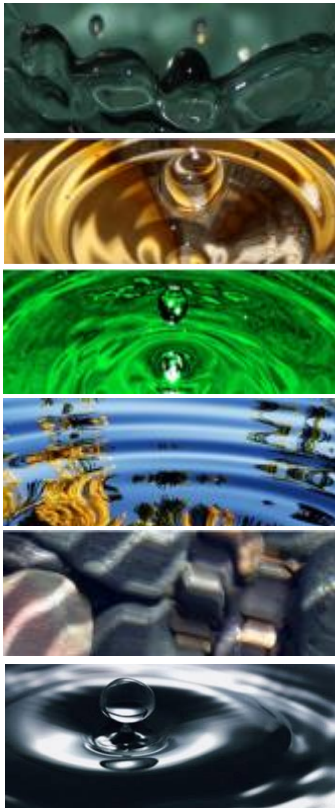


Estudio de las Vibraciones Mecánicas y su impacto ambiental

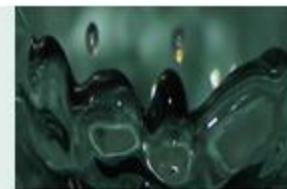


8ª ED:6/2013

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



1. Agente contaminante –Ámbito normativo



2. Dinámica y Cinemática de las Vibraciones Mecánicas



3. Medida y evaluación de las vibraciones



4. Inspección e impacto ambiental



- 41. Puestos de trabajo
- 42. Edificios
- 43. Maquinaria
- 44. Actividades



1. Agente contaminante –Àmbito normativo



“La hoja de ruta”

Inspección ocular

- Identificar las fuentes generadoras de molestia.
- si se puede hacer medición interna para determinar que niveles de vibración hay.
- Establecer plan de acción y marco normativo

Evaluación

- Medir v&r
- Analizar los valores medidos si cumplen o incumplen el marco normativo.
- Dictaminar:

FAVORABLE

DESFAVORABLE

Ejecución:

- PROYECTO de Control de vibraciones
- Medidas correctoras de aislamiento vibroacústico:

Certificación final:

- Validación de las medidas adoptadas



Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Inspección
ocular

Evaluación

Ejecución:

Certificación
final:

.....Never guess when you can
calculate, never calculate when
you can measure.

[Rudolf Boentgen \(linkedin 6/6/2011\)](#)



Nivel 1	Garantía de protección de la salud
Nivel 2	Garantía de adecuado desarrollo de las actividades por parte de los usuarios en los edificios (control de molestias)
Nivel 3	Garantía de confort

1. El Estado del Arte de las vibraciones no se ha desarrollado tanto como el de los ruidos a nivel de confort de los individuos.
2. Las vibraciones no tienen clara identidad en el marco normativo internacional:..."lo que no está escrito de forma clara..no existe.."-
3. No existe al día de hoy un parámetro de medida evaluación consensuado.

El paseo de Maragall se moviliza contra las vibraciones del metro

resumen
LAS CLAVES DE UN FASCIO



El paseo de Maragall, junto al paseo del río de Maragall y uno de los bloques afectados, ayer.

Primera voladura de prueba en la L-9 frente al Hospital de Sant Pau

El GISA hizo estallar cargas de goma 2 y comprobó el efecto mediante sismógrafos y sonómetros. El control permitirá a la Generalitat establecer un plan concreto para las explosiones necesarias



el problema
DOS AÑOS DE RETRASO

El retraso en la ejecución de la obra de la L-9 frente al Hospital de Sant Pau, un proyecto que se había comprometido a completar en 2012, con 100 millones de euros, se ha prolongado hasta 2014. La Generalitat de Cataluña, a través de la Corporación de Infraestructuras de Transportes (CIT), que controla la explotación de la red de metro, ha anunciado que se ha comprometido a completar la obra en 2014, con 100 millones de euros, a través de un contrato de gestión de obra. La obra se ha retrasado debido a la falta de financiación y a la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental y de seguridad. La obra se ha retrasado debido a la falta de financiación y a la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental y de seguridad.



