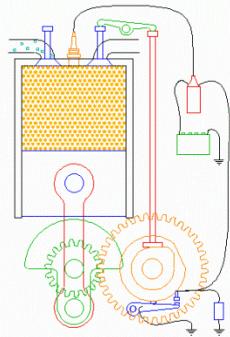
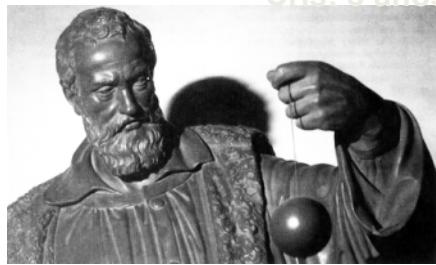
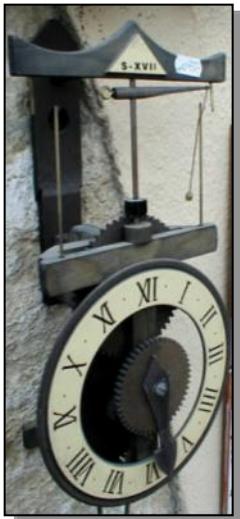


Cris: 3 años



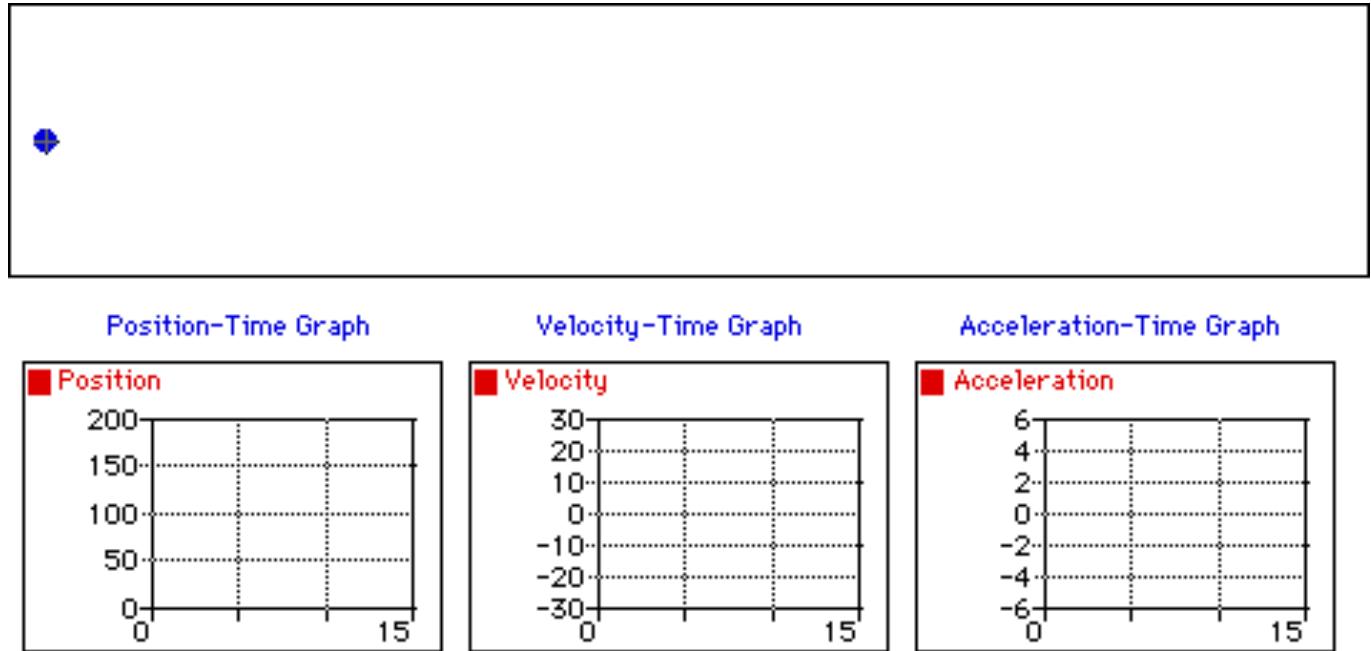
Copyright 2000, Keveney.com

5.2. Cinemática y Dinámica de vibraciones

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



movimiento



x = DESPLAZAMIENTO [m]

v = VELOCIDAD [m/s]

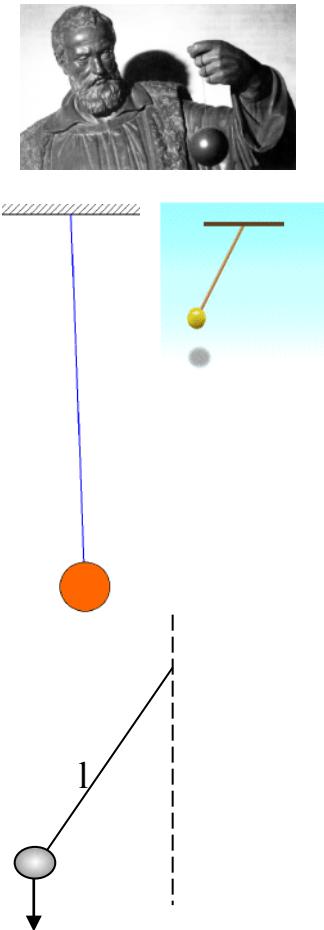
a = ACELERACION [m/s²]

Fuente: Marçal Serra CESVA

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



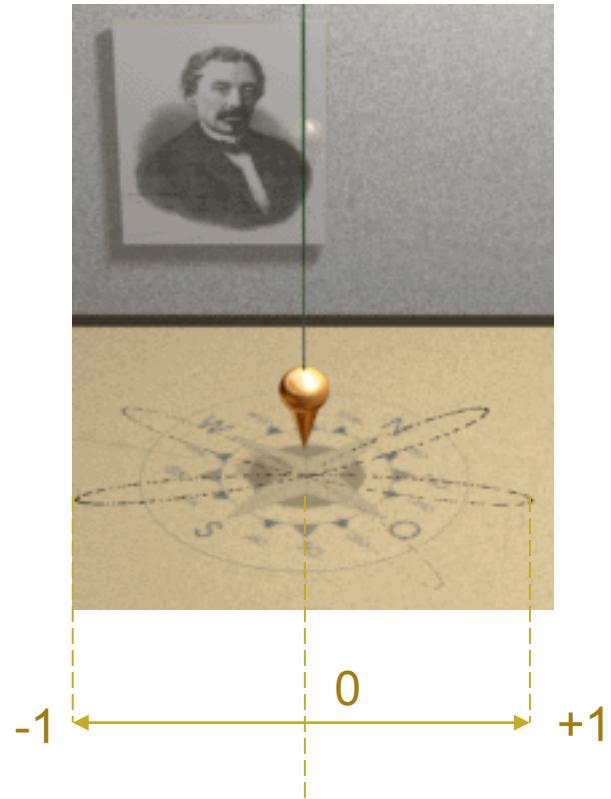
Oscilación material



$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

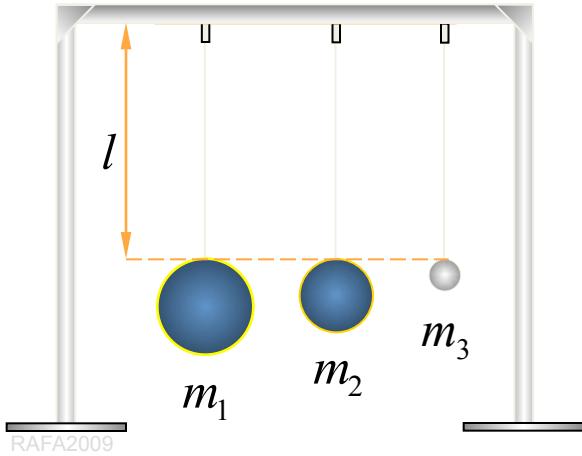
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



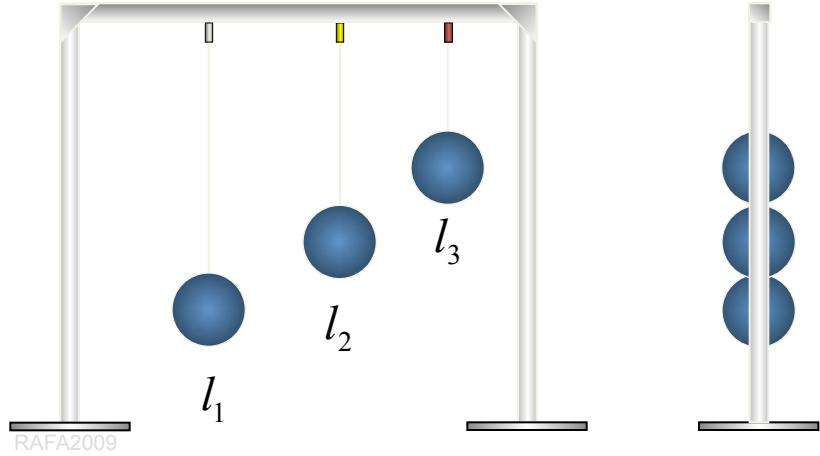
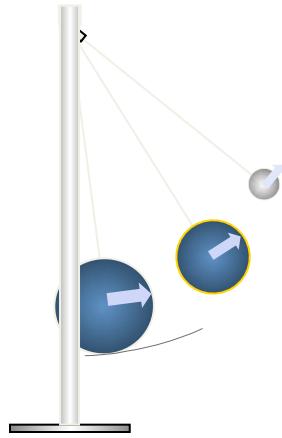
Péndulo de Foucault

