



## Tema 8: Sicoacústica II

- Efectos del ruido en el ser humano.
- Criterios de valoración del ruido.
- Valoración de la sonoridad.
- Valoración de la molestia en el puesto de trabajo *NR*.
- Valores de las curvas *NR*.
- Curvas de valoración *NR*.
- Valores habituales de criterio *NR*.
- Nivel continuo equivalente.
- Nivel continuo equivalente en 1 s: *SEL*.
- Nivel ponderado a lo largo del día  $L_{den}$ .
- Nivel ponderado a lo largo de la noche  $L_n$ .

# Efectos del ruido en el ser humano

- **Psicosociales:**
  - Irritación, fatiga, nerviosismo, pérdida de atención y de productividad. Dificulta la comunicación.
  - Aumento de ingresos psiquiátricos y de la demanda de tranquilizantes en ambientes ruidosos.
  - Pérdida de calidad del sueño.
  - Distracción en el trabajo posibilitando accidentes.
- **Fisiológicos**
  - Perturbaciones en el sistema endocrino, neurofísico y sensorial.
  - Pérdida de audición, evaluada por la subida del umbral de percepción. Si es notoria a las frecuencias del habla → minusvalía.
  - Hipertensión y enfermedad cardiaca.
- Los efectos son subjetivos. Se encuentra una gran dispersión en los efectos.
- **Contaminación acústica:** el conjunto de ruidos que deterioran el ambiente acústico.

## Efectos del ruido en el ser humano

- Un efecto notorio de un ruido excesivo es el aumento temporal del umbral de percepción, el cual dura algunas horas tras la exposición, salvo que ésta se repita.
- Pueden aparecer también zumbidos y pitidos que no proceden de una fuente externa: tinnitus o acúfenos.
- La temporalidad del aumento (pérdida auditiva) puede convertirse en permanente por una exposición repetida.

## Criterios de valoración del ruido

- El ruido es sonido no deseado.
- El sonido se convierte en ruido a partir de un cierto nivel que depende de las circunstancias, (p. e. 35 dBA en un dormitorio por la noche).
- Suele ser necesario evaluar los ruidos mediante **criterios** que suelen dar lugar a un único valor numérico, llamado **índice**, para establecer valores a no superar: **límites**.
- Los criterios suelen:
  - Ser específicos del ambiente, actividad ... acústica medioambiental (donde se evalúa la molestia), acústica laboral (donde se evalúa el daño auditivo), acústica arquitectónica (donde la calidad acústica es importante) y seguridad (identificación de mensajes) ...
  - Añadir factores externos, como hora del día, zonas urbanas o residenciales ...

## Valoración de la sonoridad

- Se ha comprobado ampliamente que la molestia y el daño aumentan con la intensidad del ruido, pero otros factores influyen, como el espectro, la continuidad en el tiempo, la hora del día, el lugar de la molestia y la actividad que se está realizando, la idiosincrasia y cultura, etc. Por ello se han elaborado criterios e índices específicos.
- La primera aproximación es valorar la sonoridad del ruido; esto es, la cualidad que nos permite distinguir un sonido débil de uno fuerte.
  - Trata de dar una cifra que sea representativa de la percepción.
  - Existen modelos complejos (Zwicker y Stevens) para dar una cifra de la sonoridad realista, pero son muy poco usados por laboriosos en exceso. La legislación suele recurrir a dB(A) y en el caso de ruido aeronáutico a elaboraciones específicas.
- Una de las derivaciones más importantes de la sonoridad del ruido son la **molestia** y la **interferencia con la comunicación oral**.
- En lo que respecta a **molestia en el puesto de trabajo** se han desarrollado técnicas específicas, como las curvas de valoración (*Noise Rating NR* y *Noise Criteria NC*) basadas en estudios estadísticos en locales, originalmente con ruido causado por la climatización, aunque actualmente se usan para ruido ambiente en general. Forman parte de algunas legislaciones, pero su uso es escaso frente a otros criterios más simples, como dB(A).

