



**FACULTAD DE INGENIERIA UBA  
CATEDRA DE HIGIENE Y  
SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**ING. ELISABETH RIZZO**

**earizzo@yahoo.com.ar**

**RUIDOS – PARTE II**

**Versión 1 - 2020**

# DEFINICIONES

- *Longitud de onda*. El concepto de longitud de onda del sonido tiene el mismo significado que en el caso electromagnético:

$$\lambda = \frac{v_s}{f} \quad \text{m}$$

- Donde  $f$  es la frecuencia en Hz y  $\lambda$  es la distancia en metros entre dos puntos consecutivos de máxima compresión o rarefacción.

# ESPECTRO DE FRECUENCIAS

- Los ruidos se pueden descomponer en una superposición de sonidos puros de frecuencias diferentes. La repartición de la energía sonora en función de cada una de estas frecuencias define el espectro de frecuencias de ruido. El conocimiento del espectro permite establecer si el ruido contiene frecuencias bajas (graves), medias o altas (agudas). Este es un fenómeno importante de la investigación, ya que el oído humano reacciona de manera diferente según las frecuencias, y la propagación del ruido en el aire y a través de los obstáculos depende asimismo del espectro de frecuencias del ruido.

# ESPECTRO DE FRECUENCIAS

- El dominio audible de frecuencias se sitúa aproximadamente en el intervalo 20-20.000 Hz. Para realizar un análisis de frecuencias- análisis espectral- se descompone este intervalo en bandas, y se determina el nivel de presión sonora correspondiente a cada una de las bandas. Se usan bandas de ancho proporcional a la frecuencia central. Para los filtros de octava se tiene:
  - $f_2 = 2 f_1$ ;  $f_n = 2^n f_{n-1}$
  - $f_1, f_2$  son las frecuencias extremas de cada banda.
  - Para los filtros de tercio de octava se tiene:
    - $f_2 = (2)^{1/3} f_1$  ;  $f_n = 2^{n/3} f_{n-1}$

# ESPECTRO DE FRECUENCIAS

- El análisis espectral realizado en tercios de octava es más fino que en octavas. Los niveles obtenidos para una octava son superiores a los obtenidos para un tercio de octava, ya que cada uno de los primeros resulta de la suma energética de los niveles de los tres tercios de octava que contienen.

# ESPECTRO DE FRECUENCIAS

OCTAVAS en Hz	1/3 OCTAVAS en Hz
	16
	20
31,5	25
	31,5
	40
63	50
	63
	80
125	100
	125
	160
250	200
	250
	315
500	400
	500
	630
1000	800
	1000
	1250
2000	1600
	2000
	2500

# ESPECTRO DE FRECUENCIAS

2000	1600
	2000
	2500
4000	3150
	4000
	5000
8000	6300
	8000
	10000
16000	12500
	16000
	20000