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

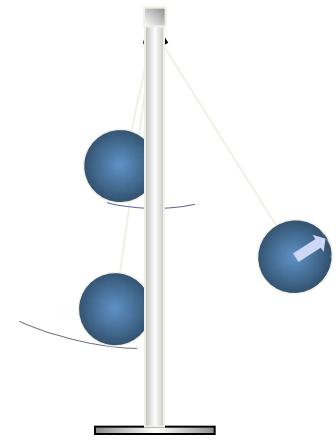


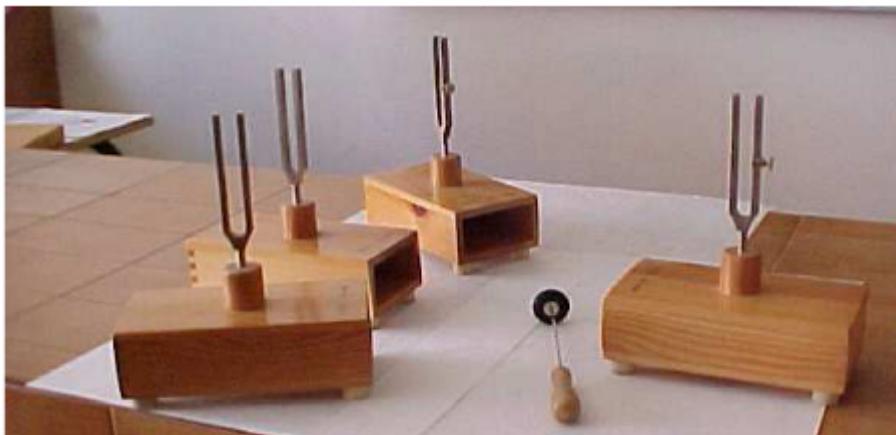
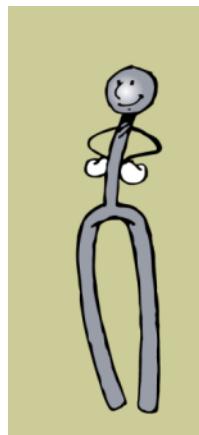
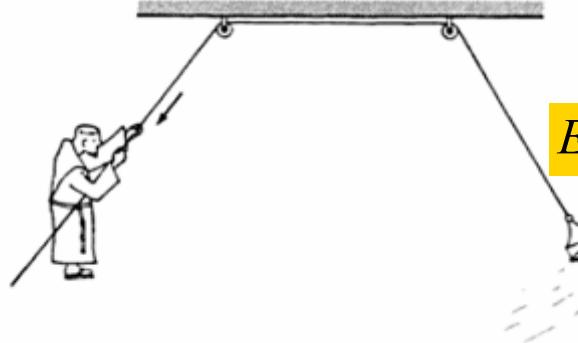
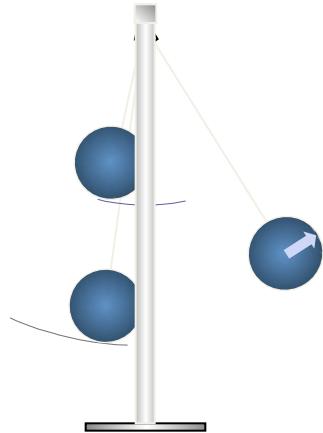
$$\omega_1^2 = \frac{g}{l_1}$$

$$\omega_2^2 = \frac{g}{l_2}$$

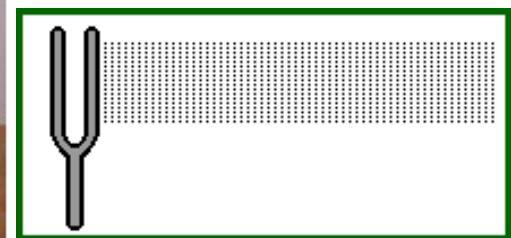
$$\omega_3^2 = \frac{g}{l_3}$$

$$\omega_3 > \omega_2 > \omega_1$$

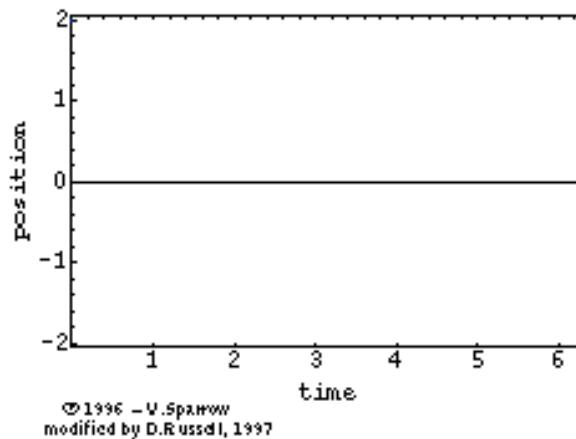
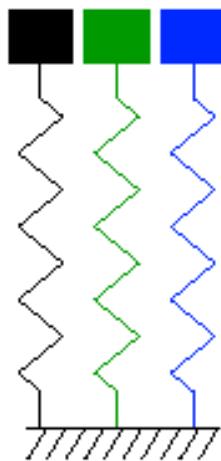




Medio elástico ¿?



Vibración mecánica



$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

Medio elástico !!



$F_{\text{intermoleculares}} \gg F_{\text{gravitacional}}$

.....el medio se deforma elásticamente

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Vibración mecánica

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

Medio elástico !!

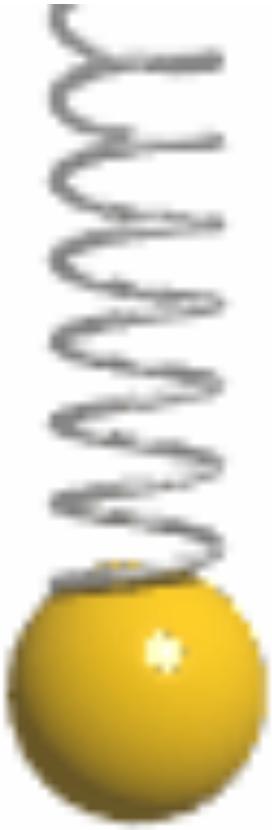


$F_{\text{intermoleculares}} \gg F_{\text{gravitacional}}$

.....el medio se deforma elásticamente

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Todos los cuerpos que poseen masa y elasticidad son capaces de vibrar

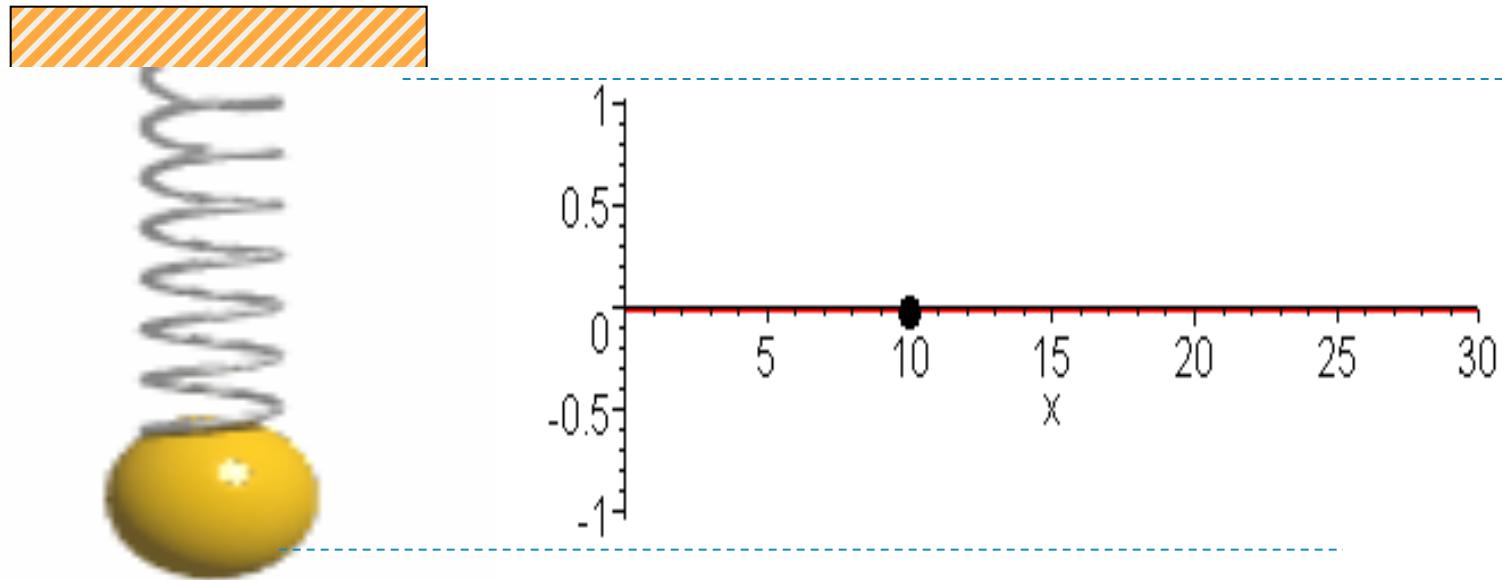
INERCIA + ELASTICIDAD

Las dos condiciones básicas para que un cuerpo vibre

+ fuerzas externas



Vibración libre no amortiguada



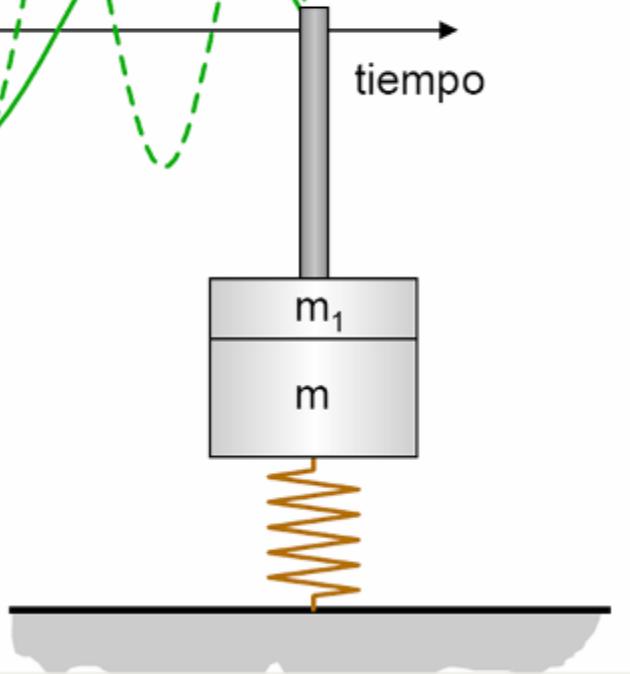
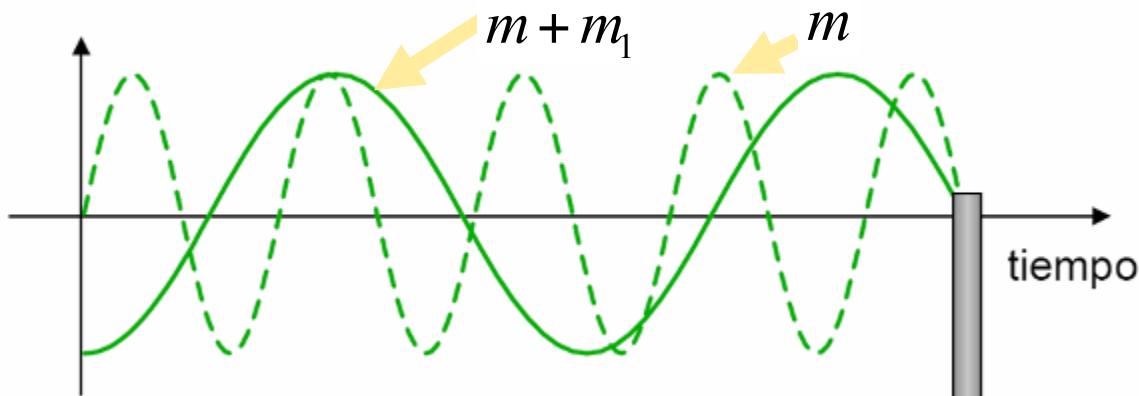
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Al variar K ó m

Vibración libre no amortiguada



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

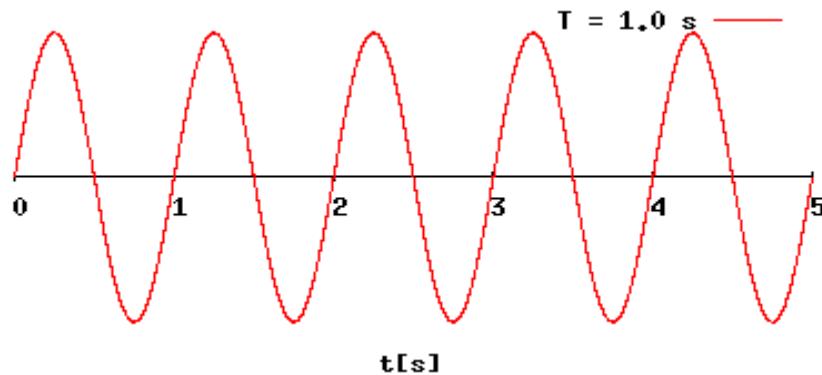
Ref: Brüel&Kjaer. Paco-pulse 2003

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Al variar K ó m

Vibración libre no amortiguada



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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

