

Procesos de Fabricación

Lectura 7

Análisis de ruido en el entorno de trabajo

Profesor:

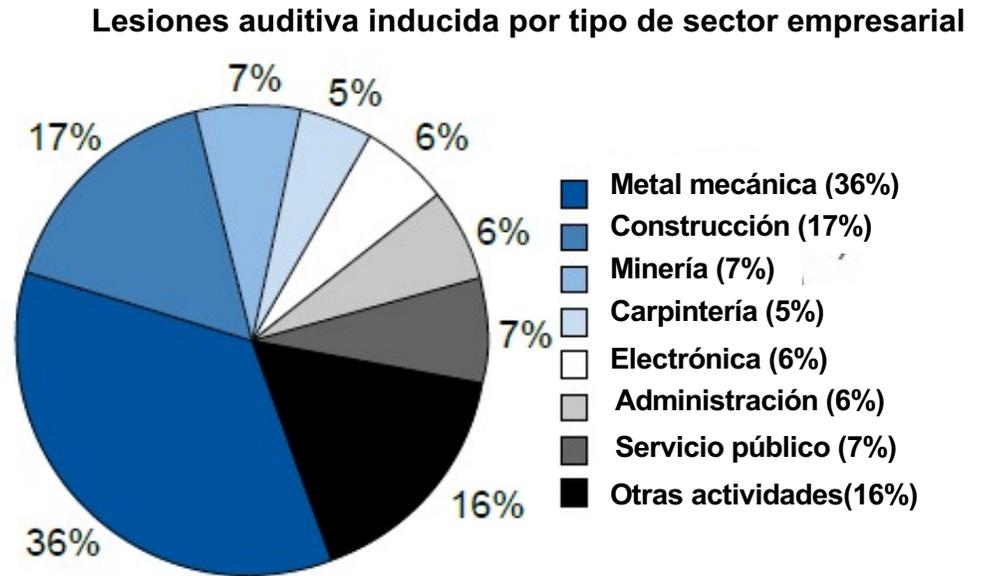
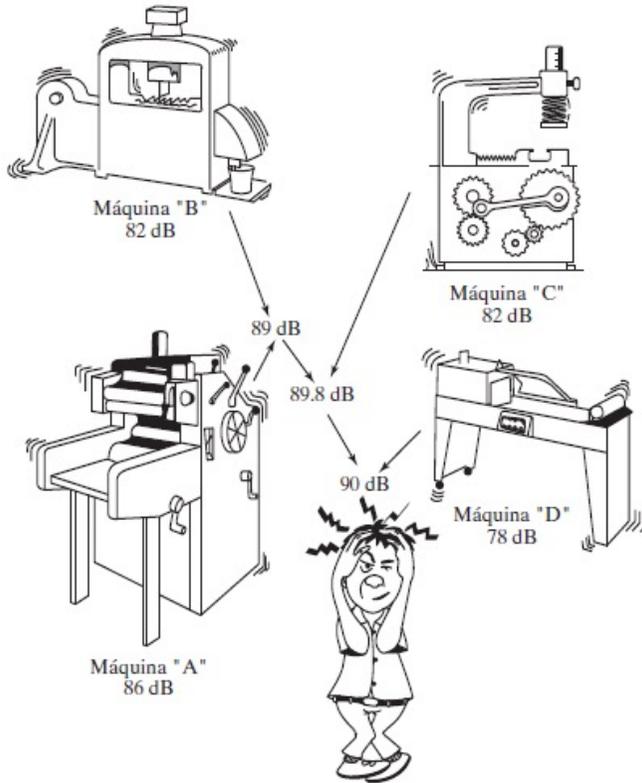
Ricardo Caballero, M.Sc.

✉ ricardo.caballero@utp.ac.pa



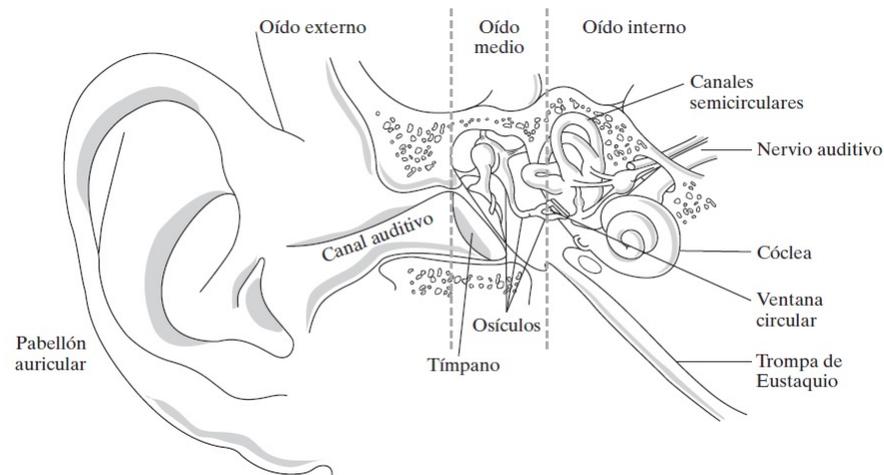
El ruido

Los niveles crecientes de contaminación acústica en el lugar de trabajo presentan un obstáculo para un número considerable de empleados, impidiéndoles llevar a cabo su trabajo de manera eficiente o incluso causando daños físicos cuando el ruido persiste durante un período prolongado.



El ruido

- Se puede definir como un sonido indeseable
- Puede causar pérdida temporal de audición, que disminuye su sensibilidad auditiva durante la jornada laboral
- La exposición al ruido es un problema de riesgo laboral
- El ruido es causa de fatiga, irritación y altera el estado de ánimo de los trabajadores

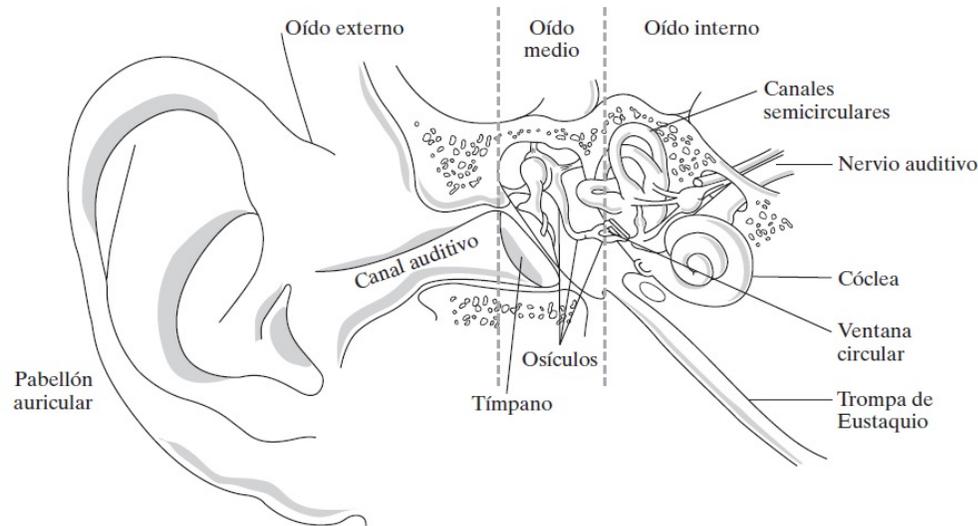


El oído

Convierte las ondas sonoras del aire en impulsos nerviosos, que viajan a lo largo del nervio auditivo hasta el cerebro

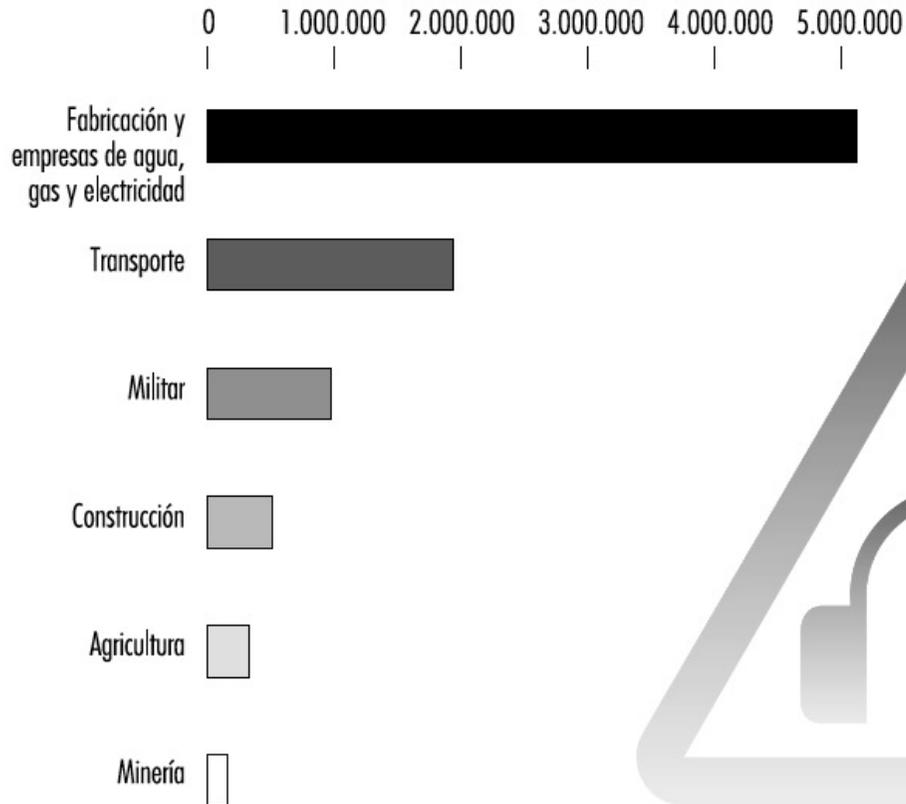
La audición requiere tres pasos:

1. Las variaciones de presión debidas a ondas longitudinales en el ambiente son guiadas hacia el meato auditivo externo donde causan una vibración mecánica del tímpano.
2. La vibración mecánica de los huesecillos auditivos se convierte en movimiento ondulatorio en el líquido coclear en la ventana oval.
3. El movimiento ondulatorio en el líquido coclear se convierte en impulsos nerviosos en el nervio auditivo



Exposición al ruido en el trabajo

TOTAL— 9.031.000 TRABAJADORES EXPUESTOS A NIVELES DE RUIDO SUPERIORES A 85 dBA



INDUSTRIAS DE FABRICACION MAS RUIDOSAS, POR ORDEN DECRECIENTE, EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE TRABAJADORES EXPUESTOS A NIVELES DE RUIDO SUPERIORES A 90 dBA



Efectos del ruido

Deterioro auditivo

El deterioro auditivo inducido por ruido es muy común, pero a menudo se subestima porque no provoca efectos visibles ni, en la mayoría de los casos, dolor alguno. Estas pérdidas pueden ser tan graduales que pasan inadvertidas hasta que el deterioro resulta discapacitante

Efectos sobre el rendimiento laboral

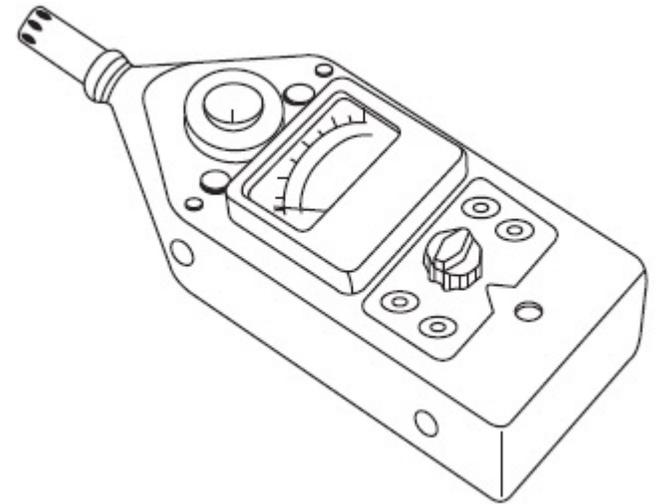
El ruido suele tener escasos efectos sobre el rendimiento de trabajos repetitivos y monótonos e incluso lo mejora en algunos casos si es de nivel bajo o moderado. En cambio, los niveles de ruido altos pueden degradar el rendimiento laboral, sobre todo si la tarea es complicada o requiere hacer varias cosas a la vez. El ruido intermitente tiende a ser más perjudicial que el ruido continuo, sobre todo cuando los períodos de ruido son impredecibles e incontrolables

Molestias

Pueden estar relacionadas con el entorpecimiento de la comunicación hablada y del rendimiento laboral

Medición del ruido

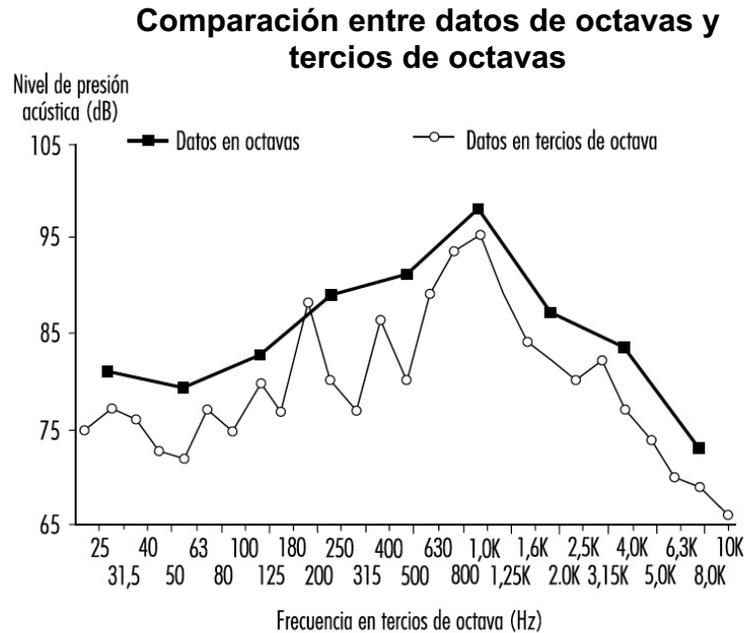
- La medición exacta de los niveles de sonido requiere instrumentos como el **medidor del nivel de sonido o sonómetro**
- El sonido se registra en decibeles (dB)
- El micrófono receptor del instrumento debe sostenerse cerca del oído del sujeto para que sea representativo de la exposición.
- El análisis de bandas de octavas ayuda a determinar las características de la frecuencia de las fuentes de ruido.
- Para el análisis del control de ruido se utiliza el nivel de presión acústica (sonora)



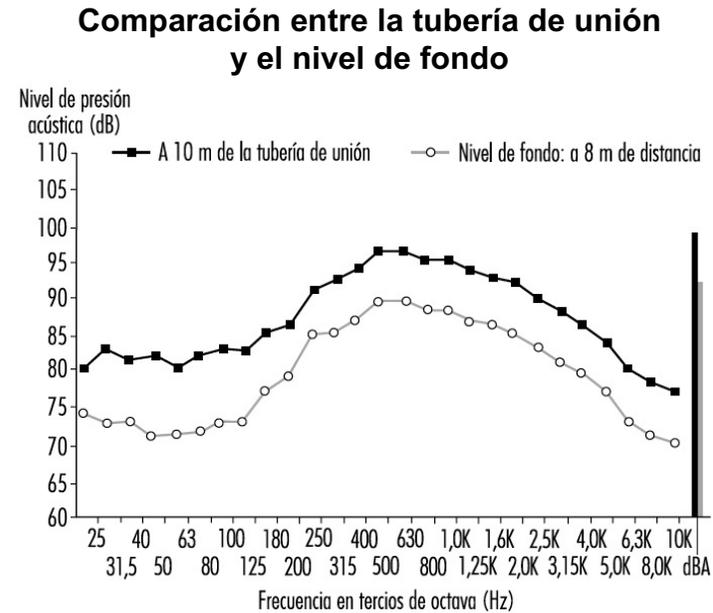
Identificación de la fuente de ruido

Las técnicas siguientes pueden contribuir a identificar el origen o la fuente del ruido:

- Medir el espectro de frecuencias y representar los datos gráficamente.
- Medir el nivel sonoro, en dBA, en función del tiempo.
- Comparar los datos de frecuencias con equipos o líneas de producción similares.
- Aislar componentes con controles temporales o conectar y desconectar un equipo tras otro, siempre que sea posible.