2. Dinámica y Cinemática de las Vibraciones Mecánicas

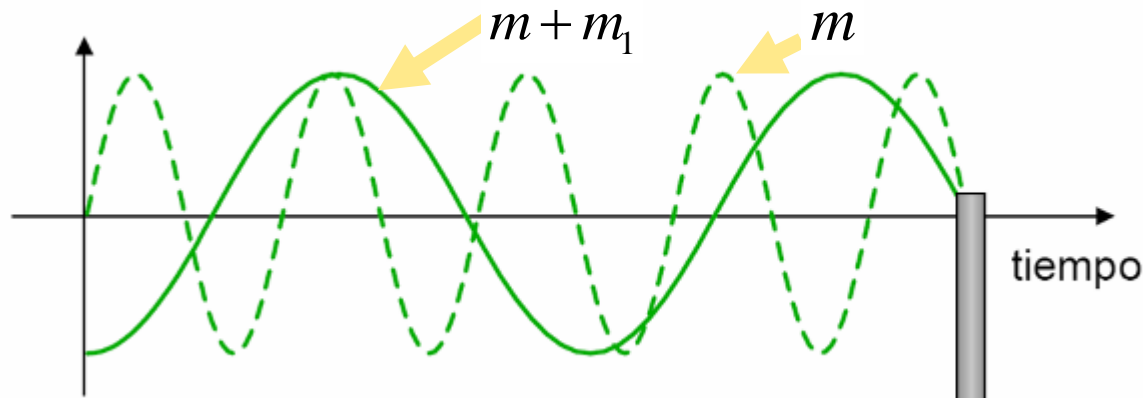


Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

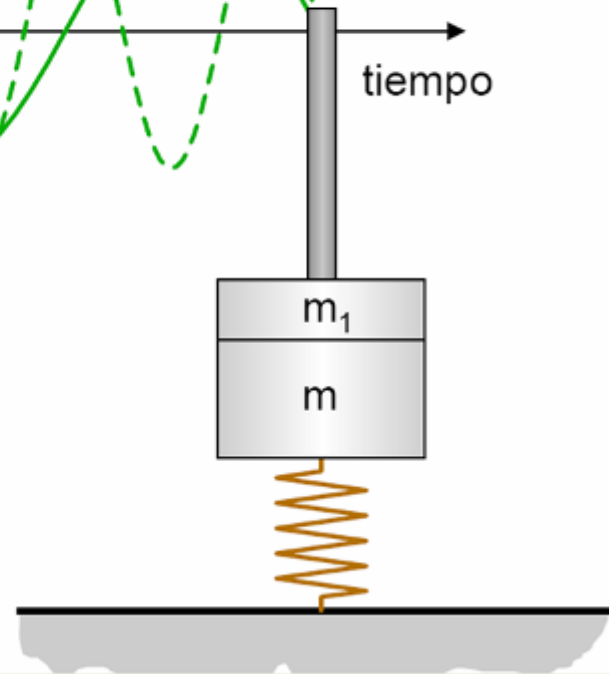


Al variar K ò m

Vibración libre no amortiguada



$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m + m_1}}$$



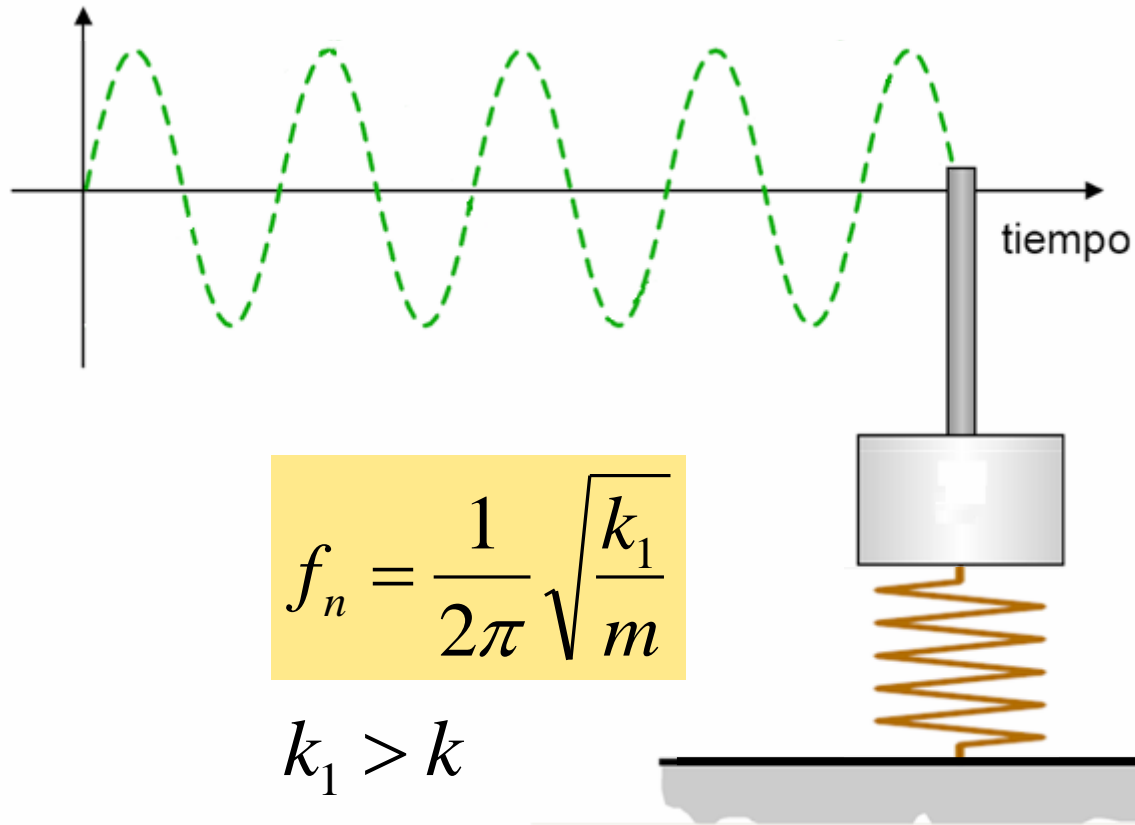
Ref: Bruel&Kjaer. Paco-pulse 2003

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Al variar K ò m

Vibración libre no amortiguada

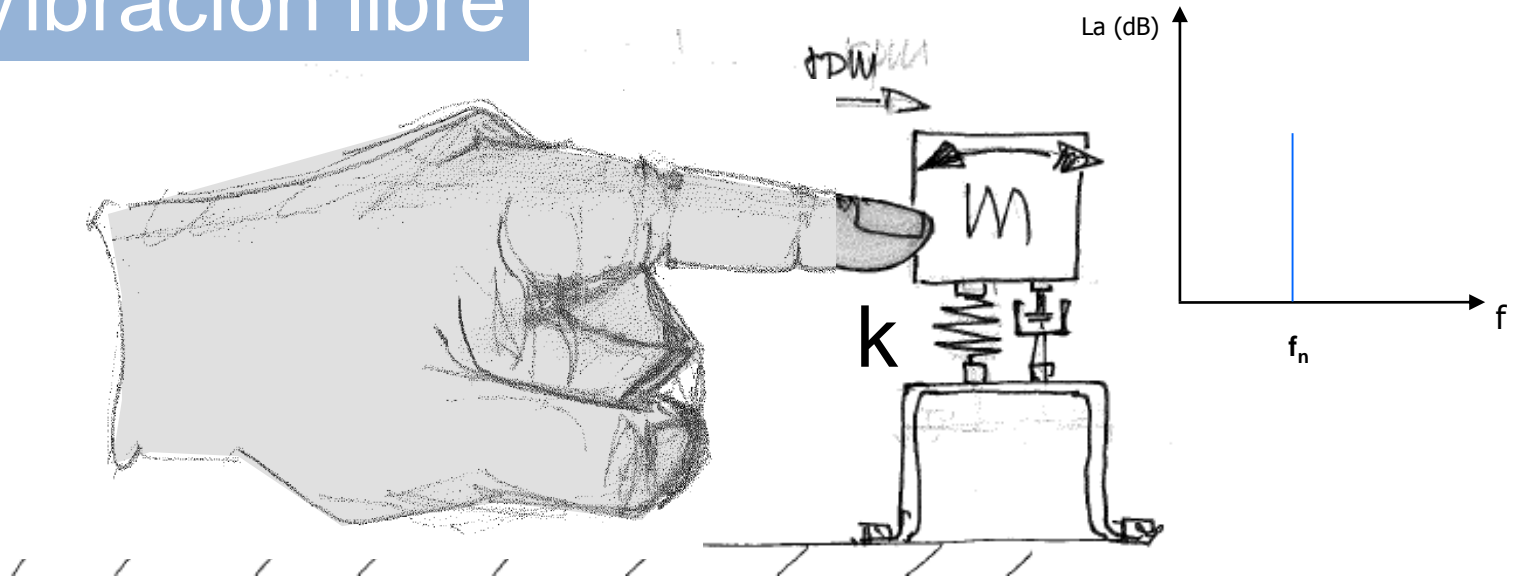


Ref: Bruel&Kjaer. Paco-pulse 2003

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Vibración libre

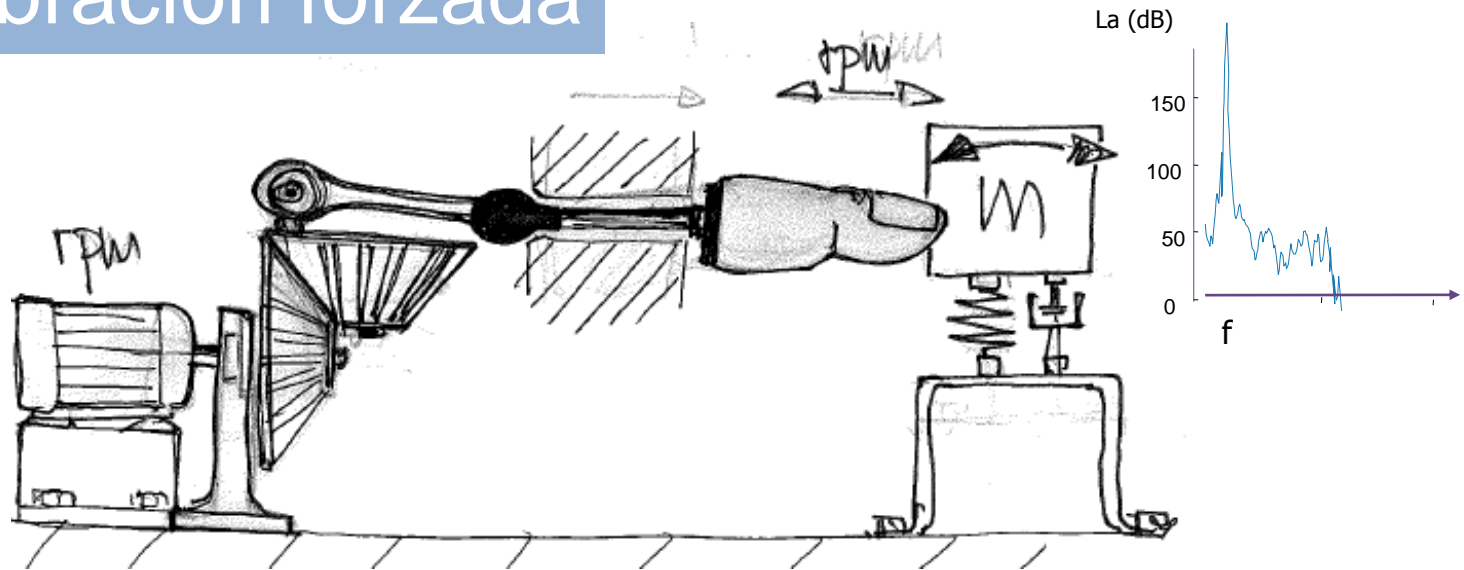


$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{m}}$$

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