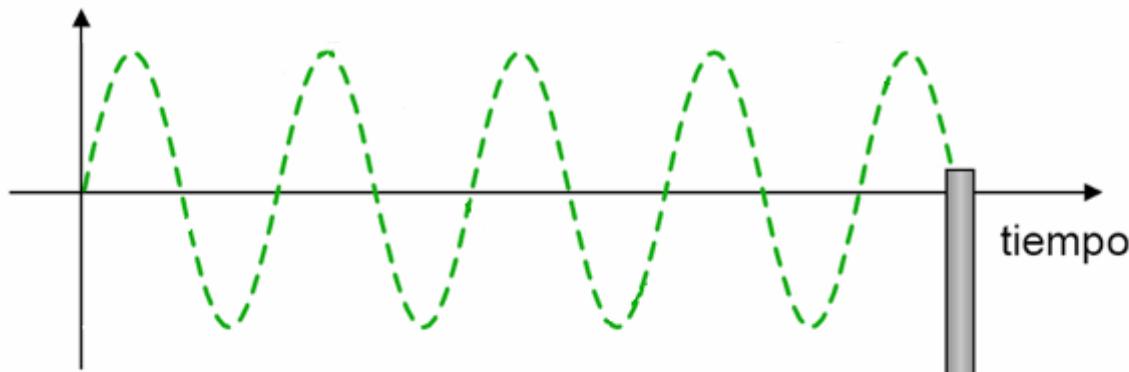
Ref: Brüel&Kjaer. Paco-pulse 2003

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



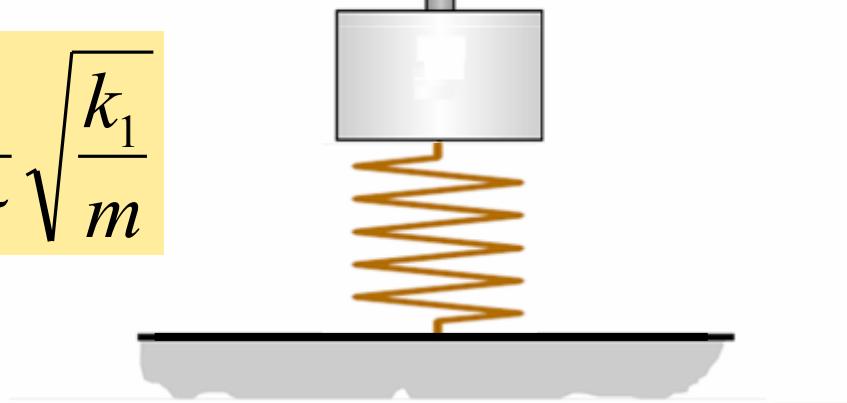
Al variar K ó m

Vibración libre no amortiguada



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

$$k_1 > k$$

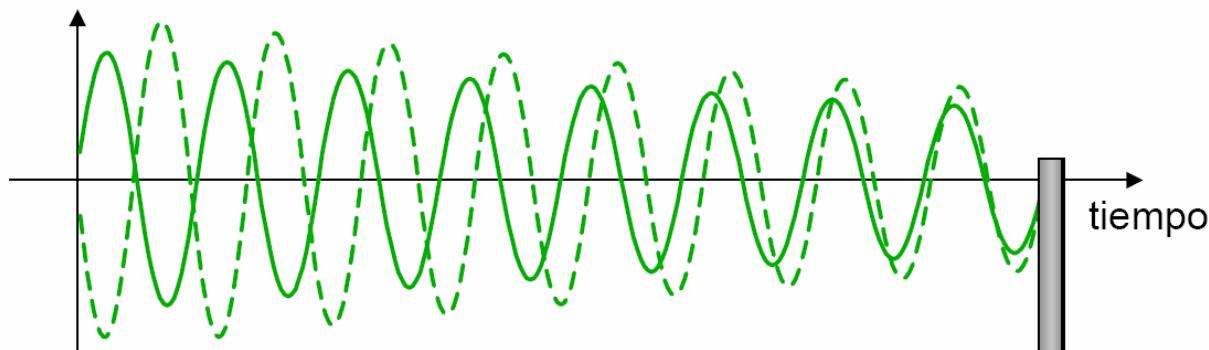
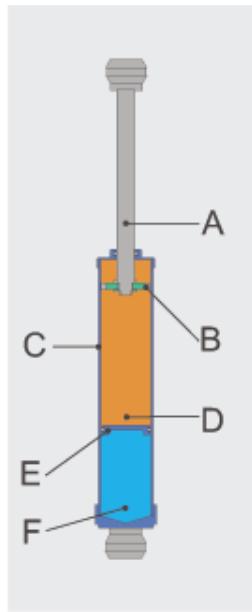


Ref: Brüel&Kjaer. Paco-pulse 2003

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

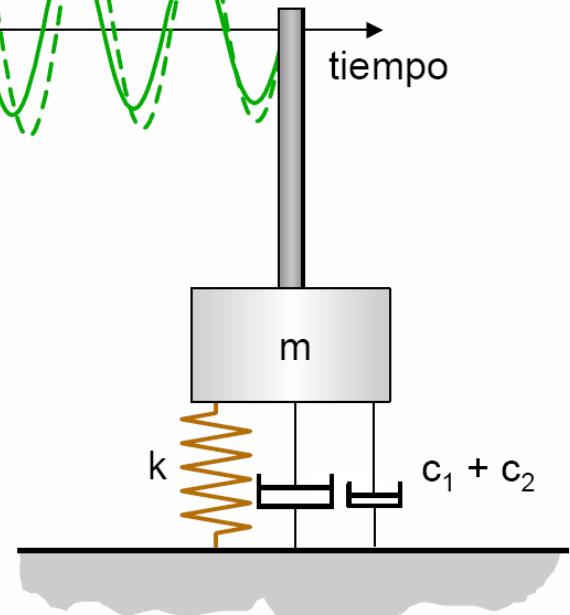


Vibración libre amortiguada



Aumentando la amortiguación disminuye la amplitud

$$\zeta = \frac{c_1 + c_2}{2\sqrt{km}}$$

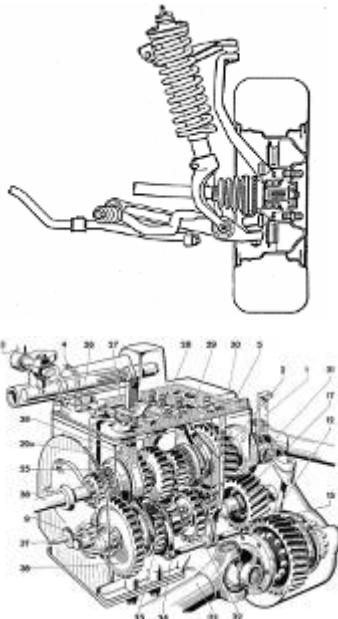


Ref: Brüel&Kjaer. Paco-pulse 2003

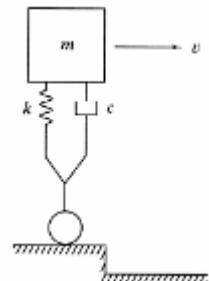
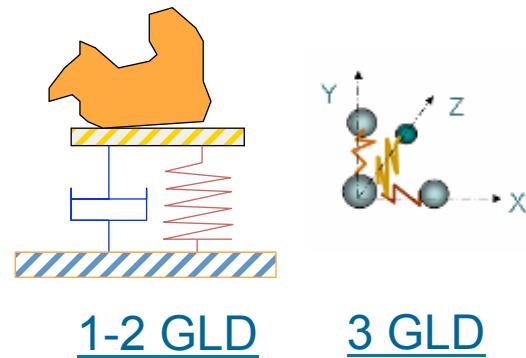
Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Sistemas físicos



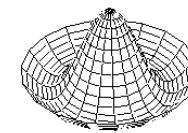
Sistemas mecánicos



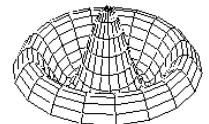
n GLD



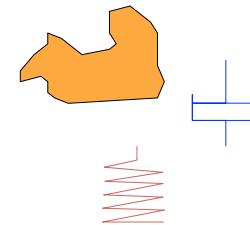
M(0,2)



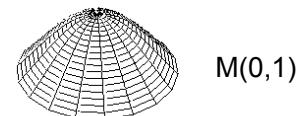
M(0,3)



Sistemas discretos



Sistemas continuos



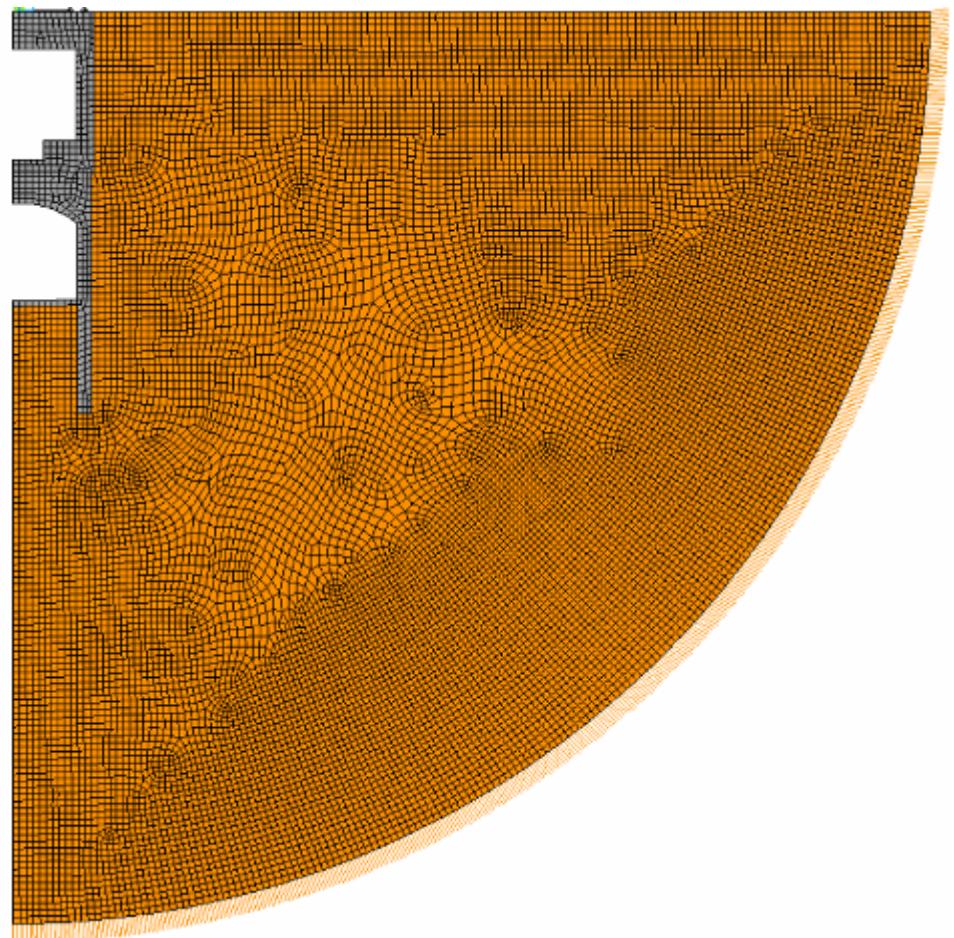
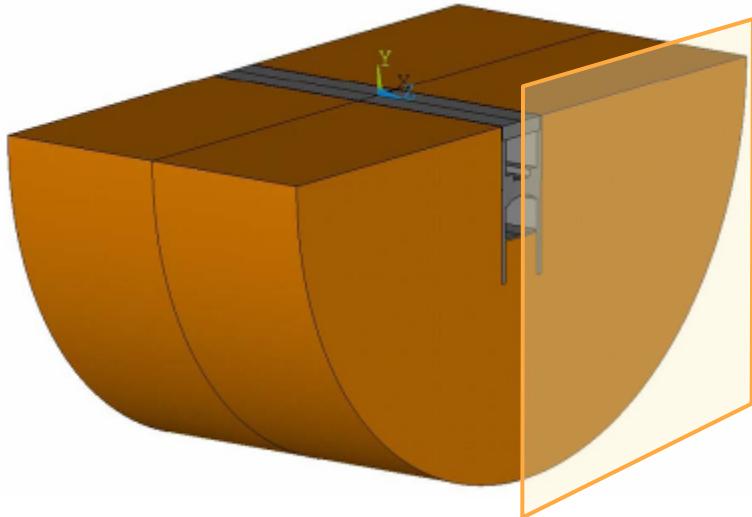
M(0,1)