# ESPECTRO DE FRECUENCIAS

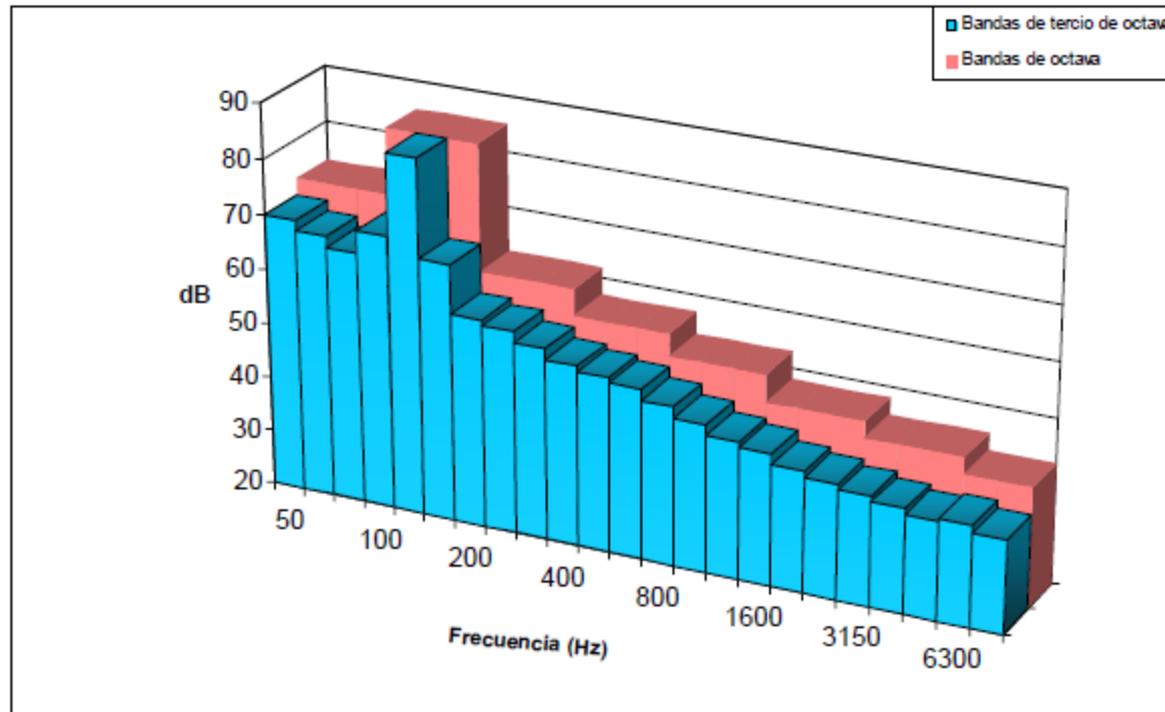


Gráfico 1.3. Espectro en bandas de octava y tercio de octava

# DEFINICIONES

- *Presión sonora (P)*. Es la variación de la presión atmosférica con el paso de la señal acústica. En unidades logarítmicas, el nivel de presión sonora se expresa como:

$$P(\text{dB}) = 20 \log \left( \frac{P}{P_{\text{ref}}} \right) \text{ dB}$$

- Donde  $P$  es la presión sonora en pascales y  $P_{\text{ref}} = 0.0002 \mu\text{bar}$ . En términos de niveles de presión sonora, el sonido audible varía desde el umbral auditivo de 0 dB hasta el umbral del dolor de 130 dB o más.

# DEFINICIONES

- El oído humano percibe variaciones de presión que oscilan entre  $20\mu\text{Pa}$  y  $100\text{Pa}$ , es decir, con una relación entre ellas mayor de un millón a 1, por lo que la aplicación de escalas lineales es inviable. En su lugar se utilizan las escalas logarítmicas cuya unidad es el decibel (dB)

# DEFINICIONES

- *Densidad del aire.* Está dada por:

$$\rho_0 = 1.29 \frac{273}{T} \frac{P_0}{0.76} \text{ kg/m}^3$$

- Donde:
- $T_0$  = Temperatura absoluta en kelvins.
- $P_0$  = Presión barométrica en metros de mercurio, cuyo valor estático se toma como  $P_0 = 0.751$  m Hg y al nivel del mar como 0.76 m Hg.
- A una temperatura de 22°C y  $P_0 = 0.751$ , la densidad del aire es de 1.18 kg/m<sup>3</sup>.

# DEFINICIONES

- *Impedancia acústica.* De manera semejante al caso electromagnético se define una impedancia acústica característica del medio de propagación, como la medida de la oposición que presenta el medio a la propagación de la onda sonora y está dada por:

$$Z_A = \frac{\text{presion sonora efectiva en un punto dado}}{\text{velocidad efectiva de las particulas en el mismo punto}}$$
$$= \text{densidad del medio} \times \text{velocidad del sonido en el medio}$$
$$= \rho v_s$$

- La unidad de impedancia acústica es el *rayl*, designado así en honor a Lord Rayleigh que formuló la teoría del sonido a finales del siglo XIX. Para el aire, la impedancia acústica es de 412.5 rayls.

# DEFINICIONES

- *Nivel de intensidad sonora (I)*: En un punto dado a una dirección específica de la fuente, es el flujo de energía sonora que atraviesa una unidad de área, perpendicular a la dirección respecto a la fuente. La intensidad sonora se expresa como:

$$I = \frac{p^2}{Z_A} = \frac{p^2}{\rho_0 v_s} \quad \text{watt / m}^2$$

- Donde  $p$  es la presión,  $\rho_0$  la densidad del medio y  $v_s$  la velocidad de propagación.