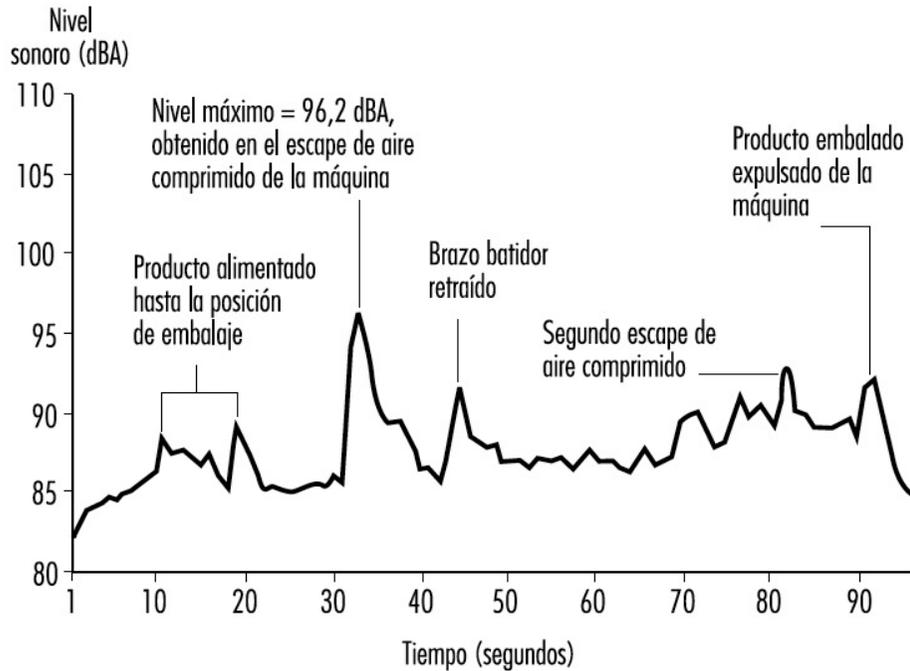
Todos los datos en banda de octava están trazados en la frecuencia central de la banda.



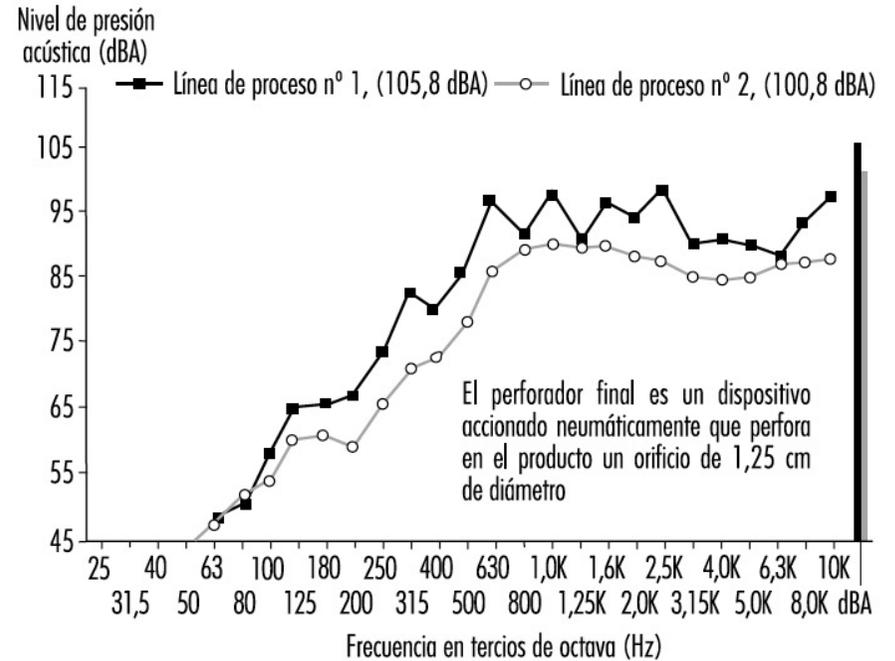
A efectos de presentación se representan en el lado derecho, en forma de barras, los niveles de ruido ponderados A para cada medición.

Identificación de la fuente de ruido

Puesto de trabajo del operario de embalajes



Operación de perforación final para líneas de proceso idénticas



Todos los datos son ponderados A.

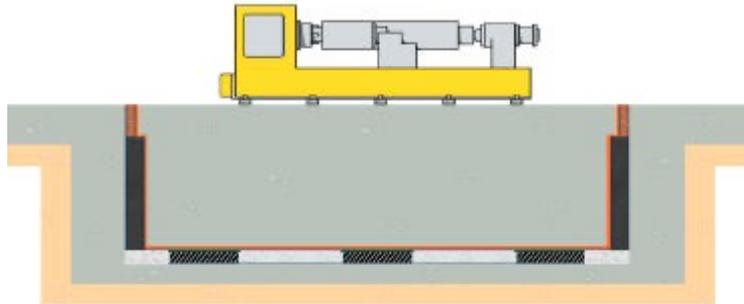
Maneras para controlar el ruido

- Montar máquinas ruidosas sobre bases plásticas
- Aumento de masa o rigidez del suelo
- Aplicar dispositivos antivibratorios (amortiguadores)
- Fijar o sujetar mejor el producto durante la fabricación
- Reducción de la fuerza de impacto entre la máquina, piezas y el producto
- Cerramientos acústicos y barreras (encapsulación de la máquina)
- Cambios en el diseño de la máquina

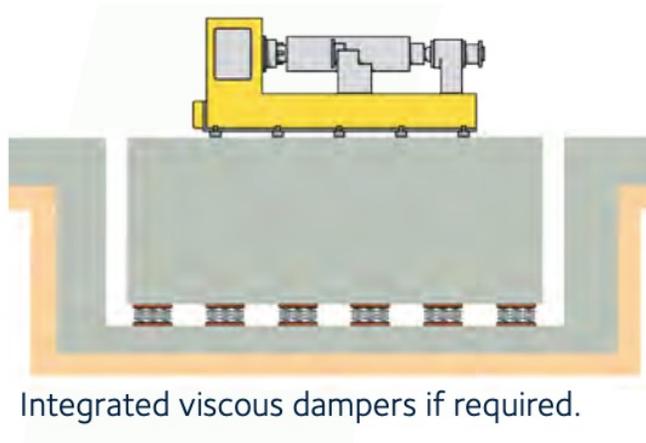


faru
OBLIGATORIO
USO DE PROTECCIÓN
ACÚSTICA

Configuraciones de cimientos o fundaciones aislados



Soporte rectangular antivibraciones



Integrated viscous dampers if required.

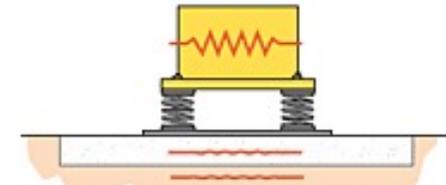


Fig 2.2

Machine on isolators on the floor, no foundation

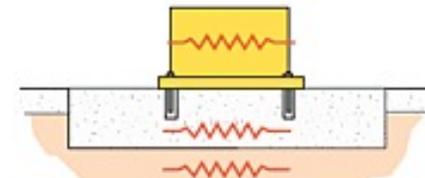


Fig 2.3

Machine on foundation, no isolation

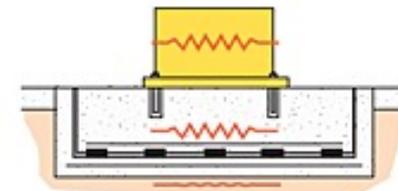


Fig 2.4

Machine on isolated foundation, active shock and vibration

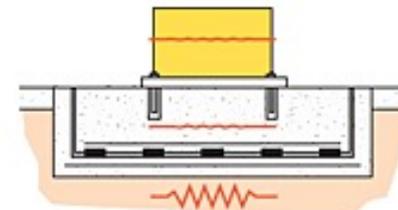
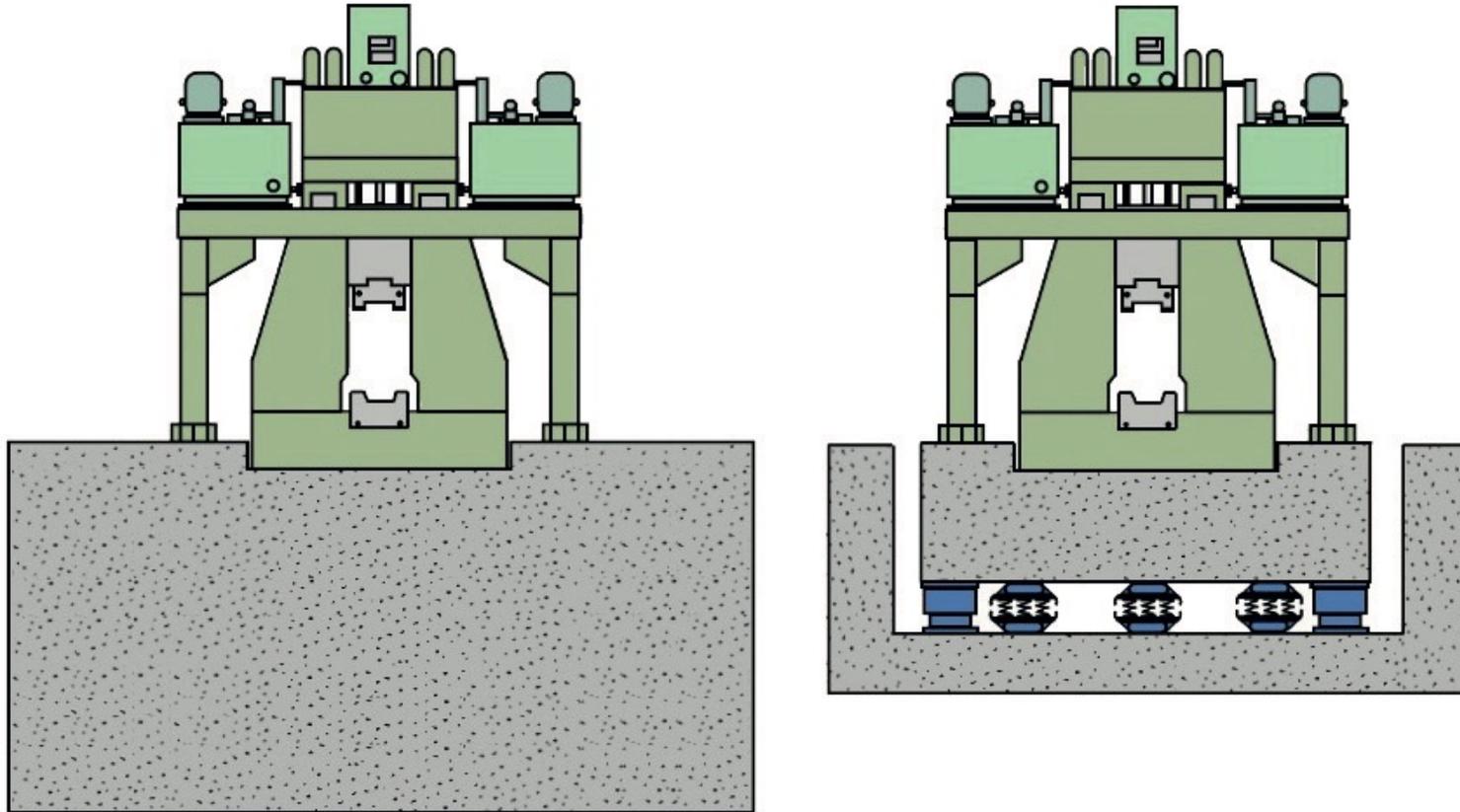


Fig 2.5

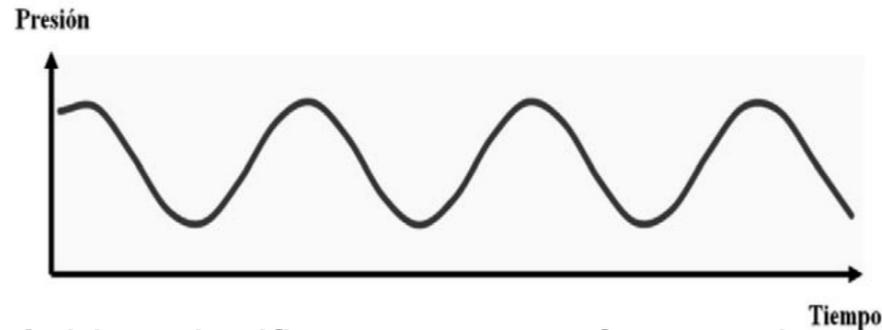
Machine on isolated foundation, passive shock and vibration

Aislamiento de vibraciones mediante cojinetes de resorte o elastómero

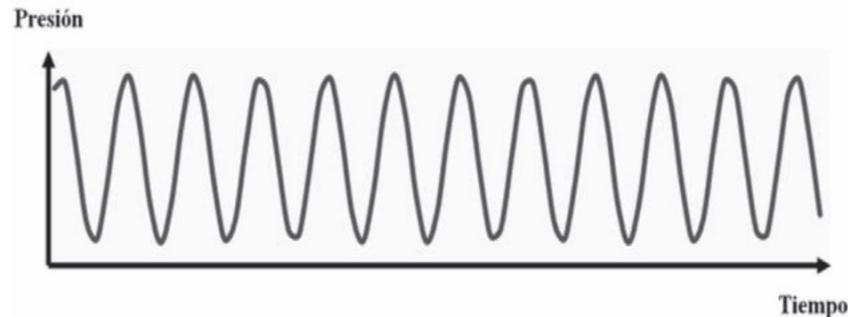


Magnitudes acústicas

- Los sonidos se distinguen en graves o agudos en función de la velocidad de la vibración de la onda:
 - Una vibración lenta significa que su frecuencia es baja (sonido grave).
Ejemplo: ruido que genera un compresor.



- Una vibración rápida significa que su frecuencia es alta (sonido agudo).
Ejemplo: ruido que genera una sierra.