Sistemas mecánicos

Medios continuos

Sección túnel ferrocarril

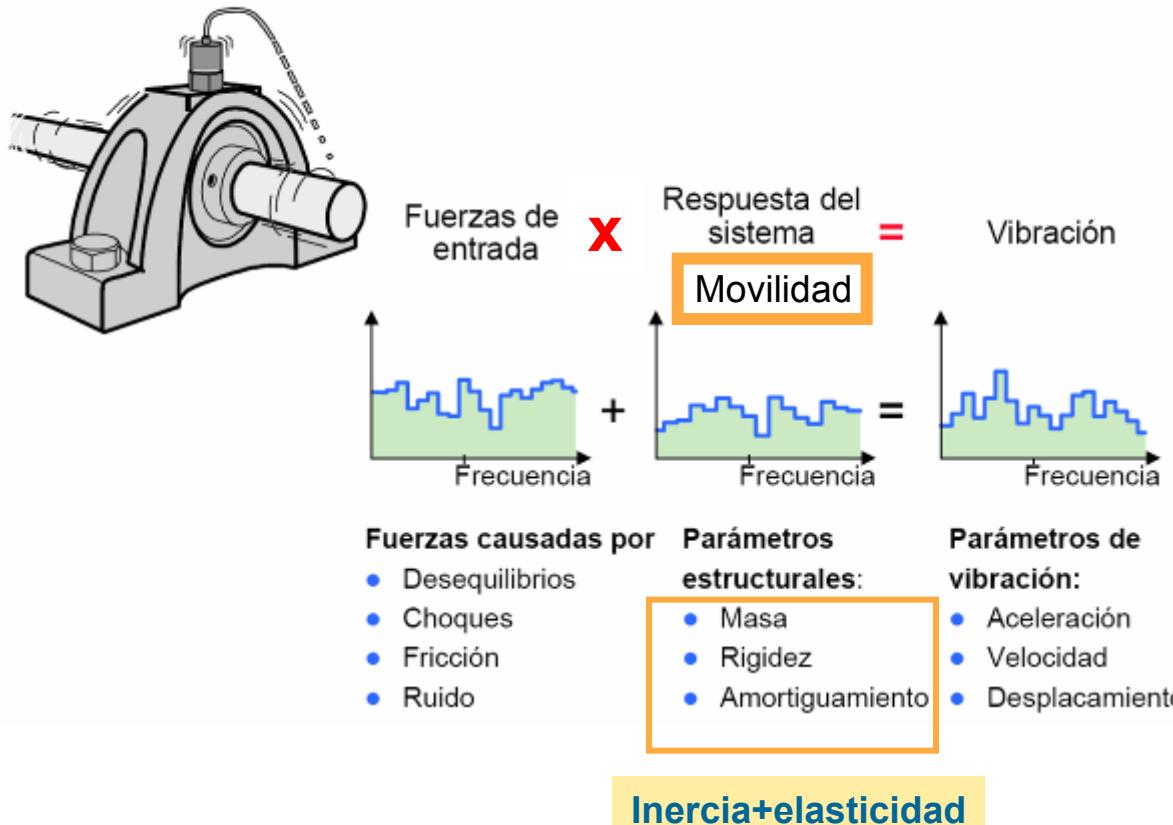
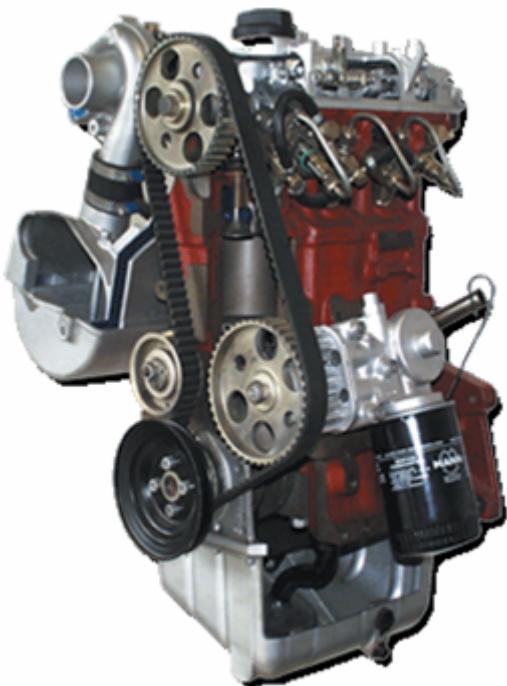


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Fuerza y vibración



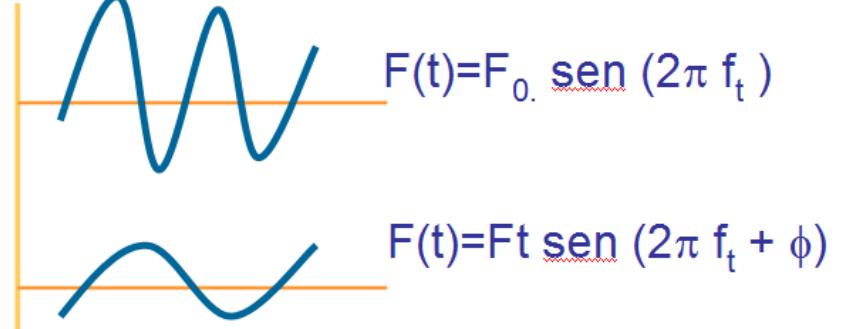
Ref: Brüel&Kjaer. Paco-pulse 2008

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Ref: AV Enginyers–2009



$$FT = \frac{F_t}{F_0} \left(\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} \right)$$

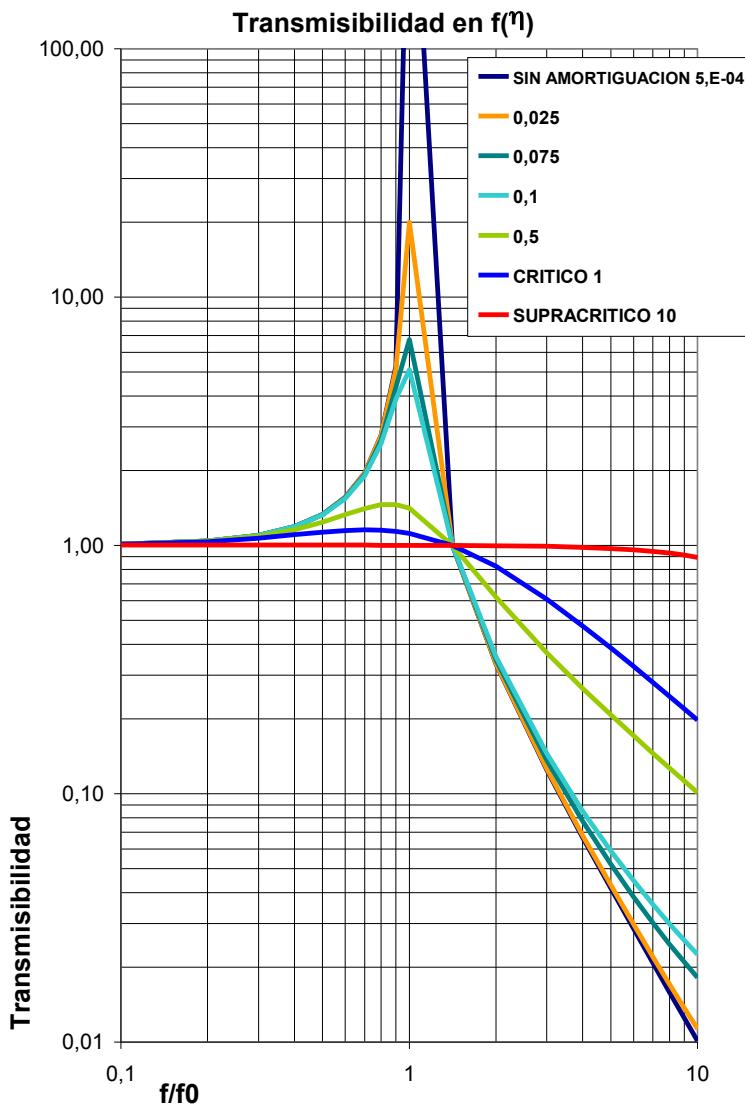
$FT < 1 \Rightarrow$ Aislamiento
 $FT > 1 \Rightarrow$ Amplificación

F0: Fuerza dinámica perturbadora (excitatrix)

FT: Fuerza transmitida al suelo

T: Transmisibilidad de la fuerza.





$$H(\rho) = \frac{x_0}{F_0} = \frac{1/k}{\sqrt{(1-\rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