# DEFINICIONES

- Es más frecuente expresar el nivel de intensidad sonora en unidades logarítmicas (dB) como:

$$I(dB) = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) \quad dB$$

- Donde  $I$  es la intensidad sonora en  $w/m^2$  e  $I_{ref}$  es la intensidad de referencia, igual a  $10^{-12} w/m^2$  ( $10^{-16} w/m^2$ ) que corresponde, aproximadamente, a la presión de referencia de  $0.0002 \mu bar$ .

# DEFINICIONES

- Hay que notar que la intensidad sonora tiene dimensiones de potencia por unidad de área y, al tratar con circuitos eléctricos de audio, principalmente amplificadores, es frecuente confundir los términos de potencia eléctrica con potencia acústica, que por lo general, tienen significados diferentes, aunque las unidades sean las mismas (watt). Supóngase el caso común de un amplificador de audio que entrega una potencia de 10 w a un altavoz. Podría pensarse que el altavoz entrega, a su vez 10 w de potencia acústica. Esto no es cierto, ya que es necesario tener en cuenta la eficiencia de transducción del altavoz, es decir, de convertir “watts eléctricos” a “watts acústicos”. Los primeros son función del voltaje y corriente aplicados al altavoz, los segundos, con la presión acústica que el altavoz produce en el medio de propagación.

# CURVAS DE PONDERACION

- El oído se comporta de diferente manera con respecto a la dependencia de la frecuencia *para diferentes niveles físicos del sonido*. Por ejemplo, a muy bajos niveles, sólo los sonidos de frecuencias medias son audibles, mientras que a altos niveles, todas las frecuencias se escuchan más o menos con la misma sonoridad. Por lo tanto parecía razonable diseñar tres redes de ponderación de frecuencia correspondientes a niveles de alrededor de 40 dB, 70 dB y 100 dB, llamadas A, B y C respectivamente. La **red de ponderación A** (también denominada a veces **red de compensación A**) se aplicaría a los sonidos de bajo nivel, la red B a los de nivel medio y la C a los de nivel elevado (ver figura). El resultado de una medición efectuada con la red de ponderación A se expresa en **decibeles A**, abreviados **dB(A)** o algunas veces **dB(A)**, y análogamente para las otras.