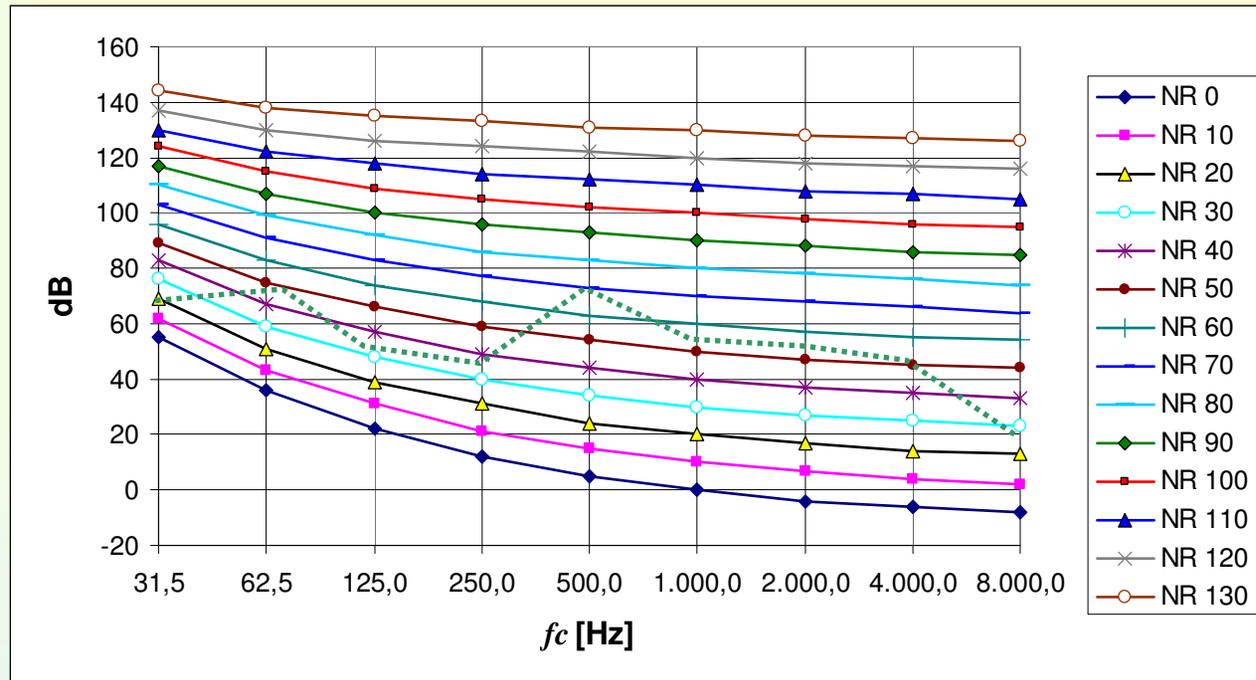
## Valoración de la molestia en el puesto de trabajo *NR*

- Estrategia con base empírica que permite dar una cifra más acorde a la molestia causada que el simple dB(A). Especialmente porque se ha observado que **los picos en el espectro ocasionan más molestia que un ruido que no los tenga con igual *NPS***.
- Se basa en superponer el espectro del ruido en octavas sobre un gráfico con curvas de valoración del ruido. La curva de menor dB que toque el espectro cataloga el ruido.
- Cada curva *NR* “Noise Rating” está caracterizada por los dB que tiene a 1.000 Hz.
- Su uso ha sido normalizado por la ISO R-1996.
- **No** está orientado a la pérdida auditiva, pero en la práctica la incluye. Asimismo incluye indirectamente un criterio de preservación de la comunicación hablada.
- Existen curvas parecidas, como las NC y RC (ASHRAE), ambos de uso frecuente en los EEUU.

## Valores de las curvas *NR*

Curva - NR -	Frecuencia central de la octava (Hz)								
	31,5	62,5	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
<b>NR 0</b>	55	36	22	12	5	0	-4	-6	-8
<b>NR 10</b>	62	43	31	21	15	10	7	4	2
<b>NR 20</b>	69	51	39	31	24	20	17	14	13
<b>NR 30</b>	76	59	48	40	34	30	27	25	23
<b>NR 40</b>	83	67	57	49	44	40	37	35	33
<b>NR 50</b>	89	75	66	59	54	50	47	45	44
<b>NR 60</b>	96	83	74	68	63	60	57	55	54
<b>NR 70</b>	103	91	83	77	73	70	68	66	64
<b>NR 80</b>	110	99	92	86	83	80	78	76	74
<b>NR 90</b>	117	107	100	96	93	90	88	86	85
<b>NR 100</b>	124	115	109	105	102	100	98	96	95
<b>NR 110</b>	130	122	118	114	112	110	108	107	105
<b>NR 120</b>	137	130	126	124	122	120	118	117	116
<b>NR 130</b>	144	138	135	133	131	130	128	127	126