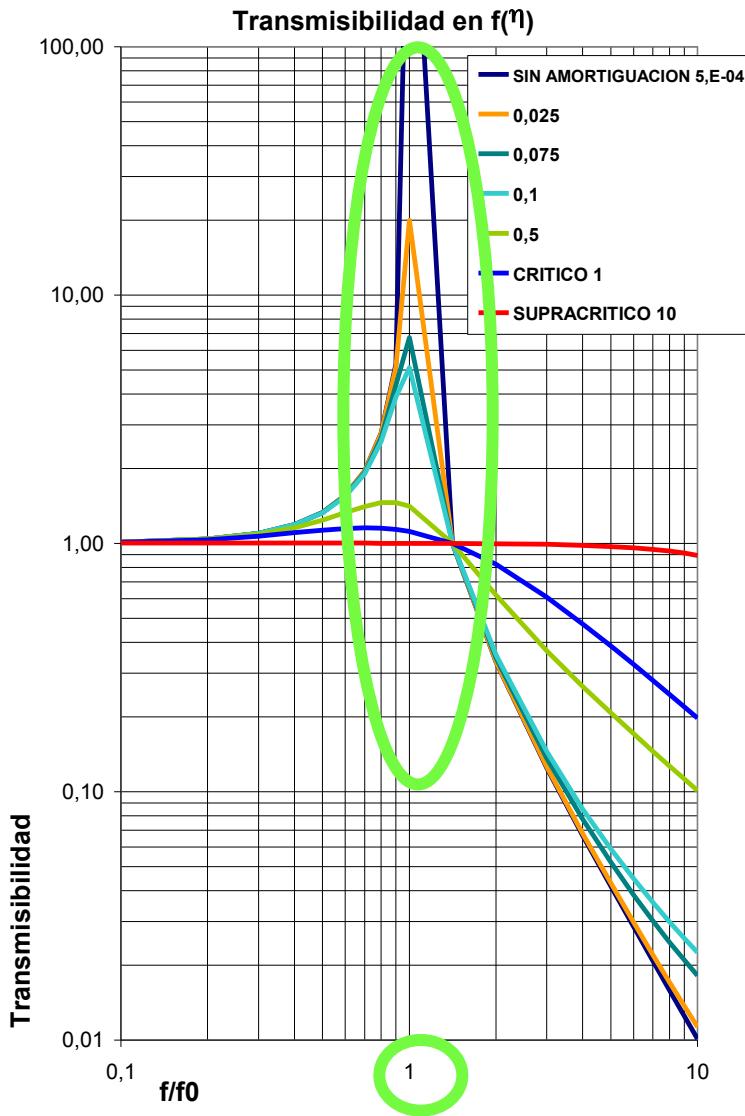
Respuesta armónica

$$\rho = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

ρ Razón de frecuencias

ζ Coeficiente de amortiguación





Transmisibilidad

$$H(\rho) = \frac{x_0}{F_0} = \frac{1/k}{\sqrt{(1-\rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

Respuesta armónica

$$\rho = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

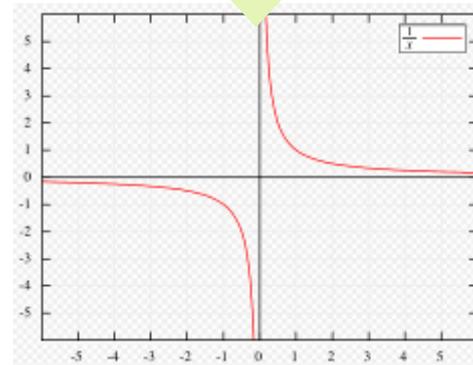
ρ Razón de frecuencias

ζ Coeficiente de amortiguación

$$\rho = \frac{\omega}{\omega_0} = 1$$

\Rightarrow

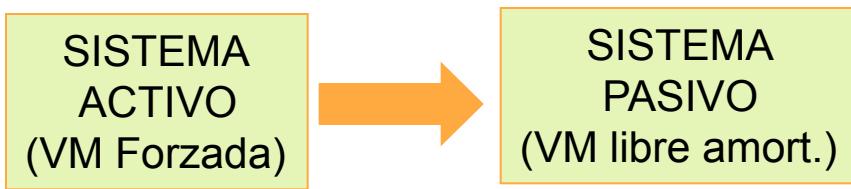
$$H(\rho) = \frac{1/k}{0} = \infty$$



Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



CONDICIONES PARA QUE LA RESONANCIA



<http://www.youtube.com/watch?v=17tqXgvCN0E&feature=related>

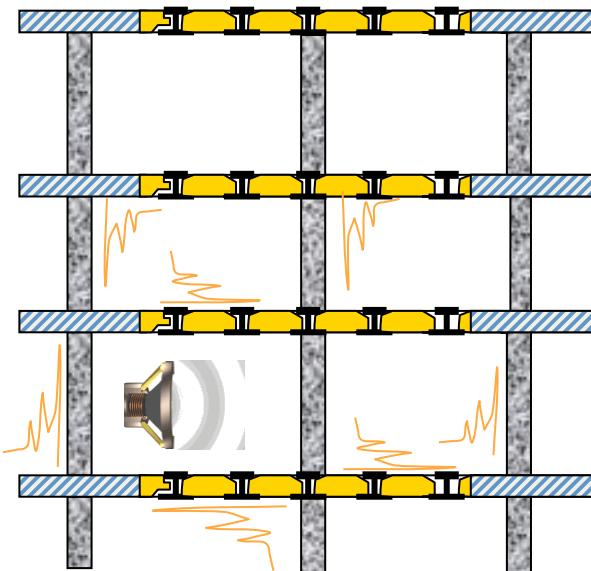
CH-47 Chinook



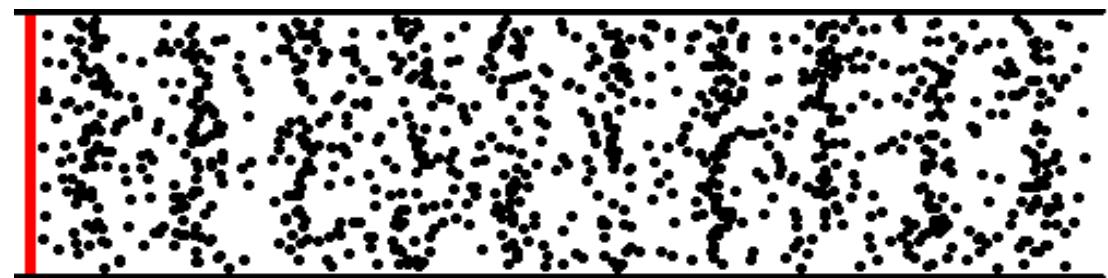
Un CH-47D del Ejército de Tierra de España en mayo de 2009.

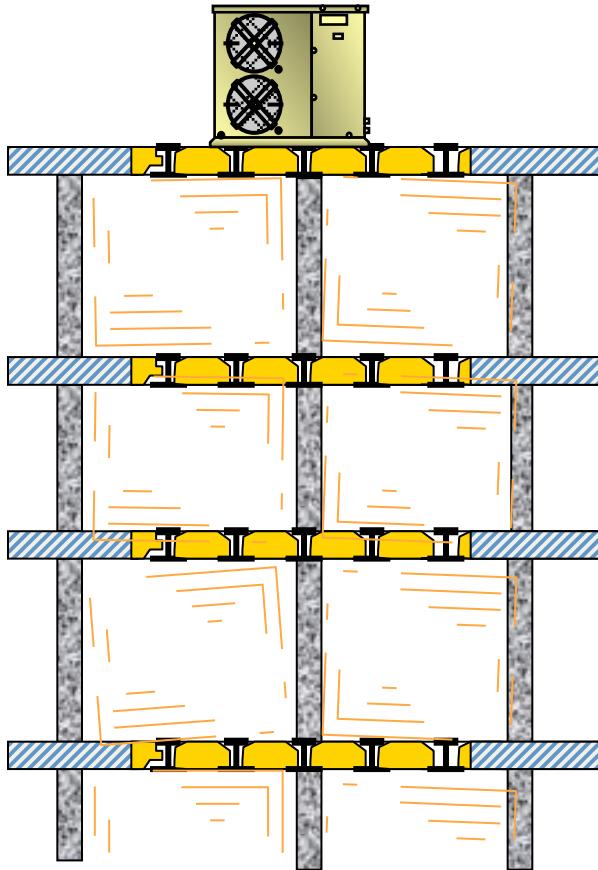
| | |
|-----------------------------|---|
| Tipo | Helicóptero de transporte |
| Fabricante | Boeing Helicopters |
| Primer vuelo | 21 de setiembre de 1961 |
| Introducido | 1962 |
| Estado | Servicio activo |
| Usuarios principales | Ejército de los Estados Unidos Royal Air Force Ejército Australiano <input type="checkbox"/> F. Terrestre de Autodefensa de Japón Real Fuerza Aérea de los Países Bajos |
| N.º construidos | Más de 1.179 ¹ |
| Coste unitario | 10,3 millones de US\$ (en 1999) ² |





- Es omnidireccional: c 344m/s
- Afectan a las viviendas + próximas
- Para su aislamiento se aplica: ley de masa, técnicas de paredes dobles, etc.



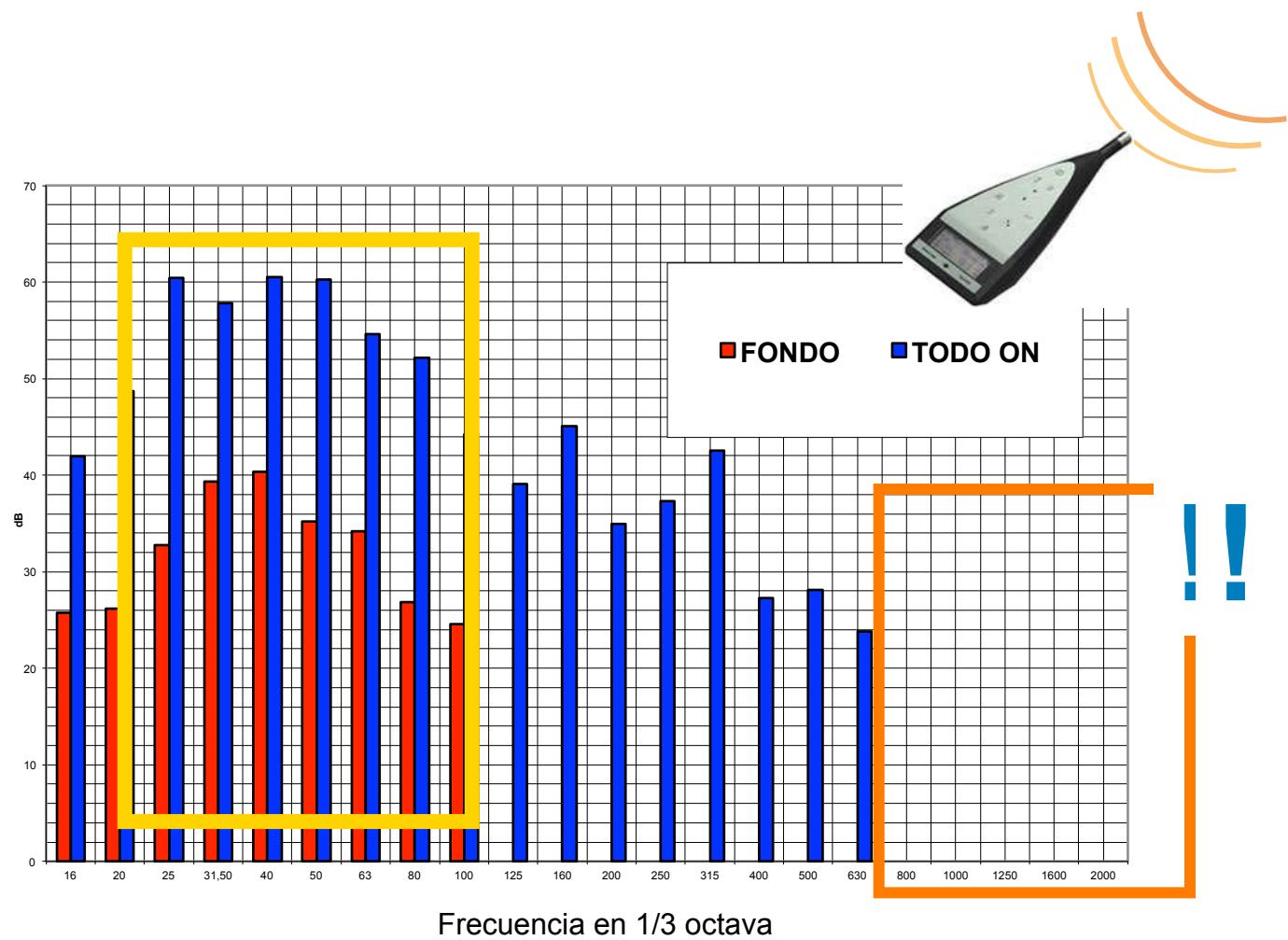


- Son más envolventes y menos directivos
- Su propagación es distinta en los 3 ejes
- Son ricos en bajas frecuencia= $\lambda(c/f)$ grandes.
- La c en sólidos >> c aire

