** representa la atenuación para niveles altos (>85 dB). Equivale a *inversa de la curva de 85 fonios*

La **escala “D”** está pensada para muy altos niveles de presión sonora, se utiliza en mediciones de ruido producido por aviones principalmente.

Medidor de nivel de presión sonora



Medidor de nivel de presión sonora



Medidor de nivel de presión sonora

Utilizar **protector de viento** para eliminar ruidos producidos por turbulencias del aire.

Siempre que sea posible instalar el MNS (SLM) en **un trípode con soporte antivibratorio**.

Proteger el dispositivo de temperaturas extremas, humedad relativa excesiva, polvos, ambiente hiperbaricos extremos.

En caso de realizar **mediciones manuales**, se recomienda extender el brazo y girar el torso, con motivo de minimizar las reflexiones sobre el cuerpo.

Analizador de frecuencia

Dispositivo electrónico que permite representar señales eléctricas en el dominio de la frecuencia.

Actualmente, existen dos tipos:

- Analizador de frecuencia conformado por filtros normalizados (digitales)
- Analizador de Fourier (el cual aplica la FFT)

Generalmente estos dispositivos poseen dos canales lo que permite realizar *comparaciones espectrales, medir intensidad sonora, medir velocidad de las partículas, calcular coherencia y funciones de correlación cruzada* de señales.

Si el dispositivo opera en tiempo real, recibe el nombre de analizador de espectro de tiempo real (Real Time Analyzer, RTA)



Analizador de espectro

B&K 2144

Dosímetro

Un **dosímetro** es un dispositivo electrónico que permite medir en forma directa el **nivel de exposición a ruidos transmitidos por vía área** para una persona cuando este realiza una actividad cualquiera. El instrumento es portable por el usuario. El micrófono es pequeño y se instala próximo al oído.

El instrumento de medición puede ser configurado según los requerimientos que plantee la normativa viento en lo concerniente a **higiene y seguridad en el trabajo**. Pudiendo calcularse el *nivel sonoro continuo equivalente* (Leq), *percentiles estadísticos* (L%), *nivel de exposición sonora* (SEL), etc.



000253/1

Dosímetro B&K

Calibrador acústico

Un **calibrador acústico**, es un dispositivo que entrega un nivel sonoro específico, para una frecuencia única (tono puro), y con una variabilidad especificada tanto de nivel sonoro como de frecuencia

Este dispositivo es utilizado para **calibrar un instrumento de medición** como por ejemplo un *medidor de nivel sonoro* ó un *analizador de espectro*.



**Calibrador B&K
4231**

Fuente sonora de referencia

Una ***fuentes sonora de referencia de potencia***, es un dispositivo electroacústica que posee entrega una potencia acústica calibrada (conocida con su valor de incertidumbre).

Este dispositivo es utilizado para determinar la potencia acústica de otra fuente acústica a través de diferentes métodos normalizados (ISO 3741, AMCA 300) de ensayo por comparación en campos sonoros específicos.



Usos

- Comparison method for determination of sound power of noise sources according to ISO 3741
- Substitution and Juxtaposition methods for determination of sound power of noise sources according to ISO 3747
- Sound absorption measurements
- Sound insulation measurements

Características

- Fulfils ISO 3741, ISO 3747 and ISO 6926 for calibrated sound power sources
- Frequency range from 100Hz to 20 kHz
- Sound power output 91 dB re 1 pW (A-weighted, 50 Hz line frequency) and 95 dB re 1 pW (A-weighted, 60 Hz line frequency)
- Temperature range -10°C to $+50^{\circ}\text{C}$
- 50 and 60 Hz operation
- Long-term stability
- Individual calibration chart supplied
- Compact and rugged
- Fitted with safety grid

Fuente de referencia

B&K 4204

Sonda de intensidad sonora

Una sonda de medición de intensidad sonora es un dispositivo electrónico conformado por un par de micrófonos apareados de medición (micrófonos de presión) y un conjunto de espaciadores de diferentes tamaños.

Este dispositivo permite medir en forma directa la intensidad del sonido (W/m^2) para una dirección determinada y una superficie especificada. También puede determinar el valor del vector de velocidad de las partículas (u). Su funcionamiento requiere el procesamiento de la señal de cada micrófono, por lo cual la sonda se conecta a un analizador de frecuencia doble canal.