## Curvas de valoración $NR$



Más información en:

[http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html)

- No son líneas continuas, solo unen valores a las frecuencias preferidas
- El espectro de un ruido, mostrado con línea fina punteada color turquesa, obtiene  $NR = 70$  dB. Por ser tangente a la curva  $NR$  70. El pico a 500 Hz hace subir su  $NR$ .
- Varios espectros bien distintos pueden obtener el mismo  $NR$ .

## Valores habituales de criterio *NR* (a título informativo)

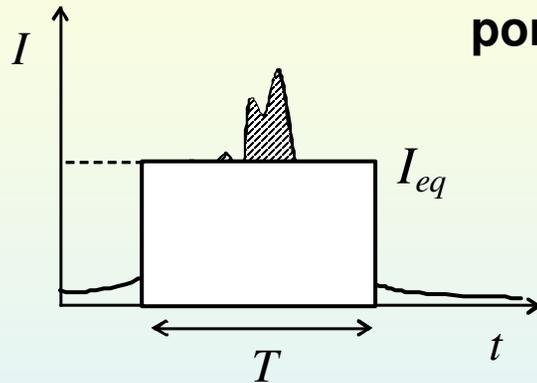
Ambiente	Intervalo aceptable
<i>Factorías (maquinaria pesada)</i>	55 - 75
<i>Factorías (maquinaria ligera)</i>	45 - 65
Cocinas, lavanderías, centros de cálculo, cafeterías, supermercados, piscinas	40 - 50
Vestuarios, áreas deportivas, hall de entrada a grandes edificios.	35 - 50
Grandes superficies comerciales y tiendas	35 - 45
Restaurantes, bares, cafeterías & cantinas	35 - 45
Oficinas mecanizadas	40 - 50
Oficinas generales, laboratorios	35 - 45
Oficinas privadas, bibliotecas, salas judiciales, aulas de colegios, museos	30 - 35
Viviendas, salas de espera	25 - 35
Clínicas, teatros en función	25 - 35
Cines	30 - 35
Teatros, salas de asambleas e iglesias	25 - 30
Auditorios, dormitorios	20 - 25
Estudios de grabación y en vivo	15 - 20

No se recomienda que en puestos de trabajo sedentarios se alcance *NR* 50, porque el ambiente suele ser considerado muy ruidoso por los trabajadores. No obstante, en ciertos ambientes se alcanzan niveles mayores (factorías).

# Nivel continuo equivalente

- Nivel de ruido constante que proporciona *igual energía E* que el ruido fluctuante medido durante el mismo tiempo *T*. A menudo se le denomina *nivel acústico equivalente NAE*, se suele denotar por  $L_{eq}$ .
- Se emplea para valorar el daño auditivo ocasionado por ruidos fluctuantes, pero también para valorar la molestia causada.

**Igualando las energías, producto de las intensidades  $I$  por el tiempo (las áreas  $I$ - $t$  han de ser iguales)**



$$E_{eqT} = E_T \Rightarrow I_{eq}T = \int_{t-T}^t I \langle \xi \rangle d\xi \Rightarrow \underbrace{I_{eq}}_{L_{eq}} = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t I \langle \xi \rangle d\xi$$

$$I_{ref} 10^{\frac{L_{eq}}{10}}$$

Tomando logaritmos:  $NPS_{eq} = L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \frac{I \langle \xi \rangle}{I_{ref}} d\xi \right)$

Teniendo en cuenta que  $I \propto P^2$

$$L_{eq} \langle t, T \rangle = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \frac{P^2 \langle \xi \rangle}{P_{ref}^2} d\xi \right)$$

Definición de  $L_p$ :  $\frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} = 10^{\left(\frac{L_p}{10}\right)}$

$$\rightarrow L_{eq} \langle t, T \rangle = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_{t-T}^t 10^{\left(\frac{L_p \langle \xi \rangle}{10}\right)} d\xi \right)$$

## Nivel continuo equivalente

Los sonómetros integradores realizan estas integrales por nosotros y muestran  $L_{eq}$  en el intervalo de tiempo que se seleccione.