Magnitudes acústicas

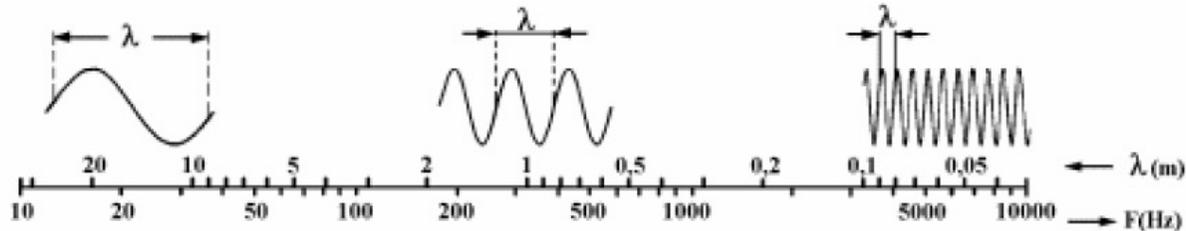
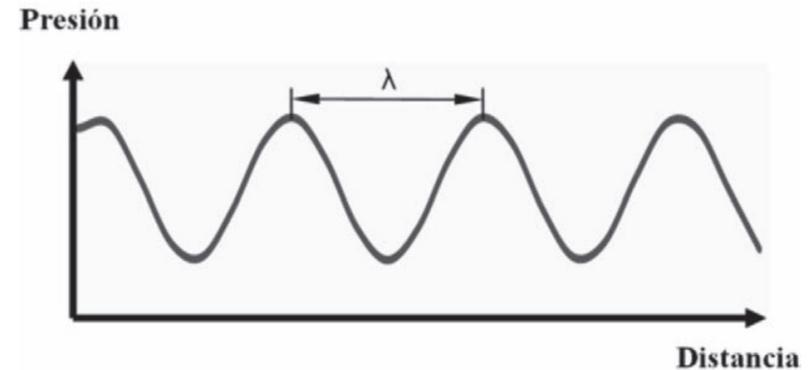
- **Longitud de onda:** Distancia recorrida por una onda durante un periodo. Distancia que recorre en un periodo completo de oscilación. La longitud de onda, λ , viene dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde

c = es la velocidad del sonido en metros por segundo

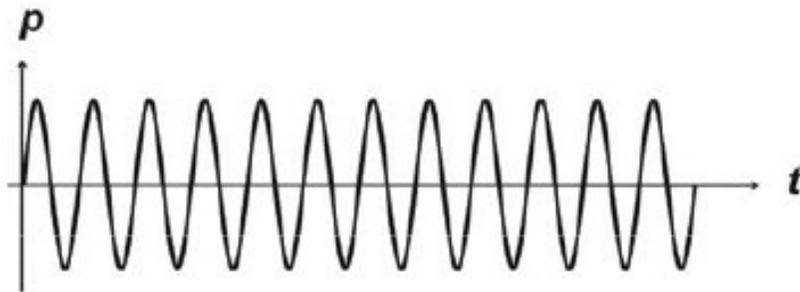
f = número de ciclos por segundo de la onda (Hz)



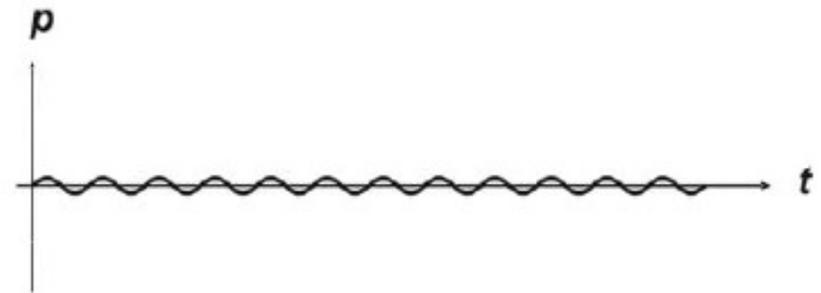
Los **sonidos graves** tienen longitudes de **onda grandes** mientras que los **agudos** tienen longitudes de onda pequeñas

Magnitudes acústicas

- **Amplitud:** Es el máximo desplazamiento de la onda en relación con su posición de reposo (máxima presión sonora). Se percibe como sonoridad o volumen.



gran amplitud



pequeña amplitud

Umbral de audición

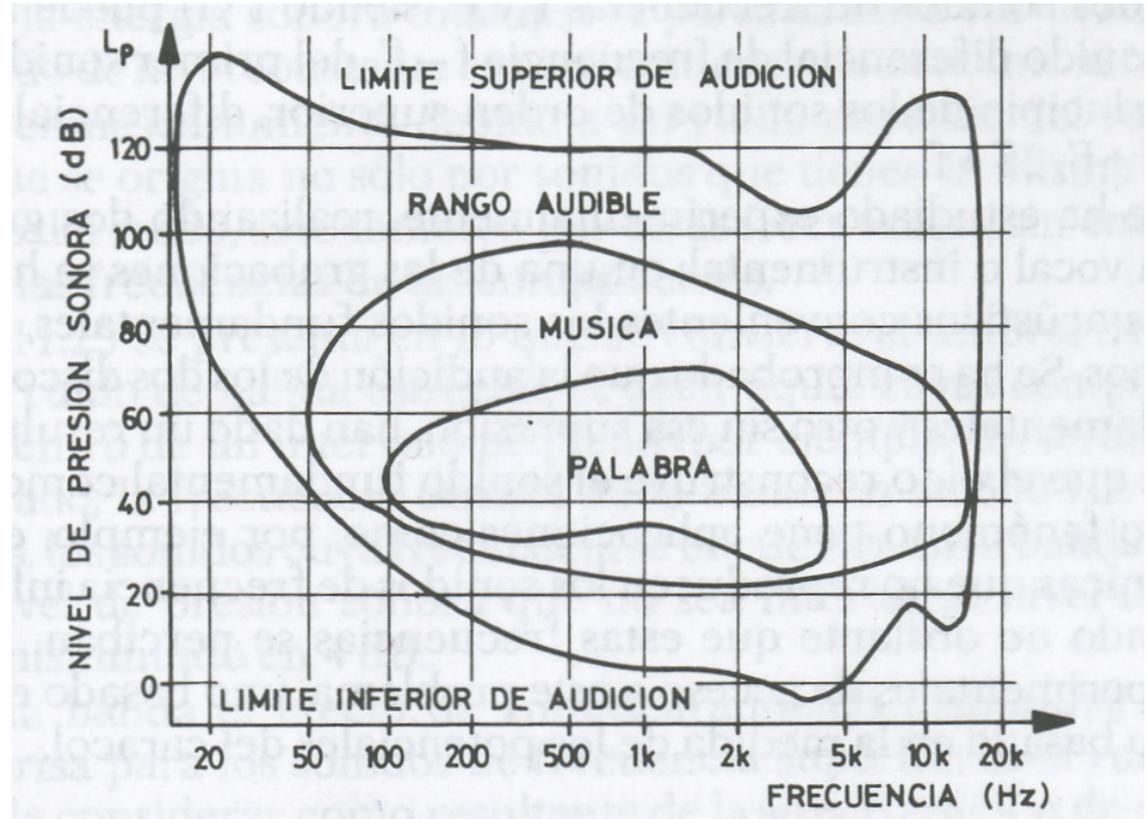
El oído humano puede percibir una amplia gama de presiones y frecuencias sonoras.

El diagrama del área de sensación muestra los límites del ruido audible, con respecto a la presión y frecuencia del sonido.

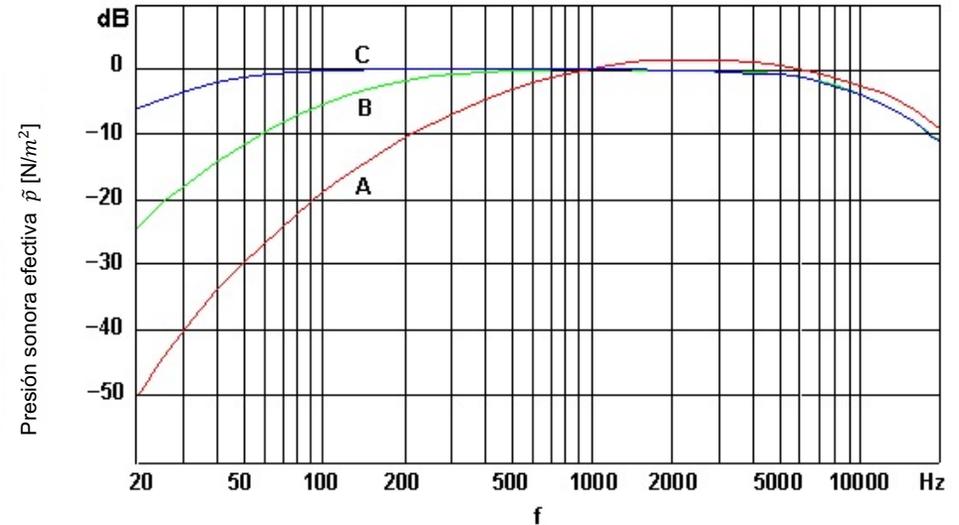
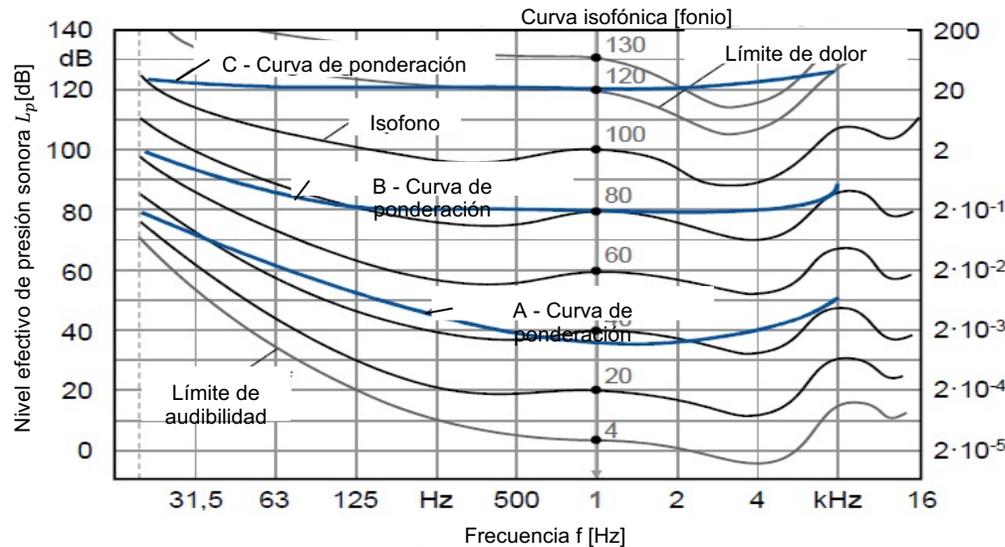
Rango audible

del humano

16 – 20,000 Hz



Curva isofónica



- Son curvas de igual sonoridad mediante las cuales es calculada la relación existente entre la frecuencia y la intensidad (en decibeles) de dos sonidos para que éstos sean percibidos como igual de fuertes por el oído.

■ Escalas de ponderación

Se utilizan tres tipos de curvas de ponderación: A, B, C

La más ampliamente utilizada es la curva A, ya que su respuesta a las distintas frecuencias es la que mejor se relaciona con la forma de percibir el sonido por el oído humano.

Magnitudes acústicas

- **Emisión de ruido:** detección de la radiación de sonido emitido por fuentes de sonido.
Ejemplo: medida de presión sonora de una fuente
- **Inmisión de ruido:** detección de la influencia del ruido en el oído humano.
Ejemplo: nivel de presión acústica equivalente ponderado
- **Velocidad de Propagación:** es la velocidad a la que se propagan las ondas o perturbaciones en un medio elástico. Depende de la masa y la elasticidad del medio a través del cual se transmite.
- **Intensidad sonora:** es la energía sonora que se propaga perpendicularmente a la dirección de propagación en la unidad de tiempo, y está directamente relacionada con la presión sonora. La intensidad de los sonidos varía inversamente en el cuadrado de la distancia desde el punto donde es evaluado el ruido.
- **Potencia sonora:** cantidad de energía sonora generada por una fuente en la unidad de tiempo.
- **Presión sonora:** se define como la variación de presión atmosférica producida en un punto como consecuencia de una onda sonora que se propaga a través del aire. Esta magnitud es la más usada en medida de ruidos, por ser medible directamente con los sonómetros.

Nivel de presión sonora

- Presión sonora o nivel de intensidad

$$L_p = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

$$L_p = 10 \lg \frac{\tilde{p}^2 \cdot \rho \cdot c}{\tilde{p}_0^2 \cdot \rho \cdot c}$$

$$L_p = 10 \lg \frac{\tilde{p}^2}{\tilde{p}_0^2} = 20 \lg \frac{\tilde{p}}{\tilde{p}_0}$$

- Nivel de suma de múltiples fuentes de sonido

$$L_p = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{I}{I_0} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{p_i}}$$

Análisis de frecuencia

El **análisis de frecuencia** se lleva a cabo para obtener más información sobre las frecuencias constituyentes de una fuente de sonido.

El **análisis de octavas** implica dividir el espectro de frecuencia en anchos de banda de modo que el límite inferior (f_1) sea la mitad del superior (f_2) donde

$$\text{Filtro de octava: } f_2 = 2f_1$$

Se puede obtener mayor resolución utilizando anchos de banda de media o tercera octava

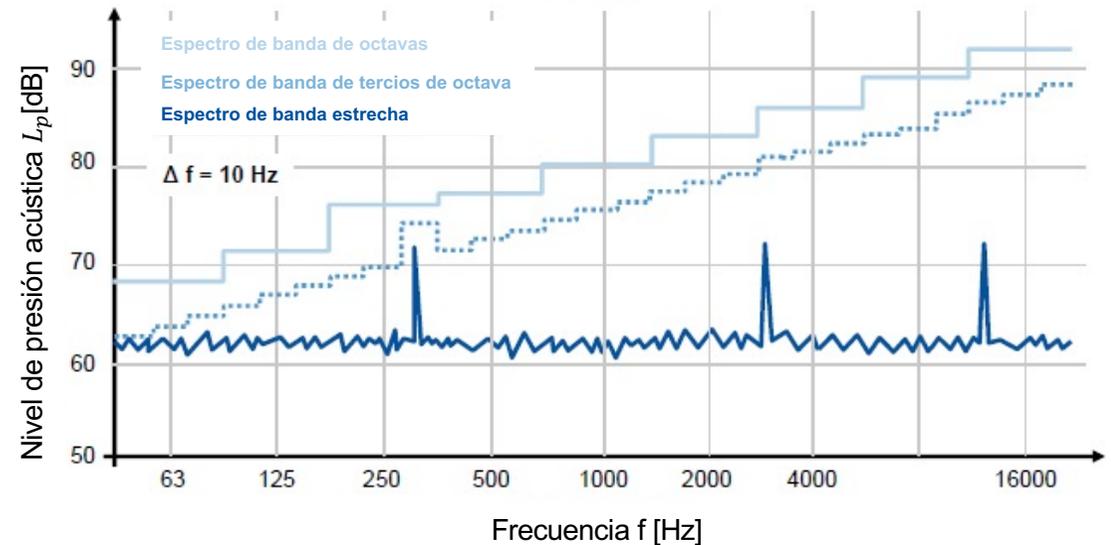
$$\text{Filtro de tercera octava: } f_2 = \sqrt[3]{2f_1}$$

La frecuencia central de un ancho de banda viene dada por la media geométrica de las frecuencias superior e inferior.

Señal de tiempo, banda estrecha, banda de octavas y banda de tercios de octava

Banda de frecuencia

- Zona del espectro caracterizada por dos frecuencias límite (inferior y superior) y una frecuencia central, siendo el ancho la diferencia entre sus frecuencias límite.
- Tipos de banda
 - **Banda de octavas:** donde la frecuencia superior es el doble de la inferior
 - **Banda de tercios de octava:** es la tercera parte de una banda de octava
- La frecuencia de los filtros para estos análisis se define como:



Frecuencia límite inferior f_0

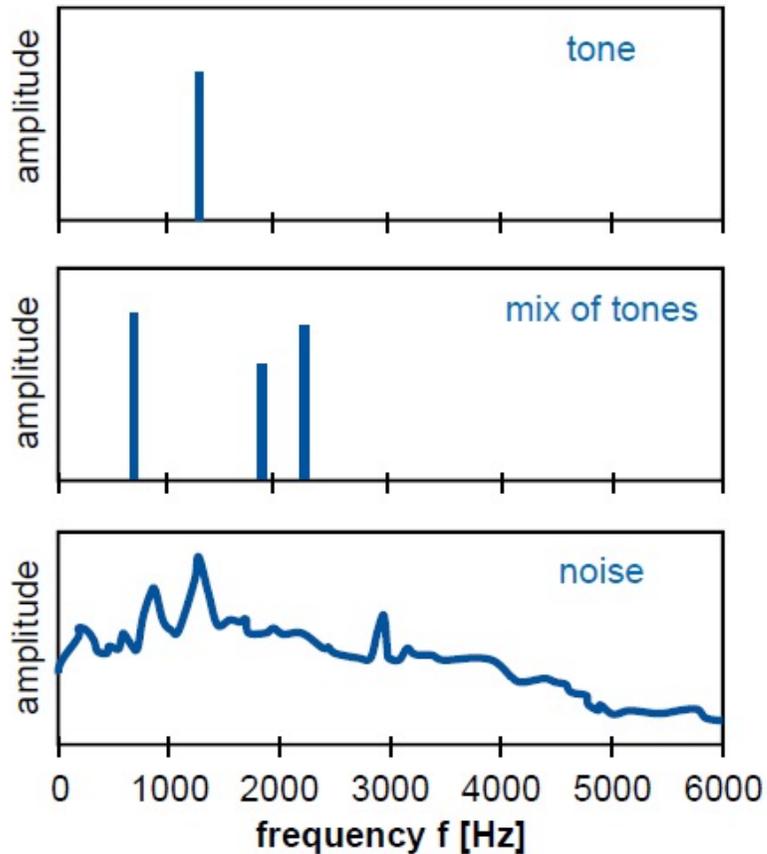
Frecuencia límite superior f_u

Filtro de banda estrecha: constante (por ejemplo: 15Hz)

Filtro de tercios: $f_0 = \sqrt[3]{2}f_u$

Filtro de octava: $f_0 = 2f_u$

Espectro de amplitudes para diferentes ocurrencias de sonido



Tono simple: ruido con características sinusoidales.