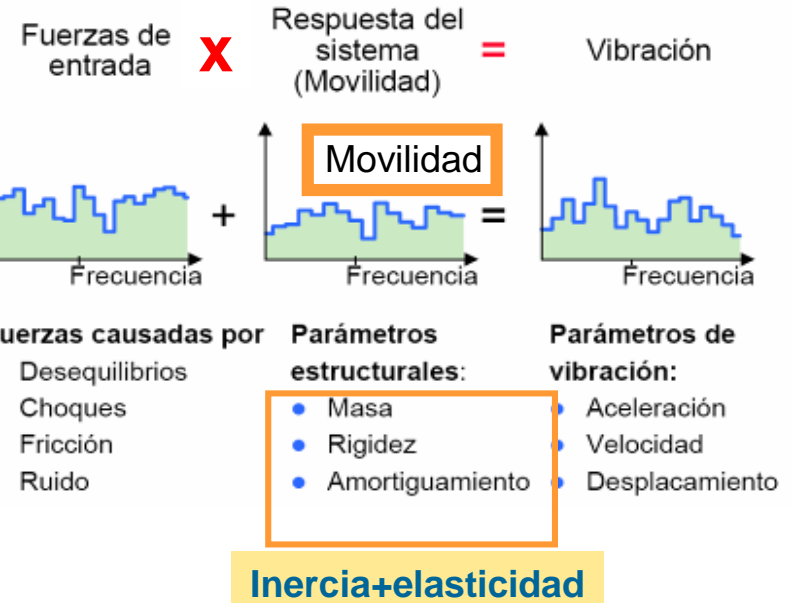
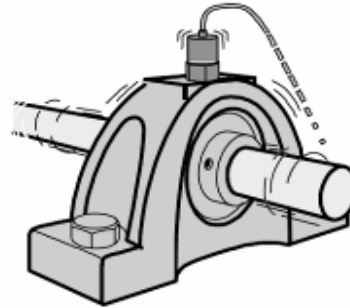
Vibración forzada



Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Fuerza y vibración



Ref: Bruel&Kjaer. Paco-pulse 2008

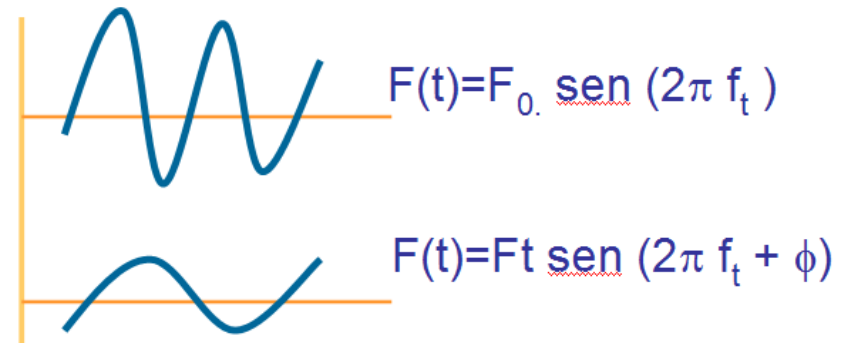
$$M = \frac{V_{(m/s)}}{F_{(N)}} \left(\frac{\text{efecto}}{\text{causa}} \right) ; Z = \frac{1}{M}$$

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Ref: AV Enginyers–2009



$$FT = \frac{f_s}{f_e} \left(\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} \right)$$

$FT < 1 \Rightarrow$ Atenuación

$FT > 1 \Rightarrow$ Amplificación

F_0 : Fuerza dinámica perturbadora (excitatriz)

FT : Fuerza transmitida al suelo

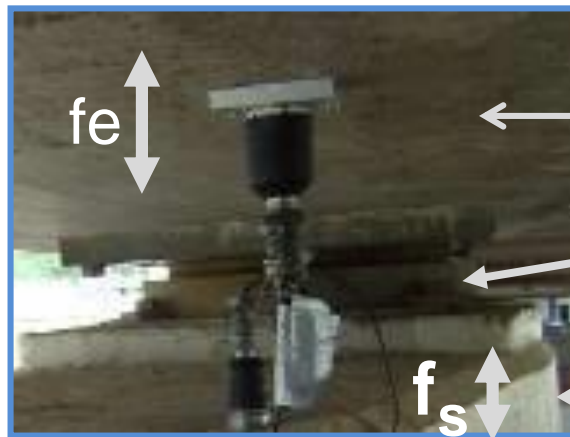
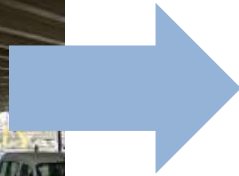
T : Transmisibilidad de la fuerza.