# CURVAS DE PONDERACION

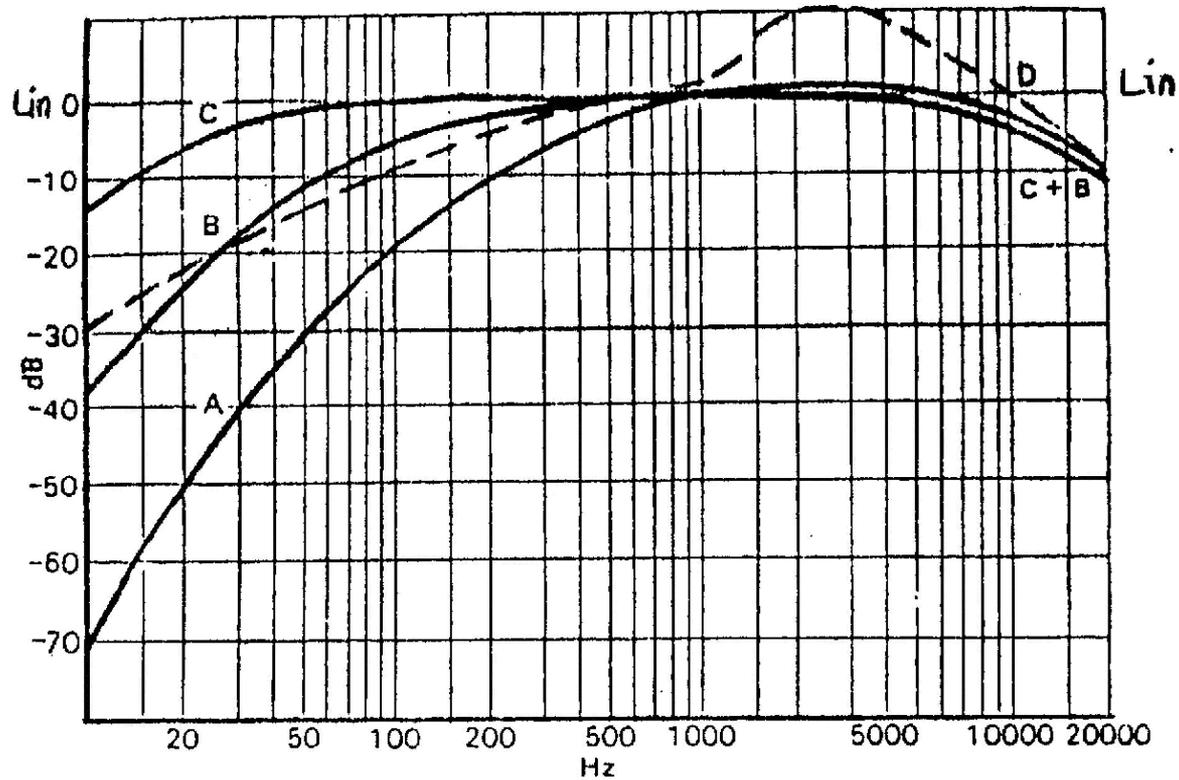


Fig 17

Curvas de compensación normalizadas  
A, B, y C. Curva D de Kryter.

# CURVAS DE PONDERACION

Ponderación	SPL	Descripción
<b>A</b>	Bajo	Utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 40 fonios.
<b>B</b>	Medio	Utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 70 fonios.
<b>C</b>	Alto	Utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 100 fonios.
<b>D</b>	Aplicaciones especiales	Utilizada para la medición de ruido aeronáutico. Penaliza mucho las frecuencias altas.
<b>Z</b>	-	Ponderación lineal. No se aplica ninguna corrección frecuencial a la señal.

# CURVAS DE PONDERACION

Ponderación	SPL	Descripción
<b>A</b>	Bajo	Utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 40 fonios.
<b>B</b>	Medio	Utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 70 fonios.
<b>C</b>	Alto	Utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 100 fonios.
<b>D</b>	Aplicaciones especiales	Utilizada para la medición de ruido aeronáutico. Penaliza mucho las frecuencias altas.
<b>Z</b>	-	Ponderación lineal. No se aplica ninguna corrección frecuencial a la señal.

# CURVAS DE PONDERACION

- ¿Por qué se ha vuelto tan popular y difundida la escala de ponderación A?
- La razón principal es que diversos estudios han mostrado una buena correlación entre el nivel sonoro A y el **daño auditivo**, así como con la **interferencia a la palabra**. Sin otra información disponible, el nivel sonoro con ponderación A es la mejor medida única disponible para evaluar y justipreciar problemas de ruido y para tomar decisiones en consecuencia. También exhibe una buena correlación, según han revelado diversos estudios, con la disposición de las personas afectadas por contaminación acústica a protestar en distintos niveles.

# Ruido continuo

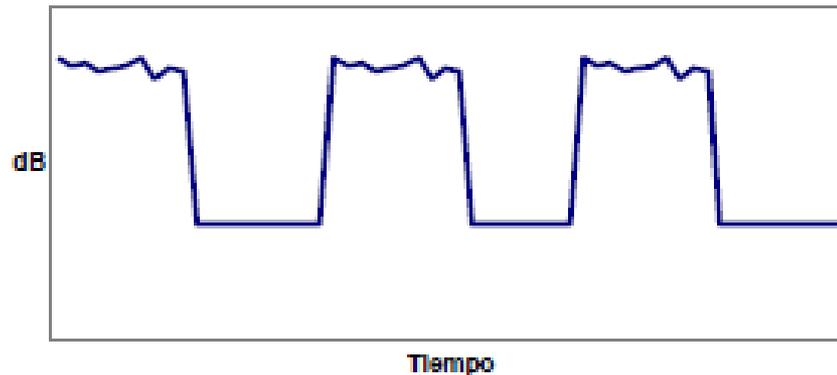
- **Ruido Continuo**
- El ruido continuo se produce por maquinaria que opera del mismo modo sin interrupción, por ejemplo, ventiladores, bombas y equipos de proceso. Para determinar el nivel de ruido es suficiente medir durante unos pocos minutos con un equipo manual. Si se escuchan tonos o bajas frecuencias, puede medirse también el espectro de frecuencias para un posterior análisis y documentación.