Mezcla de tonos: ruido existente de tonos simples con cualquier frecuencia.

Sonido armónico: sonido que consiste en tonos armónicos cuya relación de frecuencias está en números enteros

Sonido o ruido: ruido con espectro continuo o mezcla de tonos que consiste en muchos tonos simples de los cuales las relaciones de frecuencia no están numeradas en su totalidad.

Medición de la exposición al ruido

- Se han desarrollado varias medidas para permitir medir la exposición diaria al ruido de los empleados.
- El nivel de ruido ponderado A equivalente o “LAeq” se ha desarrollado para aquellas situaciones en las que los niveles de ruido fluctúan en el transcurso de un día.
- Es un valor integrado: el nivel medio de energía acústica durante el período de medición.
- El LAeq se define como el nivel de ruido en estado estable que tendría la energía sonora equivalente al ruido real durante el mismo período de tiempo.
- Se puede pensar que el LAeq “suaviza” los picos y los valles de la exposición diaria al ruido para dar un promedio.

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{L_{pi}/10} \right]$$

Espectro de frecuencia

- El espectro de un ruido se define como la representación de la distribución de energía sonora en función de la frecuencia.
- Con los instrumentos de medición de ruido (sonómetro) el técnico puede obtener el nivel de presión sonora total.
- El nivel de presión sonora se calcula con la siguiente expresión:

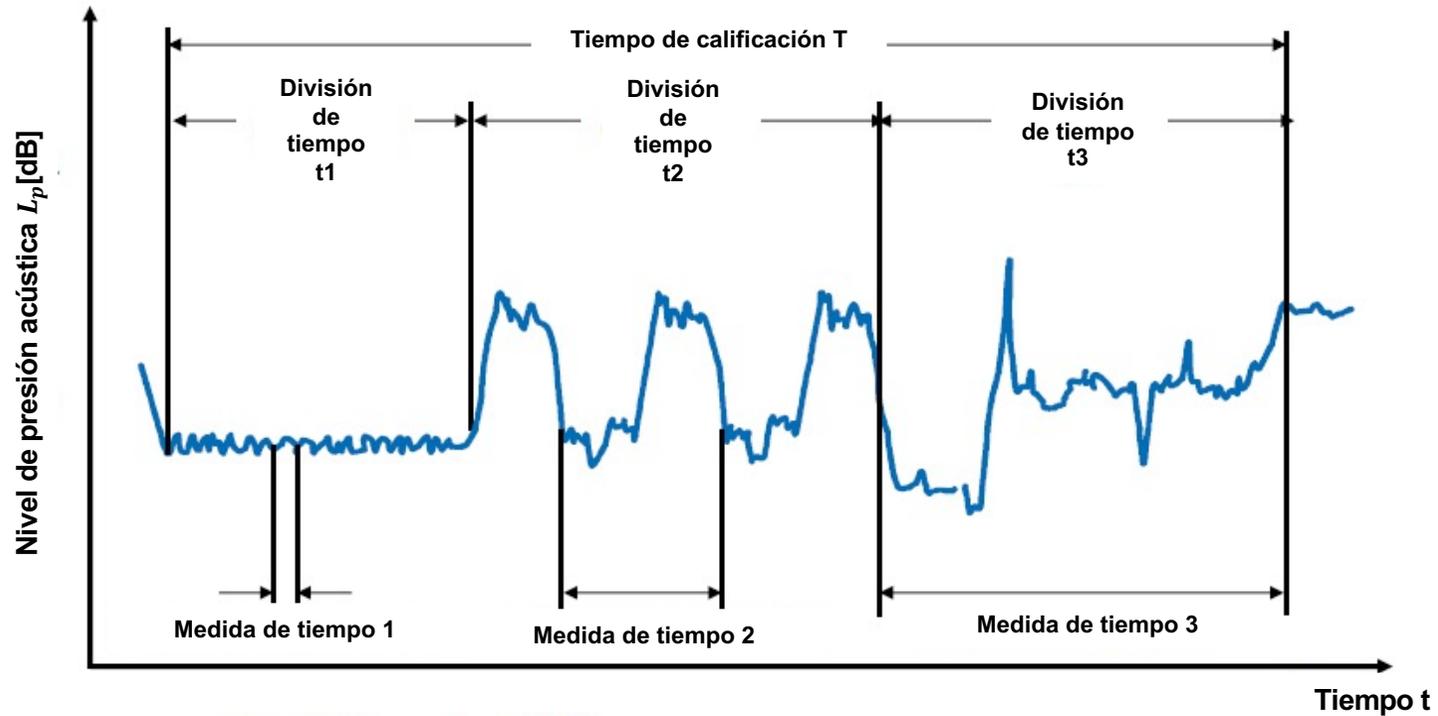
$$L_{p_{total}} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_{p_i}/10}$$

donde

L_{p_i} es el nivel de presión por banda de octava



Nivel de presión acústica durante una jornada

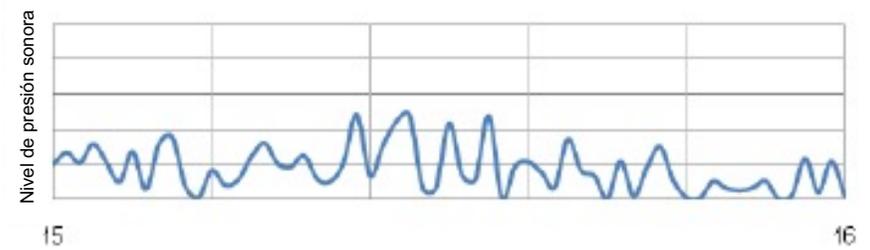
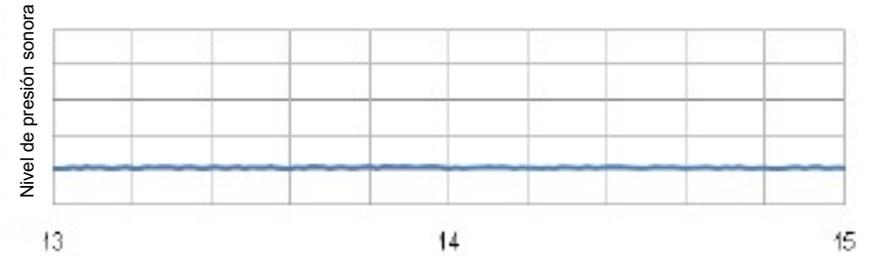
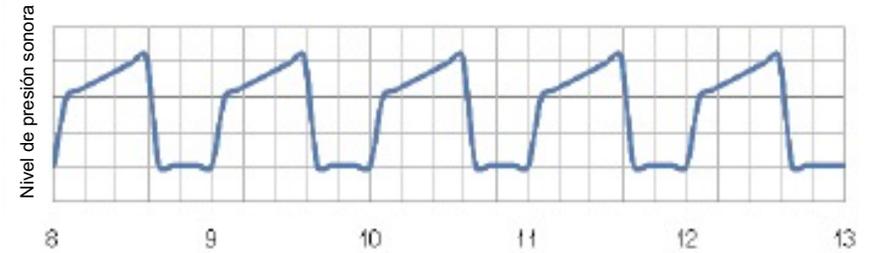


$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{L_i/10} \right]$$

Ejemplo 1: Características del ruido

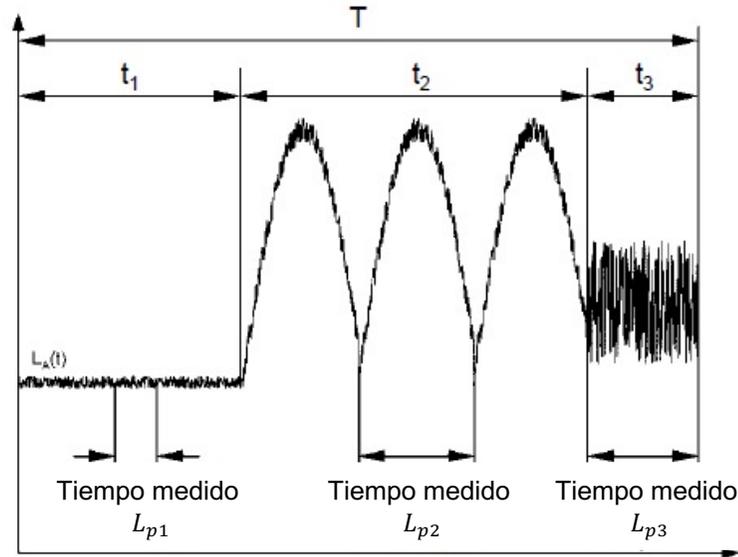
La compañía le solicito que evaluara la contaminación acústica en la fabrica. De un estudio realizado anteriormente, usted es consciente de las características del nivel de ruido .

- Decida las características del nivel dado pueden asignarse a procesos de trabajo manuales o automatizados.
- Indique en las características de nivel dadas la longitud de la medición



Ejemplo 1: Características del ruido

Las mediciones de ruido se llevan a cabo para hacer una hacer aseveraciones acerca del nivel de estrés de los empleados causado por la influencia del sonido durante un turno de trabajo.

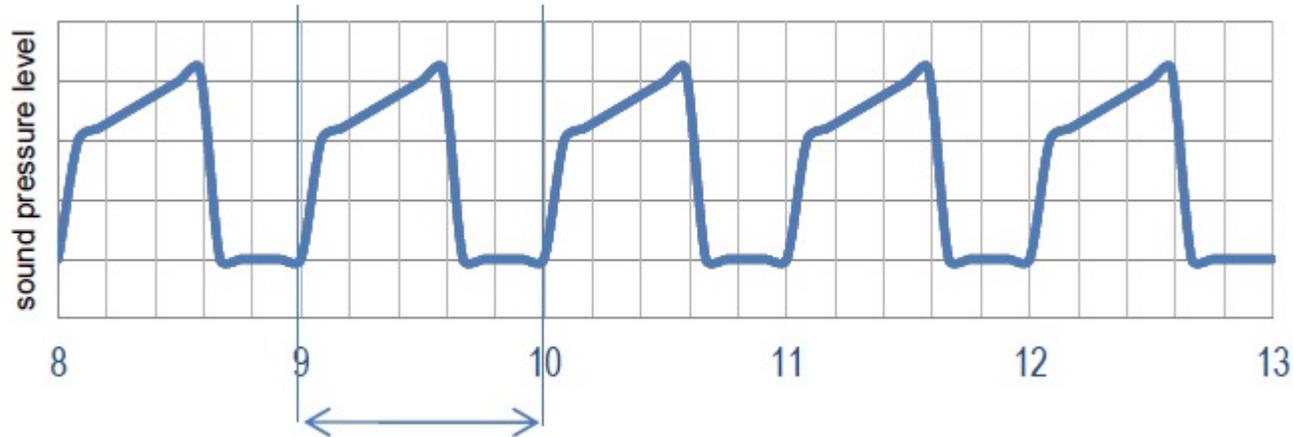


L_{pA} = Nivel de sonido ponderado A durante el tiempo medido

t_i = Tiempo del turno

T = Tiempo total

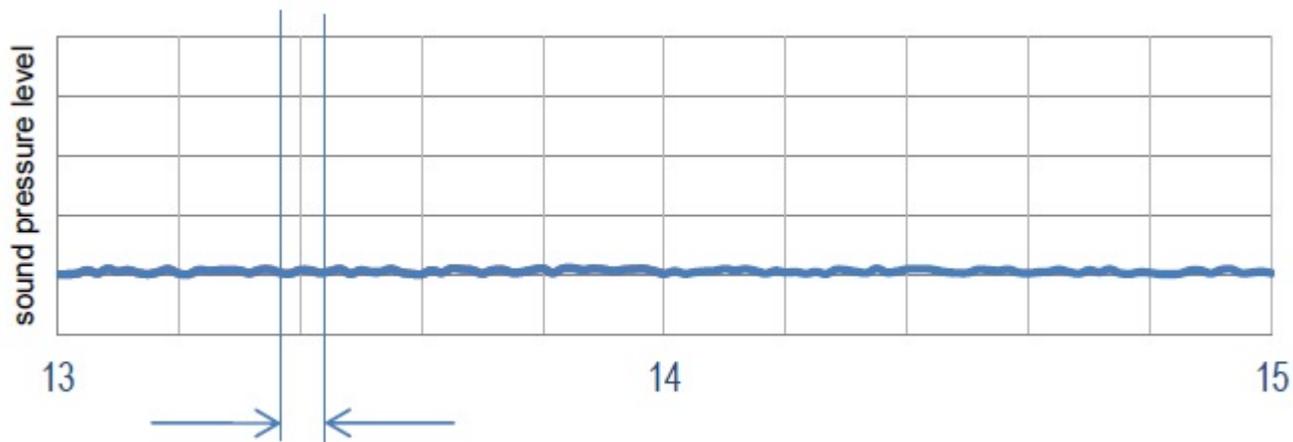
Ejemplo 1: Características del ruido



Las características de nivel son de tipo **procesos automatizados** que se llevan a cabo de manera idéntica todos los días a la misma hora.

Es una característica periódica que se genera mediante un proceso automático y siempre idéntico. Por lo tanto, un período es suficiente como un intervalo de medición

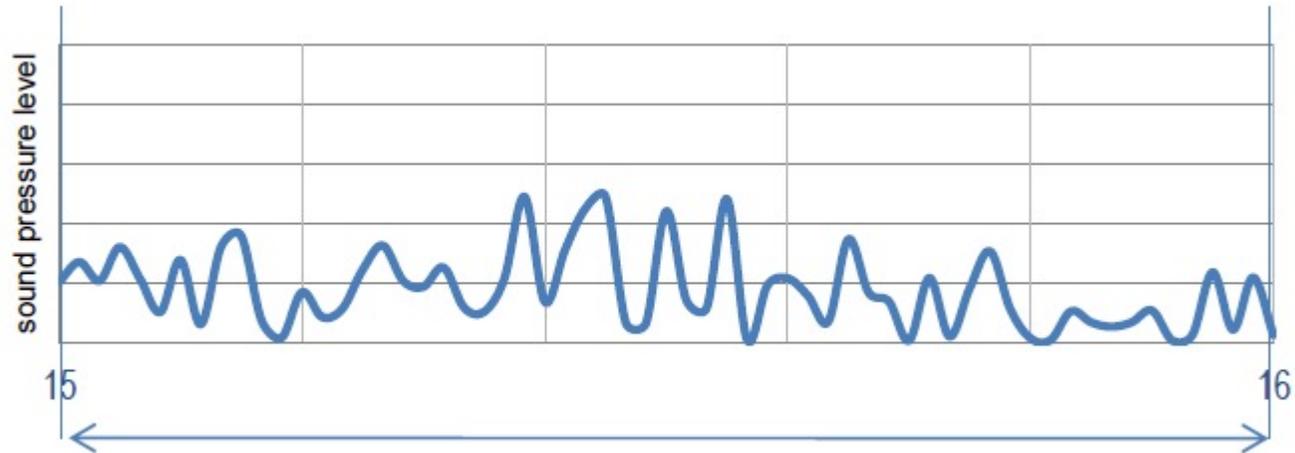
Ejemplo 1: Características del ruido



Las características de nivel son de tipo **procesos automatizados** que tienen lugar de manera idéntica todos los días a la misma hora.

La característica es causada por un proceso automatizado. Las variaciones en el nivel son tan pequeñas que pueden considerarse constantes. Un pequeño intervalo de medición es suficiente.

Ejemplo 1: Características del ruido



La característica de nivel es de tipo **trabajo manual**, que no está definido por un periodo.

El nivel emerge a través de operaciones manuales que no están definidas en su secuencia en una secuencia de tiempo. Por lo tanto, el intervalo de medición debe corresponder a toda la sección de trabajo.