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

Únicamente se pueden aplicar las técnicas de aislamiento vibratorio

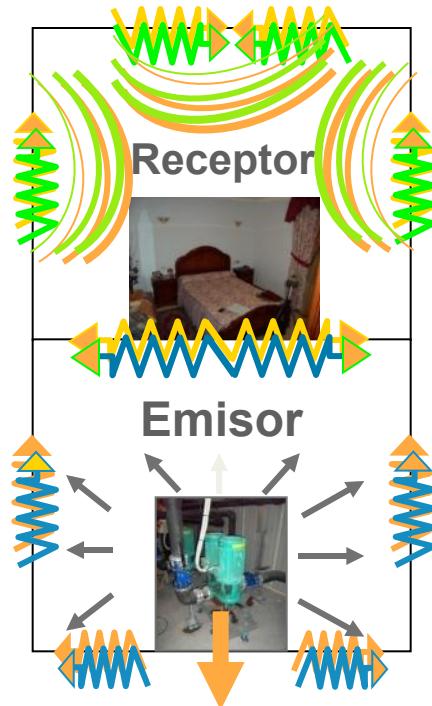




Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



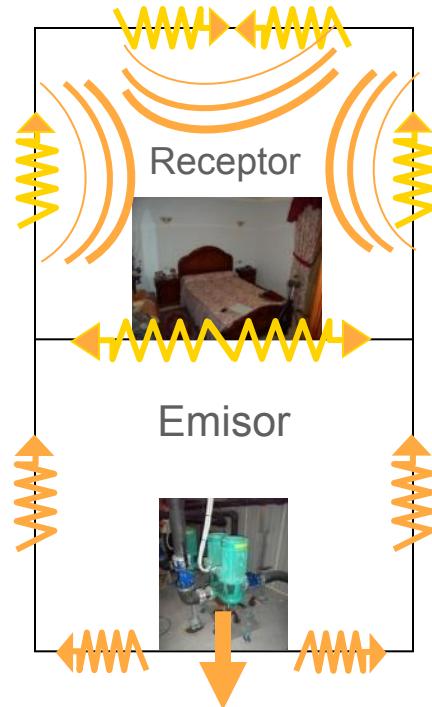
Ruido de inmisión: ruido estructural+ruido aéreo



Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

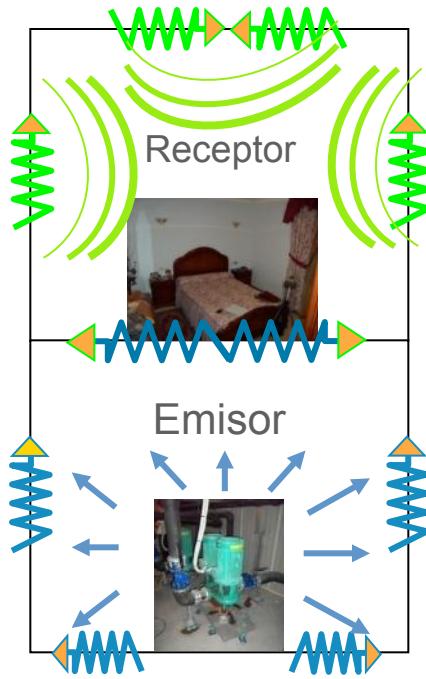


Transmisión estructural

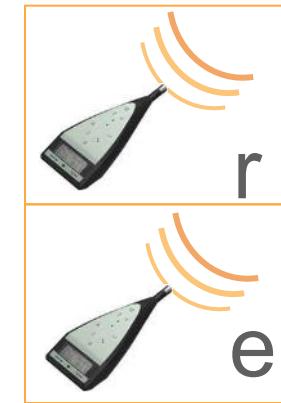


Fuerza periódica

Radiación aérea



Radiación sonora



$$\Delta L_{estruc} = L_e - L_r$$

$$\Delta L_{aéreo} = L_e - L_r$$



Método 1: normativo

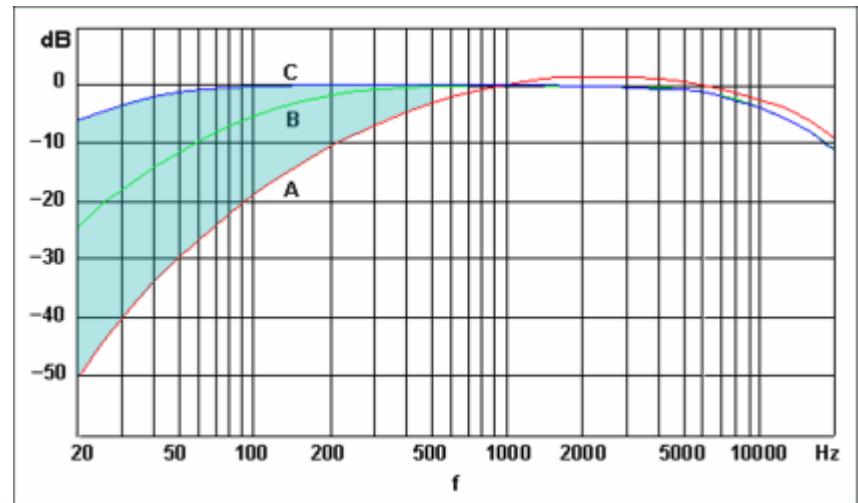
Presencia de componentes de baja frecuencia en una fase Ti

$$L_f = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti}$$

Niveles de presión sonora corregida por r.f.



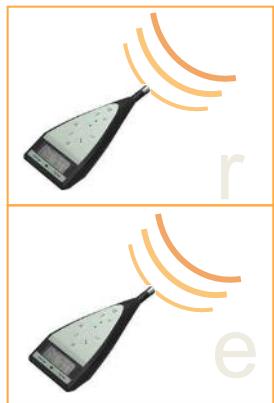
| L_f en dB s/ RD:1367/2007 | Componente de baja frecuencia K_f en dB | |
|--------------------------------|---|-------|
| Si $L_f \leq 10$ | 0 | NULA |
| Si $10 > L_f \leq 15$ | 3 | NETA |
| Si $L_f > 15$ | 6 | CLARA |



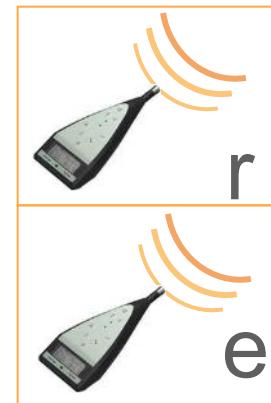
Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Método 2: analítico



$$\Delta L_{inmisión} = Le - Lr$$



$$\Delta L_{aéreo} = Le - Lr$$



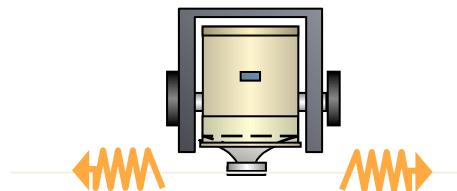
$$\Delta L_{inmisión} \ll \Delta L_{aéreo}$$

$$\Delta L_{inmisión} \gg \Delta L_{aéreo}$$

$$\Delta L_{inmisión} \approx \Delta L_{aéreo}$$

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

1º Aislamiento acústico de paramentos
verticales y horizontales



Generador de
vibración



Método 2: analítico

1º



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

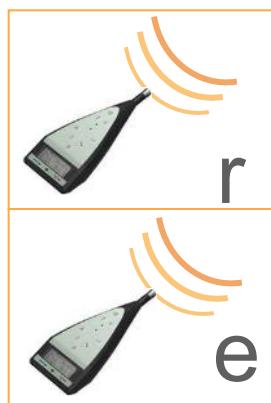


$$L'_{2(r)} = L_2 - L_{BN}$$

x1/3 octava

D:64,6dB

2º



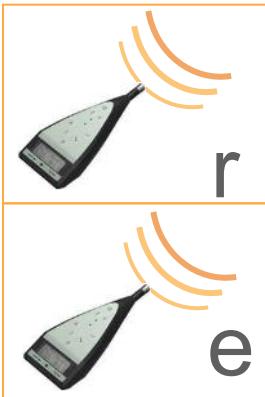
| Fuente en receptor 2 (r) | Nivel promedio |
|------------------------------------|----------------|
| BOMBAS ON en 2 (r) | 27,1 dBA |
| Bombas off en 2 (r) ruido de fondo | 22,2 dBA |
| L'2(r) bombas ON | 25,3 dBA |
| Fuente en emisor 1 (e) | Nivel promedio |
| L1(e) bombas ON L1(e) bombas ON | 75,6 dBA |



Rafael Torres del Castillo (10ª Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