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Ref: AV
Enginyers-2009



Puente por donde pasan los coches

Apoyo elástico de neopreno

Pilar del puente

Nivel medido encima del puente	Señal de entrada (Se)	1 m/s ²	120 dB
Nivel medido encima en el pilar	Señal de salida(Ss)	0.1 m/s ²	100 dB

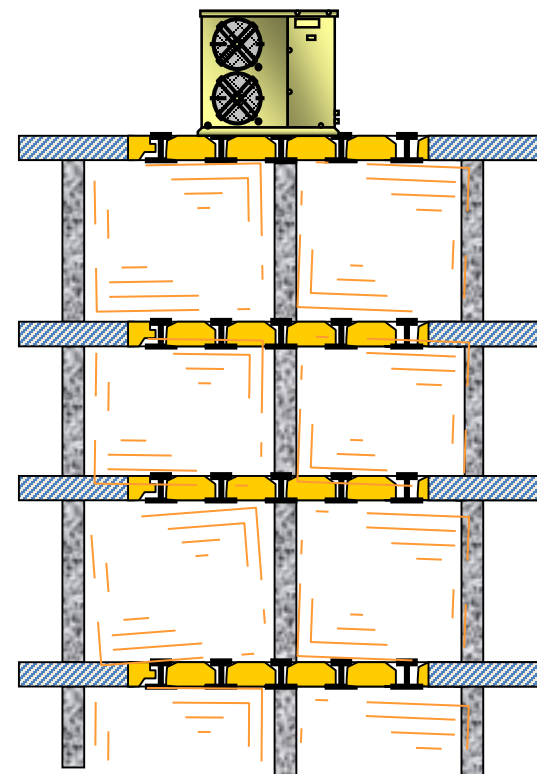
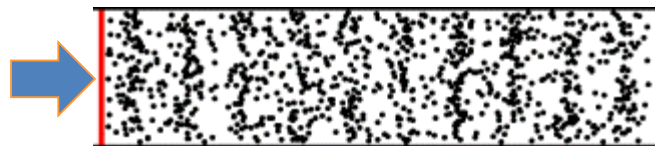
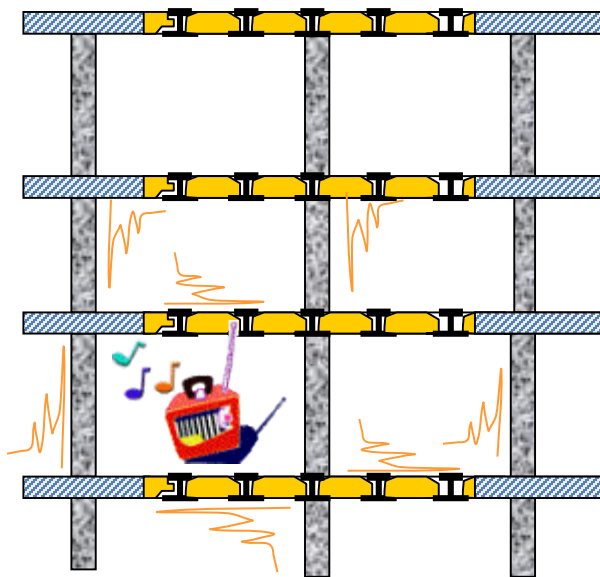
$$FT = \frac{S_s}{S_e} = \frac{0.1 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2} = 0.01 \text{ m/s}^2 \rightarrow \text{Atenuación (FT < 1)} \quad dB_{FT} = dB_{Ss} - dB_{Se} = 100 - 120 = -20 \text{ dB}$$

Nivel medido encima del puente	Señal de entrada (f0)	1 m/s ²	120 dB
Nivel medido encima en el pilar	Señal de salida(fp)	10 m/s ²	140 dB

$$FT = \frac{S_s}{S_e} = \frac{10 \text{ m/s}^2}{1 \text{ m/s}^2} = 10 \text{ m/s}^2 \rightarrow \text{Amplificació (FT < 1)} \quad dB_{FT} = dB_{Ss} - dB_{Se} = 140 - 120 = 20 \text{ dB}$$

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





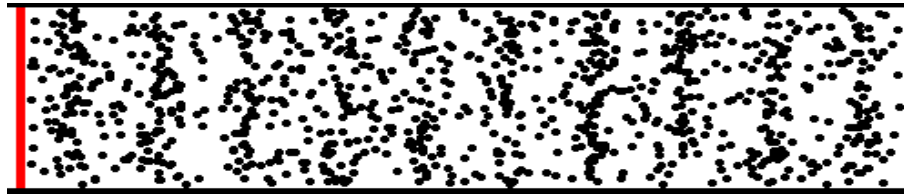
Material	Velocidad del sonido en m/s
Aire	340
Ladrillo	2.500
Hormigón	3.500
Acero	5.010

Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Aéreo

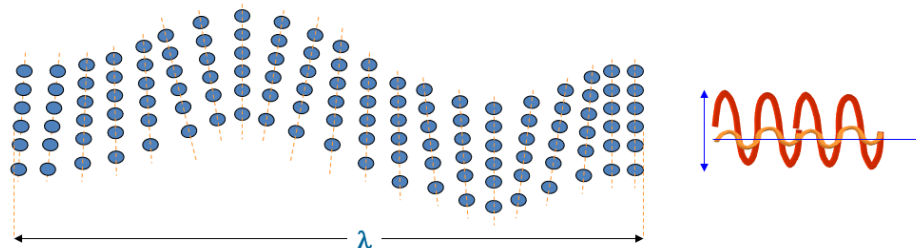
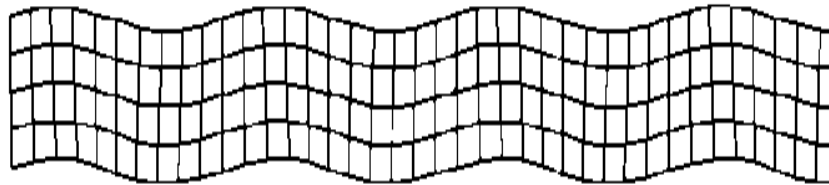
$$c_p = \sqrt{\frac{E}{\delta}}$$



Estructural por paredes

$$c_f = \sqrt{2\pi f} \sqrt{\frac{B}{m}}$$

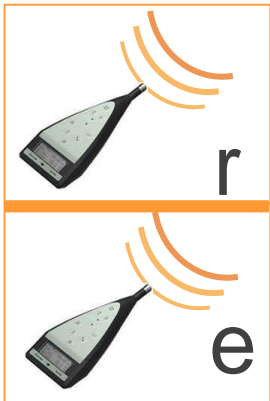
B = módulo a flexión



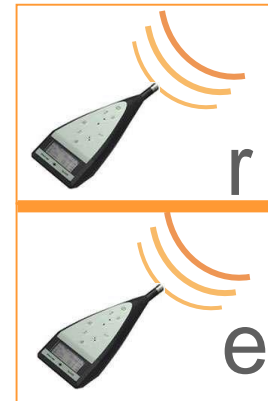
Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Método 1: analítico



$$D_{inmisión} = L_e - L_r$$



$$D_{aéreo} = L_e - L_r$$



$$D_{inmisión} \lll D_{aéreo}$$

- 1º Desacoplar: Control-Aislamiento vibraciones.
- 2º Opcional: Mejora de aislamiento acústico