Ejemplo 2: Cálculo con valores de nivel de sonido

¿Cuál es el cambio de nivel cuando se duplica la presión del sonido?

$$\Delta L_p = L_{p2} - L_{p1}$$

$$L_{p2} = 20 \log\left(\frac{p_2}{p_0}\right)$$

$$L_{p1} = 20 \log\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$$

$$p_2 = 2p_1$$

$$L_{p2} = 20 \log\left(\frac{p_2}{p_0}\right) = 20 \log\left(\frac{2p_1}{p_0}\right) = 20 \log(2p_1) - 20 \log(p_0)$$

$$\Delta L_p = L_{p2} - L_{p1}$$

$$= 20 \log(2p_1) - 20 \log(p_0) - \left[20 \log\left(\frac{p_1}{p_0}\right)\right]$$

$$= 20 \log(2p_1) - 20 \log(p_0) - 20 \log(p_1) + 20 \log(p_0)$$

$$= 20 \log\left(\frac{2p_1}{p_1}\right)$$

$$\Delta L_p = 20 \log(2) = 6 \text{ dB}$$

Ejemplo 2: Cálculo con valores de nivel de sonido

¿Cuál es el cambio de nivel cuando se duplica la intensidad del sonido?

$$\Delta L_p = L_{p2} - L_{p1}$$

$$L_{p2} = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$L_{p1} = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$I_2 = 2I_1$$

$$\Delta L_p = L_{p2} - L_{p1}$$

$$= 10 \log(2I_1) - 10 \log(I_0) - \left[10 \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)\right]$$

$$= 10 \log\left(\frac{2I_1}{I_1}\right)$$

$$\Delta L_p = 10 \log(2)$$

$$\Delta L_p = 3 \text{ dB}$$

Ejemplo 2: Cálculo con valores de nivel de sonido

¿Cuál es el cambio de nivel cuando 2, 4, 8 o 10 fuentes de sonido igualmente fuertes están activas al mismo tiempo?

Ejemplo 3: Cálculo del nivel de exposición diario equivalente cuando se conocen los niveles de presión acústica ponderados A

Calcule el nivel sonoro ponderado A total ($L_{p_{total}}$) para un turno de 8 horas con la siguiente información

Frecuencia [Hz]	Nivel de sonido	Turno (h)
500	81.8 dB(A)	5
1000	80 dB(A)	2
16000	91 dB(A)	1

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{L_{pi}/10} \right]$$

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\frac{1}{8} (5 \times 10^{81.1/10} + 2 \times 10^{80/10} + 1 \times 10^{91/10}) \right]$$

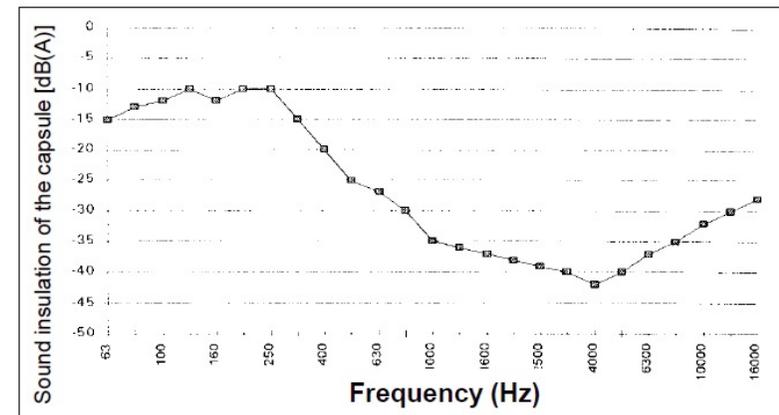
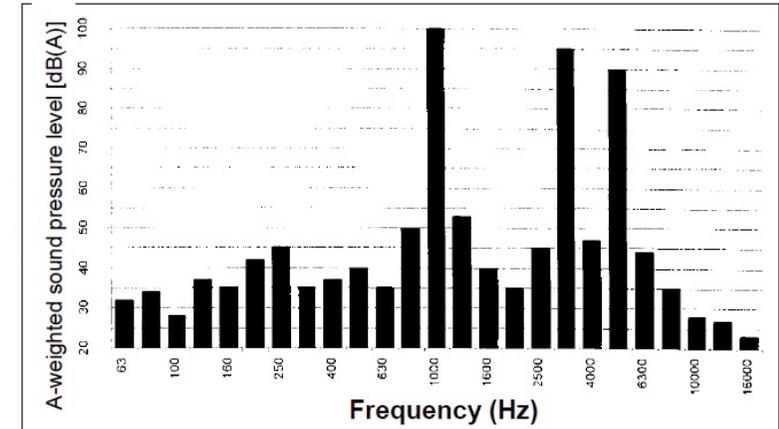
$$L_{p_{total}} = 84.19 \text{ dB(A)}$$

Ejemplo 4: Nivel de presión acústica ponderado

En una empresa de producción de acero, una máquina emite un sonido fuerte. El puesto de trabajo del operador esta al lado de la maquina. La presión sonora se mide en el oído del trabajador. Para evitar un daño auditivo la maquina esta encapsulada (medida de seguridad laboral).

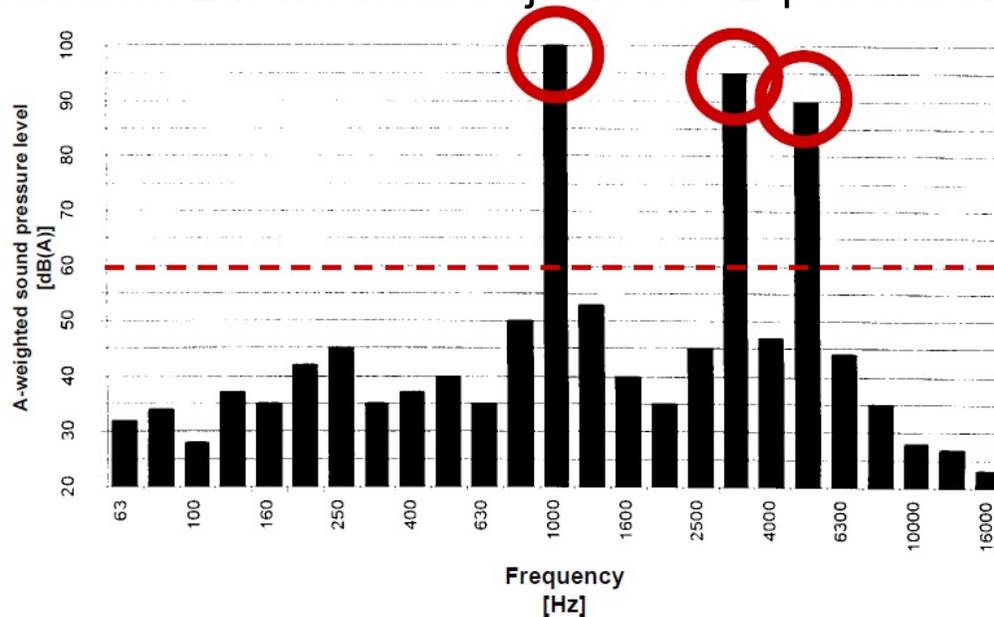
El fabricante de la capsula de control de ruido muestra las mediciones actuales

- Determine el nivel de presión acústica ponderado A para todo el rango de frecuencia antes de la encapsulación. Las medidas bajo de 60 dB pueden obviarse
- Determine el nivel de presión acústica ponderado A para todo el rango de frecuencia después de la encapsulación. Medidas debajo de 60 dB pueden ser obviadas
- ¿Cuanto es la reducción del nivel de presión acústica que se puede esperar con las medidas de protección de ruido?



Ejemplo 4: Nivel de presión acústica ponderado

- a. Determine el nivel de presión acústica ponderado A para todo el rango de frecuencia antes de la encapsulación. Las medidas bajo de 60 dB pueden obviarse

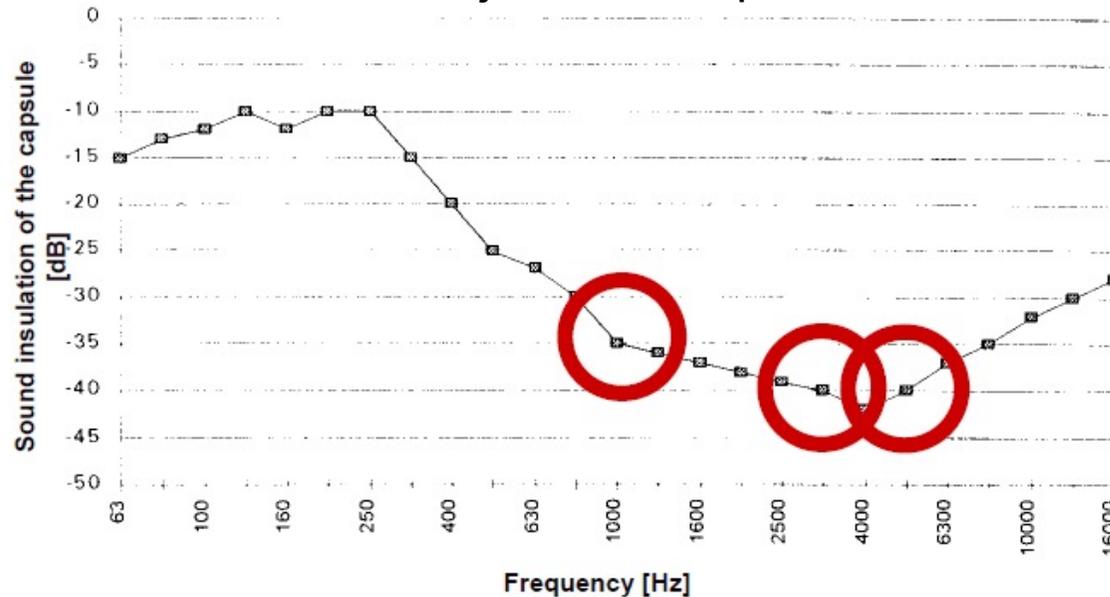


$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^3 10^{L_{pi}/10} \right]$$

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[(10^{100}/10 + 10^{95}/10 + 10^{90}/10) \right] = 101.5 \text{ dB(A)}$$

Ejemplo 4: Nivel de presión acústica ponderado

b. Determine el nivel de presión acústica ponderado A para todo el rango de frecuencia después de la encapsulación. Medidas debajo de 60 dB pueden ser obviadas



$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^3 10^{L_{pi}/10} \right]$$

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[(10^{100-35}/10 + 10^{95-40}/10 + 10^{90-40}/10) \right] = 65.5 \text{ dB(A)}$$

Ejemplo 4: Nivel de presión acústica ponderado

c. ¿Cuanto es la reducción del nivel de presión acústica que se puede esperar con las medidas de protección de ruido?

$$\Delta L_p = L_{p_{antes}} - L_{p_{despues}}$$

$$\Delta L_p = 101.5 \text{ dB}(A) - 65.5 \text{ dB}(A)$$

$$\Delta L_p = 36 \text{ dB}(A)$$

Ejemplo 5

Un nivel de ruido de 40 dB (A) se mide en un lugar de trabajo en una oficina. Dos veces al día, el silencio es interrumpido temporalmente (durante aproximadamente 1 minuto) por un tren, lo que provoca un nivel de ruido de 90 dB (A).

Determine el nivel de calificación de ruido para un día laborable (8 horas).

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{L_{pi}/10} \right]$$

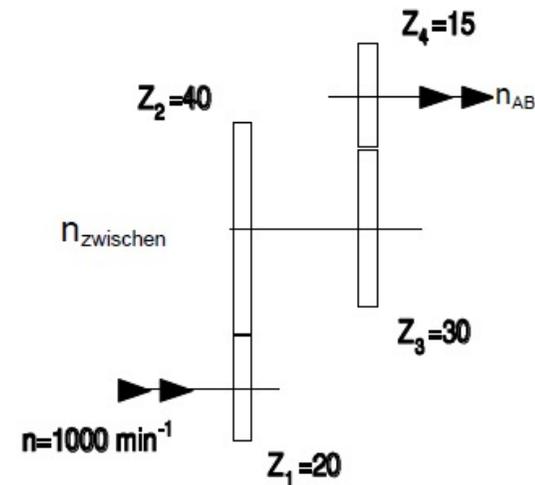
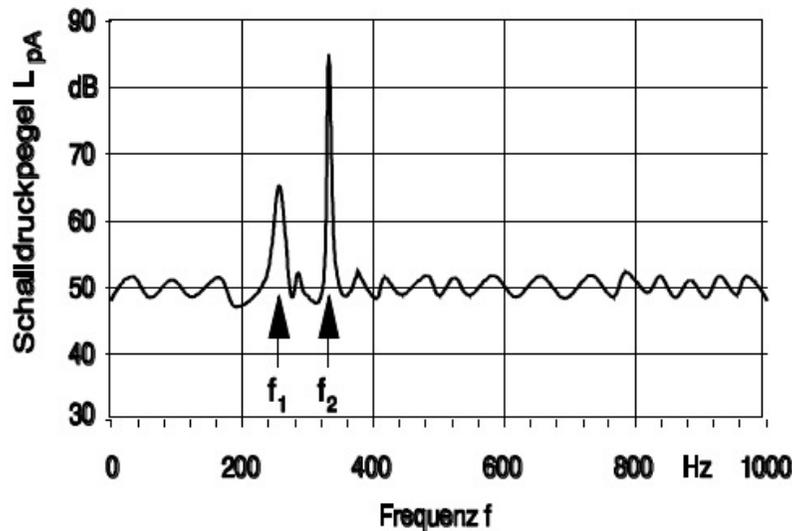
$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\frac{1}{480} (478 \times 10^{40/10} + 2 \times 1 \times 10^{90/10}) \right]$$

$$L_{p_{total}} = 66.21 \text{ dB(A)}$$

Ejemplo 6: Ruido emitido por unidad de engrane

Se realizó un análisis de frecuencia de banda estrecha sobre el ruido aéreo emitido por una unidad de engranaje. El nivel de presión sonora total es $L_{p_{total}} = 86.5 \text{ dB}(A)$

- Use la información brindada sobre la unidad de engranaje para identificar la etapa del engranaje responsable de los aumentos de amplitud. Por lo tanto, calcule primero las frecuencias respectivas de las etapas del engranaje
- ¿En cuántos dB se reduciría el nivel de presión acústica total cuando un proceso de reducción de ruido redujera 50 dB de la presión acústica de la frecuencia f_1 , respectivamente, la frecuencia f_2 ?