# Ruido Intermitente

- Cuando la maquinaria opera en ciclos, o cuando pasan vehículos aislados o aviones, el nivel de ruido aumenta y disminuye rápidamente. Para cada ciclo de una fuente de ruido de maquinaria, el nivel de ruido puede medirse simplemente como un ruido continuo. Pero también debe anotarse la duración del ciclo.

Ruido Continuo intermitente



# Ruido Intermitente

- El nivel de presión acústica se debe determinar por medio de un sonómetro o dosímetro que se ajusten, como mínimo, a los requisitos de la especificación de las normas nacionales o internacionales. El sonómetro deberá disponer de filtro de ponderación frecuencial A y respuesta lenta. La duración de la exposición no deberá exceder de los valores que se dan en la Tabla 1.
- Estos valores son de aplicación a la duración total de la exposición por día de trabajo, con independencia de si se trata de una exposición continua o de varias exposiciones de corta duración.

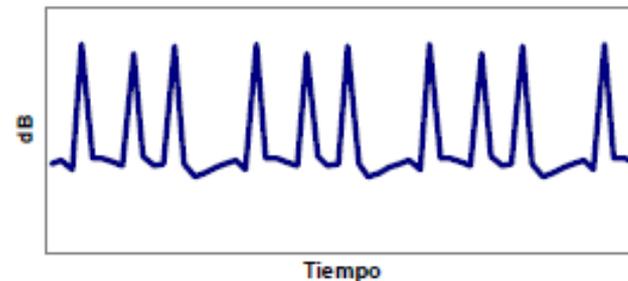
# Ruido impulsivo

- El ruido de impactos o explosiones, por ejemplo de un martinete, troqueladora o pistola, es llamado ruido impulsivo. Es breve y abrupto, y su efecto sorprendente causa mayor molestia que la esperada a partir de una simple medida del nivel de presión sonora. Para cuantificar el impulso del ruido, se puede utilizar la diferencia entre un parámetro con respuesta rápida y uno de respuesta lenta (como se ve en la base del gráfico). También deberá documentarse la tasa de repetición de los impulsos (número de impulsos por segundo, minuto, hora o día).

Ruido Impulsivo simple



Ruido Impulsivo repetitivo



# Ruido impulsivo

- La medida del ruido de impulso o de impacto estará en el rango de 80 y 140 dBA y el rango del pulso debe ser por lo menos de 63 dB. No se permitirán exposiciones sin protección auditiva por encima de un nivel pico C ponderado de presión acústica de 140 dB.
- Si no se dispone de la instrumentación para medir un pico C ponderado, se puede utilizar la medida de un pico no ponderado por debajo de 140 dB para suponer que el pico C ponderado está por debajo de ese valor.