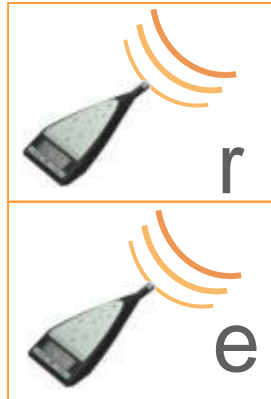
$$D_{inmisión} \ggg D_{aéreo}$$

- 1º Aislamiento acústico de paramentos verticales y horizontales



Método 2: analítico

1º



$$D = L_{1(e)} - L'_{2(r)}$$

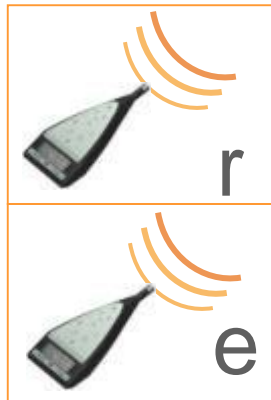


$$L'_2 = L_2 - L_{BN}$$

x1/3 octava

D:64,6dB

2º

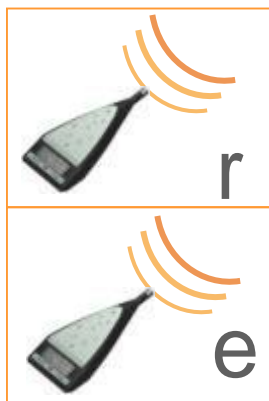


Fuente en receptor 2 (r)	Nivel promedio
BOMBAS ON en 2 (r)	27,1 dBA
Bombas off en 2 (r) ruido de fondo	22,2 dBA
L'2(r) bombas ON	25,3 dBA

Fuente en emisor 1 (e)	Nivel promedio
L1(e) bombas ON L1(e) bombas ON	75,6 dBA



3º



Datos que tenemos

D:64,6dB

Fuente en receptor 2 (r)	Nivel promedio
L'2(r) bombas ON	25,3 dBA

Fuente en emisor 1 (e)	Nivel promedio
L2(r) bombas ON	75,6 dBA

4º

Calculamos el nivel teórico de inmisión de las bombas en el receptor (2) si no existiese transmisión inducida x vib. Solamente transmisión aérea. Se ha de calcular a partir de las f de 1/3 oct.

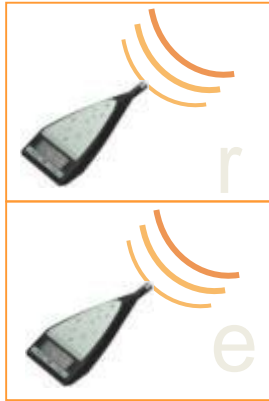
F (HZ)	Nivel emisión en (1) sala bombas	D	Lx Nivel teórico a ruido aéreo.
50	56,2 dB	35,2dB	21,0 dB
63.....etc	52,7 dB....etc	44,1 dB....etc	21,0 dB....etc
1,6K.....etc	66,5 dB....etc	83,8 dB....etc	-17,3dB....etc
Global dBA	75,6dBA		6,9dBA (suma NO algebraica)

La transmisión aérea es

$$\Delta L_{a\acute{e}reo} = 7dB$$



5º



CONCLUSIÓN

D:64,6dB

Fuente en receptor 2 (r)	Nivel promedio
D bombas	25,3 dBA

Fuente en emisor 1 (e)	Nivel promedio
BOMBAS ON	75,6 dBA

$$\Delta L_{a\acute{e}reo} = 7dB$$

$$\Delta L_{estruc} = ? dBA$$



$$25,3dBA = L_{rT} = 10\log(10^{7/10} + 10^{x/10})$$

$$L_{estruc,} = 10\log(10^{L_{rT}/10} - 10^{L_{a\acute{e}reo}/10})$$

$$L_{estruc,} = 10\log(10^{25/10} - 10^{7/10})$$



3. Medida y evaluación de las vibraciones





Vibcon & LEAM UPC



Medida y evaluación de vibraciones mecánicas

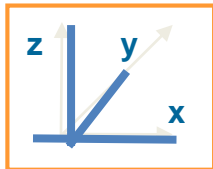
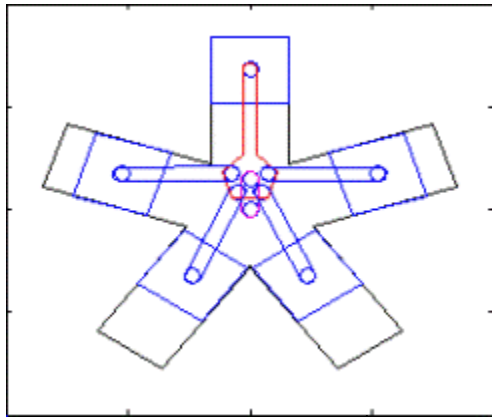
Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Mundo real



Descripción numérica del
sonido y las vibraciones



Amplitud

Amplitud

Tiempo

Frecuencia

Los efectos individuales están
mezclados en el dominio
temporal y separados en el
dominio frecuencial

Ref: Bruel&Kjaer. 2003

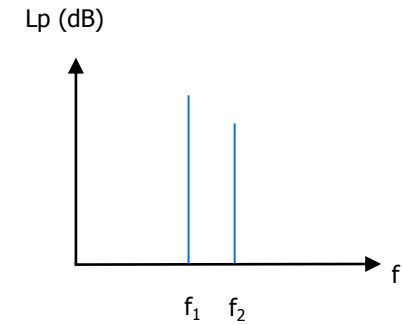
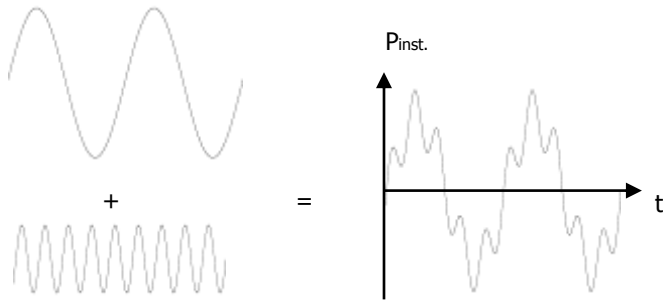
Rafael Torres del Castillo (2ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Señales temporales **LARGAS**



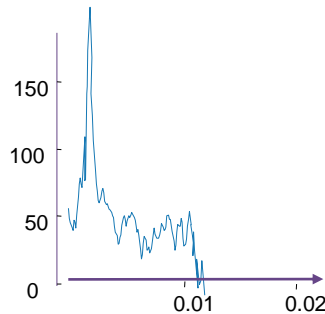
Señales espectrales **CORTAS**



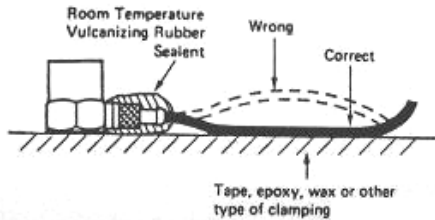
Señales temporales **CORTAS**



Señales espectrales **LARGAS**



TRANSDUCTOR ACELEROMETRO



$$a = A \cdot \sin \omega t$$

$$a = A$$

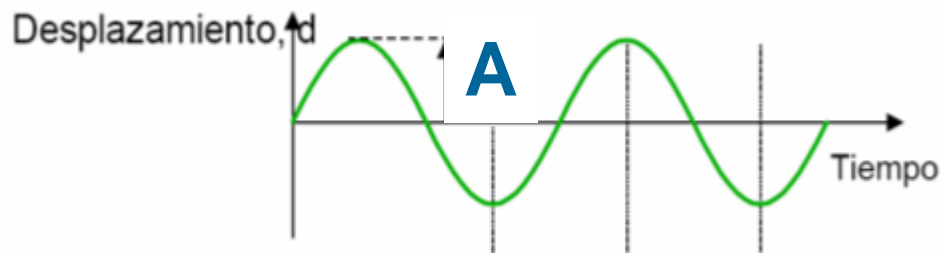
$$v = \int a \, dt = - \frac{a}{\omega} \cos \omega t$$

$$v = \frac{a}{\omega} = \frac{a}{2\pi f}$$

$$d = \iint a \, dt \, dt = - \frac{a}{\omega^2} \sin \omega t$$

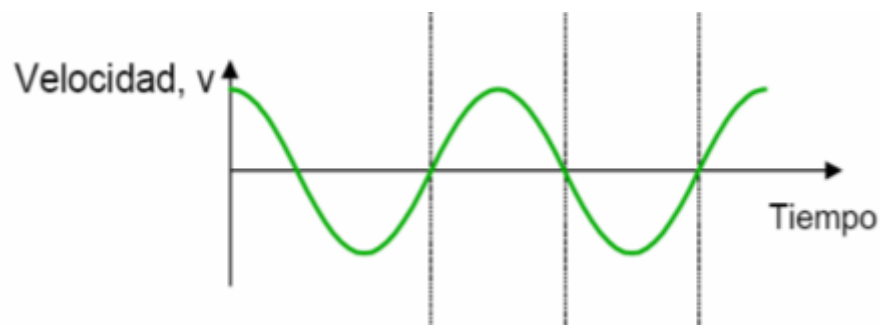
$$d = \frac{a}{\omega^2} = \frac{a}{4\pi^2 f^2}$$





$$d = A \cdot \sin \omega t$$

$$d = A$$

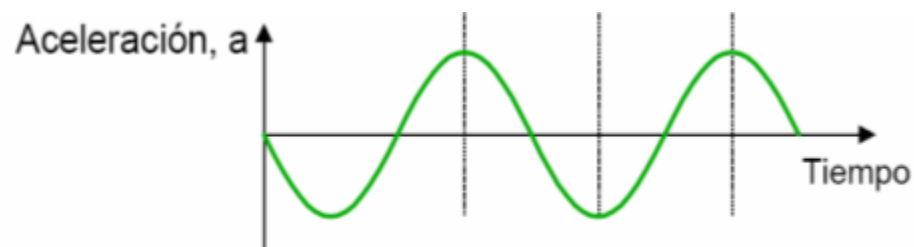


$$v = \dot{d} = A\omega \cdot \cos \omega t \Rightarrow$$

$$v = A\omega \cdot A \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$v = A\omega$$

$$v = d\omega$$



$$a = \ddot{d} = \dot{v} = -A\omega^2 \cdot \sin \omega t$$

$$a = |A\omega^2|$$

$$a = |d\omega^2|$$



SENSIBILIDAD: cantidad de señal eléctrica generada por unidad de aceleración de la vibración que actúa sobre él.

- Un acelerómetro piezoeléctrico puede ser descrito como una fuente de carga o una fuente de tensión (con impedancia muy alta):
 - Sensibilidad de tensión → [mV/g] o [mV/ms⁻²]
 - Sensibilidad de carga → [pC/g] o [pC/ms⁻²]
- Cuanto mayor es la masa sísmica (peso) mayor es su sensibilidad

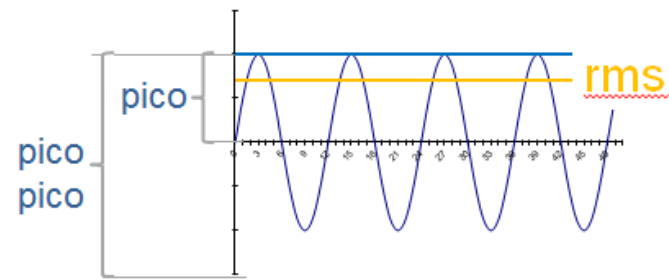
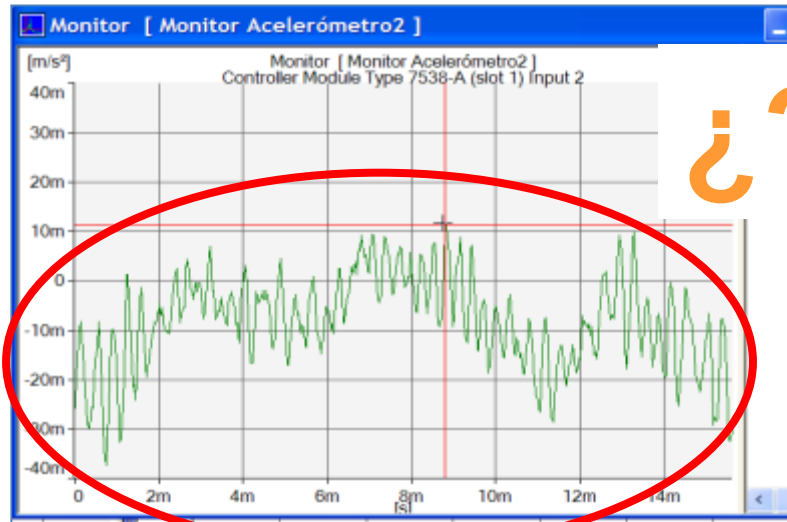
Menor



Mayor

Sensibilidad del acelerómetro recomendable	Utilización
10mV/g	En carcasa de Motores
100mV/g	Base de maquinaria: Evaluación vib. cuerpo humano
500mV/g	Semi sísmico: Metro; residual.
10V/g	Sísmico: Vibraciones de muy baja amplitud. (<10 ⁻¹⁶)