Ejemplo 6: Ruido emitido por unidad de engrane

- a. Use la información brindada sobre la unidad de engranaje para identificar la etapa del engranaje responsable de los aumentos de amplitud. Por lo tanto, calcule primero las frecuencias de engrane respectivas de las etapas del engranaje

$$f_{in} = n_{in} * z_1$$

$$f_{in} = 1000 \text{ min}^{-1} * 20 * \frac{\text{min}}{60 \text{ s}}$$

$$f_{in} = 333 \text{ Hz}$$

$$f_{out} = n_{out} * z_4$$

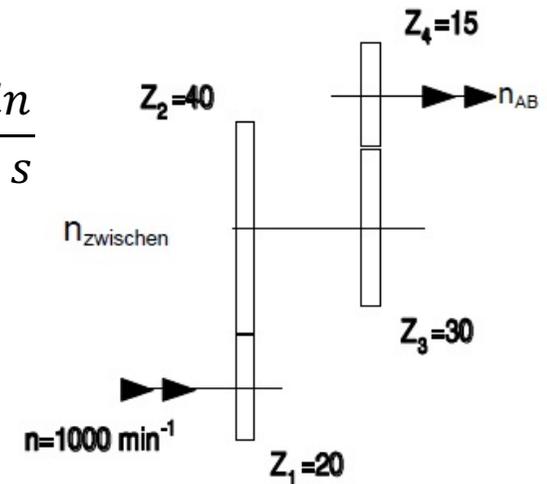
$$f_{out} = 1000 \text{ min}^{-1} * 15 * \frac{\text{min}}{60 \text{ s}}$$

$$f_{out} = 250 \text{ Hz}$$

$$n_{out} = n_{in} \left(\frac{z_1}{z_2} \right) \left(\frac{z_3}{z_4} \right)$$

$$n_{out} = 1000 \text{ min}^{-1} \left(\frac{20}{40} \right) \left(\frac{30}{15} \right)$$

$$n_{out} = 1000 \text{ min}^{-1}$$



$$f = n * z$$

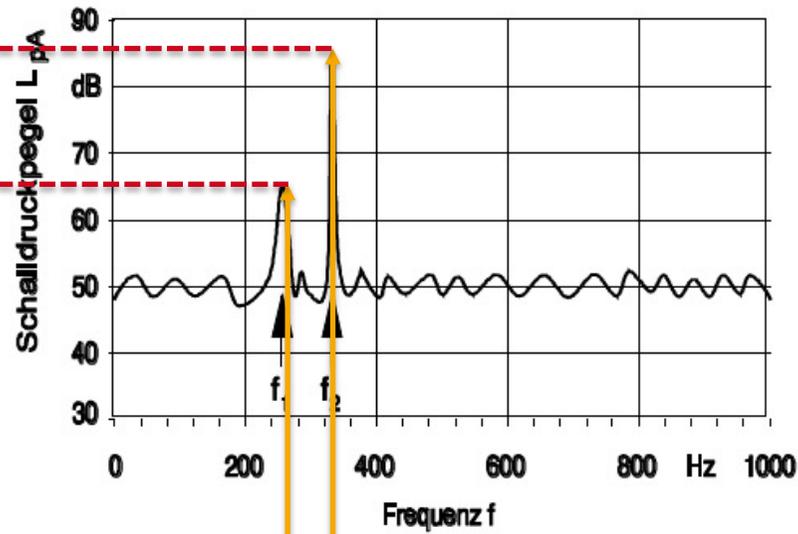
z = número de dientes

n = velocidad rotacional

Ejemplo 6: Ruido emitido por unidad de engrane

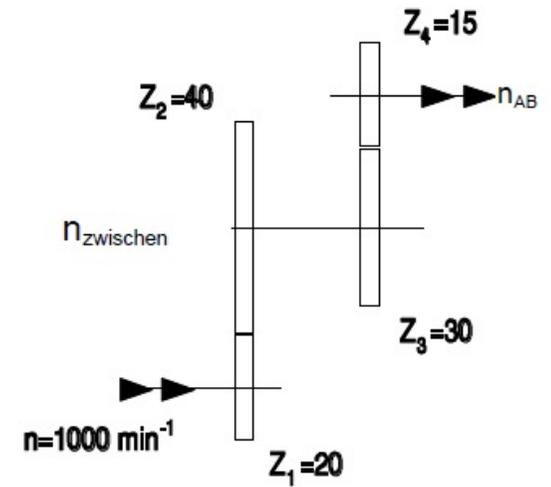
$$L_{p2} = 85 \text{ dB(A)}$$

$$L_{p1} = 65 \text{ dB(A)}$$



$$f_1 = 250 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 333 \text{ Hz}$$



Ejemplo 6: Ruido emitido por unidad de engrane

b. ¿En cuántos dB se reduciría el nivel de presión acústica total cuando un proceso de reducción de ruido redujera 50 dB de la presión acústica de la frecuencia f_1 , respectivamente, la frecuencia f_2 ?

$$\Delta L_{p_{total}} = L_{p_{actual}} - L_{p_{reducido}}$$

Reducción de 50 dB del ruido de la $f_1 = 250 \text{ Hz}$ para obtener un nivel aceptable

$$L_{p_{actual}} = 86.5 \text{ dB(A)}$$

$$L_{p_1} = 65 \text{ dB(A)}$$

$$L_{p_{pred1}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right]$$

$$L_{p_{pred1}} = 10 \log [10^{8.65} - (10^{6.5} - 10^5)]$$

$$L_{p_{pred1}} = 86.47 \text{ dB(A)}$$

$$\Delta L_{p_{total}} = 86.5 \text{ dB (A)} - 86.47 \text{ dB(A)} = 0.03 \text{ dB (A)}$$

Ejemplo 6: Ruido emitido por unidad de engrane

b. ¿En cuántos dB se reduciría el nivel de presión acústica total cuando un proceso de reducción de ruido redujera 50 dB de la presión acústica de la frecuencia f_1 , respectivamente, la frecuencia f_2 ?

$$\Delta L_{p_{total}} = L_{p_{actual}} - L_{p_{reducido}}$$

Reducción de 50 dB del ruido de la $f_2 = 333 \text{ Hz}$ para obtener nivel aceptable

$$L_{p_{actual}} = 86.5 \text{ dB(A)}$$

$$L_{p_2} = 85 \text{ dB(A)}$$

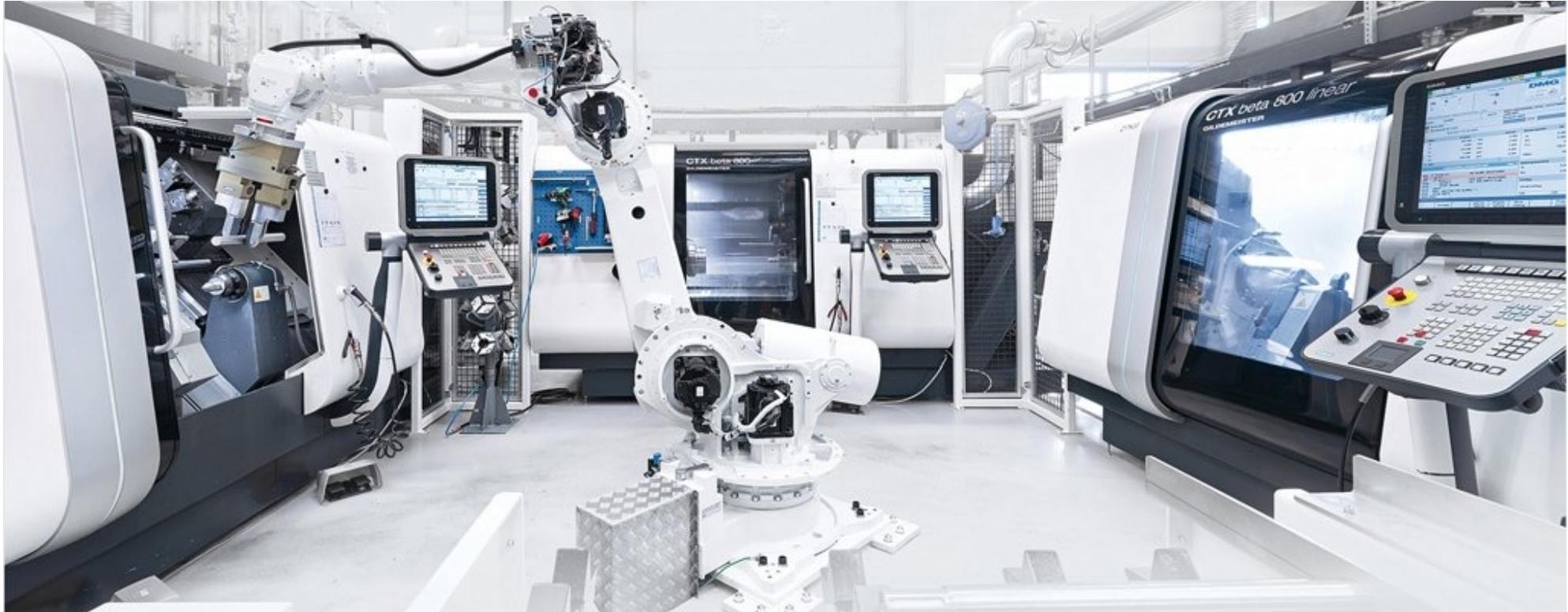
$$L_{p_{red2}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right]$$

$$L_{p_{red2}} = 10 \log [10^{8.65} - (10^{8.5} - 10^5)]$$

$$L_{p_{red2}} = 81.2 \text{ dB(A)}$$

$$\Delta L_{p_{total}} = 86.5 \text{ dB (A)} - 81.2 \text{ dB(A)} = 5.3 \text{ dB (A)}$$

Medición de ruido según ISO 3744



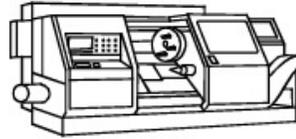
Todos los elementos, cuyo único propósito es realizar las funciones de la máquina, se clasifican como parte de la máquina herramienta como un objeto en investigación

Medición de ruido según ISO 3744

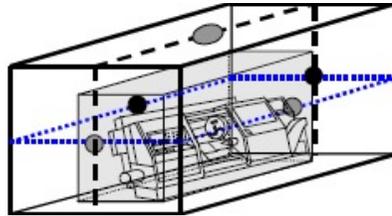
La norma ISO 3744 establece normas en términos de instrumentos de medición requerido, las condiciones de medición y operación, así como el método que se aplicará al evaluar los datos adquiridos aplicados a máquinas herramientas

Los métodos especificados en esta Norma Internacional permiten la determinación del nivel de potencia acústica y el nivel de energía acústica en bandas de frecuencia, opcionalmente con la ponderación A de frecuencia aplicada.

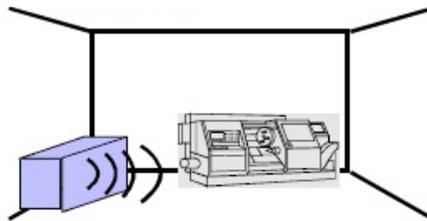
Objeto en investigación



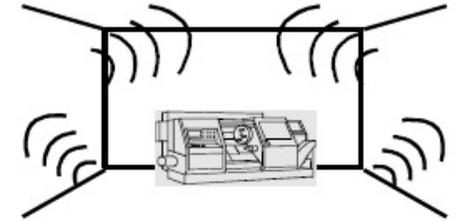
Método de superficie envolvente



Ruido de fondo



Influencia del entorno



Medición de ruido según ISO 3744: Valores característicos que describen la emisión de ruido

Para describir el ruido emitido por una máquina, los siguientes valores característicos son de especial importancia, ya que describen el ruido emitido directamente con independencia de los ruidos extraños y de la habitación en la que se aloja.

- **Nivel de presión sonora de emisión en el lugar de trabajo L_p :** medida del nivel de presión sonora causado por la máquina en su lugar de trabajo independientemente de los efectos relacionados con la habitación o ruidos extraños. Por tanto, equivale al nivel de presión acústica en el lugar de trabajo si la máquina se instala en el exterior en un entorno silencioso (caso ideal).
- **Nivel de potencia acústica L_w :** es una medida de la energía sónica total emitida directamente por la máquina por unidad de tiempo.

Medición de ruido según ISO 3744: Superficie y distancia de medida

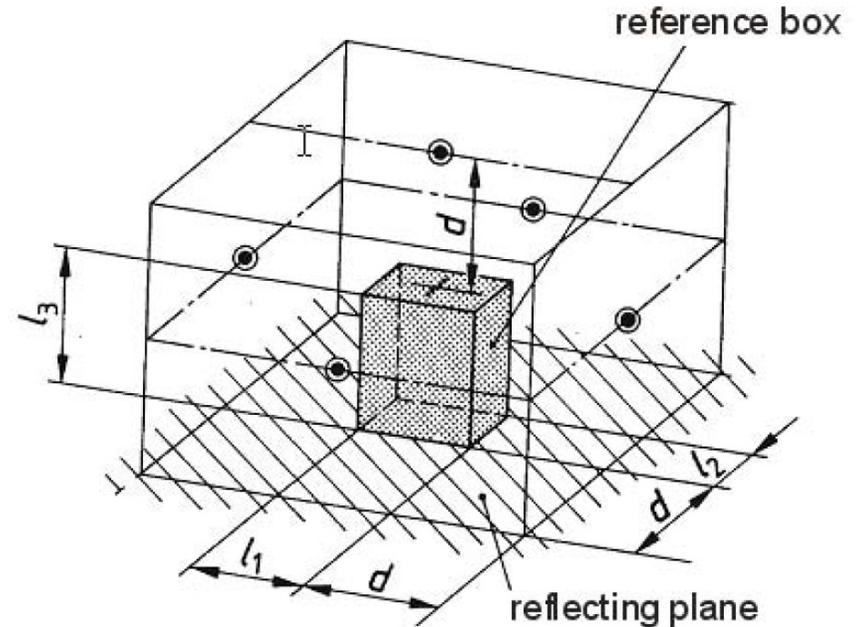
La relación entre el nivel de presión acústica y el nivel de potencia acústica es relativamente fácil de representar para una máquina en condiciones de campo libre (propagación del sonido sin obstáculos) y sin ningún ruido extraño apreciable.

El nivel de potencia acústica L_W se puede calcular a partir del nivel de presión acústica media L_p en una superficie de medición que encierra la máquina y a partir de la superficie de medición S mediante la siguiente fórmula:

$$L_W = \bar{L}_p + L_S$$

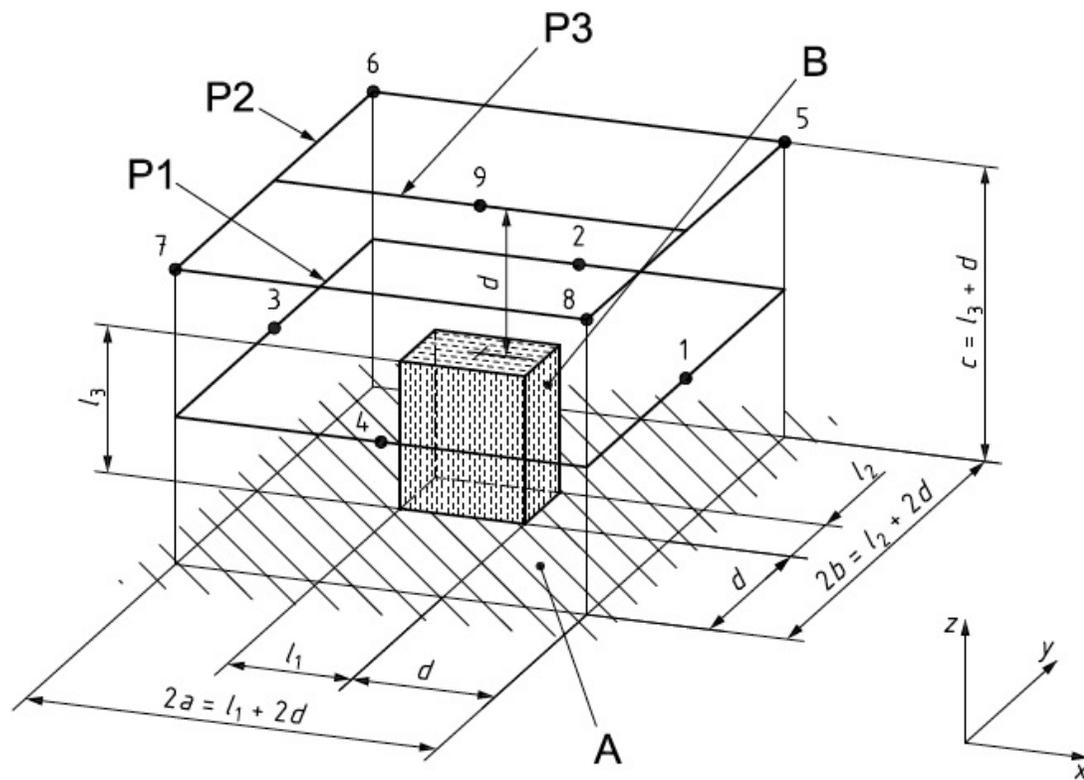
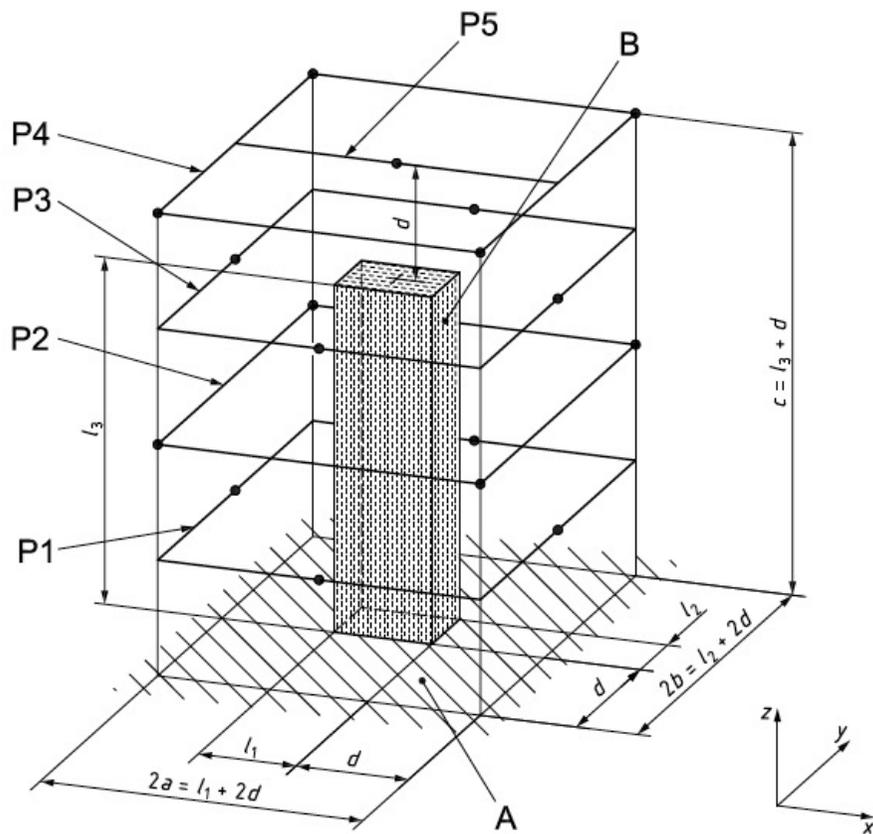
L_{p_i} = nivel de presión sonora en el punto de medición i