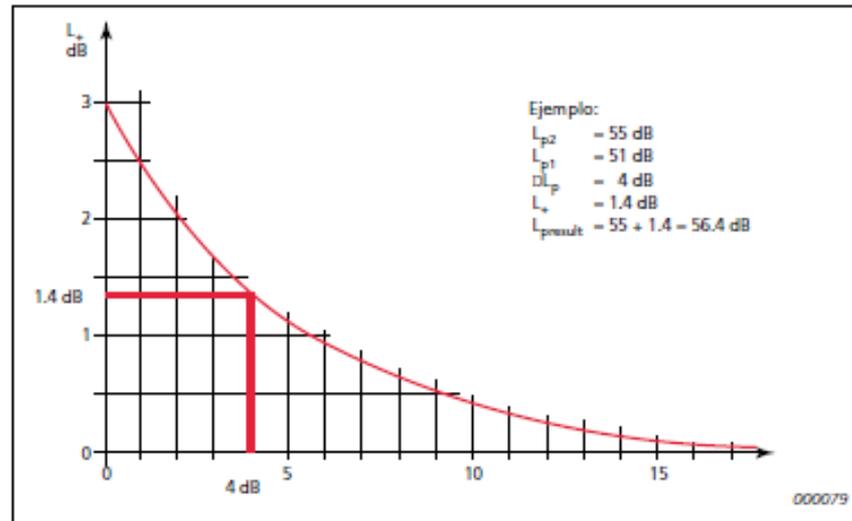
# SUMA DE NIVELES

- $L = 10 \text{ LOG } \Sigma (10^{(Li/10)})$

$\Delta L$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Término aditivo	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3

# SUMA DE NIVELES

Un método más fácil es usar la curva inferior y el procedimiento siguiente:



1. Medir el Nivel de Presión Sonora (NPS) de cada fuente de ruido separadamente ( $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ ).
2. Encontrar la diferencia ( $\Delta L$ ) entre estos niveles ( $L_{p2} - L_{p1}$ ).
3. Encontrar esta diferencia en el eje horizontal del gráfico. Trasládese hasta interseccionar la curva, y después mirar el valor en el eje vertical a la izquierda.
4. Añadir el valor indicado ( $L_c$ ) del eje vertical al nivel de la fuente de ruido más ruidosa ( $L_{p2}$ ). Esto da la suma de los NPS de las dos fuentes de ruido.
5. Si hay presentes tres o más fuentes de ruido, los pasos 1 a 4 deberán ser repetidos, usando la suma obtenida para las primeras dos fuentes y el NPS de cada fuente adicional

Tenga en cuenta que una diferencia de  $\Delta L = 0$  corresponde a la situación mostrada en la ilustración anterior, donde se añadieron 3 dB al nivel causado por una sola fuente. Si la diferencia entre los dos niveles de presión sonora es superior a 10 dB, la contribución de la fuente más silenciosa puede ser descartada.

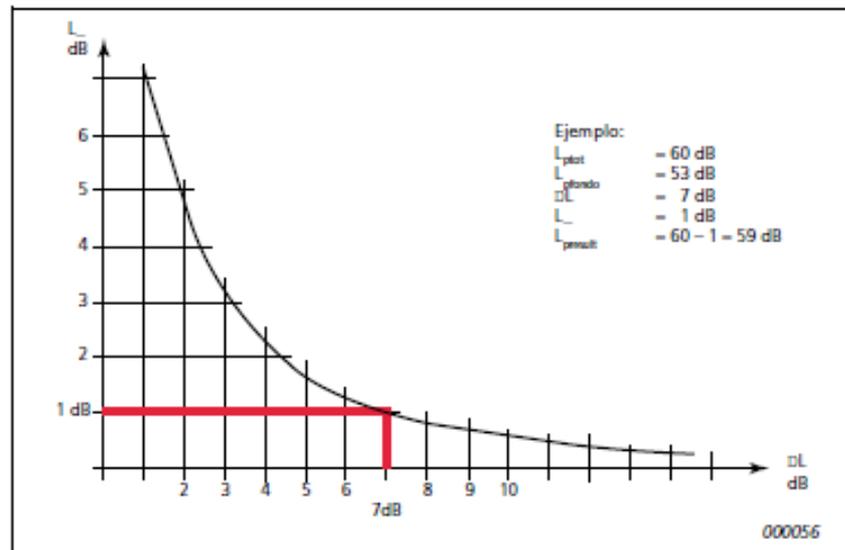
# RESTA DE NIVELES

## Resta de Niveles Sonoros

Algunas veces es necesario restar el ruido de fondo del NPS total. La corrección para el ruido de fondo puede hacerse restando el ruido de fondo ( $L_{pbackground}$ ) del nivel de ruido total ( $L_{ptot}$ ) usando la siguiente ecuación o curva:

$$L_{presult} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{ptot}}{10}} - 10^{\frac{L_{pbackground}}{10}} \right)$$

Si  $\Delta L$  es inferior a 3 dB, el ruido de fondo es demasiado alto para una medida de precisión y el nivel de ruido correcto no se puede hallar hasta que el ruido de fondo haya sido reducido. Si, por otra parte, la diferencia es superior a 10 dB, el ruido de fondo puede ser ignorado.