3º



D:64,6dB

Datos que tenemos

| | |
|--------------------------|----------------|
| 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

$$\Delta L_{aéreo} = 7dB$$



5º



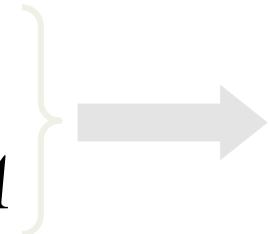
CONCLUSIÓN

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 |

$$\Delta L_{aéreo} = 7 dB$$

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



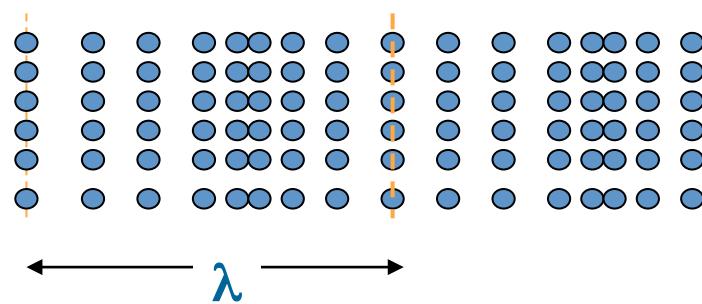
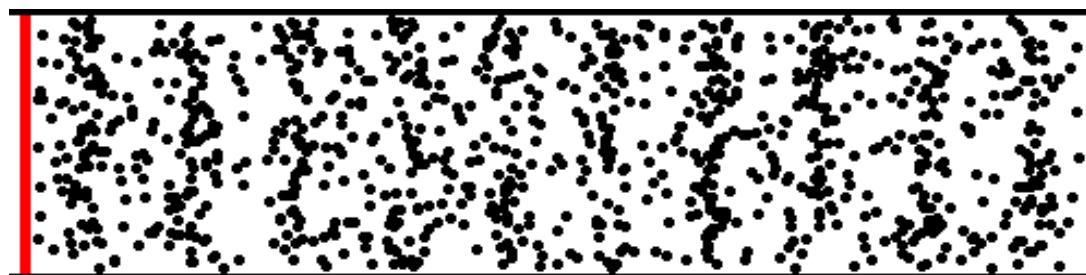
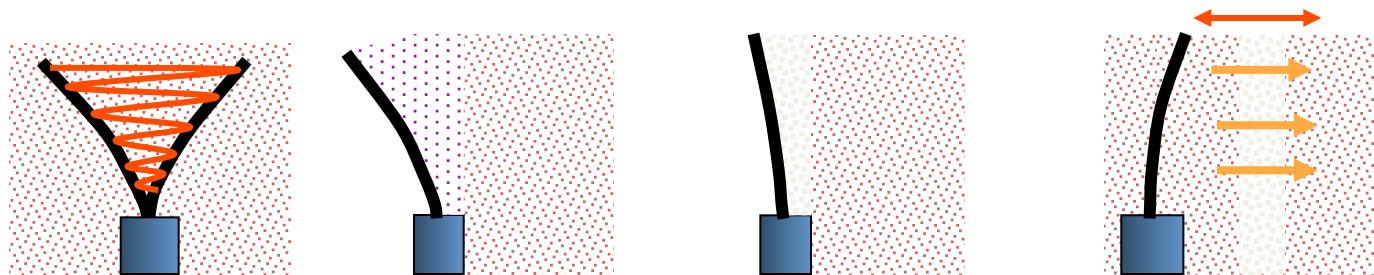
$$25,3 dBA = L_{rT} = 10 \log(10^{7/10} + 10^{x/10})$$

$$L_{estruc,} = 10 \log(10^{L_{rT}/10} - 10^{L_{aéreo}/10})$$

$$L_{estruc,} = 10 \log(10^{25/10} - 10^{L_7/10})$$



Ondas longitudinales (Ondas de presión o densidad)



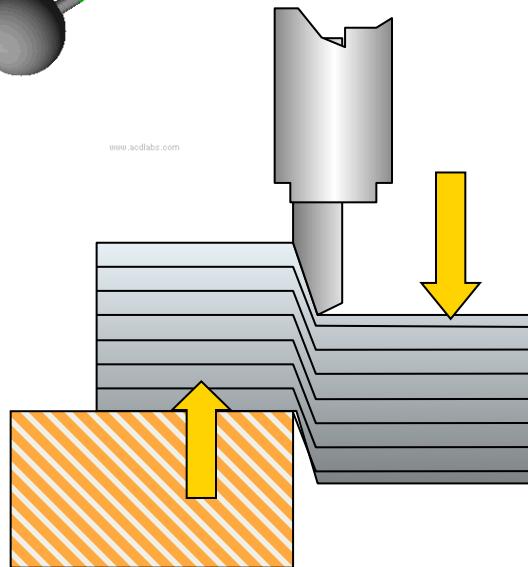
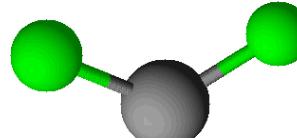
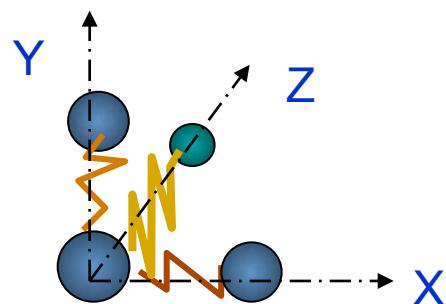
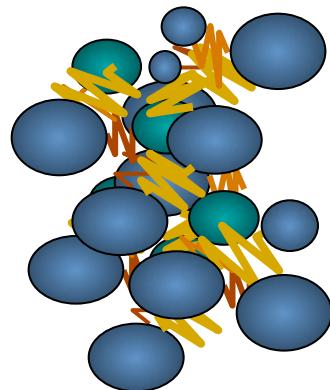
$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E = módulo de compresión

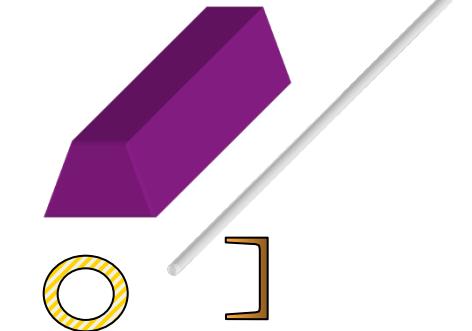
$$\lambda = \frac{c}{f}$$



Fuerzas moleculares de cohesión



Esfuerzo a cortadura



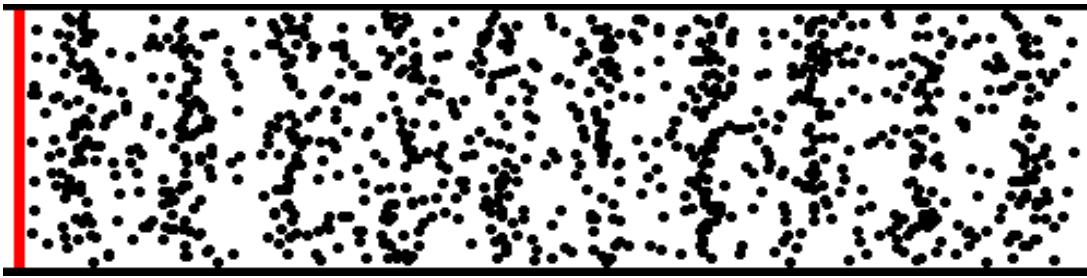
Dúctiles y Maleables



+ Densos

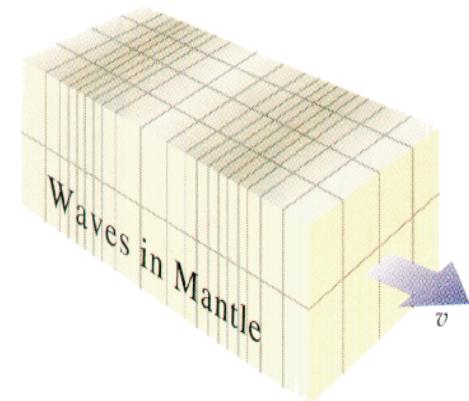
+ Rígidos





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

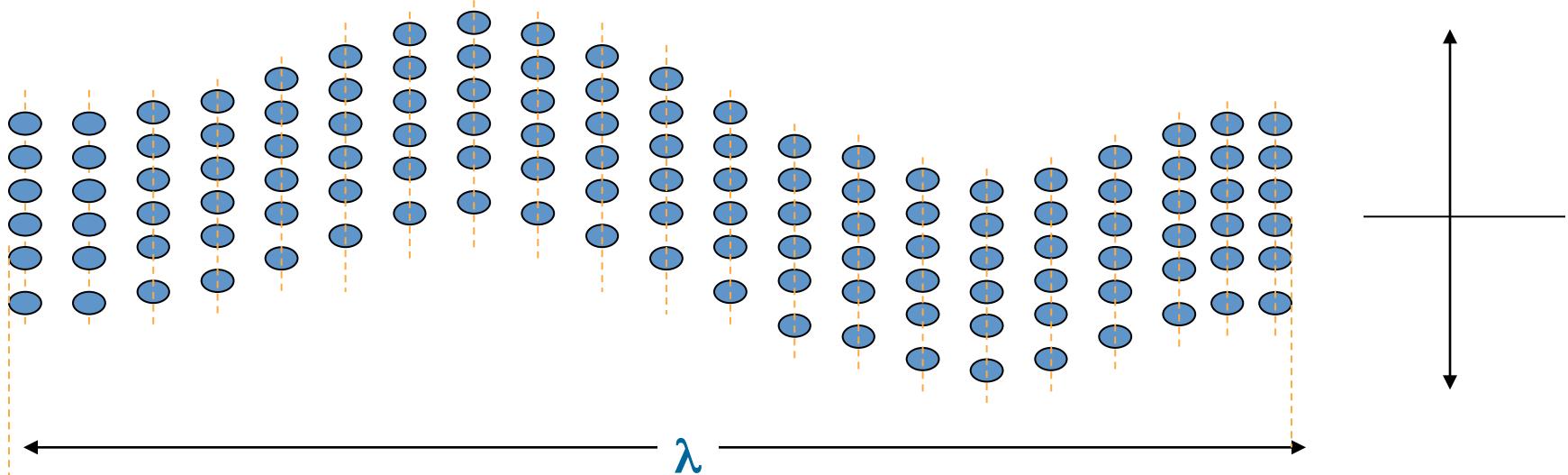
Ondas P



Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



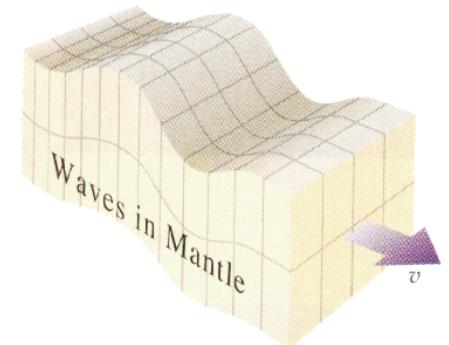
Ondas transversales



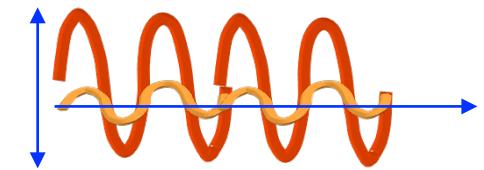
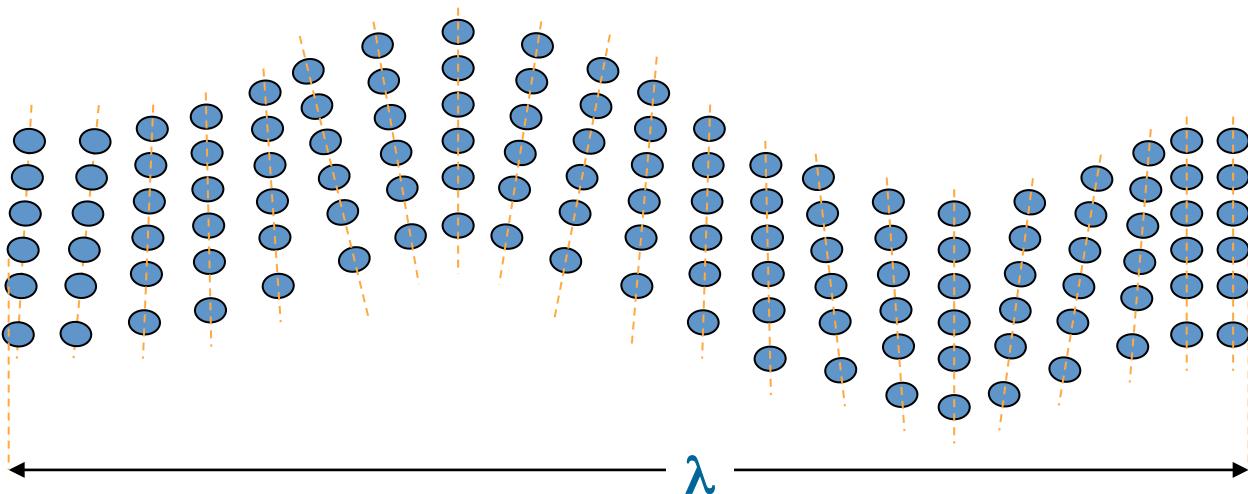
$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\delta}}$$