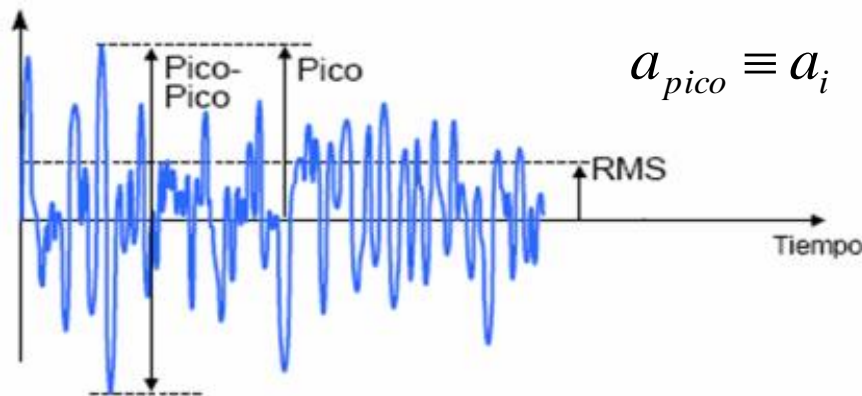
Una aceleración instantánea pico de 1 ms^{-2} tiene un valor eficaz de aceleración de $0,707 \text{ ms}^{-2}$

$$a_{rms} = a_{pico} / \sqrt{2}$$

$$a_{rms} = a_{pico-pico} / 2\sqrt{2}$$

$$a_{pico-pico} = 2a_{pico}$$

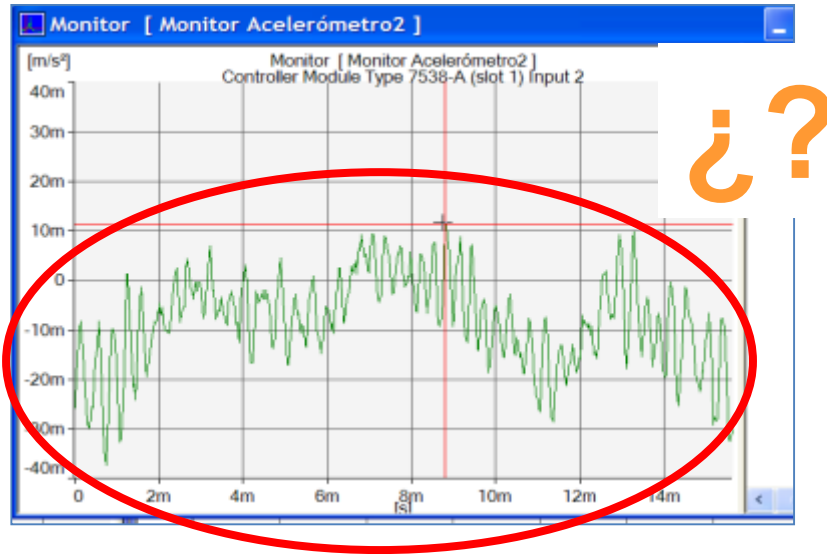
$$a_{rms} = a_i / \sqrt{2}$$



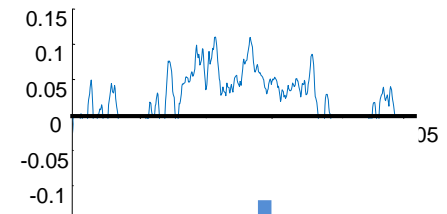
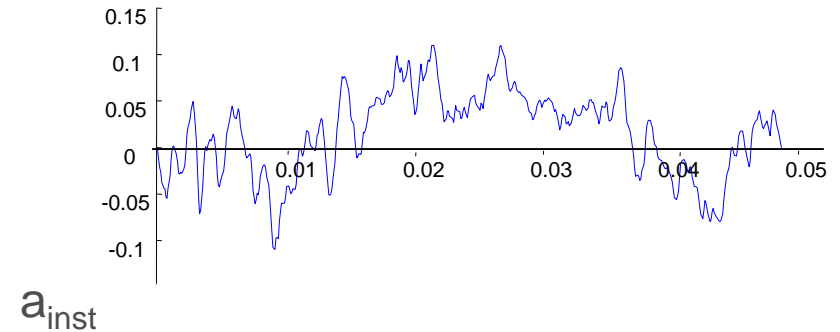
Fuente: Marcal CESVA ³ Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



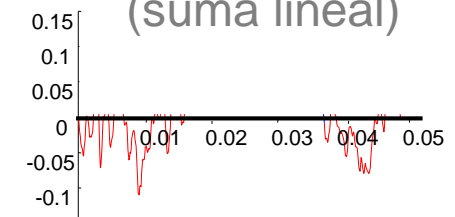
Los acelerómetros: realizan lecturas en aceleración instantánea (a_+ y a_-)



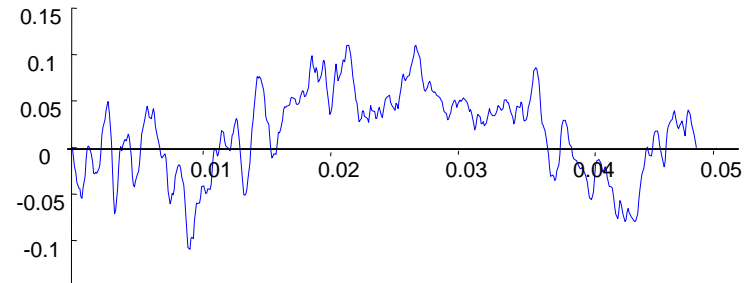
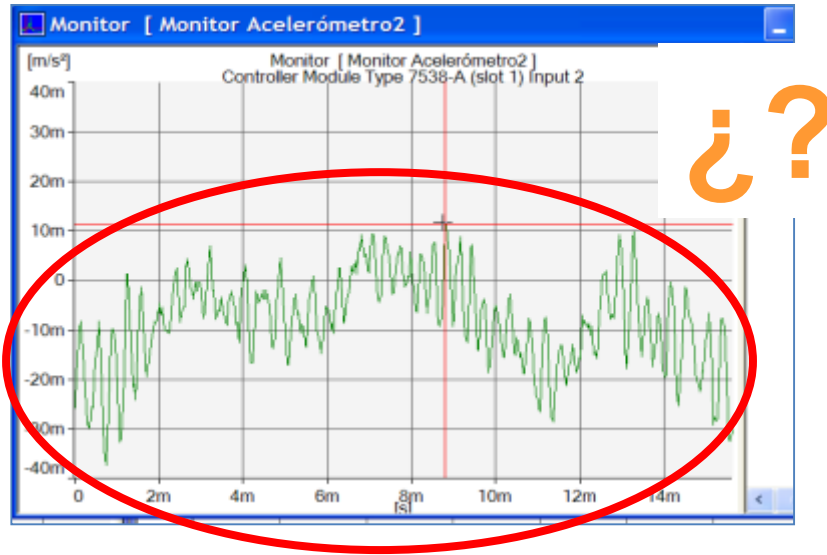
¿pero qué valor global de aceleración
tenfo dentro del tiempo de medida
realizado?