En un cálculo manual no suele ser necesario evaluar integrales, sino que se toman intervalos de tiempo en los cuales el nivel no cambia mucho.

Con  $n$  intervalos de duración  $T_i$  no necesariamente iguales, se sustituye  $d\xi$  por el intervalo entre mediciones  $T_i$ :

$$\left. \begin{aligned}
 T &= \sum_{i=1}^n T_i \\
 d\xi \rightarrow T_i &\Rightarrow \int_t^{t+T} 10^{\left(\frac{L_p(\xi)}{10}\right)} d\xi \rightarrow \sum_{i=1}^n T_i 10^{\left(\frac{L_{eq_i}}{10}\right)} = T 10^{\left(\frac{L_{eq}}{10}\right)}
 \end{aligned} \right\} \rightarrow L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i 10^{\left(\frac{L_{eq_i}}{10}\right)} \right] \quad (\&)$$

Previamente obtenido al asumirse  $L_p \approx \text{cte.}$

El que los niveles estén ponderados frecuencialmente (A, B, C o D) no influye en la operación, agregándose la letra, pero todos los sumando han de estar ponderados frecuencialmente de forma igual. ¡No se pueden agregar dB(A) con dB(B) p. e.!

## Nivel continuo equivalente

**Ejercicio:** demuestre que da el mismo valor para un ruido constante. Para ello suponga que la mitad del tiempo vale lo mismo que la otra mitad.

**Solución:** Supongamos  $n = 2$  y  $T_1 = 1\text{h}$ ,  $T_2 = 1\text{h}$  y  $L_{eq1} = 100\text{ dB} = L_{eq2}$ , entonces:

$$\begin{aligned} L_{eq} &= 10\log\left[\frac{1}{2\text{h}}\left(1\text{h}\cdot 10^{100/10} + 1\text{h}\cdot 10^{100/10}\right)\right]\text{dB} = 10\log\left[\frac{1}{2}\left(2\cdot 10^{100/10}\right)\right]\text{dB} = \\ &= 10\log\left[10^{100/10}\right]\text{dB} = 10\cdot 100/10 = 100\text{ dB} \end{aligned}$$

Ha de tenerse en cuenta que el tiempo en estas fórmulas ha de expresarse en las mismas unidades para que el logaritmo se obtenga de una cantidad adimensional.

**Ejercicio:** Un acondicionador de aire produce un nivel de ruido de 70 dBA durante 10 minutos cada hora. Si el nivel de fondo es de 50 dBA, calcular  $L_{Aeq}$ .

**Solución:** el que esté ponderado A no influye en la operación

$$L_{Aeq} = 10\log\left[\frac{1}{60\text{m}}\left(10\text{m}\cdot 10^{70/10} + 50\text{m}\cdot 10^{50/10}\right)\right]\text{dBA} = 62,4\text{dB}$$

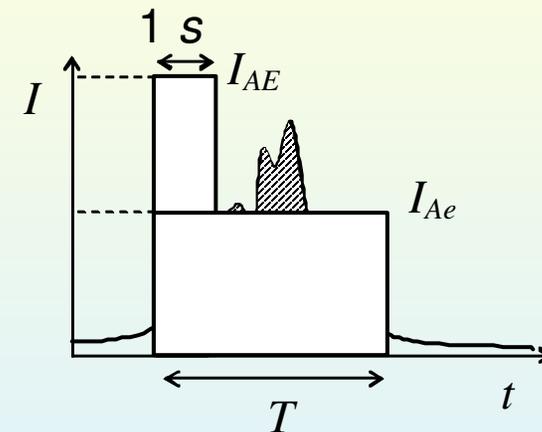
Se ha despreciado la contribución de 50 dB frente a 70dB durante los 10 minutos.

## Nivel continuo equivalente en 1 s: *SEL*

Se denomina *SEL* (Single Event Level) o *nivel de exposición acústica*  $L_E$  :

- Nivel constante de ruido que en un tiempo arbitrario (1 segundo) proporciona la misma energía que el evento considerado, tenga la duración que tenga  $T$ .
- Se emplea para valorar el paso de trenes, aviones ...
- Se suele partir midiendo el nivel continuo equivalente durante la duración del evento  $L_{eq}$ .
- Igualando las energías:

$$\left. \begin{array}{l} E_1 = E_T \\ E_1 = 1s \cdot 10^{\frac{SEL}{10}} \\ E_T = T \cdot 10^{\frac{L_{eq}}{10}} \end{array} \right\} \rightarrow SEL = \underbrace{L_{eq}}_{NPS_{eq}} + 10 \log_{10} (T[s]/1)$$



Caso en que se usa  
ponderación A

P. e.: se emplea para evaluar la capacidad de molestia en eventos como sobrevuelo de avión, paso de motocicleta, paso de tren, etc., que pueden durar diferente tiempo (varios segundos) y se quiere expresar de manera uniforme.

## Nivel ponderado a lo largo del día $L_{den}$

- Debido a la distinta sensibilidad al ruido según el horario se suele usar en la normativa un nivel continuo equivalente *modificado*, ponderando más el ruido de tarde-noche (**d**ay, **e**vening, **n**ight)

$$L_{den} = 10 \log \left( \frac{T_d}{24h} 10^{\frac{L_{eqd} + L_d}{10}} + \frac{T_e}{24h} 10^{\frac{L_{eqe} + L_e}{10}} + \frac{T_n}{24h} 10^{\frac{L_{eqn} + L_n}{10}} \right) ; T_d + T_e + T_n = 24h$$

### Ponderaciones

$L_{eqd}$  = nivel continuo equivalente entre las 7.00 - 19.00 h  $\Rightarrow T_d = 12h$ ;  $L_d = 0$  dB

$L_{eqe}$  = nivel continuo equivalente entre las 19.00 - 23.00 h  $\Rightarrow T_e = 4h$ ;  $L_e = 5$  dB

$L_{eqn}$  = nivel continuo equivalente entre las 23.00 - 7.00 h  $\Rightarrow T_n = 8h$ ;  $L_n = 10$  dB

- Se emplea en mediciones al exterior para valorar la molestia al vecindario.
- Se consideran también la ponderación solo durante el día o durante la noche,  $L_d$  y  $L_n$ .

## Nivel ponderado a lo largo de la noche $L_n$

- La normativa española RD 1367/2007 limita  $L_n$  por sectores del territorio de determinado uso predominante:

Área acústica	$L_n$ max dB
Sanitario, docente y cultural que requieran especial protección frente a la cont. acústica	50
Residencial	55
Terciario, distinto al contemplado en c	65
Recreativo y de espectáculos	63
Industrial	65

## Cuestiones de autoevaluación, tema 8

- Este tema ¿atiende primordialmente a la molestia causada por el ruido o al daño auditivo ocasionado?.
- El daño ocasionado por el ruido a las personas, ¿puede ser no auditivo?.
- ¿Se expresa el criterio NR en dB o en dBA?
- Para el paso de trenes o el sobrevuelo de aviones de forma esporádica y no repetitiva ¿es mejor índice el nivel continuo equivalente o el  $SEL$ ?
- ¿Es adecuado el  $L_{den}$  para evaluar el ruido comunitario en una zona comercial ordinaria?
- Si se usara, ¿añadir la cifra de  $L_n$  serviría para algo?

## Actividades propuestas, tema 8

- Compruebe que se expresa alternativamente el nivel acústico ponderado con la escala A, como dBA, dB(A) o  $L_A = xx$  dB.
- Con el uso de buscadores en Internet localice criterios de ruido apropiados para el ruido de tráfico rodado y para el de sobrevuelo de aeronaves. ¿Se parecen en algo?
- Analice la conveniencia del uso de percentiles en la elaboración de índices descriptivos de tipo estadístico para ruido ambiental. ¿Cuál de los percentiles describiría mejor el ruido de fondo? ¿Cuál los picos? Y finalmente, ¿Cuál de ellos representaría de forma aproximada el nivel continuo equivalente?