G = módulo de deslizamiento

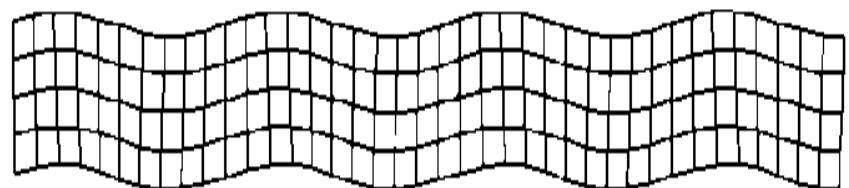
Ondas s



Ondas de flexión



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



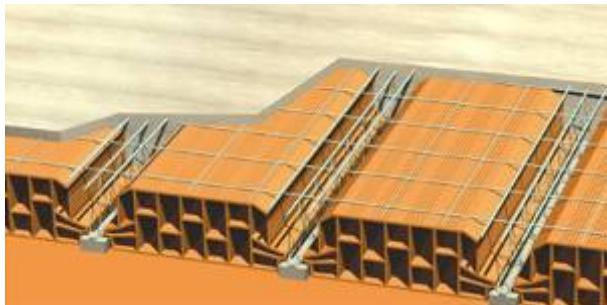
B = módulo a flexión



Forjados

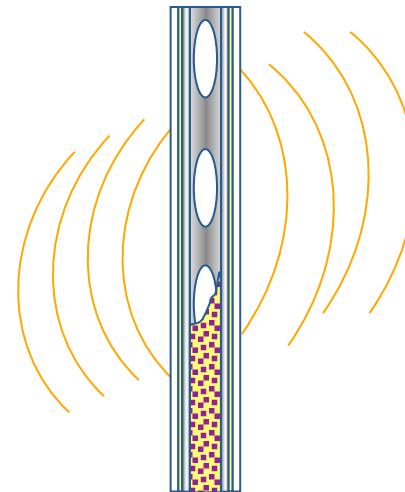


Forjado bidireccional “in situ”

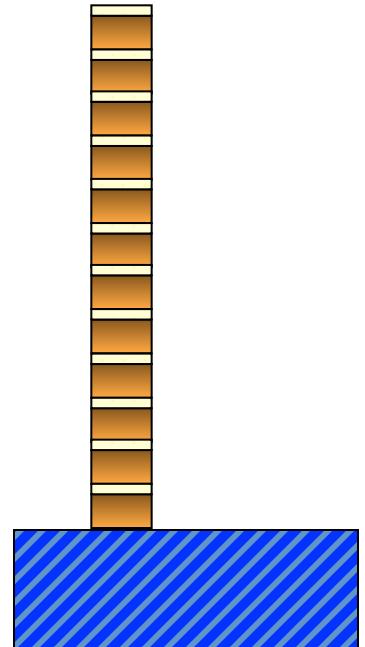


Forjado unidireccional con
viguetas armadas

Paredes



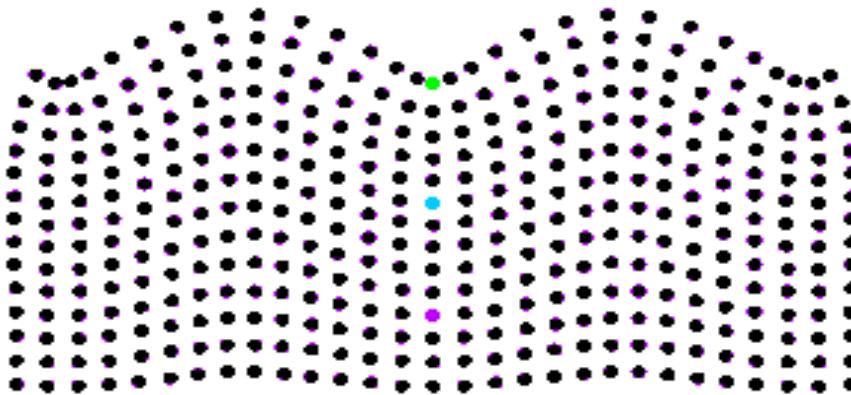
De obra seca: Yeso
laminado



De obra húmeda:
fabrica de ladrillo

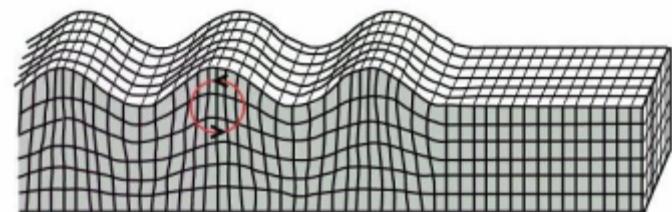


Superficiales



© 1999, Daniel A. Russell

Ondas de Rayleigh



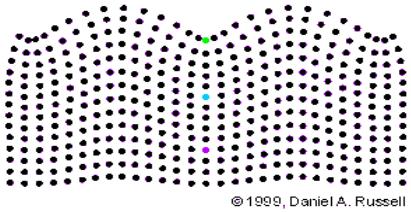
$$C_r = 0.93 \sqrt{\frac{G}{m}}$$

G = módulo a deslizamiento del medio

$$C_p > C_s > C_r$$



Ondas de Rayleigh



© 1999, Daniel A. Russell



Terremoto de Japón 11-14/03/2011



Ground vibration BOOM



Sonic boom
Breaking the sound barrier



Terremoto de Lorca 11/05/2011

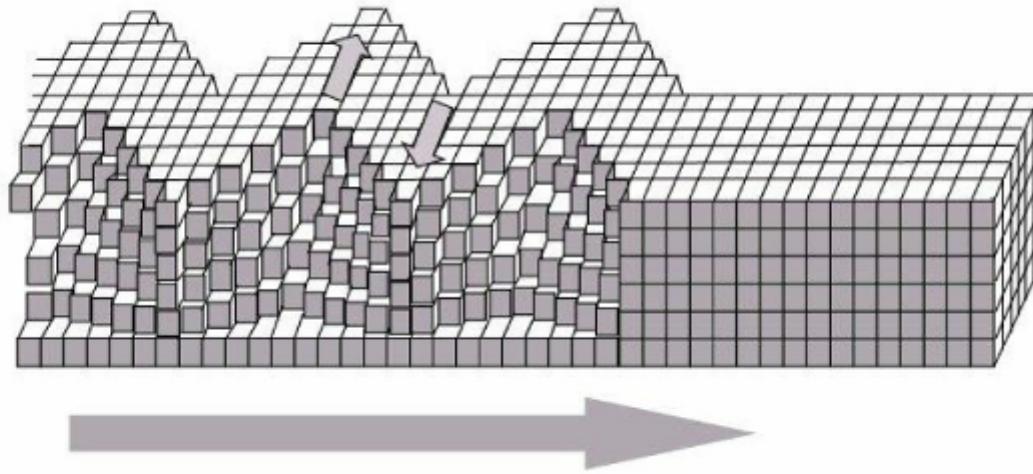
Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Propagación en cuerpos sólidos

Superficiales

Ondas de Love

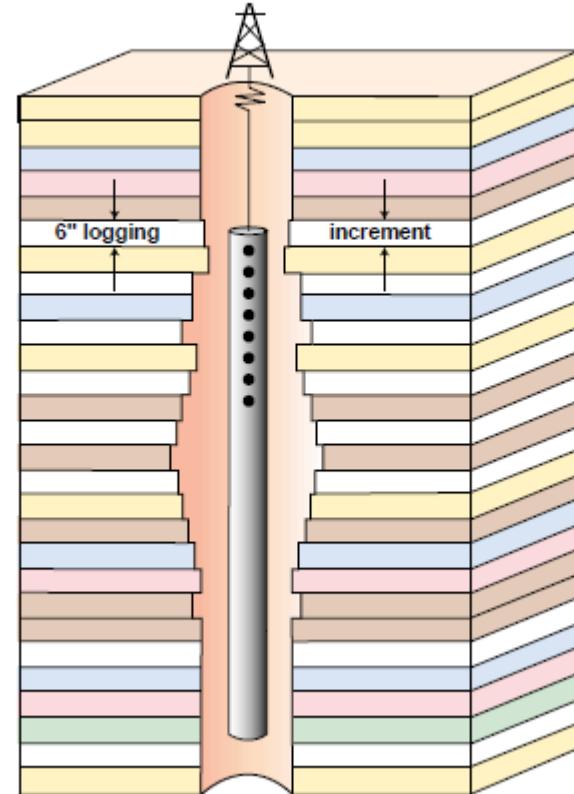
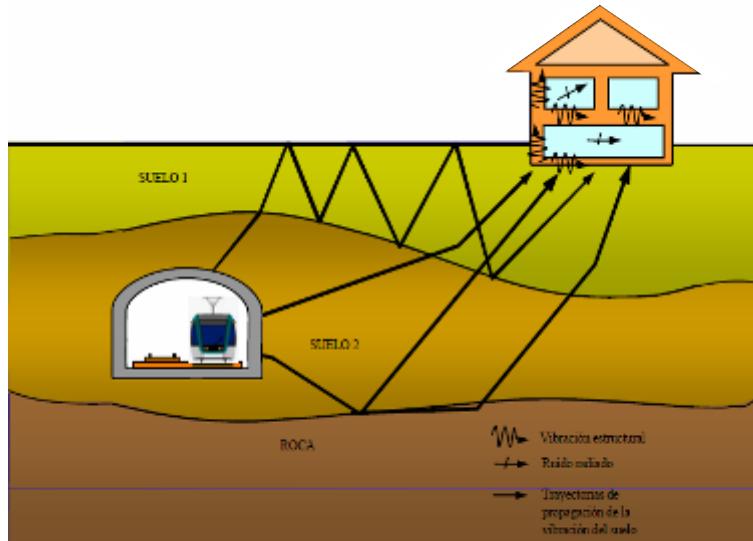


Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Propagación en cuerpos sólidos

Ondas de Stoneley



Reflexión y Refracción

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



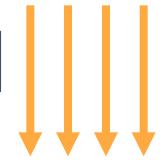
Velocidad de propagación

>

Rigidez



Elasticidad



<

Densidad





.....seguimos

Rafael Torres del Castillo (10^a Ed:6-2016) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