# NSCE

- Nivel Sonoro Continuo Equivalente (N.S.C.E.): Es el nivel sonoro medio en el d B (A) de un ruido supuesto constante y continuo durante toda la jornada, cuya energía sonora sea igual a la del ruido variable medido estadísticamente a lo largo de la misma.  
El  $L_{eq}$  es el nivel que, de haber sido constante durante el período de medición, representaría la misma cantidad de energía presente en el nivel de presión sonora medido y fluctuante. El  $L_{eq}$  se mide directamente con un sonómetro integrador.
- El Nivel Sonoro Continuo Equivalente puede calcularse para ruidos que se desarrollen en periodos discretos de la jornada laboral como:
- $$NSCE = 10 \log \frac{\sum 10^{(NPS_i/10)} \times t_i}{\sum t_i}$$
- Con  $NPS_i$  = Nivel de presión sonora del intervalo  $i$  con duración de tiempo  $t_i$ , para el periodo  $T$ .

# VALORES LIMITES PARA EL RUIDO

Valores limite PARA EL RUIDO°

Duración por día		Nivel de presión acústica dBA*
Horas	24	80
	16	82
	8	85
	4	88
	2	91
	1	94
Minutos	30	97
	15	100
	7,50 Δ	103
	3,75 Δ	106
	1,88 Δ	109
	0,94 Δ	112
Segundos Δ	28,12	115
	14,06	118
	7,03	121
	3,52	124

# VALORES LIMITES PARA EL RUIDO

## TABLA

### Valores limite PARA EL RUIDO<sup>o</sup>

Duración por día	Nivel de presión acústica dBA*
1,76	127
0,88	130
0,44	133
0,22	136
0,11	139

- Nota: la resolución 295/2003:Modifica Nivel Máximo sin usar protecciones (85 dB).

# CRITERIO DE IGUAL ENERGIA

- $NSCE = 10 \log \frac{\sum 10^{(NSCi/10)} \times t_i}{\sum t_i}$
- Para 8 hs, el NSCE máximo es de 85 dBA, queda entonces:
  - $10^{(85/10)} \times 8 \text{ hs} = \sum 10^{(NSCi/10)} \times t_i$
  - Para 4 hs, el NSCE máximo será:
    - $10^{(85/10)} \times 8 \text{ hs} = 10^{(X/10)} \times 4 \text{ hs}$
    - Despejamos  $X = 88.0103 \text{ dBA}$
  - Para un NSCE máximo de 91 dBA, el tiempo de exposición máximo admisible será:
    - $10^{(85/10)} \times 8 \text{ hs} = 10^{(91/10)} \times X \text{ hs}$
    - $10^{(8.5 - 9.1)} \times 8 \text{ hs} = X = 2.009 \text{ hs}$

# CRITERIO DE IGUAL ENERGIA

- Sea  $T_2$  una exposición del doble de duración respecto a la duración de la otra ( $T_1$ )
- $NSCE_1$  y  $NSCE_2$  son los respectivos NSCE, y  $p_2^2$  y  $p_1^2$  los cuadrados de las respectivas presiones cuadráticas medias. Si las expresiones son equivalentes debe ser  $p_1^2 T_1 = p_2^2 T_2$

- $$\frac{P_1^2 T_2}{P_2^2 T_1} = 2 \text{ y además } NSCE_1 = 10 \log (p_1^2 / p_0^2)$$
$$NSCE_2 = 10 \log (p_2^2 / p_0^2)$$

Despejando:

$$NSCE_1 - NSCE_2 = 10 \log 2 = 3$$

# DOSIS DE RUIDO

- **Dosis de Ruido**
- Se define como dosis de ruido a la cantidad de energía sonora que un trabajador puede recibir durante la jornada laboral y que está determinada no sólo por el nivel sonoro continuo equivalente del ruido al que está expuesto sino también por la duración de dicha exposición. Es por ello que el potencial de daño a la audición de un ruido depende tanto de su nivel como de su duración.
- $$\frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn} \leq 1$$

# DOSIS DE RUIDO

- Si la suma es mayor que la unidad, entonces se debe considerar que la exposición global sobrepasa el valor límite umbral. C1 indica la duración total de la exposición a un nivel específico de ruido y T1 indica la duración total de la exposición permitida a ese nivel.

# SUMA DE NIVELES

- $L = 10 \text{ LOG } \Sigma (10^{(Li/10)})$
- Ejemplo: en un puesto de trabajo cuya jornada laboral puede dividirse en las 2 etapas que se detallan se realizaron mediciones de ruido, con los resultados que se indican más abajo. Realice el cálculo de DOSIS según lo prescrito por la reglamentación vigente y el cálculo de Nivel Sonoro Continuo Equivalente. Cumple con la ley?
- ETAPA 1: FUNCIONAN CONJUNTAMENTE 4 HORAS
- M1 = 81 dBA
- M2 = 82 dBA
- 
- ETAPA 2: FUNCIONAN CONJUNTAMENTE 4 HORAS
- M1 = 80 dBA
- M2 = 83 dBA
- M3 = 84 dBA

# EJEMPLO DE CALCULO

- Para la primera etapa:
- $L1 = 10 \text{ LOG } (10^{(8.1)} + 10^{(8.2)}) = 84.539\text{dBA}$
- $L2 = 10 \text{ LOG } (10^{(8.0)} + 10^{(8.3)} + 10^{(8.4)}) = 87.409\text{dBA}$
- $\text{NSCE} = 10 \log \frac{10^{(8.7409)} \times 4 \text{ hs} + 10^{(8.4539)} \times 4 \text{ hs}}{8 \text{ hs}}$
- $\text{NSCE} = 86.207\text{dBA} > 85 \text{ dBA}$ , o sea, no cumple con el límite establecido en la legislación

# EJEMPLO DE CALCULO

- Para el cálculo de dosis, calculamos los tiempos de exposición admisibles para L1 y L2:
- $X1 = 10^{(8.5-8.4539)} \times 8 \text{ hs} = 8.8958 \text{ hs}$
- $X2 = 10^{(8.5-8.7409)} \times 8 \text{ hs} = 4.5937 \text{ hs}$
- $\frac{4.0000}{8.8958} + \frac{4.0000}{4.5937} = 1.32 > 1$

# Ultrasonidos

- Los valores límite establecidos para las frecuencias de 10 kilohercios (kHz) a 20 kHz, para prevenir los efectos subjetivos, se indican en la Tabla 1 con uno o dos asteriscos como notas de advertencia al pie de la tabla. Los valores sonoros de la media ponderada en el tiempo de 8 horas son una ampliación del valor límite para el ruido que es un media ponderada en el tiempo para 8 horas de 85 dBA.

# Ultrasonidos

TABLA 1

Valores limite para el ultrasonido  
Nivel de la banda de un tercio de octava

Frecuencia central de la banda de un tercio de octava (kHz)	Medida en el aire En dB re: 20µPa; con la cabeza en el aire	Medida en el agua en dB re: 1µPa; con la cabeza en el agua	Valores techo
	Valores techo	Media ponderada en el tiempo de 8h	
10	105*	88*	167
12,5	105*	89*	167
16	105*	92*	167
20	105*	94*	167
25	110**	—	172
31,5	115**	—	177
40	115**	—	177
50	115**	—	177
63	115**	—	177
80	115**	—	177
100	115**	—	177

# Infrasonidos y sonidos de baja frecuencia

- De acuerdo al Dto. 351/79, Anexo V, excepto para el sonido de impulsos de banda de un tercio de octava, con duración inferior a 2 segundos, los niveles para frecuencias entre 1 y 80 Hz de nivel de presión sonora (NPS), no deben exceder el valor techo de 145 dB. Además, el NPS global no ponderado no debe exceder el valor techo de 150 dB.

# BIBLIOGRAFIA

- **ENGINEERING NOISE CONTROL -  
Professor Colin H. Hansen Dr Berenice  
I.F. Goelzer\* Department of Mechanical  
Engineering World Health Organization-  
University of Adelaide**
- **El ruido en al ambiente laboral- SRT**