Sonda de intensimetria

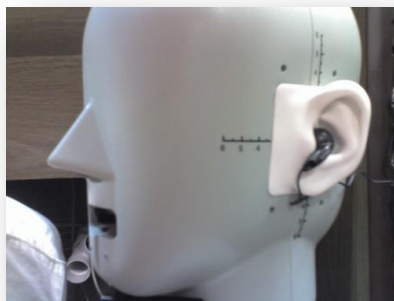
B&K

Simulador de cabeza y torso

Un simulador de cabeza y torso (HATS) es un maniquí con simuladores de oído y boca que proporcionan una reproducción realista de las propiedades acústica de una cabeza y torso de un adulto promedio.

Algunas normas en referencia a este equipo son ITU-T Rec. P.58, IEC 60959, ANSIS3, 36-1985. Normas de orejas normalizadas ITU-T P.57 y IEC 60711

Aplicaciones: mediciones de teléfonos, audífonos, dispositivos para conferencias, micrófonos, protectores auditivos, vehículos, recintos, entre otros.



Head and Torzo Simuator (HATS)

B&K 4128

Acelerómetro

Transductor utilizado para medir la aceleración de las partículas de un material. El más común es el piezoelectrico por compresión. Este se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoelectrico (cuarzo ó circonato de plomo), se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.



**Acelerómetro
de cuarzo**



Acelerómetros B&K

Actividad Práctica

Medir para una fuente acústica (ventilador axial), posición anterior, a 1 m de distancia del centro acústico de la fuente, y ángulo de 45° respecto del eje axial, los siguientes descriptores acústicos:

- L_{pF} , L_{pS} $L_{pmáx}$, $L_{pmín}$
- L_{pAS} , L_{pAS} , L_{pCS} , L_{pCF}
- L_{Aeq} (T: 15'' y 1'), L_{Ceq} (T: 15'' y 1')
- LA_{01} , LA_{10} , LA_{50} , LA_{90} , LA_{99}
- LC_{01} , LC_{10} , LC_{50} , LC_{90} , LC_{99}
- L_{pA} 500oct , L_{pA} 500oct , L_{pA} 2koct L_{pA} 2koct
- L_{pC} 500 1/3oct , L_{pC} 500 1/3oct, L_{pC} 2k1/3oct L_{pC} 2k1/3 oct
- $L_{Abckgnd}$ LC_{bckgnd}

Resumen: por los alumnos

1. ¿ Micrófonos de medición ?
2. ¿ El medidor de nivel sonoro ?
3. ¿ Recomendaciones de uso de medidores de nivel sonoro ?
4. ¿ Analizador de frecuencia ?
5. ¿ Filtros de ponderación ?
6. ¿ Dosímetro ?
7. ¿ Calibradores acústicos ?
8. ¿ Sonda de intensimetría sonora ?

Referencias

JCGM- 2008-*International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms* (VIM), publicado por el Joint Committee for Guides in Metrology

JCGM- 997- *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM), publicado por el Joint Committee for Guides in Metrology.

ANSI, “*Acoustical Terminology*”. Editorial American National Standard Institute. New York. 1994

Brüel & Kjaer, “*Measuring Sound*”. Denmark. 1984

Beranek, L. L., “*Acústica*”. MIT, USA, Edición en castellano Editorial Panamericana. 1961

Miyara F., “*Acústica y Sistemas de Sonido*”. Editorial UNR, Rosario. Argentina, 1999

Davis, Don & Caroline, “*Ingeniería de Sistemas de Sonido*”, editorial Marcombo, 1983

Ortega B., Romero M., “*Electroacústica*”, Pearson Education, Madrid, España 2003

Olson Harry F, “*Acoustical Engineering*”. Van Nostrand Company, 1957.

Harris C. M., “*Noise and Vibration Control Engineering*”, McGraw-Hill, 3st Edition, USA. 1999

Kinsler y Frey., “*Fundamental of Acoustics*”. John Wiley & Sons, Inc. 1962.

ISO-3382:1997. “*Acoustics - Measurements of reverberation time in rooms with reference to other acoustical parameters*”.

IEC-60268:2000. “*Sound System Equipment*”.

IEC-651. “*Sound Level Meters*”.

ISO-31/7:1992, “*Quantities and units of acoustics*”.

ISO-140, “*Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*”

ISO-354:2003, “*Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room*”.

ISO-3740:2000, “*Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Guidelines for the use of basic standards*”.

IRAM 4074:1988, “*Acústica – Medidor de nivel sonoro*”.

IRAM 4081:1977, “*Filtros de banda de octava, de media octava, de tercio de octava, destinados al análisis de sonidos y vibraciones*”.

Cátedra

Fundamentos de Acústica y Electroacústica

Electiva de 6to nivel

Gracias por su atención, futuros ingenieros !

Docente:

Ing. Sebastián P. Ferreyra

Departamento Ingeniería Electrónica
UTN.FRC
2018