(suma lineal)



Los acelerómetros: realizan lecturas en aceleración instantánea (a+ y a-)



a_{inst}

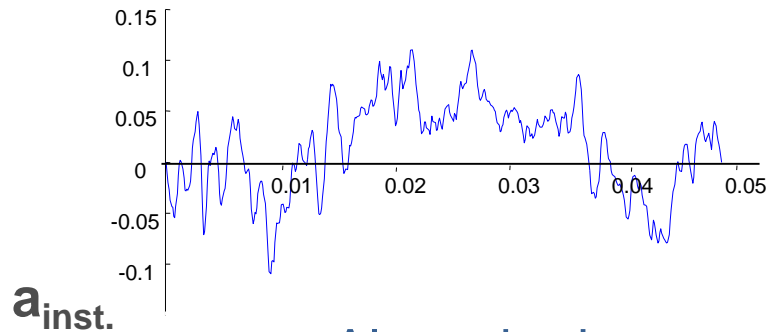
Suma de aceleraciones instantáneas

$$a_{Total} = a_1(t) + a_2(t) + \dots + a_n(t)$$

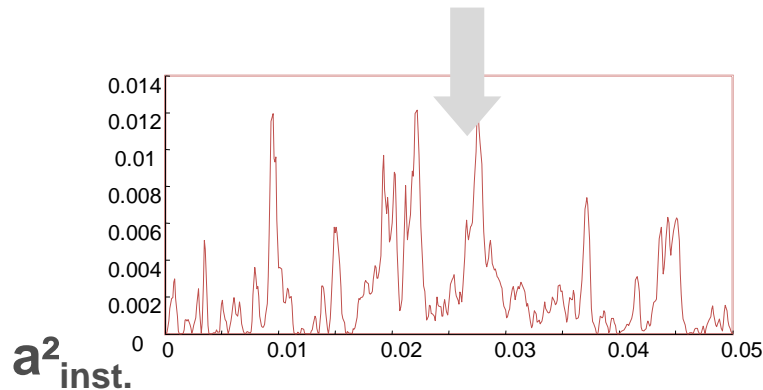
¿pero qué valor global de aceleración tenfo dentro del tiempo de medida realizado?



Los acelerómetros: realizan lecturas en aceleración instantánea pero se procesa en valores cuadráticos (a^2)



Al cuadrado



Suma de aceleraciones instantáneas

$$a_{Total} = a_1(t) + a_2(t) + \dots + a_n(t)$$

Suma de valores cuadráticos)
(ejemplo: valor rms)

$$a_{rmsTotal}^2 = a_{rms1}^2(t) + a_{rms2}^2 + \dots + a_{rmsn}^2$$

$$a_{rmsTotal} = \sqrt{a_{rms1}^2(t) + a_{rms2}^2 + \dots + a_{rmsn}^2}$$



Niveles de
vibración

$$L_a = 10 \log \left(\frac{a}{a_0} \right)^2$$
$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_0}$$

$$a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

$$L_v = 10 \log \left(\frac{v}{v_0} \right)^2$$
$$L_v = 20 \log \frac{v}{v_0}$$

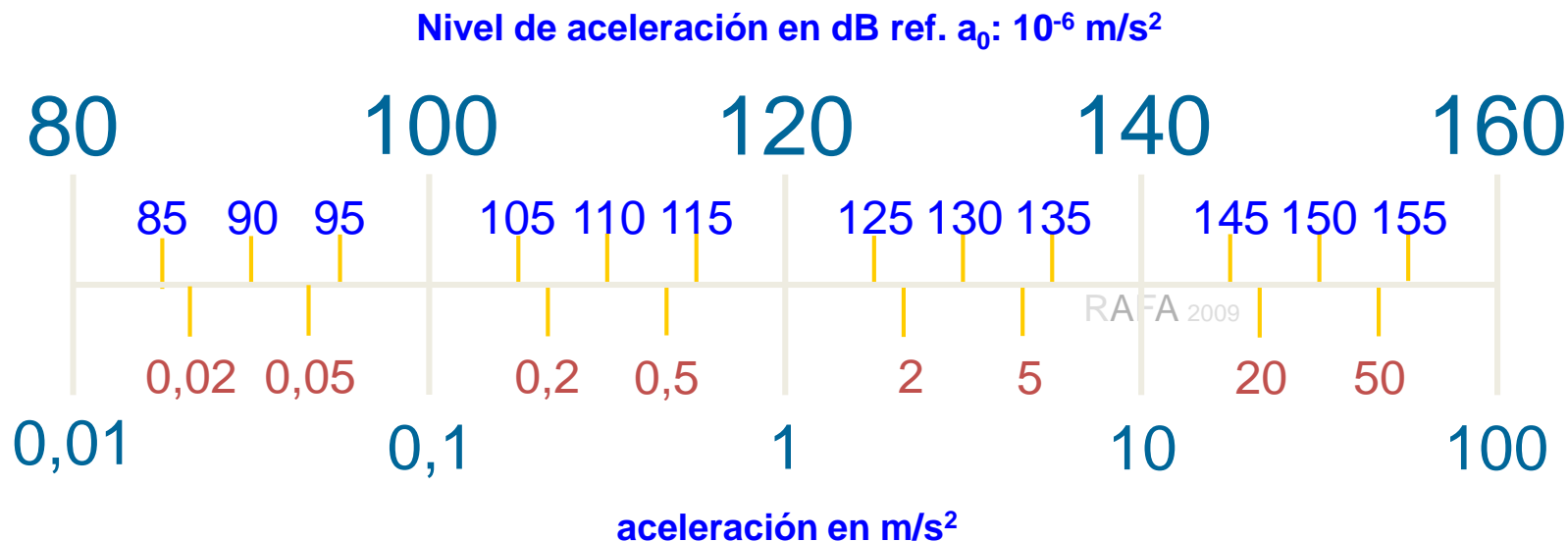
Valores de
referencia

$$v_0 = 10^{-9} \text{ m/s}$$

$$L_d = 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^2$$
$$L_d = 20 \log \frac{d}{d_0}$$

$$d_0 = 10^{-12} \text{ m}$$





Escala lineal en m/s^2	Escala logarítmica en dB
Un factor multiplicativo de 2	Es un factor aditivo de +6 dB
Un factor multiplicativo de 10	Es un factor aditivo de +20 dB

El cuerpo reacciona logarítmicamente:

- la variación de 1 a 2 m/s^2 (x2) se nota mucho más que de 10 a 11 m/s^2 (x1,1)
- Es a efecto multiplicativo físico sentimos un aumento de una cantidad constante