L_S = nivel de presión acústica de la superficie de medición $\rightarrow L_S = 10 \log \frac{S}{1 \text{ m}^2}$ S =superficie de medición



Medición de ruido según ISO 3744: Arreglos de los sonómetros para distintas formas

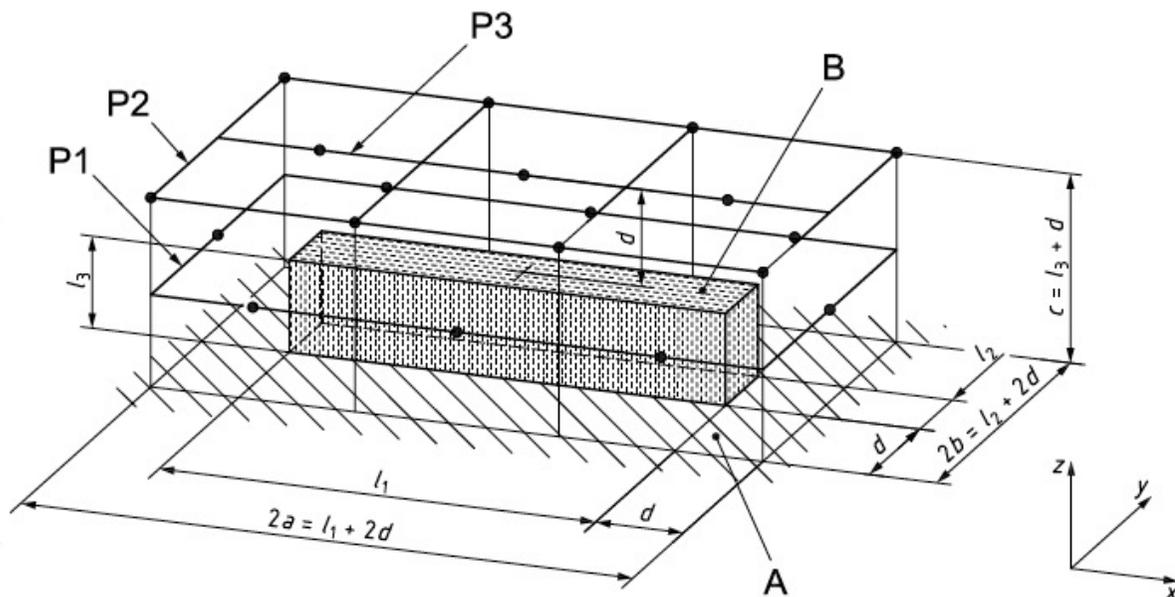
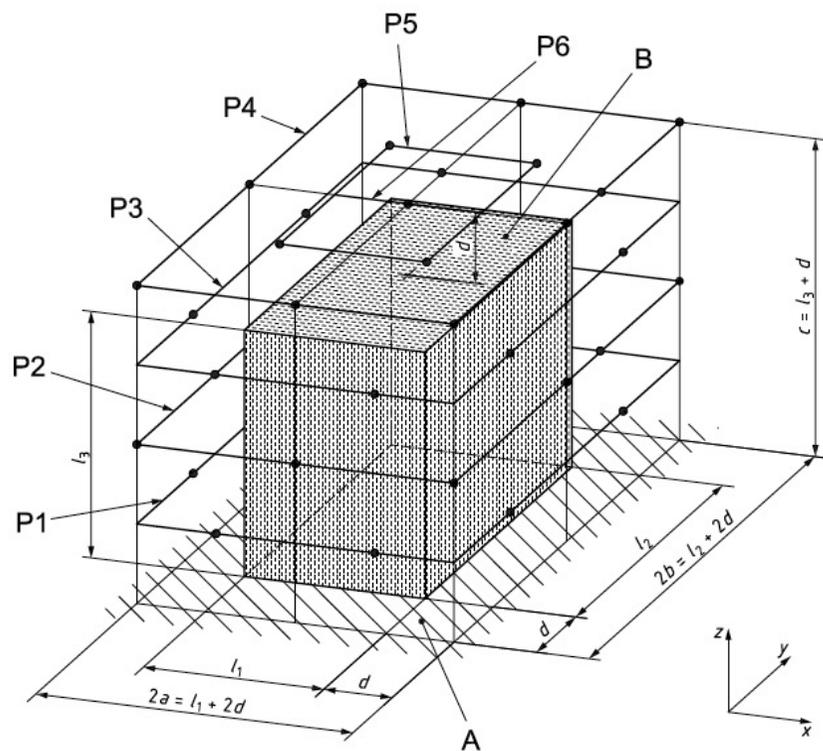
Superficie de medición con posiciones de sonómetro y caminos para una pequeña máquina



Superficie de medición con posiciones y recorridos de sonómetros para una máquina alta con una superficie de base pequeña

Medición de ruido según ISO 3744: Arreglos de los sonómetros para distintas formas

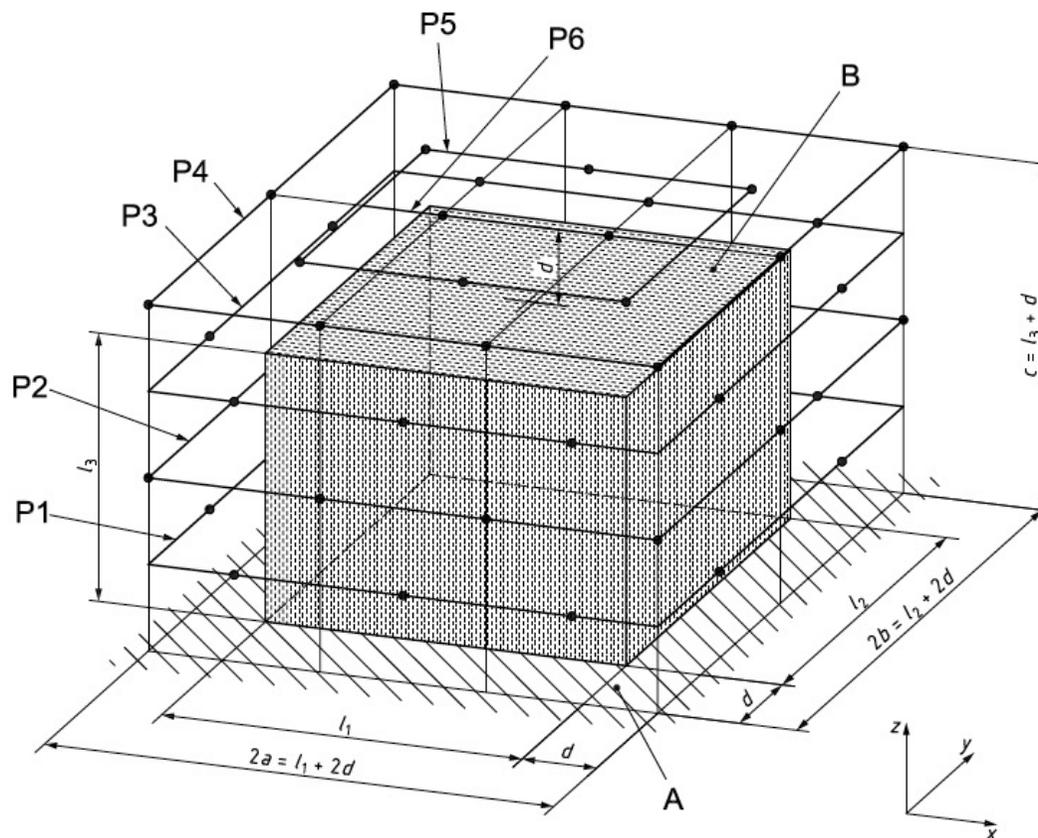
Superficie de medición con posiciones de sonómetro y trayectorias para una máquina de tamaño medio



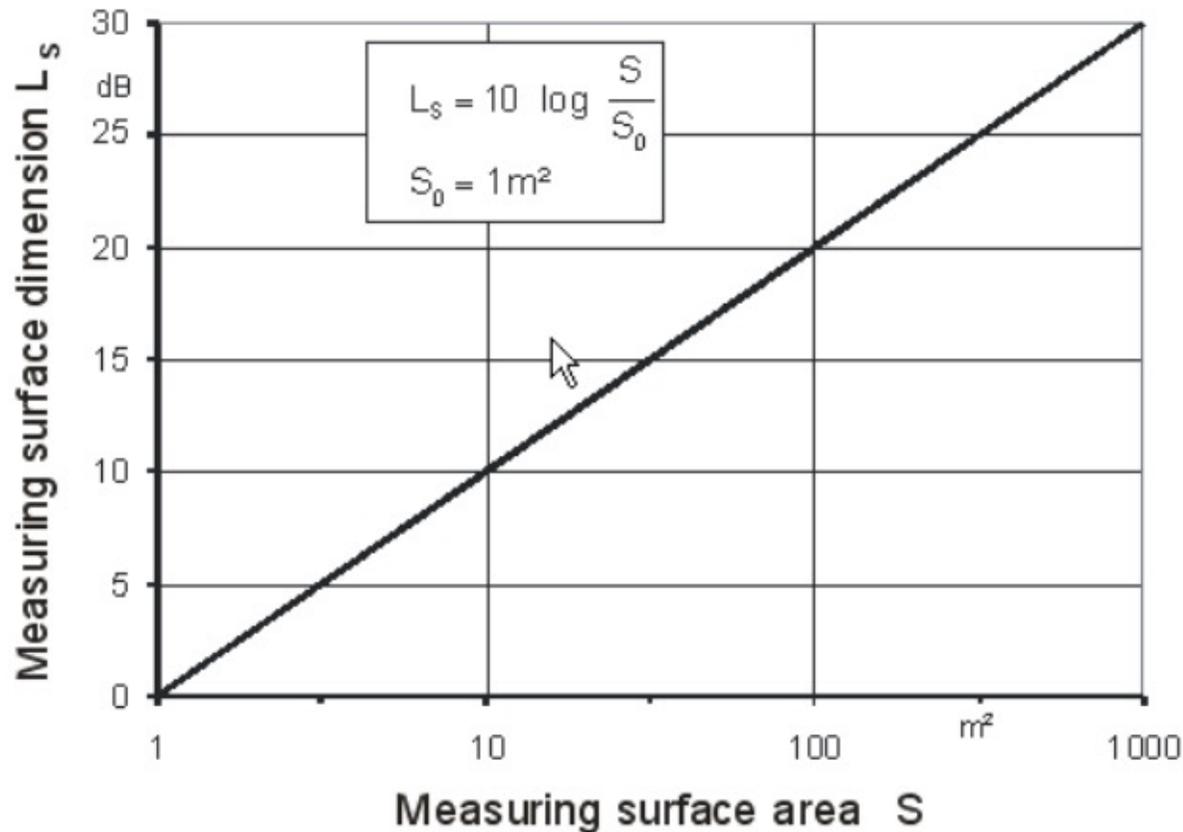
Superficie de medición con posiciones de sonómetros y caminos para una máquina larga

Medición de ruido según ISO 3744: Arreglos de los sonómetros para distintas formas

Superficie de medición con posiciones y trayectorias del sonómetro para una máquina grande



Medición de ruido según ISO 3744: Medición de potencia acústica con método de superficie envolvente



En estas condiciones especiales (campo libre y sin ruido extraño), el nivel de potencia acústica solo difiere del nivel medio de presión acústica L_p en la superficie de medición por la denominada dimensión de superficie de medición.

La dimensión de superficie de medición L_s se puede calcular partir del área de superficie de medición S en la fórmula:

$$L_s = 10 \lg (S / 1 m^2)$$

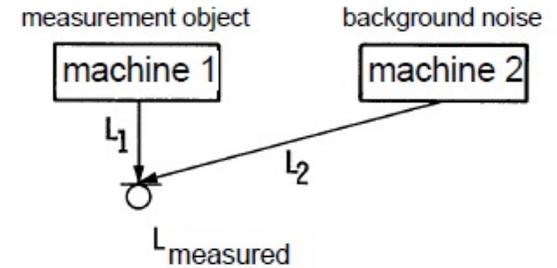
o simplemente leer el diagrama en la Figura

Medición de ruido según ISO 3744 : Corrección del ruido de fondo (K_1)

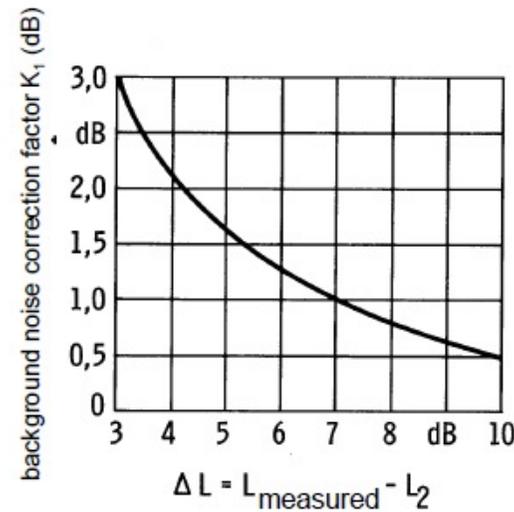
En la mayoría de los casos, el ruido de fondo no se puede eliminar. Por lo tanto, en la práctica, es esencial determinar la diferencia entre L medido (L_1 y L_2) y el ruido de fondo (L_2).

El factor de corrección de ruido de fondo (K_1) se puede determinar para tales casos.

- K_1 = background noise correction factor (dB)
- L_1 = measurement object level (dB)
- L_2 = background noise level (dB)
- L_{measured} = level at measurement point (dB)
- ΔL = difference between level at measurement point and background noise level



$$K_1 = \Delta L - 10 \lg (10^{0,1 \Delta L} - 1) \quad [\text{dB}]$$



difference between level at measurement point and background noise level	3	4 bis 5	6 bis 9	≥ 10
background noise correction factor (dB)	3	2	1	0

source: DIN 45635

Medición de ruido según ISO 3744: Corrección del ruido ambiental (K_2)

- La influencia ejercida sobre el resultado de la medición por la sala debe tenerse en cuenta a través del factor de corrección ambiental K_2 .
- Si las condiciones ambientales son bien conocidas, el valor del factor de corrección K_2 puede estimarse fácilmente.
- Si los resultados necesitan ser más precisos, el tiempo de reverberación o las mediciones comparativas de una fuente de ruido estándar proporcionan un valor apropiado de K_2 .

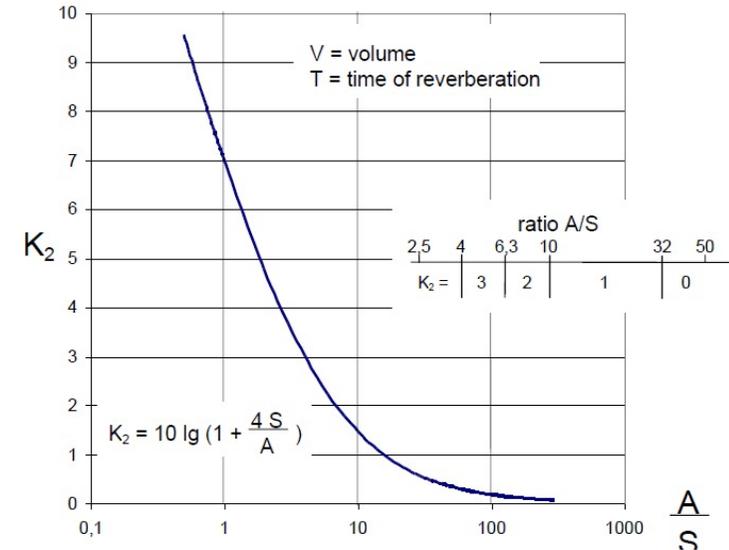
La siguiente ecuación se puede usar para calcular el área de absorción equivalente A:

$$A = \alpha * S_v$$

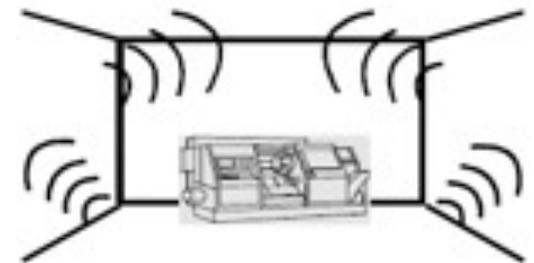
El valor K_2 puede calcularse:

$$K_2 = 10 \log\left(1 + \frac{4S}{A}\right)$$

S_v = área total de la superficie de la habitación (paredes techo, piso)
 α = coeficiente medio de absorción acústica



Influencia del entorno



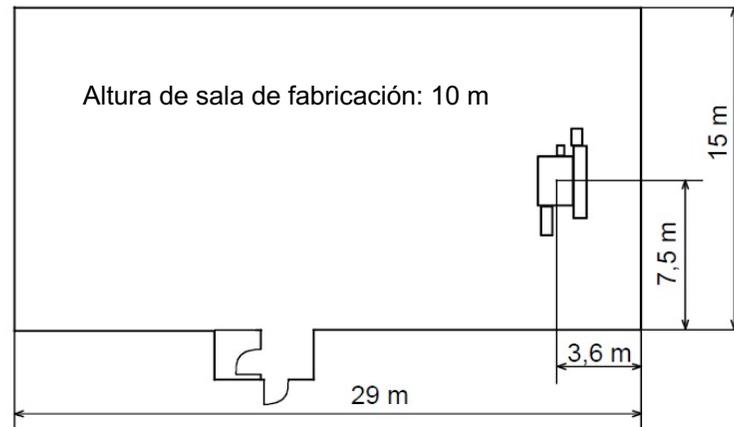
Medición de ruido según ISO 3744: Corrección del ruido ambiental (K_2)

α = coeficiente medio de absorción acústica	Descripción de la habitación
0.05	Habitación casi vacía con paredes lisas y duras de hormigón, ladrillo, yeso o teja
0.1	Habitación parcialmente vacía, con paredes lisas.
0.15	Sala con muebles, sala de máquinas rectangular, rectangular sala industrial
0.2	Habitación de forma irregular con muebles, sala de máquinas o sala industrial de forma irregular
0.25	Sala con muebles tapizados, maquinaria o sala industrial con una pequeña cantidad de material fonoabsorbente (por ejemplo, cielorraso parcialmente absorbente) en techo o paredes.
0.35	Habitación con materiales fonoabsorbentes tanto en el techo como en las paredes
0.5	Habitación con gran cantidad de materiales fonoabsorbentes en techo y paredes

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Se realizan mediciones de ruido de una máquina herramienta.

- Se proporciona el diseño del taller de herramientas. Calcule el volumen V y la superficie total S_v de la sala de medición.
- Se da el plan detallado del objeto a medir. Determine la superficie de medición y etiquete las posiciones de los puntos de medición, bajo la estimación de una distancia de medición habitual d . Además, especifique la altura de las rutas de medición individuales.
- Calcule la superficie de medición S y el nivel de superficie de medición L_s .



Piso: concreto

Paredes: bloque, acero, vidrio steel

Techo: hoja de metal

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Se realiza una medición de ruido según ISO 3744. Además, se realiza una segunda medición de ruido cuando la máquina herramienta está apagada, para determinar el ruido de fondo. La siguiente tabla muestra los niveles de presión sonora medidos en los 5 puntos de medición

- d. Determine los factores de corrección de ruido de fondo K1 para las posiciones individuales de los micrófonos, de acuerdo con la tabla de DIN 45635
- e. El área de medición no tiene características acústicas particulares ($\bar{\alpha} = 0,15$). Calcule el factor de corrección ambiental K2
- f. Teniendo en cuenta los factores de corrección K1 y K2, determine los niveles de presión acústica corregidos, el nivel de presión acústica superficial y el nivel de potencia acústica.

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

- a. Se proporciona el diseño del taller de herramientas. Calcule el volumen V y la superficie total S_v de la sala de medición.

$$V = L \times W \times H$$

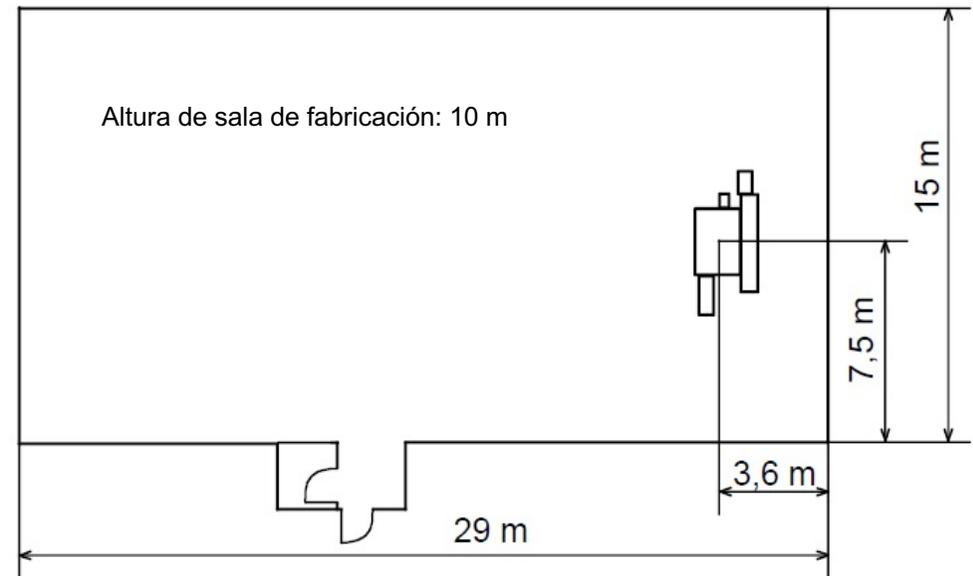
$$V = 29 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 10 \text{ m}$$

$$V = 4360 \text{ m}^3$$

$$S_v = 2 \times L \times W + 2 \times W \times H + 2 \times L \times H$$

$$S_v = 2 \times 29 \text{ m} \times 15 \text{ m} + 2 \times 15 \text{ m} \times 10 \text{ m} + 2 \times 29 \text{ m} \times 10 \text{ m}$$

$$S_v = 1750 \text{ m}^2$$



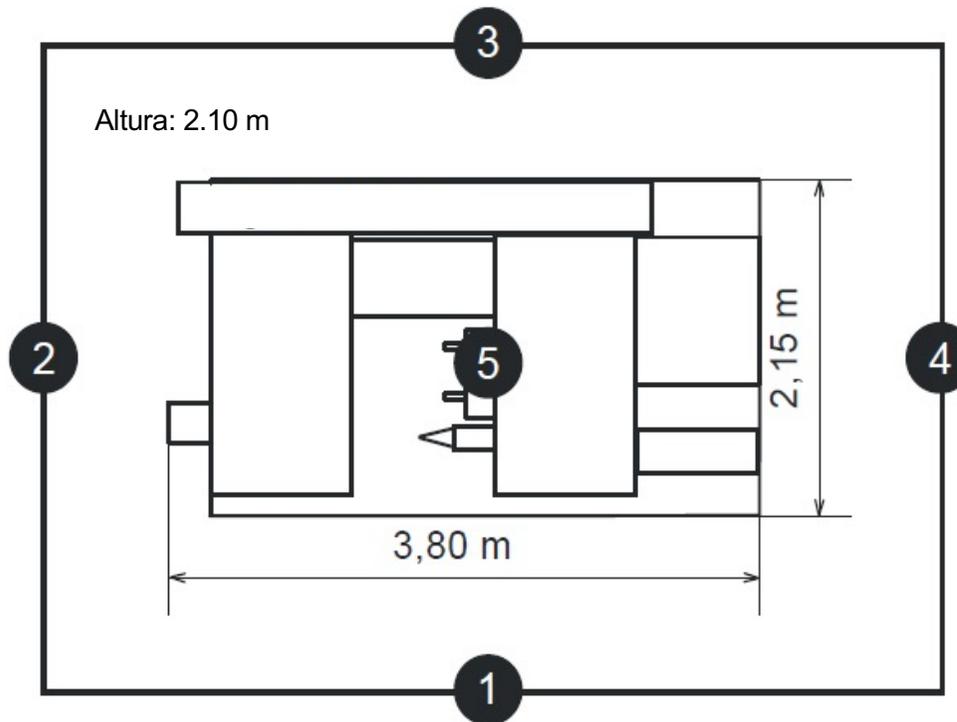
Piso: concreto

Paredes: bloque, acero, vidrio

Techo: hoja de metal

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

- b. Se da el plan detallado del objeto a medir. Determine la superficie de medición y etiquete las posiciones de los puntos de medición, bajo la estimación de una distancia de medición habitual d. Además, especifique la altura de las rutas de medición individuales.



- Distancia de medición: **1 m**
Altura de los micrófonos
- Altura de ruta 1: **3.10 m**
 - Altura de ruta 2: **1.55 m**

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

- c. Calcule la superficie de medición S y el nivel de superficie de medición L_S .

$$S = (L + 2d)(W + 2d) + 2(W + 2d)(h + d) + 2(L + 2d)(h + d)$$

$$S = (3.8 + 2(1))(2.15 + 2(1)) + 2(2.15 + 2(1))(2.10 + 1) + 2(3.8 + 2(1))(2.10 + 1)$$

$$S = 85.76 \text{ m}^2$$

$$L_S = 10 \log \frac{S}{S_0}$$

$$L_S = 10 \log \frac{85.76}{1 \text{ m}^2}$$

$$L_S = 19.33 \text{ dB}$$

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Se realiza una medición de ruido según ISO 3744. Además, se realiza una segunda medición de ruido cuando la máquina herramienta está apagada, para determinar el ruido de fondo. La siguiente tabla muestra los niveles de presión sonora medidos en los 5 puntos de medición

- d. Determine los factores de corrección de ruido de fondo K1 para las posiciones individuales de los micrófonos, de acuerdo con la tabla de ISO 3744
- e. El área de medición no tiene características acústicas particulares ($\alpha = 0,15$). Calcule el factor de corrección ambiental K2
- f. Teniendo en cuenta los factores de corrección K1 y K2, determine los niveles de presión acústica corregidos, el nivel de presión acústica superficial y el nivel de potencia acústica.

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Posición del micrófono i	Nivel en el punto de medición L_{pi}	Ruido de fondo L_2	Diferencia de nivel ΔL_p	Factor de corrección K_1	Factor de corrección K_2	Nivel corregido L_p
1	76	70				
2	82	76				
3	76	73				
4	76	72				
5	78	71				

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Coefficiente medio de absorción acústica α

α = coeficiente medio de absorción acústica	Descripción de la habitación
0.05	Habitación casi vacía con paredes lisas y duras de hormigón, ladrillo, yeso o teja
0.1	Habitación parcialmente vacía, con paredes lisas.
0.15	Sala con muebles, sala de máquinas rectangular, rectangular sala industrial
0.2	Habitación de forma irregular con muebles, sala de máquinas o sala industrial de forma irregular
0.25	Sala con muebles tapizados, maquinaria o sala industrial con una pequeña cantidad de material fonoabsorbente (por ejemplo, cielorraso parcialmente absorbente) en techo o paredes.
0.35	Habitación con materiales fonoabsorbentes tanto en el techo como en las paredes
0.5	Habitación con gran cantidad de materiales fonoabsorbentes en techo y paredes

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

$$A = \alpha * S_v$$

$$A = 0.15 * 1750 \text{ m}^2$$

$$A = 262.5 \text{ m}^2$$

$$K_2 = 10 \log\left(1 + \frac{4S}{A}\right)$$

$$K_2 = 10 \log\left(1 + \frac{4 * 85.76}{262.5}\right)$$

$$K_2 = 3.6 \text{ dB}$$

Nivel de presión sonora corregido

$$L_p = L_{p,medido} - K_1 - K_2$$

Nivel de presión sonora de la superficie

$$\bar{L}_p = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{p_i}}$$

Nivel de potencia acústica

$$L_W = \bar{L}_p + L_S$$

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Factor de corrección de ruido de fondo (K1)

Diferencia entre el nivel en el punto de medición y el nivel de ruido de fondo (ΔL)		K1
0	3	3
4	5	2
6	9	1
≥ 10		0

Ejemplo 7: Método de superficie envolvente

Posición del micrófono i	Nivel en el punto de medición L_{pi}	Ruido de fondo L_2	Diferencia de nivel ΔL_p	Factor de corrección K_1	Factor de corrección K_2	Nivel corregido L_p
1	76	70	6	1	3.6	71.4
2	82	76	6	1	3.6	77.4
3	76	73	3	3	3.6	69.4
4	76	72	4	2	3.6	70.4
5	78	71	7	1	3.6	73.4

Nivel de presión sonora de la superficie 73.44 dB

Nivel de potencia acústica 92.77 dB

Bibliografía

- Freivalds, A. & Niebel, B. *Ingeniería Industrial – métodos estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill
- García Criollo, R. *Estudio del trabajo*. McGraw-Hill
- Meyers, F. & Stephens, M.. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson
- Render, B. & Heizer, J. *Principios de administración de operaciones*. Pearson
- Kanawaty, G. *Introducción al estudio de trabajo*. OIT
- Bedny, G. & Bedny, I. (2019) *Work Activity Studies Within the Framework of Ergonomics, Psychology, and Economics*. Taylor & Francis Group.
- Bridger, R. (2019). *Introduction to Human Factors and Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Lehto, M. & Buck, J. (2008). *Introduction to Human Factors and Ergonomics of Engineers*. Taylor & Francis Group.
- Stack, T. et al. (2016). *Occupational Ergonomics – A Practical Approach*. Wiley
- Kroemer, K. (2017). *Fitting the Human – Introduction to Ergonomics / Human Factors Engineering*. Taylor & Francis Group.
- Marras, W. & Karwowski, W. (2006) *Fundamentals And Assessment Tools For Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Konz, S. & Johnson, S. (2016) *Work Design and Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Abraham, C. (2008). *Manual de tiempos y movimientos: Ingeniería de métodos*. Limusa
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2006). *Guía Técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa*. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Gobierno de España
- (1998). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales
- Palacios, L. (2009). *Ingeniería de Métodos, Movimientos y Tiempos*. Ecoe Ediciones
- Krick (1994). *Ingeniería de Métodos*. Limusa
- Castellanos, J., et al. (2008). *Organización del Trabajo: Ingeniería de Métodos – Tomo I*. Editorial Felix Varela
- Castellanos, J., et al. (2008). *Organización del Trabajo: Estudio de Tiempos – Tomo II*. Editorial Felix Varela
- Mondelo, P. et al. (1999). *Ergonomía 3: Diseños de Puestos de Trabajo*. Mutua Universal
- Palacios, L. (2016). *Ingeniería de Métodos Movimientos y Tiempos*. Ecoe Ediciones
- Peralta, J. et al (2014) *Estudio del Trabajo*. Grupo Editorial Patria
- Caso Neira, A. *Técnicas de Medición del Trabajo*
- <http://www.css.org.pa/>
- <http://www.osha.gov/>



Ricardo Caballero, M.Sc.

Docente Tiempo Completo
Facultad de Ingeniería Industrial
Centro Regional de Chiriquí
Universidad Tecnológica de Panamá

E-mail: ricardo.caballero@utp.ac.pa

<https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero>