



<http://juanjopina.fileaesir.com>

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

Para ello los cuerpos han de tener 2 elementos:
masa o inercia y elasticidad

INERCIA + ELASTICIDAD

Las 3 condiciones básicas para que un cuerpo vibre

Pero se necesita un detonante que desencadene dicho fenómeno mecánico



+ fuerzas externas



Efectivamente a cada ciclo se mantiene un balance energético de los tres tipos de energía mecánica existente

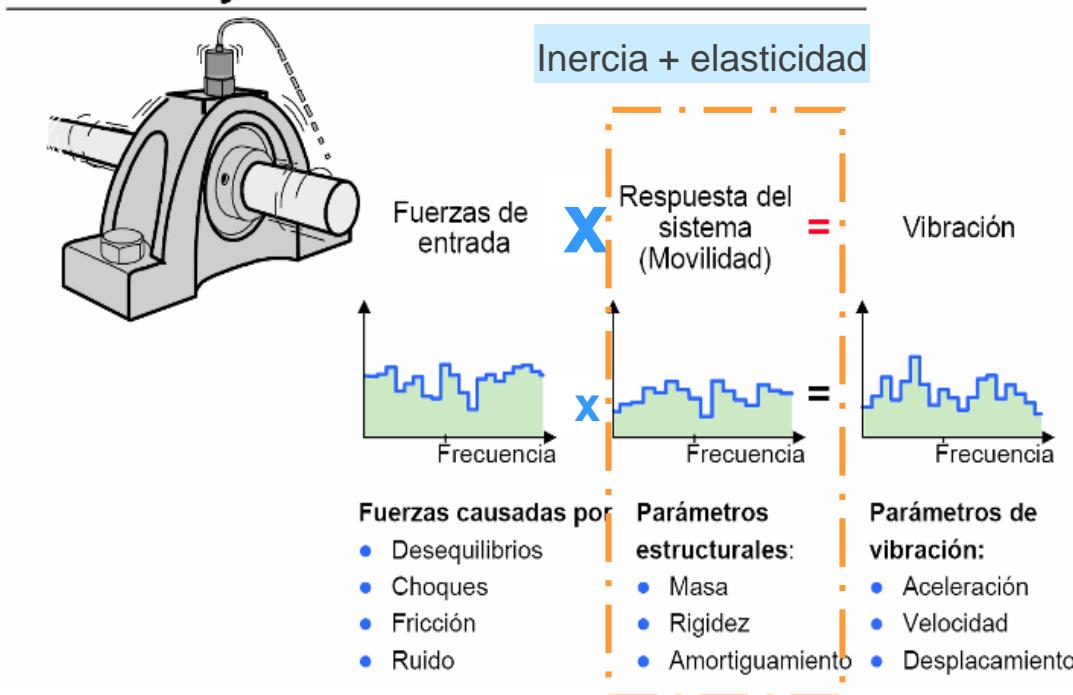


- Intercambio de **energía cinética** (masa)
- Intercambio de **energía potencial** (el muelle)
- Intercambio de **energía interna** en calor (amortiguación)

- El fenómeno de las vibraciones se origina cuando una o varias causas de orden mecánico hacen acto de presencia, como son las fuerzas de desalineación, aflojamientos, choques, fricción arranque, ruido estructural, etc.
- Cuando el sistema mecánico queda afectado por estas fuerzas perturbadoras, responderá en consecuencia dependiendo de su masa, elasticidad y amortiguación.
- El efecto de la respuesta del sistema será que el cuerpo vibrará en mayor o menor grado.

Fuente: Francico Sanchez; Bruel&Kjaer

Fuerza y vibración



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Causa

Cuando actúa una fuerza externa puntualmente



Vibraciones Libres



Cris: 3 años

Vibra libremente, es decir el solo oscila hasta volver al estado de reposo

Cuando actúa una fuerza externa permanentemente (un motor)



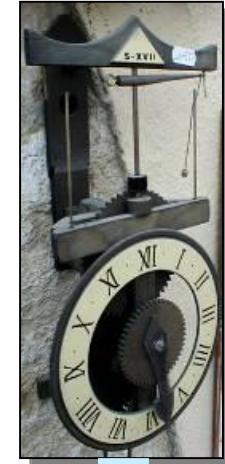
Vibraciones Forzadas



Cuando actúa una fuerza externa de cualquier de los dos tipos anteriores



Autoexcitadas



Efecto

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Vibra forzadamente a una frecuencia impuesta (las rpm del motor). Su movimiento vibratorio será lineal en función de la excitación

El sistema reacciona de manera no lineal, produciendo un efecto en el cual la vibración el movimiento vibratorio se amplifica a cada ciclo

- Independientemente del tipo de vibración que centremos nuestra atención deberemos tener presente que los cuerpos y fenómenos en la realidad que nos envuelven, FORMAN SISTEMAS FISICOS o reales como el ilustrado en las imágenes
- debemos de SIMPLIFICARLOS en SISTEMAS MECANICOS en los cuales los fenómenos que se producen los representamos mediante MODELOS MECANICOS + SIMPLES.
- Estos MODELOS MECANICOS han de tener las 4 CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA FISICO EN VIBRACION:

1. MASA: Suponiéndolo como rígidos indeformables
2. ELASTICIDAD: Rigidez SIN MASA
3. AMORTIGUACION: representa la disipación del movimiento vibratorio en calor.
4. Grados de libertad GLD: son las coordenadas que definen la dirección y sentido del movimiento vibratorio DEBIDO A LA ACCION DE FUERZAS EXTERIORES

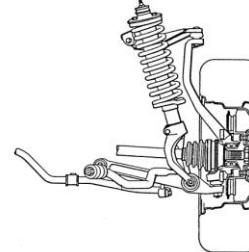
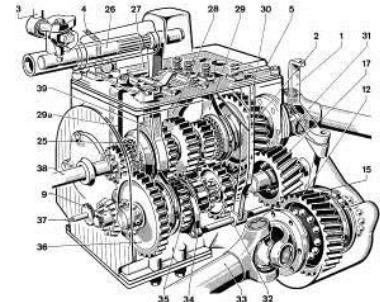


Figura 3.a – Suspensión. Sistema real

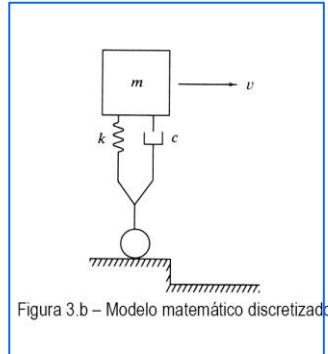


Figura 3.b – Modelo matemático discretizado



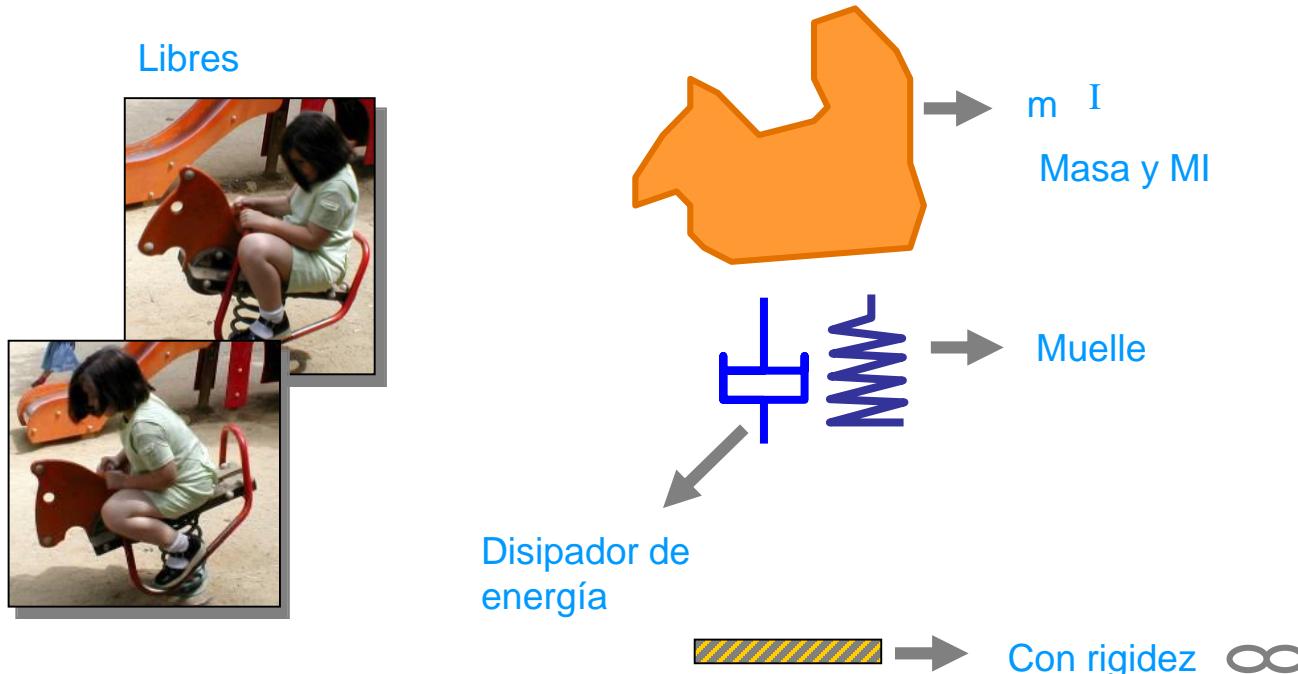
Figura 5 – Modelización por Elementos Finitos

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

- Estos MODELOS MECANICOS estarán por tanto formados o DISCRETIZADOS mediante ELEMENTOS SIMPLES que representen cada unos de los elementos indispensables para que se produzca una VM Y SON:
 - la **masa M** inercial que adquiere la niña + el columpio (desde el p.de v dinámico)
 - LA “I” es el **MOMENTO DE INERCIA** que nos indica como está distribuida dicha masa.
 - El **MUELLE** representa las propiedades elásticas del columpio + la interacción del cuerpo elástico de la niña.
 - El **AMORTIGUADOR** refleja la presencia de **FUERZAS DISIPATIVAS** que al final HARA QUE EL COLUMPIO DEJE DE OSCILAR.



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

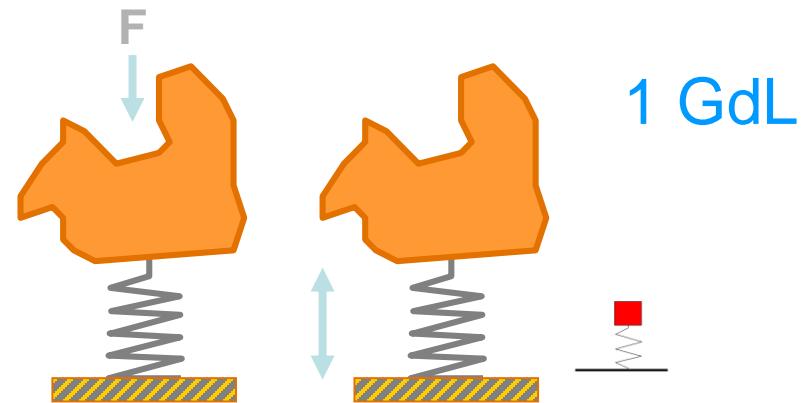
- Posteriormente definimos la 4 propiedad que es un parámetro independiente que define los grados de libertad o diferentes forma de vibrar que adquirirá el sistema.
- Estableciendo la hipótesis que a la niña en el columpio se aplica una fuerza en sentido vertical solamente provocará que el sistema TENDRA UN MODO DE VIBRAR.

Libres

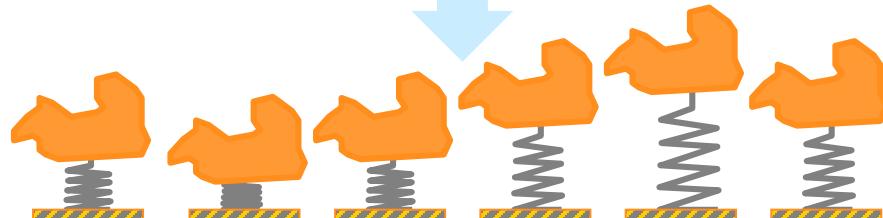
**Sistema
físico**



Discretizado en un sistema MASA-MUELLE (modelo mecánico)



Sistema mecánico denominado MASA-MUELLE con un único grado de libertad en el sentido vertical

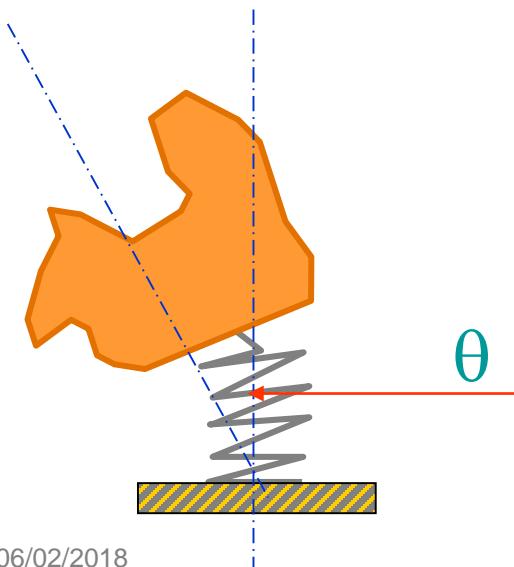
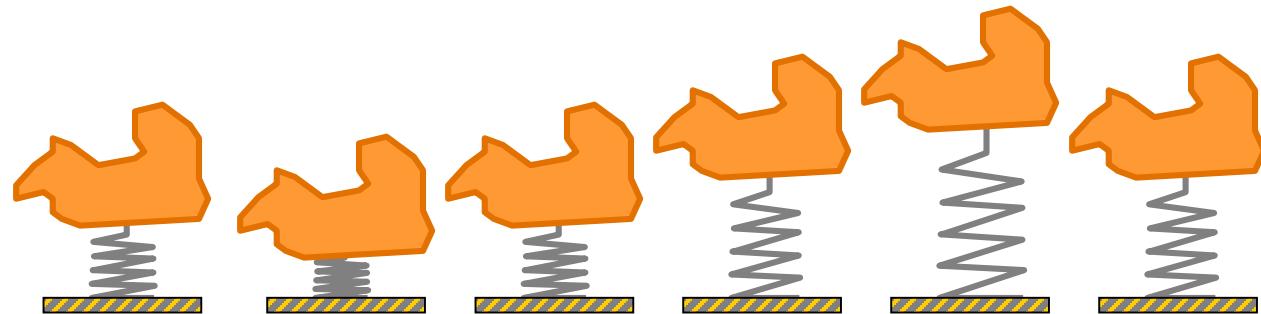


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

- Pero los cuerpos pueden llegar a tener muchos grados de libertad.
- En cambio en el caso de la imagen, existe también movimiento de balanceo y podemos así indicar otro parámetro independiente como EL GRADO DE INCLINACION



**El sistema tiene 2 parámetros
independientes
grado movimiento vertical + grado
de inclinación**

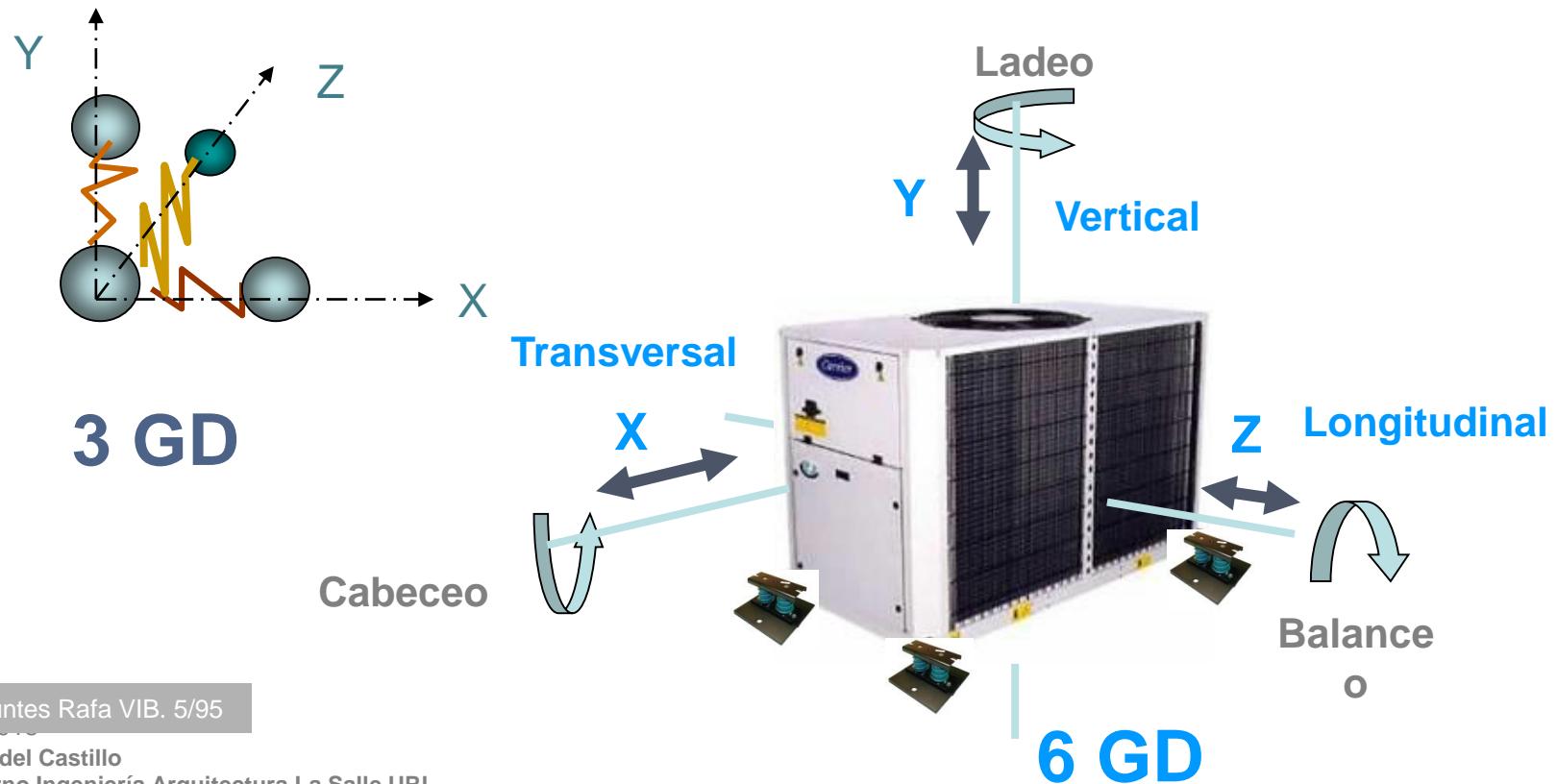
2 GdL

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

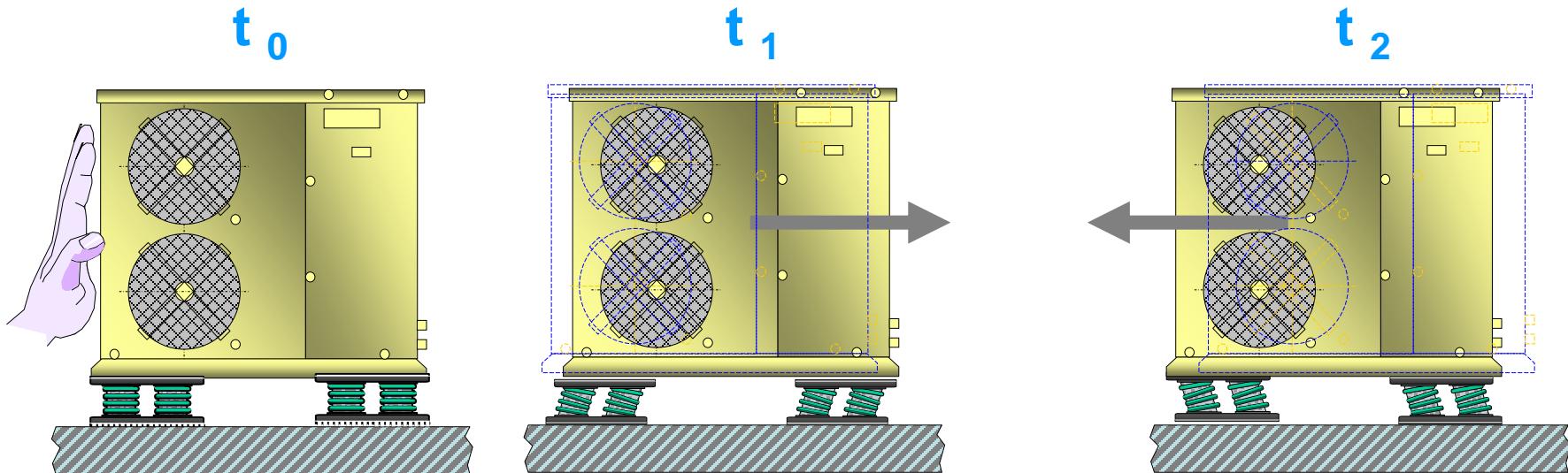
- Así en el caso de la vibración de una partícula , oscilará con 3 **GRADOS DE LIBERTAD**. Hay que tener en cuenta que la propagación vibratoria en el seno de un cuerpo es distinta en los 3 ejes direccionales (x, y, z).
- En el montaje elástico de una máquina posee 6 GRADOS DE LIBERTAD: 3 modos lineales de desplazamiento + 3 modos angulares que definen la orientación (cabeceo, ladeo y balanceo)



Fuente: Apuntes Rafa VIB. 5/95

Rafael Torres del Castillo
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Observación estática

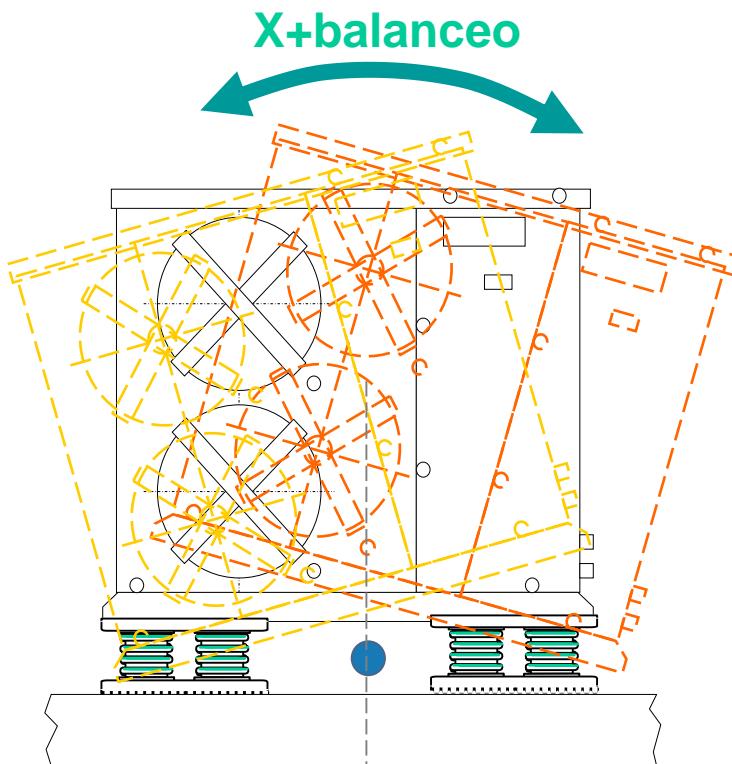


El sistema está DESACOPLADO

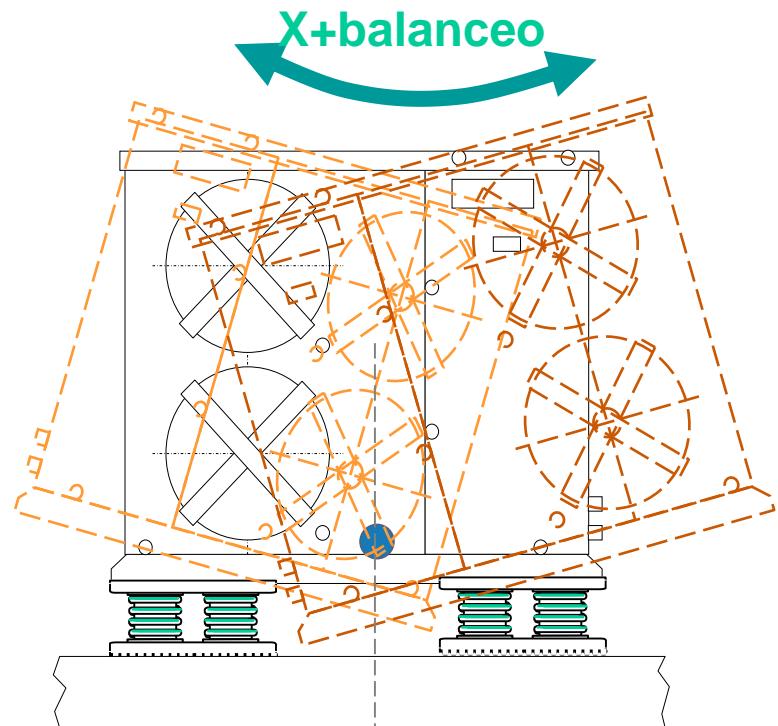
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Eje imaginario de rotación X debajo



Eje imaginario de rotación X encima

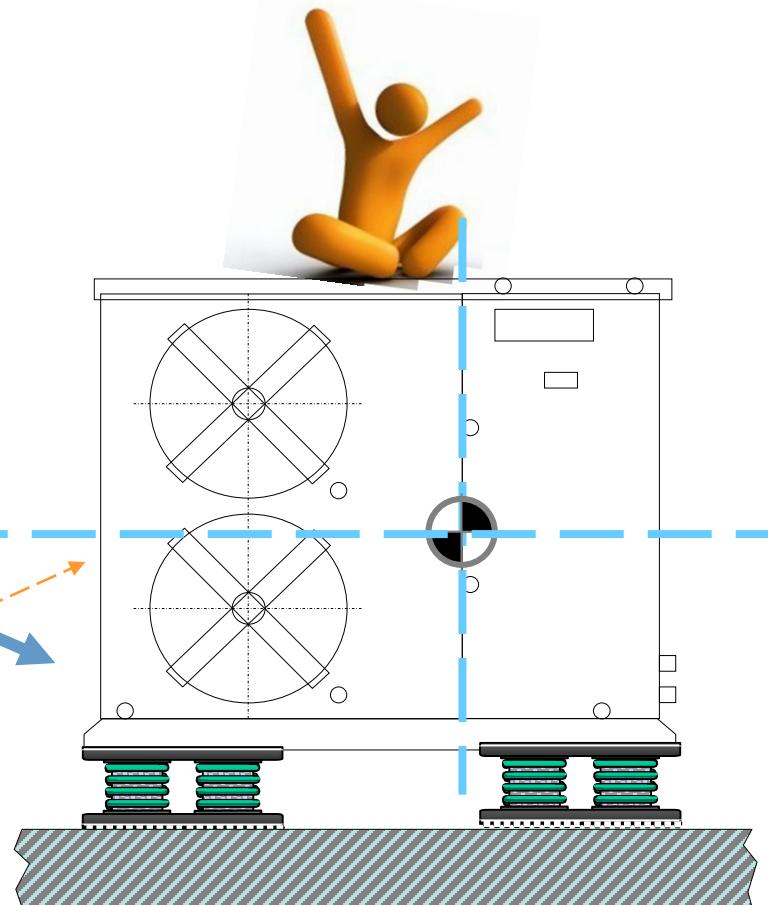
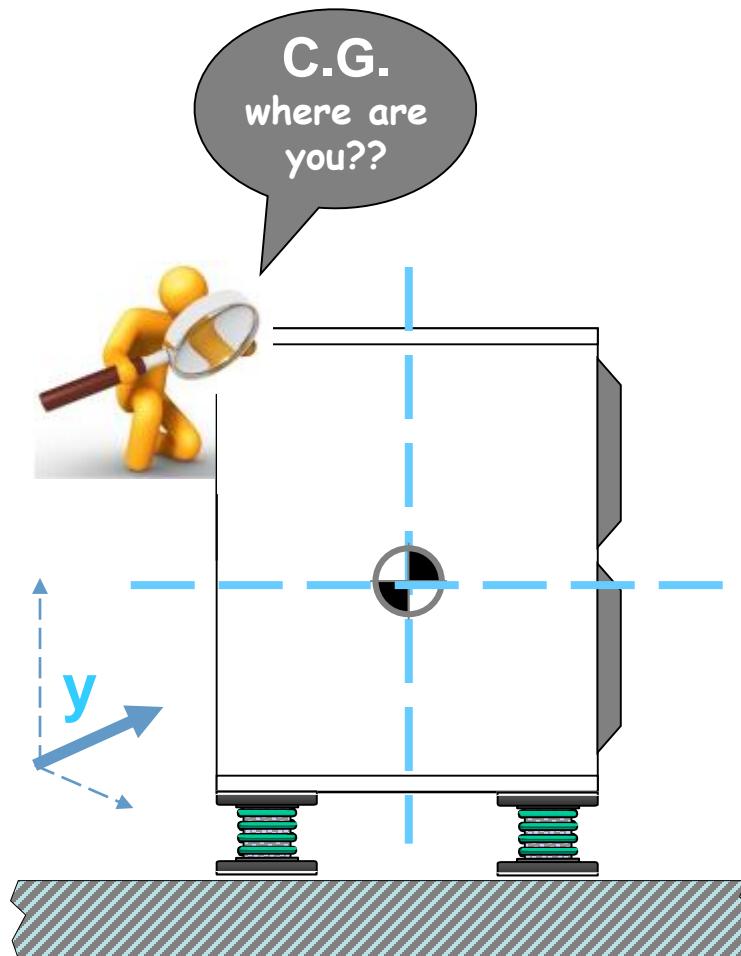
ACOPLAMIENTO

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

exists Asimetría mecánica ??

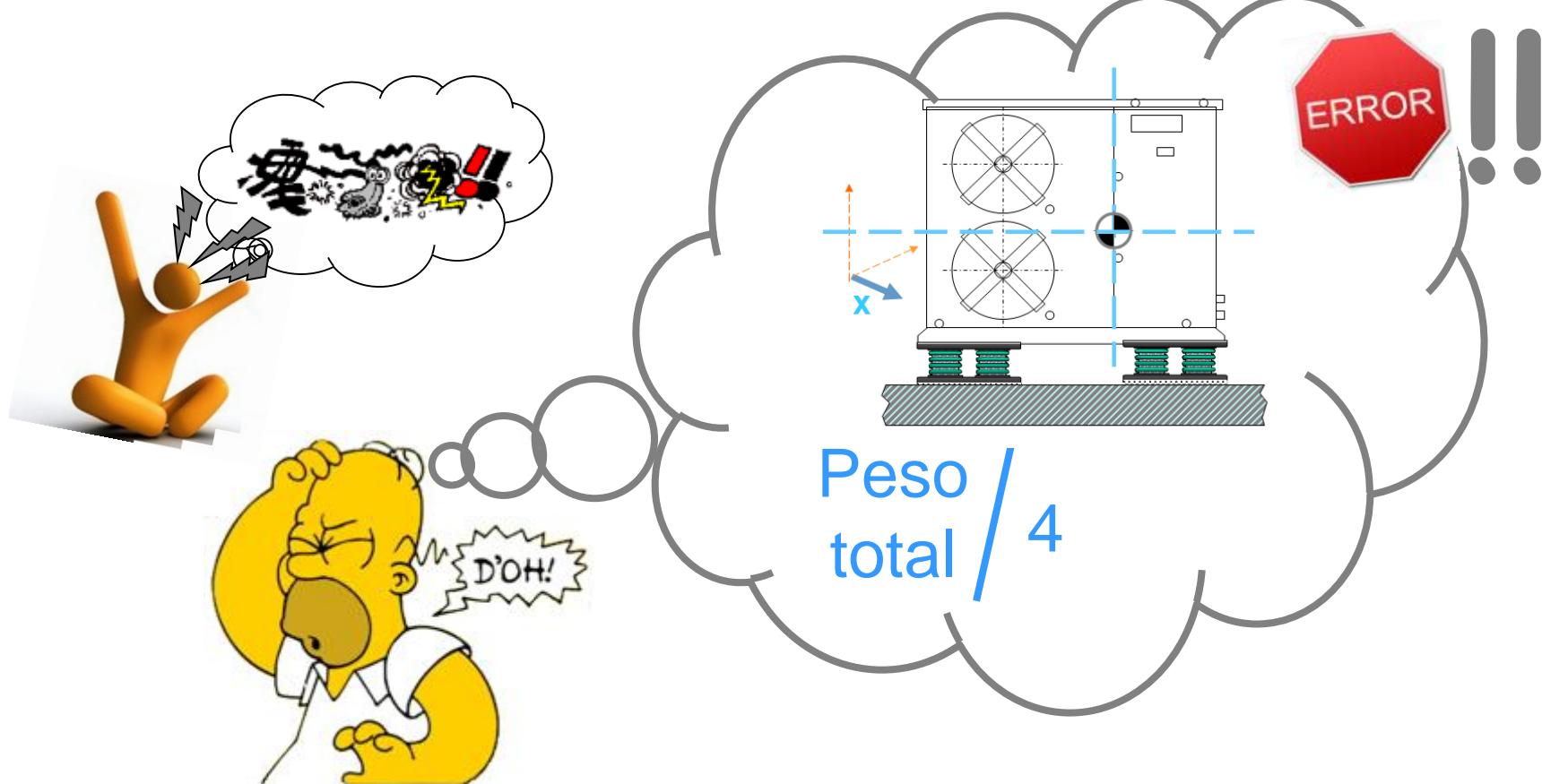


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

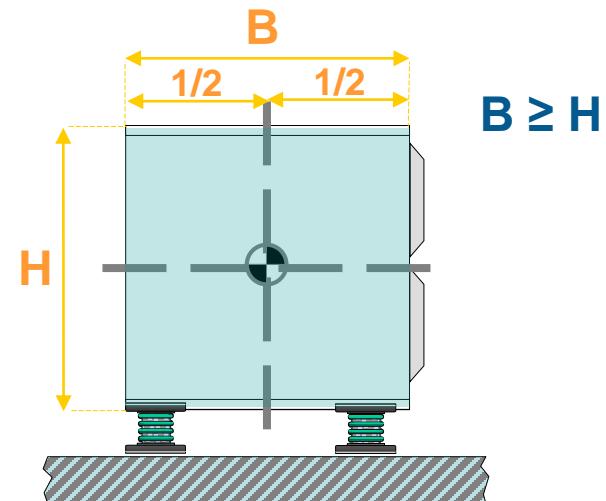
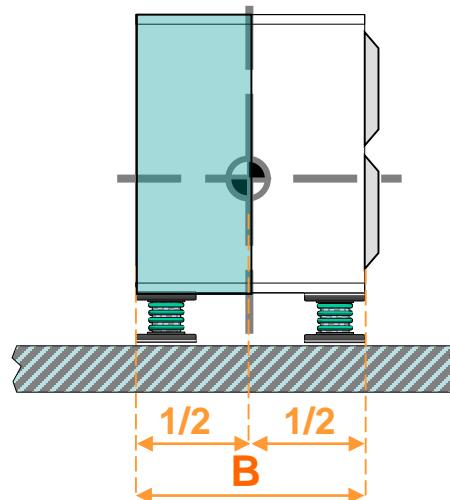
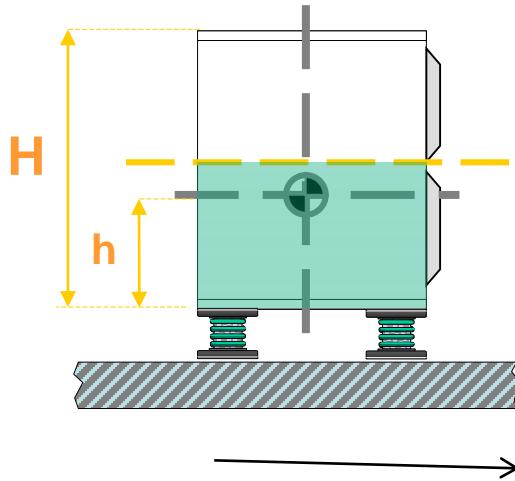
Error clásico



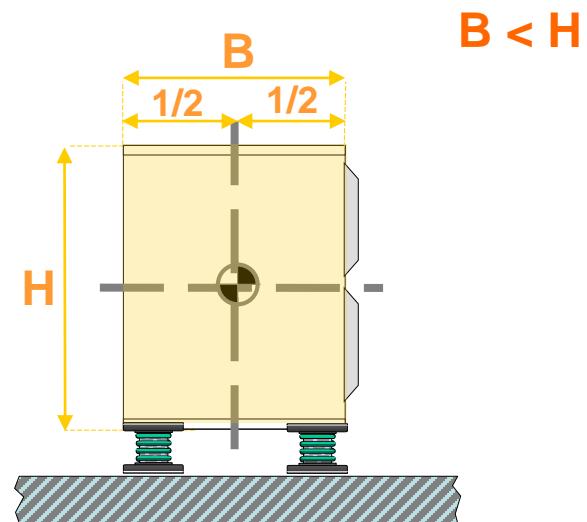
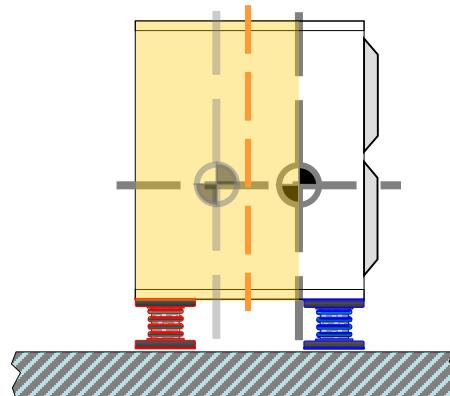
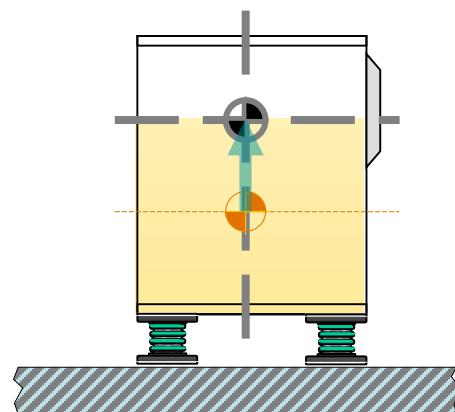
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



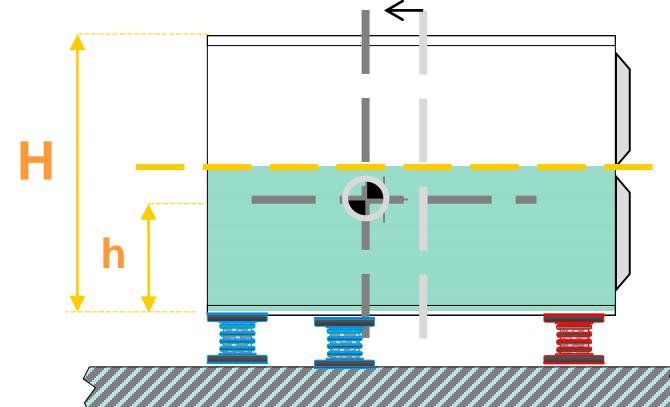
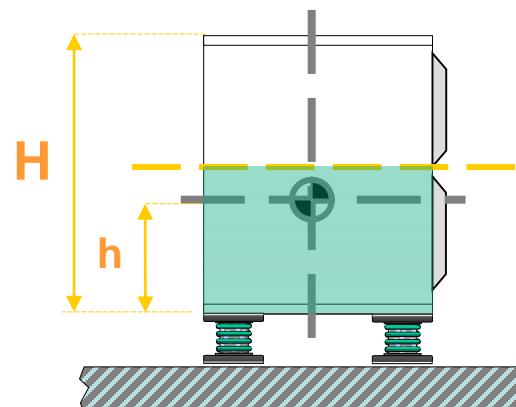
Tendencia al
cabeceo / balanceo



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$Y \longrightarrow$

Y
 X

Ed13:06/02/2018

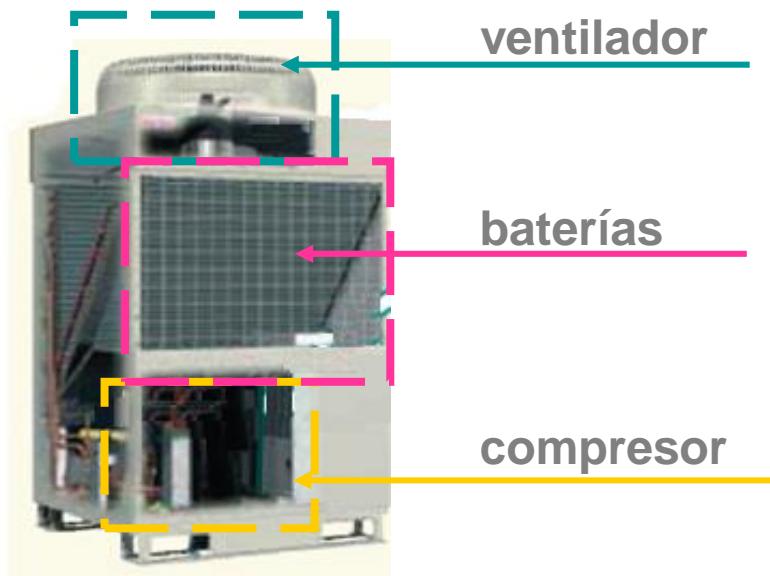
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Unidades VRV de volumen variable de frío/calor



 MITSUBISHI
ELECTRIC



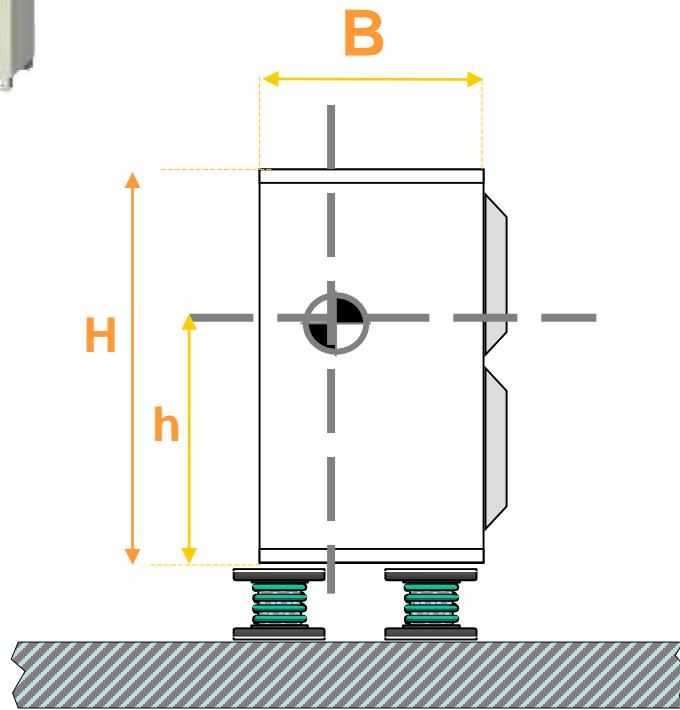
 DAIKIN
AIR CONDITIONING



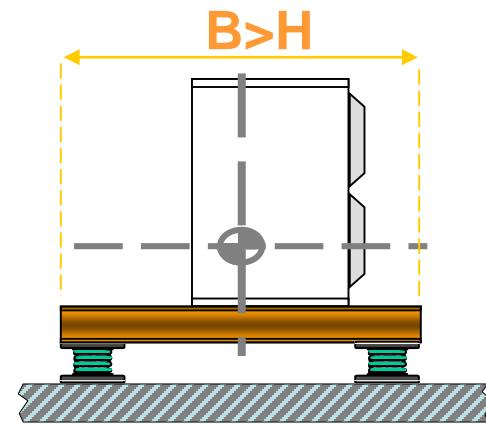
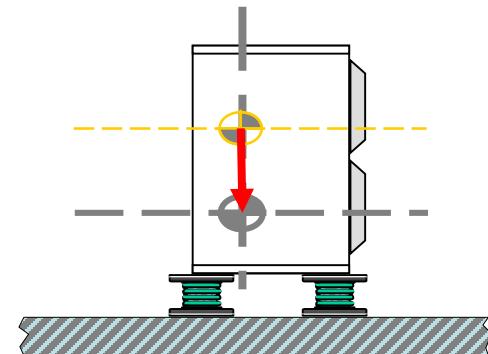
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



medidas PREVENTIVAS “Control de Vibraciones”

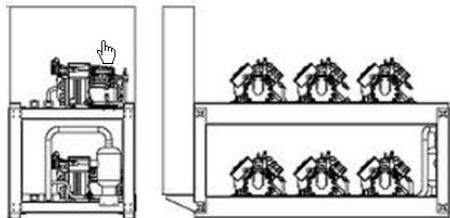
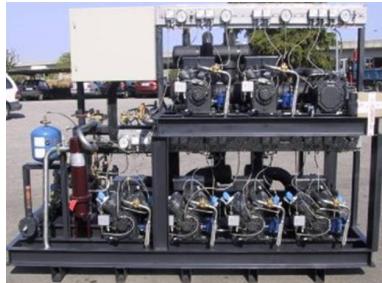


Estrategia adoptada: Rediseño
del montaje antivibratorio.

Ed13:06/02/2018

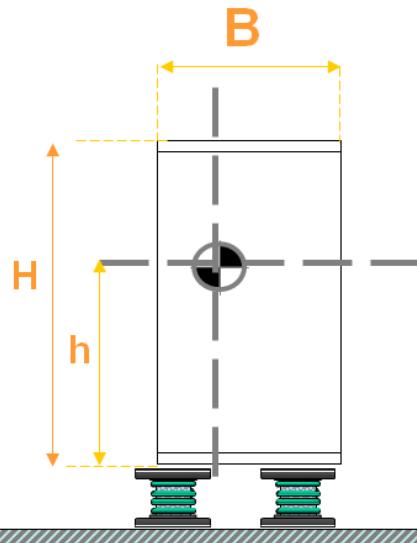
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



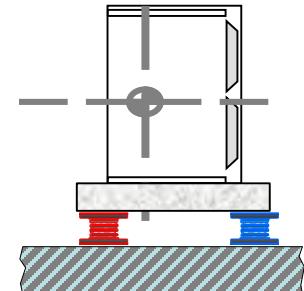
Criterio esbeltez : H/B

$$H/B > 5$$



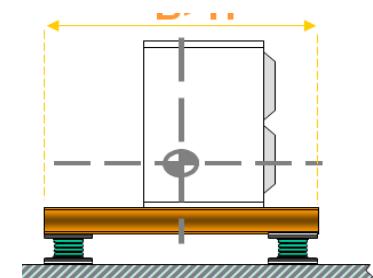
Estrategias adoptadas

1



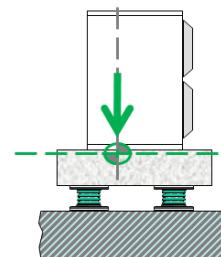
Colocar aisladores de rigideces diferentes.

2



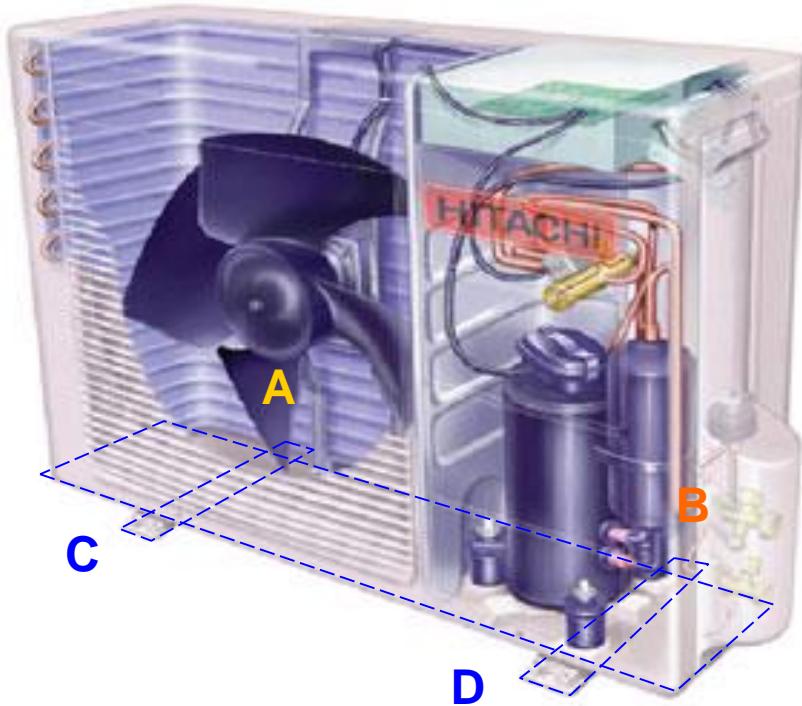
Realizar una bancada excéntrica con perfiles metálicos.

3



Realizar una bancada de hormigón suspendida con aisladores

Unidades exteriores splits



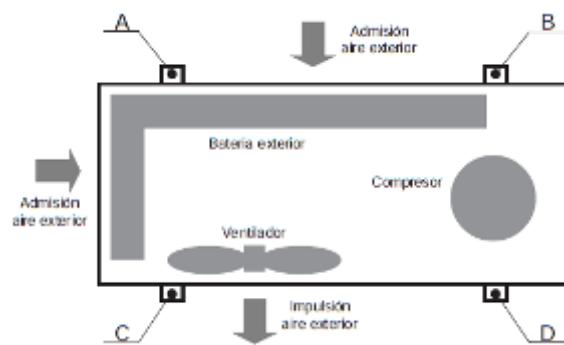
Apoyo	Reacciones carga en %
A	25%
B	35%
C	18%
D	22%

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Enfriadoras agua pequeñas



Apoyo	Reacciones carga en %
A	26%
B	25%
C	25%
D	24%

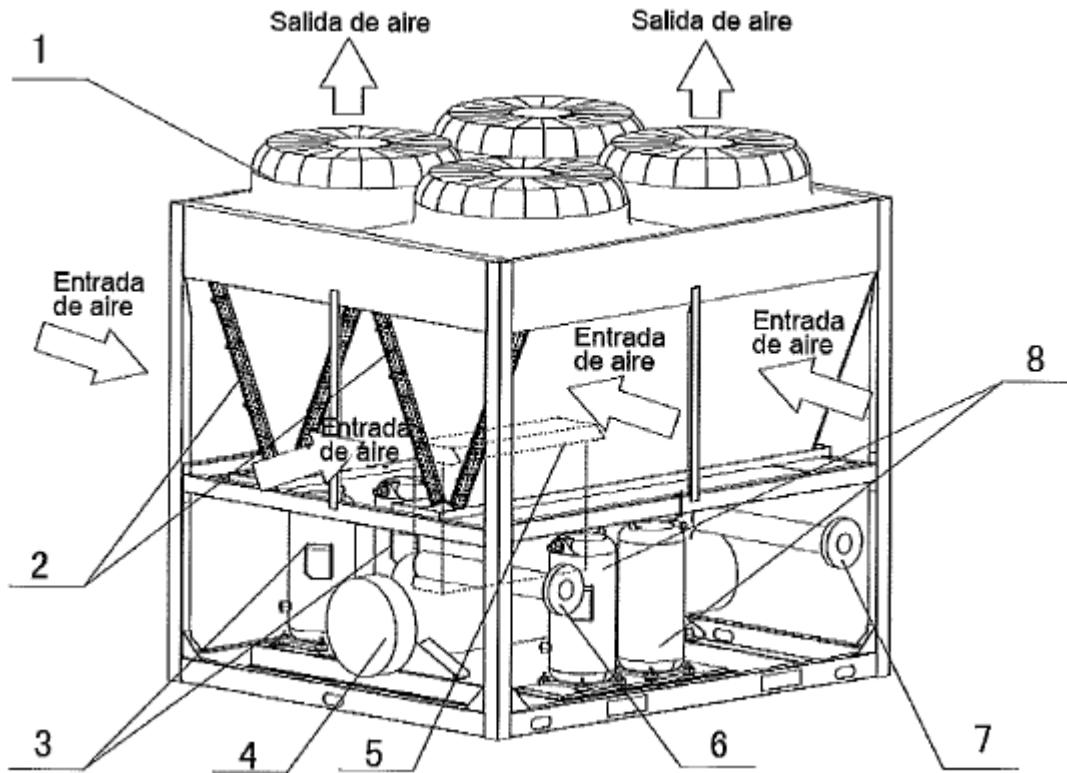
Ref: Elecnor 10/02/2012

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Enfriadoras agua grandes



Nº.	Nombre
1	Cubierta superior
2	Condensador
3	Compresor
4	Evaporador
5	Caja de control eléctrica de la entrada de aire
6	Salida de agua
7	Entrada de agua
8	Compresor

1.150Kg

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

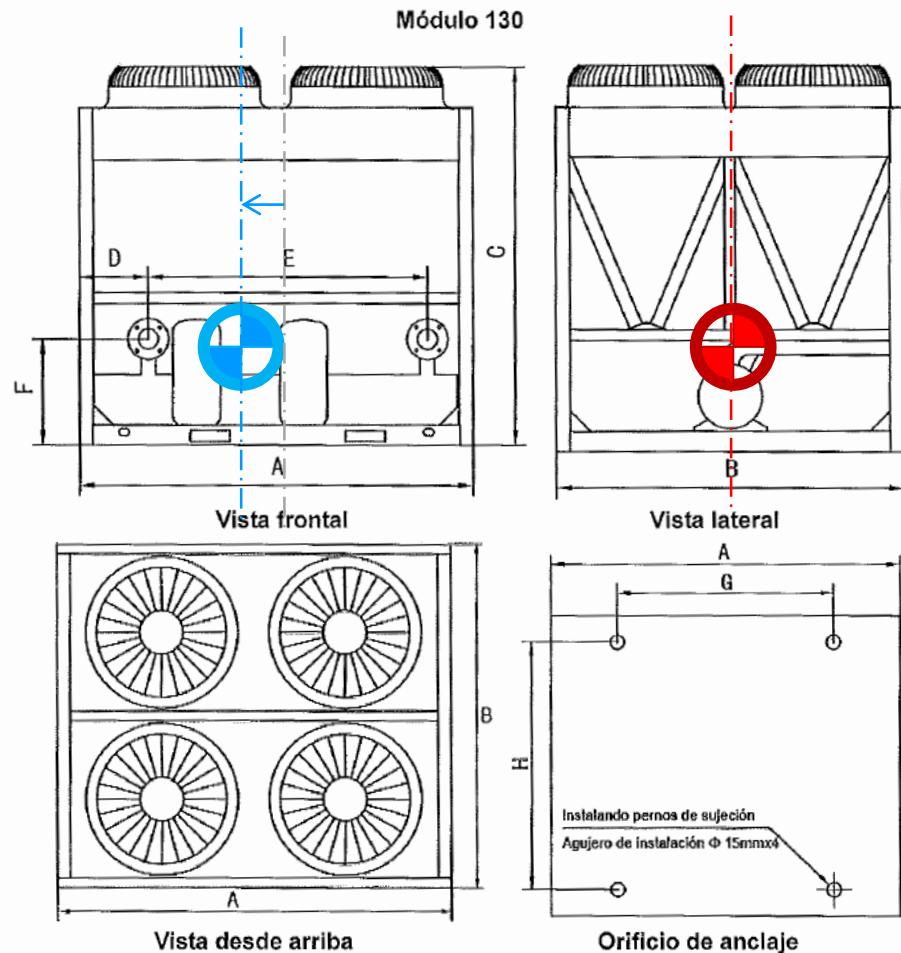
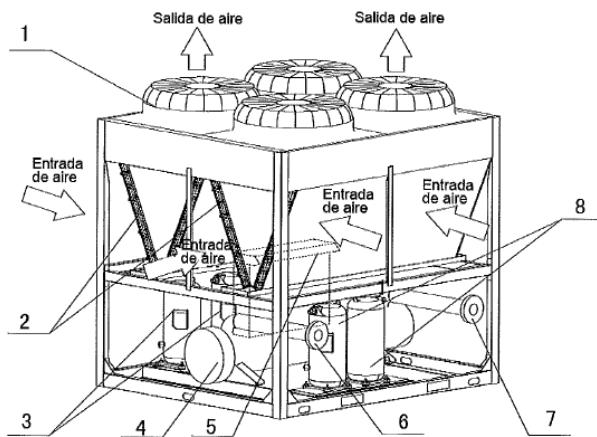
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Ref: enviado por Gasifred 3/07/2012

Enfriadoras agua grandes

MCAC-ATSM-2011-08

Unidad enfriadora modular refrigerada por aire 50 Hz

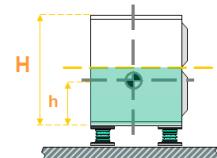
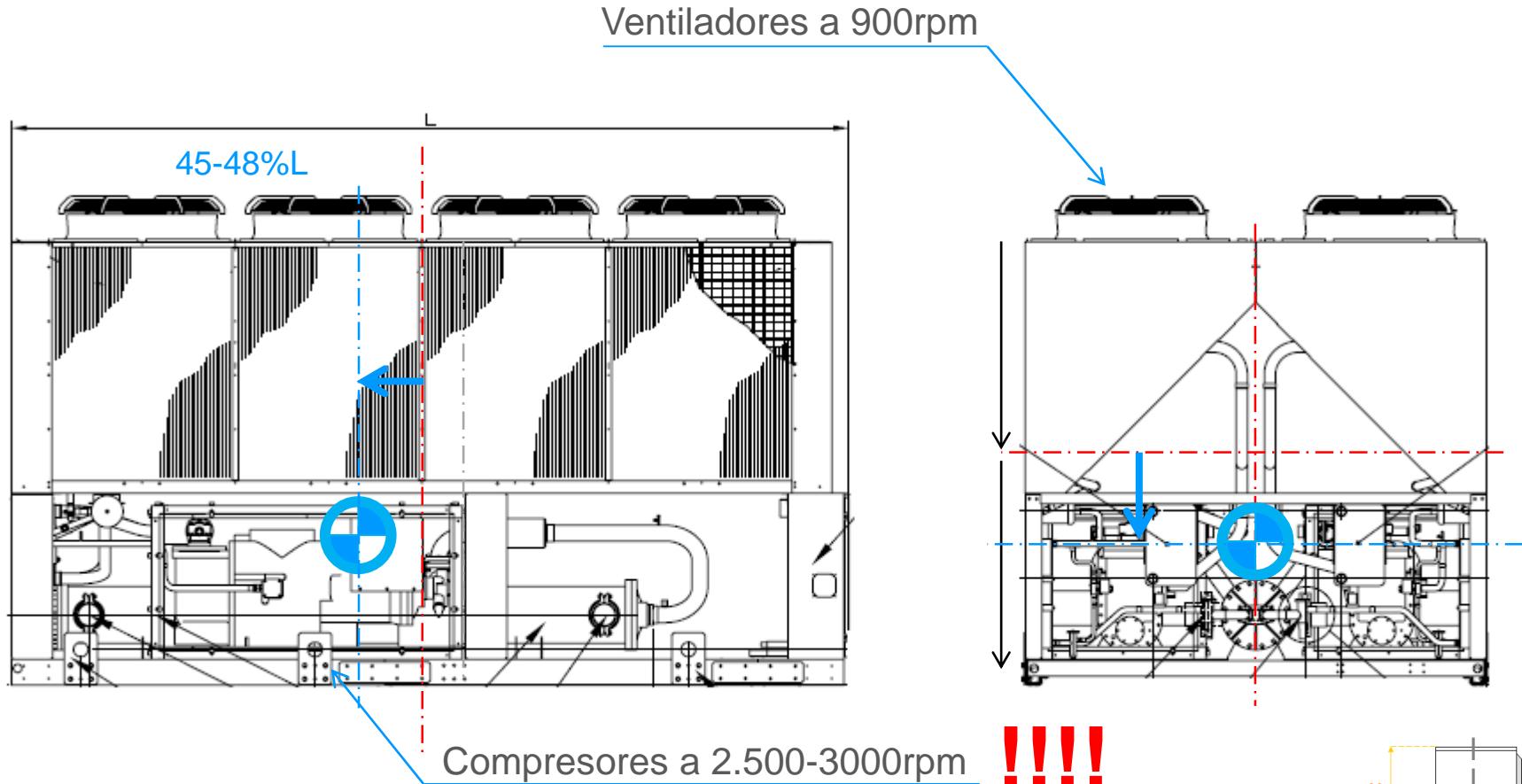


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Ref: enviado por Gasifred 3/07/2012



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Fuente: Consulta de Dasil MAAM 2010:30/08/2012

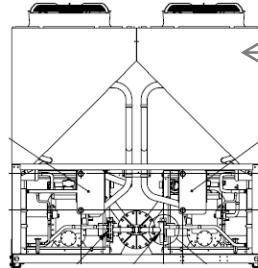
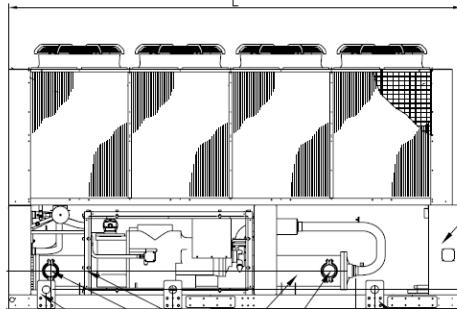


La proprietà del presente disegno è riservata.
La riproduzione, anche se parziale e la diffusione
senza nostra autorizzazione sono vietate ai termini
del diritto d'autore.
This document is reserved property. Reproduction
or use for any purpose without our authorization is
strictly forbidden by law.

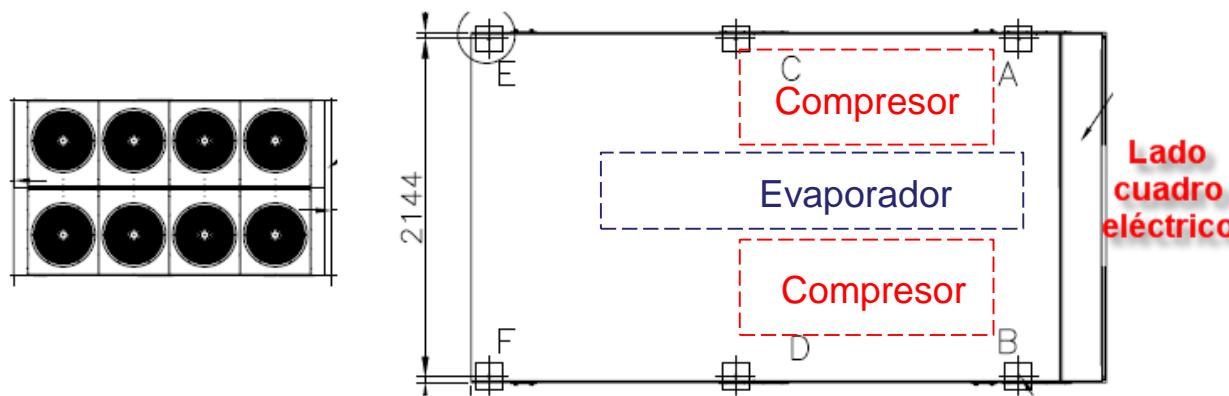
Denominazione /

DIMENSIONI EWAD280÷420AJYNN/A + OPPR

DIMENSIONS EWAD280÷420AJYNN/A + OPPR



Baterías
condensadoras



Ref apoyo	Carga puntual
A	14%
B	14%
C	22%
D	22%
E	14%
F	14%

Disposición DAIKIN

Ed13:06/02/2018

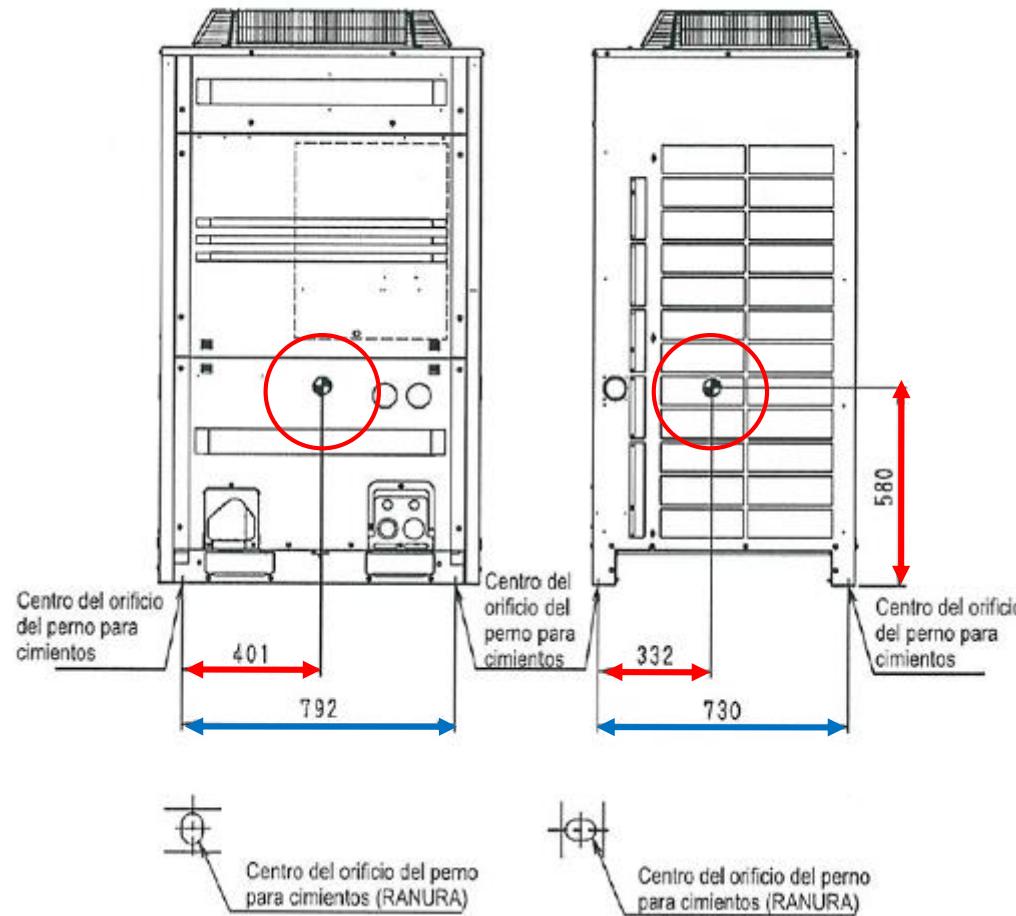
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Ref: Promec 31/05/16

No siempre es frecuente que el fabricante facilite la distribución de cargas

RXYQ8P DAIKIN • Sistemas/VRV® • Unidades exteriores



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

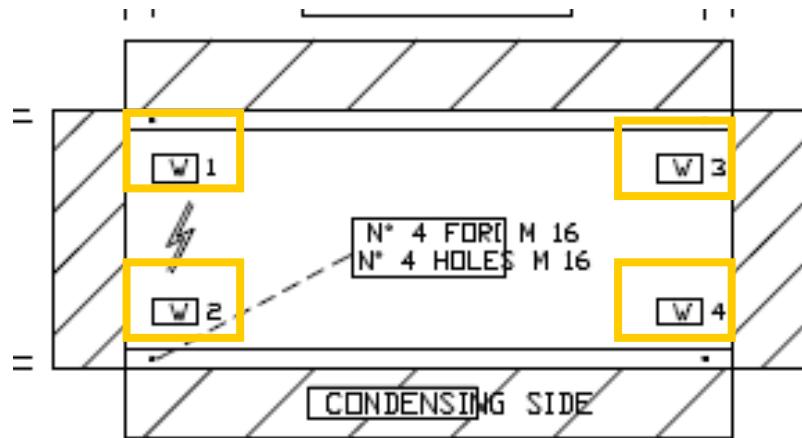
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Rafa 10/08/2011

No siempre es frecuente que el fabricante facilite la distribución de cargas



Enfriadoras refrigeradas por agua condensadas por aire



1000

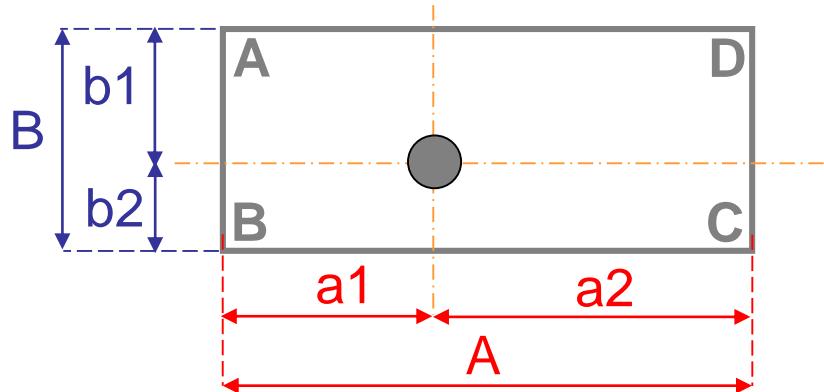
DISTRIBUZIONE PESI (%)

TYPE	W1	W2	W3	W4	TOTAL
HRWB 0412	378	254	296	172	1100

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

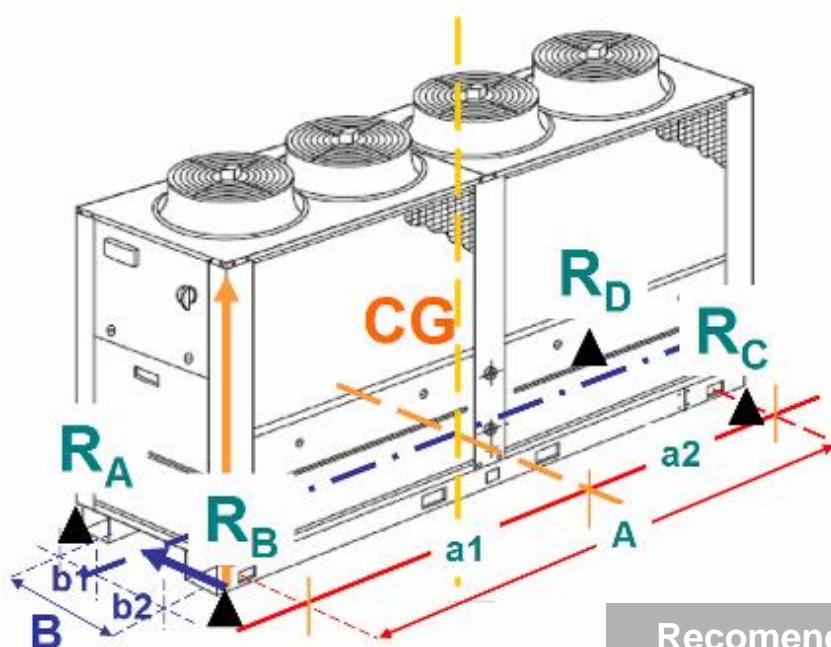
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$\sum F = 0 \text{ y } \sum M = 0$$

$$M_x = R_x \cdot d_x$$

$$R_A + R_B + R_C + R_D + P = 0$$

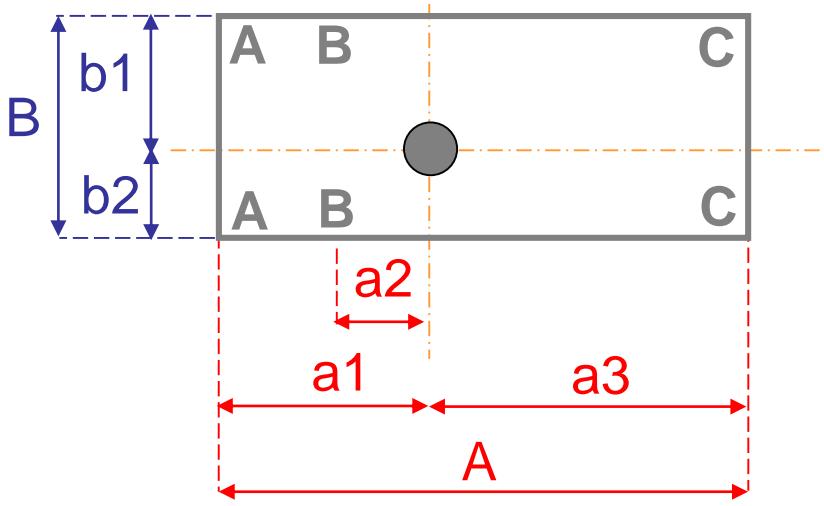


$$R_A = \frac{b_2}{B} \cdot \frac{a_2}{A} P$$

$$R_B = \frac{b_1}{B} \cdot \frac{a_2}{A} P$$

$$R_D = \frac{b_1}{B} \cdot \frac{a_1}{A} P$$

$$R_C = \frac{b_2}{B} \cdot \frac{a_1}{A} P$$



6 Apoyos es + ESTABLE

$$2R_A + 2R_B + 2R_C = P$$

$$R_A = R_B = R_C = \frac{1}{6}P$$

$$MR_A + MR_B - MR_C = 0$$

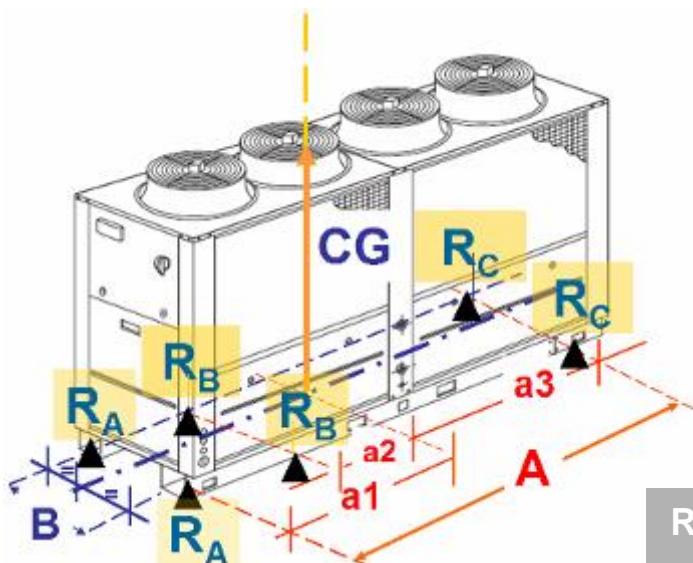
$$MR_A + MR_B = MR_C$$

$$(R_A \cdot a1) + (R_A \cdot a2) = R_A \cdot a3$$

$$R_A(a1 + a2) = R_A a3$$

$$a1 + a2 = a3$$

$$R_A = \frac{1}{6}P$$

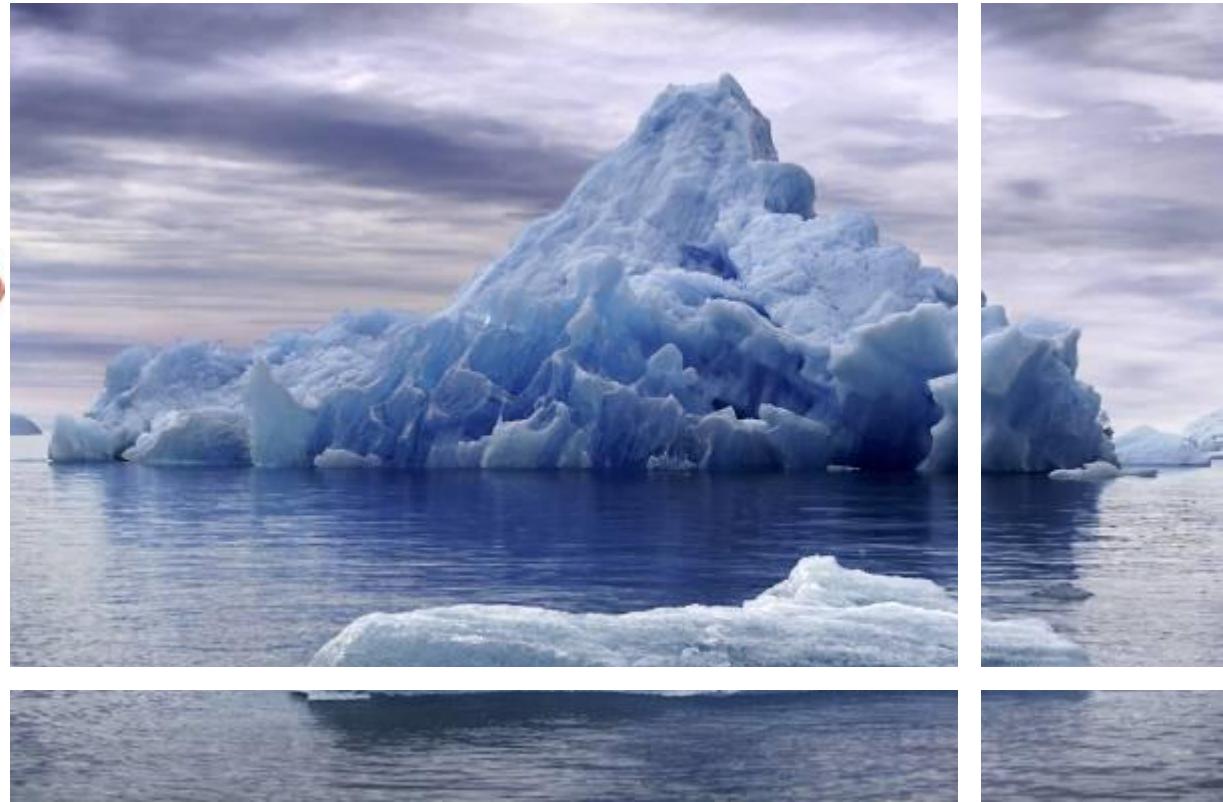


Recomendable para
3,5 < A < 5 m.
(ref: Criterio Rafa Torres)

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



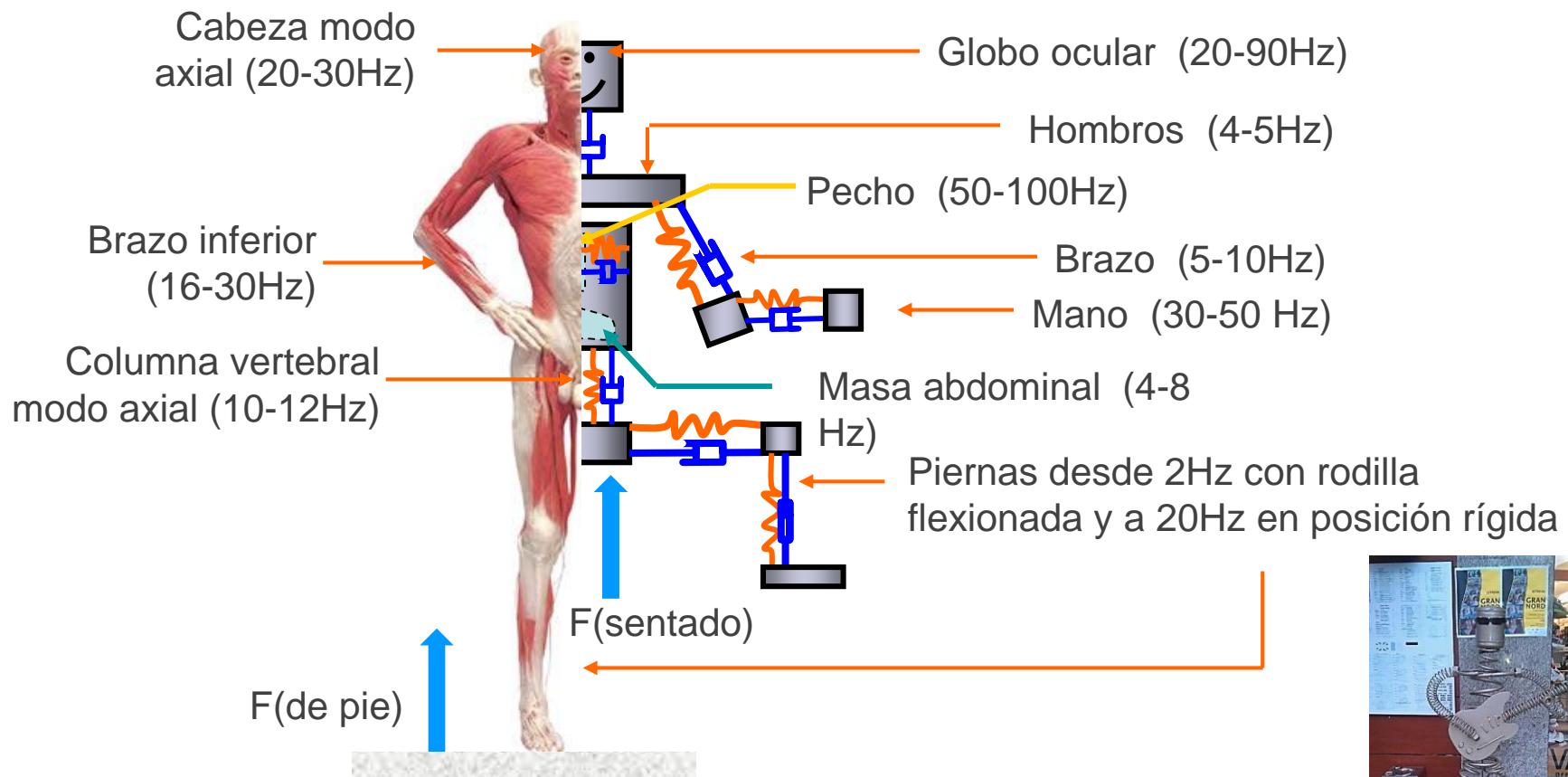
**TODOS LOS SISTEMAS ELASTICOS TIENE N
grados de libertad (nGdL)**

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

- Las personas como receptores de vibraciones quedarán afectados y responderán con un movimiento vibratorio con n grados de libertad



Actualizado 18/12/2012. Ref: Curso B&K-2008

Ed 13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

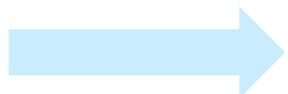
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Ref: Jesús Uriol Acusticsambient
30/04/2012 en Sort (Lleida)



- También los edificios y estructuras responden a la afectación de vibraciones produciendo que oscilen con n grados de libertad

Forjados en edificios

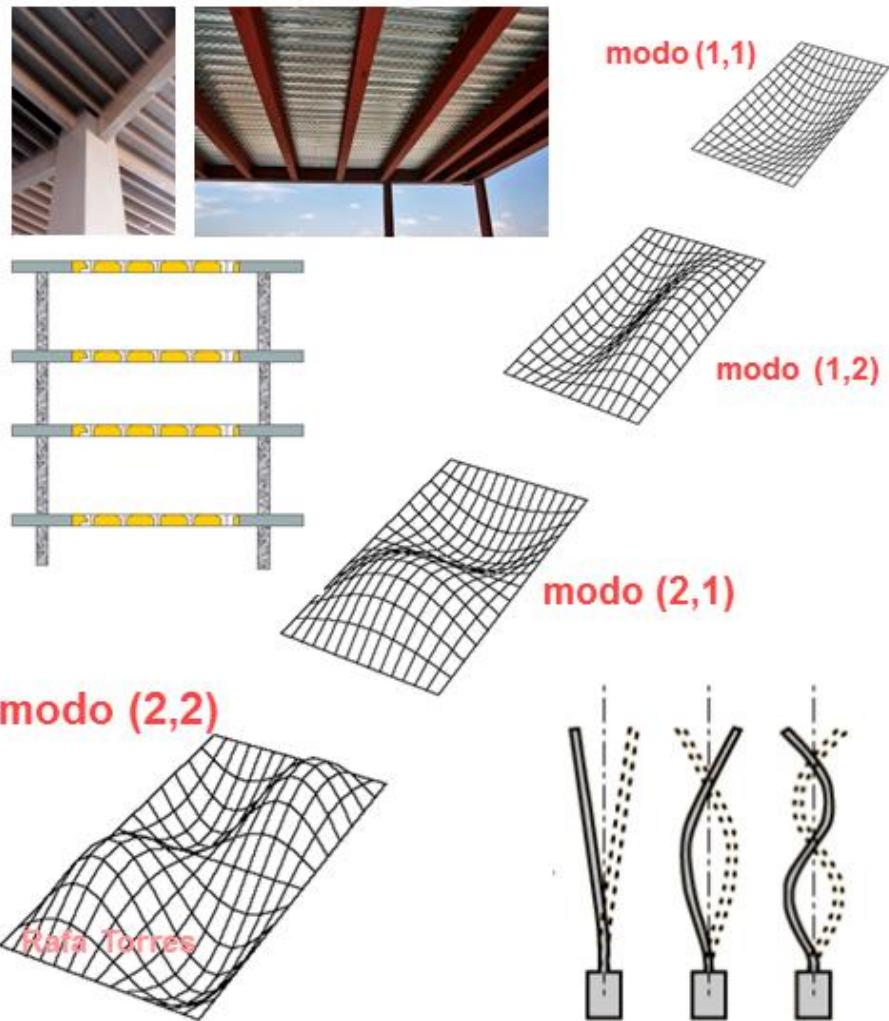


Ref: Acústica Aparejadores BCN 2013

Ed13:06/02/2018

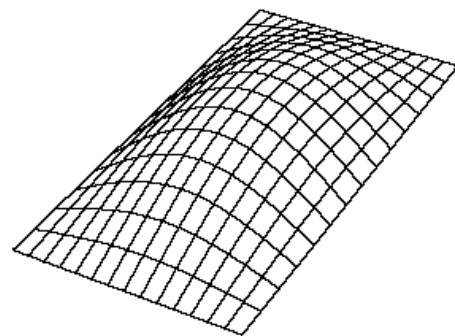
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

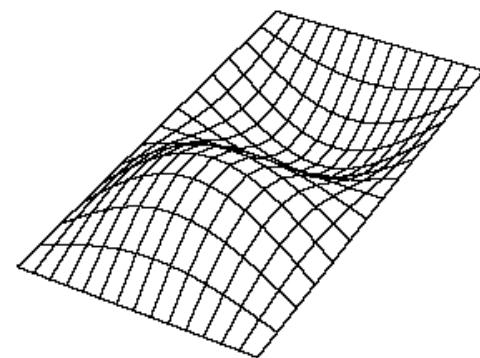


Sistemas continuos N GdL

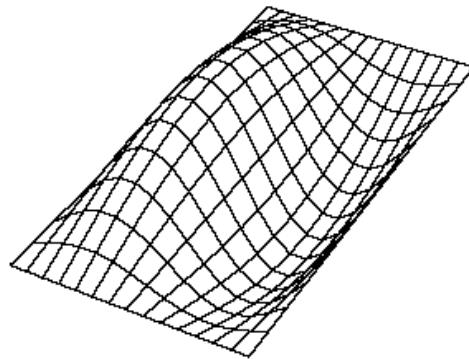
Modo (1,1)



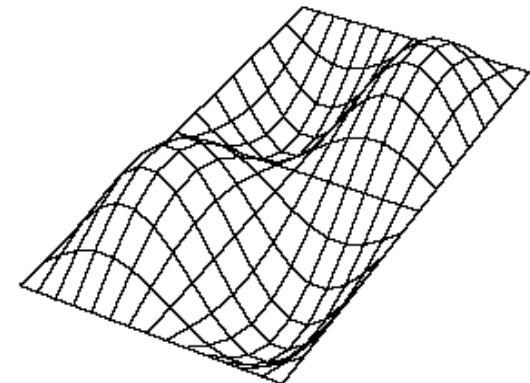
Modo (1,2)



Modo (2,1)

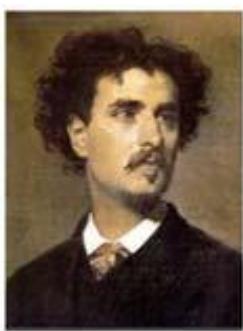
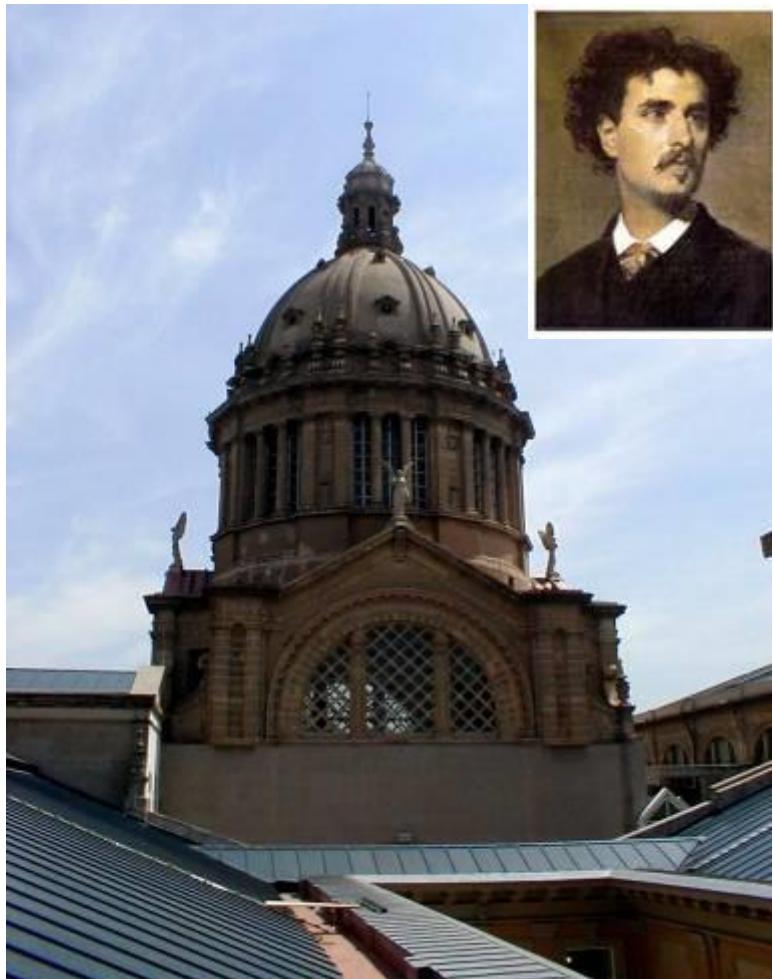


Modo (2,2)



Ed13:06/02/201

Rafael Torres de
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

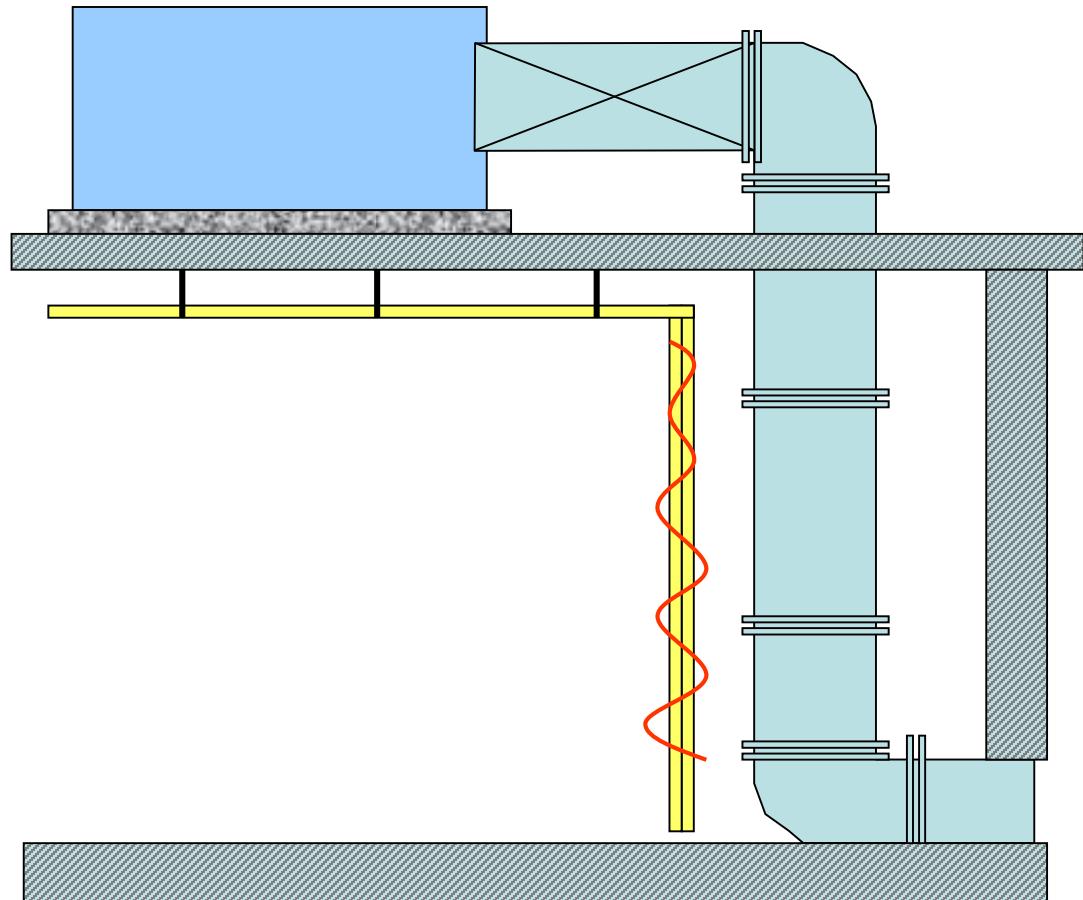


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

750 rpm (12,5 hz.)



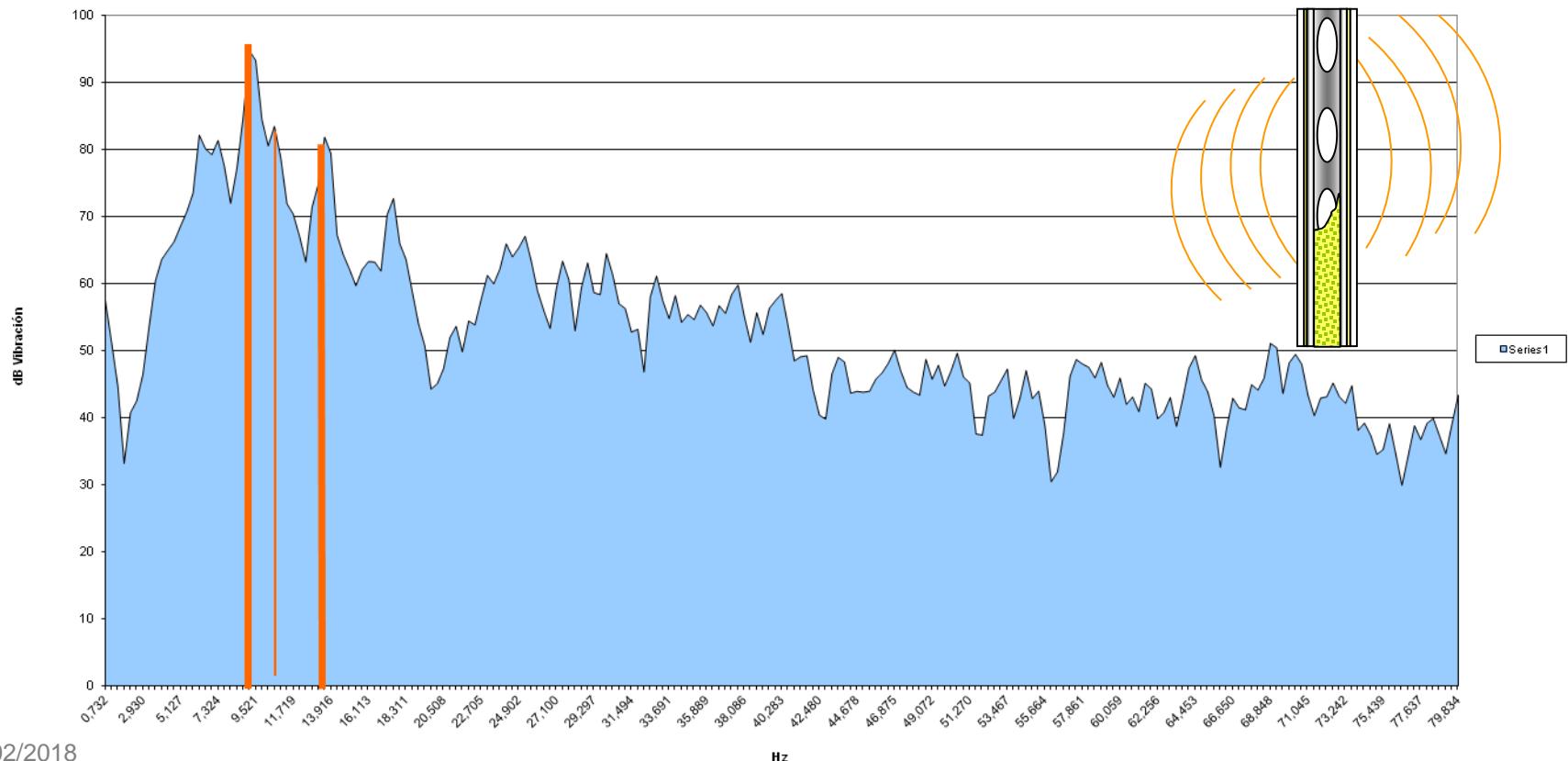
Fuente: MNAC SALA 2 FORTUNY 12/2004

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

- Cada una de las frecuencias que figura en este espectro corresponde a un modo de vibración concreto. Cuando se estudian las teorías de aislamiento acústica (estadística, geométrica y ondulatoria) estamos contemplando sistemas masa-muelle con n grados de libertad

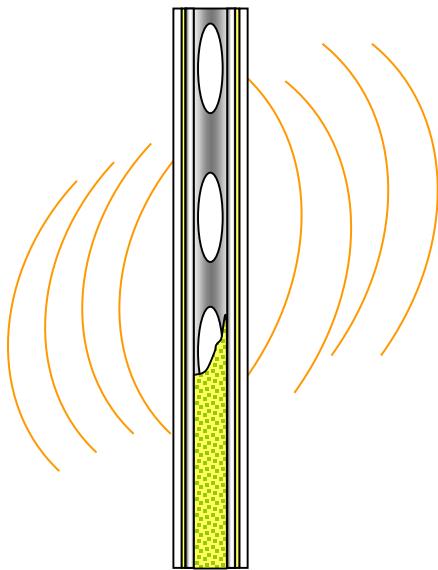


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{md}}$$



- m=masa superficial de la membrana Kg/m²
- d= distancia de la cámara de aire en cm.

m	d	f0
28	70	14 Hz

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

0. Estrategias de actuación



Grado de libertad-1



3. Montaje antivibratorio



4. Vibraciones forzadas



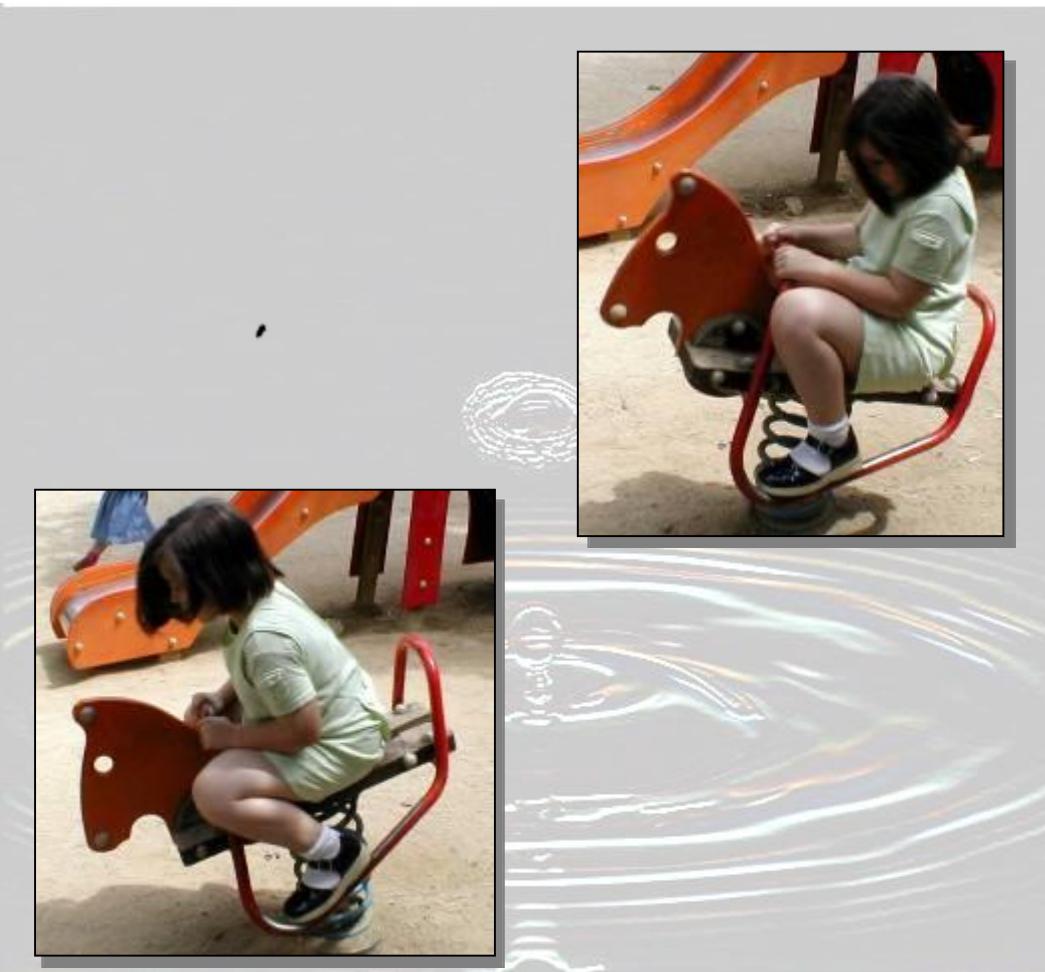
5. Tipos de MA



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

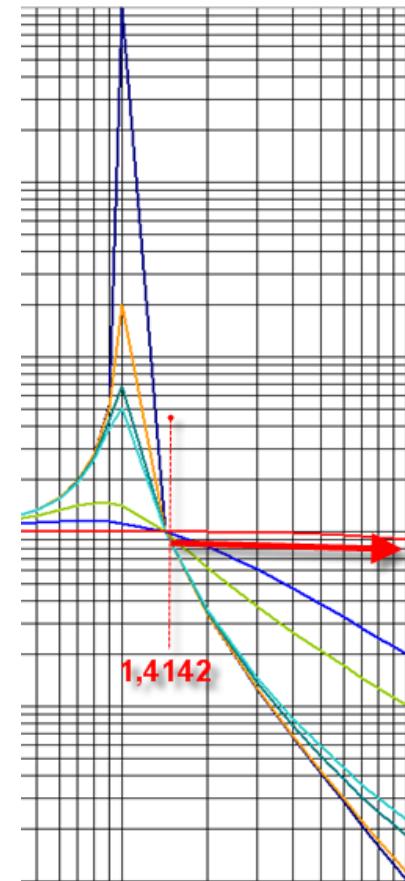


Actualizado 13/09/2011 RAFA
Ed 13/02/2018

Rafael Torres del Castillo
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

AISLAR VIBRACIONES (reducir la Transmisión) y RUIDOS

- El concepto de aislamiento en la vibroacústica significa **impedir el paso de la energía producida por un movimiento periódico en forma de ruido o bien de vibración mecánica**. Por tanto una forma de medir la eficacia de las acciones que lleven a ello será por la cantidad de energía que se ha transmitido o escapado a las acciones de aislamiento adoptadas.
- Así la transmisión de energía se determinará en ruidos por **la perdida por transmisión (TL)** o **índice de reducción sonora (R)** o bien **la transmisibilidad (FT)** en vibraciones mecánicas. El resultado de los anteriores conceptos dependerán directamente del espesor, masa y elasticidad.
- En general podemos decir que el AISLAMIENTO de ruidos y de vibraciones consisten en impedir el **paso de los ruidos y las vibraciones al entorno o resto de recintos habitables**



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

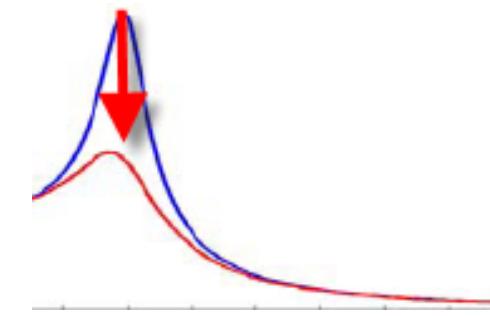
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

AMORTIGUAR LAS VIBRACIONES o absorber los RUIDOS

- Ambos términos hacen referencia a reducir o atenuar la energía sonora o vibratoria degradándola en calor.
- Si una onda sonora incide sobre una superficie, una pequeña parte de la energía se disipa **absorbida** por la misma. Cuando una máquina vibra, parte del movimiento vibratorio que se produce es **amortiguado** por la viscosidad del elemento antivibratorio que se coloca entre su apoyos y el suelo.
- Tanto la eficacia de la absorción como de la amortiguación se expresa adimensionalmente con un número entre 0 y 1, llamado **coeficiente de absorción (α) o coeficiente de amortiguación (ζ)**, En ambos casos “0” indicará absorción o amortiguación **nula** y 1 corresponde a la absorción o amortiguación **total (perfecta)**.

$$\alpha = \frac{\text{Energía sonora absorbida}}{\text{Energía sonora incidente}}$$

$$\zeta = \frac{\text{Energía cinética disipada}}{\text{Energía cinética total producida}}$$



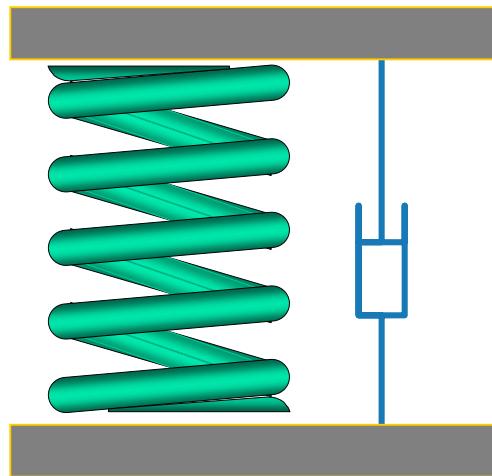
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

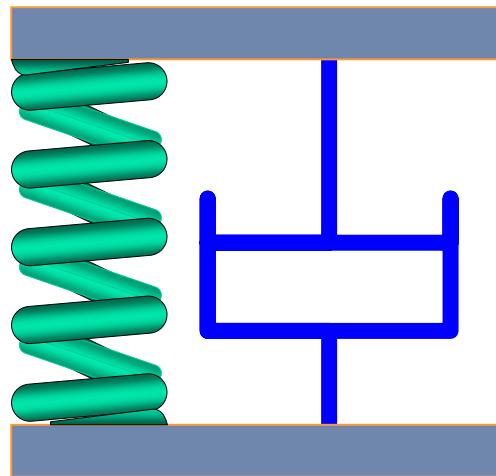
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

- Así los montaje antivibratorio utilizados para asilar vibracione se dividen en estas tres catagorías

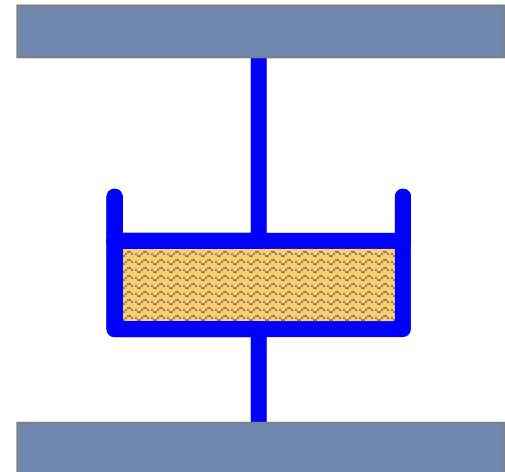
Aisladores



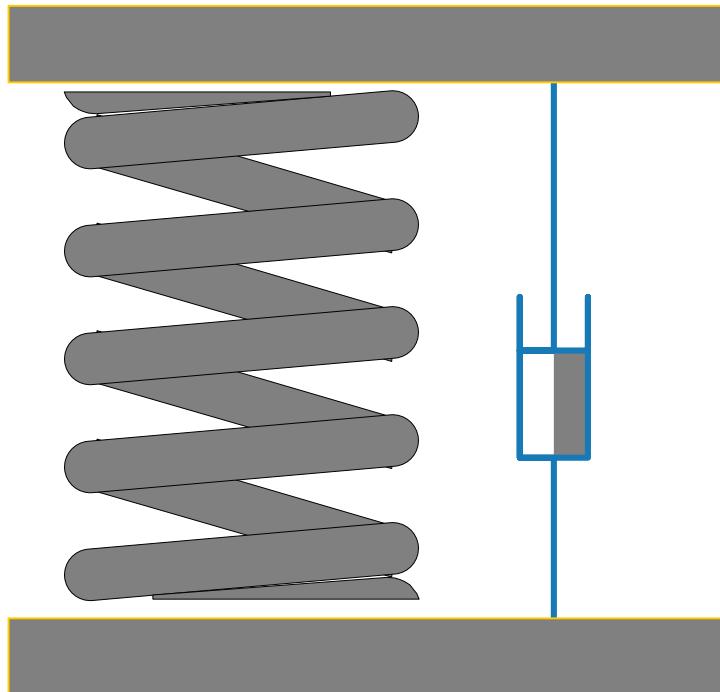
viscoelásticos



viscosos



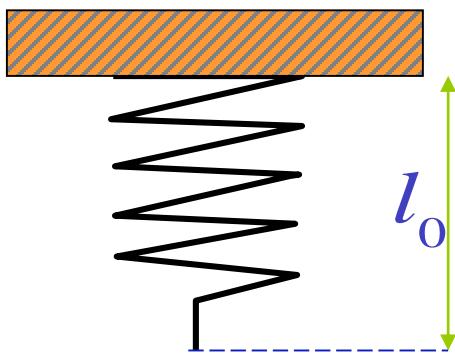
Aisladores



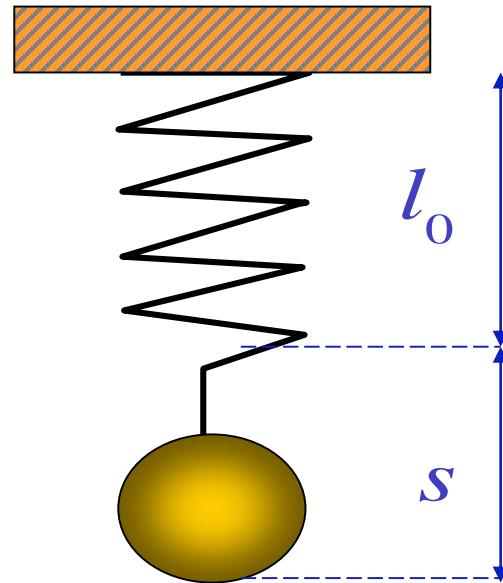
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$F = -k\delta$$

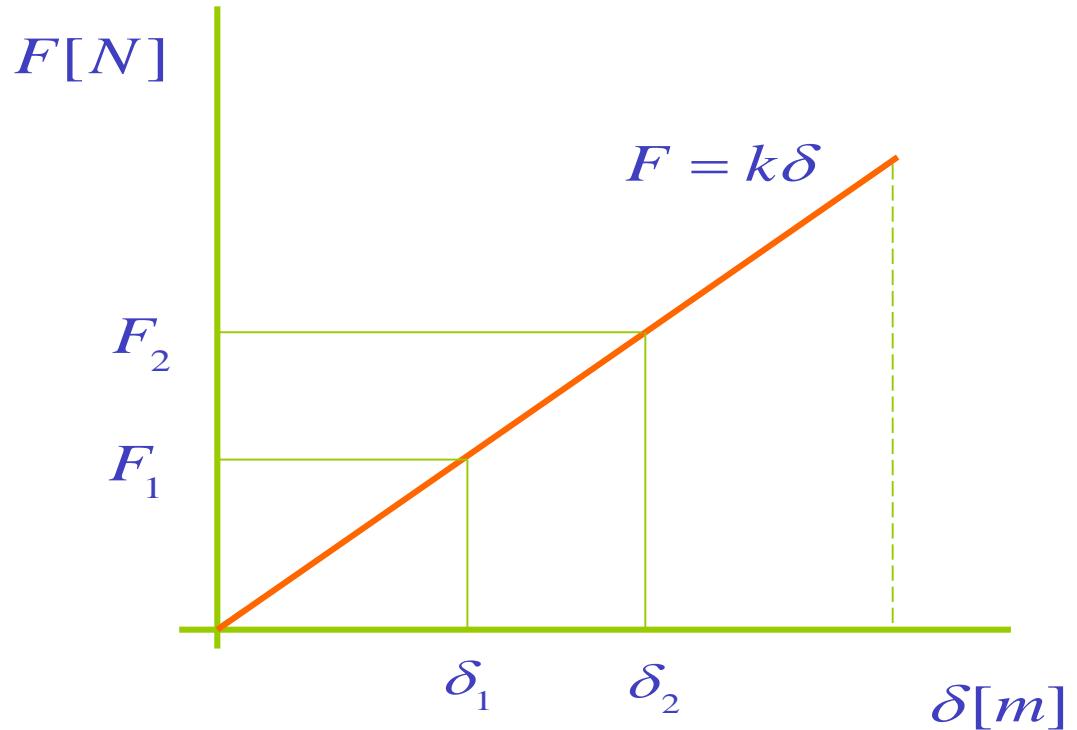
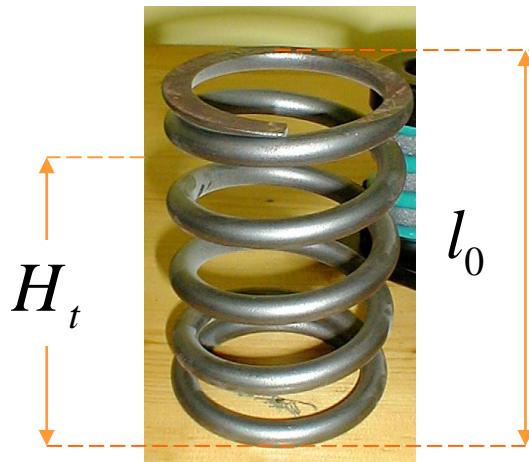


- F: fuerza elástica recuperadora del muelle [N]
- K: constante elástica o rigidez [N/m]
- δ: deflexión estática del muelle o flecha. Es decir cuantos m, cm o mm se comprime el muelle o estira por efecto de una fuerza [m]

$$P = mg$$

$$mg - ks = 0 \quad \sum F = 0$$

La ley de Hooke



$$\delta = l_0 - H_t$$

$$K = \frac{dF}{d\delta}$$

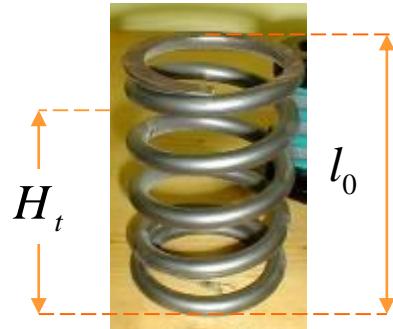
Comportamiento lineal

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

muelles lineales



$$\int F(\delta) d\delta = \int k\delta d\delta = 1/2k\delta_0^2 - 1/2k\delta_n^2$$

- El Trabajo que realiza un muelle es igual a la variación de energía potencial del orden de $1/2k\delta^2$

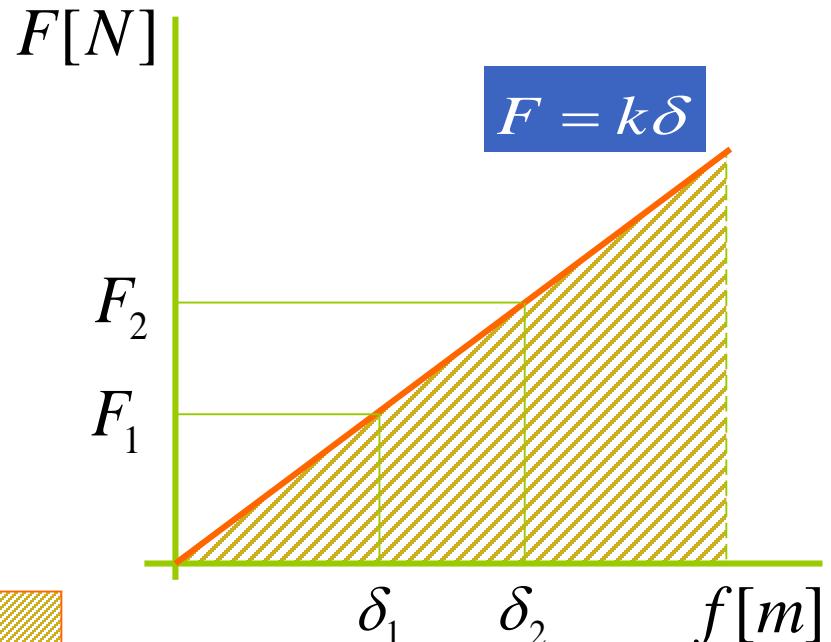


$$\Delta W_0^n = 1/2k\delta^2$$

$k\delta$



df





$$\begin{aligned} \text{Tensión} &= 100\text{N} \\ \delta &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

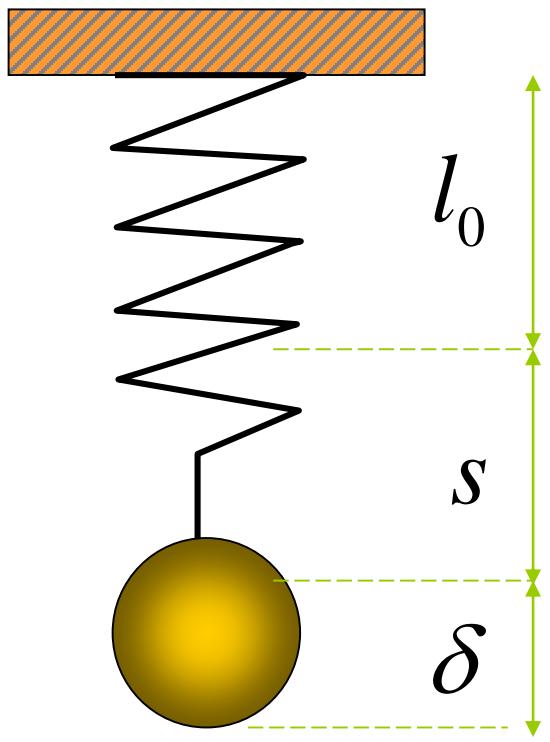
K?

$$100/0,5=200 \text{ N/m}$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg - ks - k\delta$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k\delta$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{k}{m} \delta$$

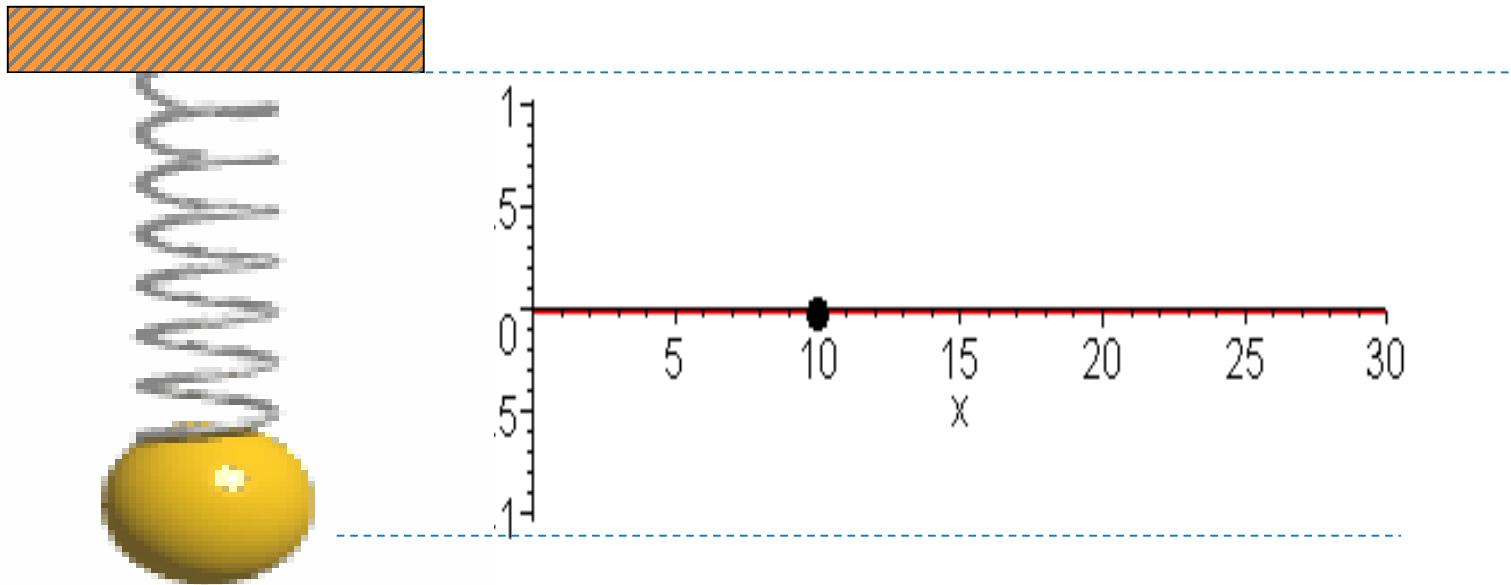
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k\delta = 0$$

$$\sum F \neq 0$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$x(t) = A \sin \omega t$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s} \quad f = \frac{1}{T} \text{ cps=Hz}$$

$2\pi \text{ Hz} = \text{rad/s}$
 $\text{rad/s} / 2\pi = \text{Hz}$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}\delta$$

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

$$\omega = 2\pi/T$$

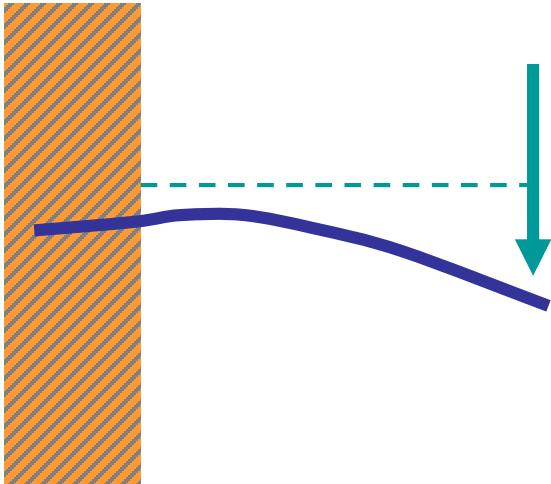
$$f = 1/T$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

}

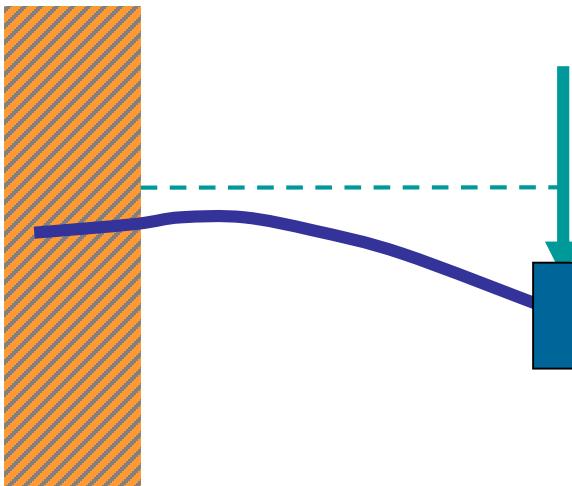
La frecuencia natural de un sistema masa-muelle con un grado de libertad.

Vigas en voladizo



$$k = \frac{3EI}{L^3}$$

- K =Rigidez elástica del sistema
- E =Módulo de elasticidad
- I =Momento de inercia
- L =longitud de la viga
- ω =Frecuencia angular propia
- μ =masa excéntrica



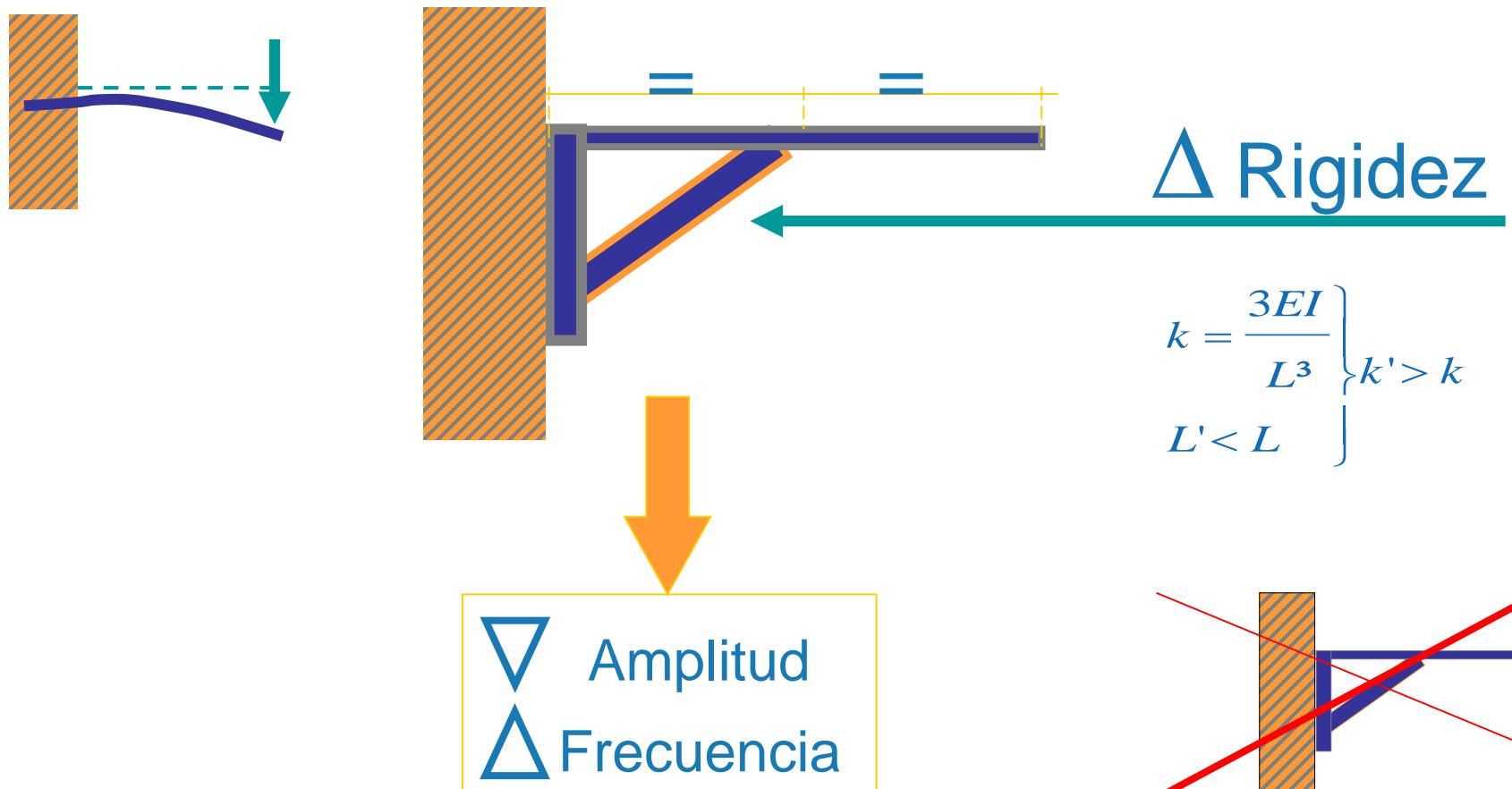
$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m_v + 0,23m}}$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Vigas en voladizo



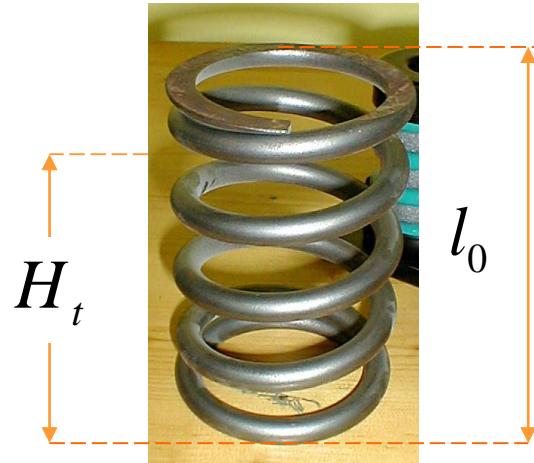
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

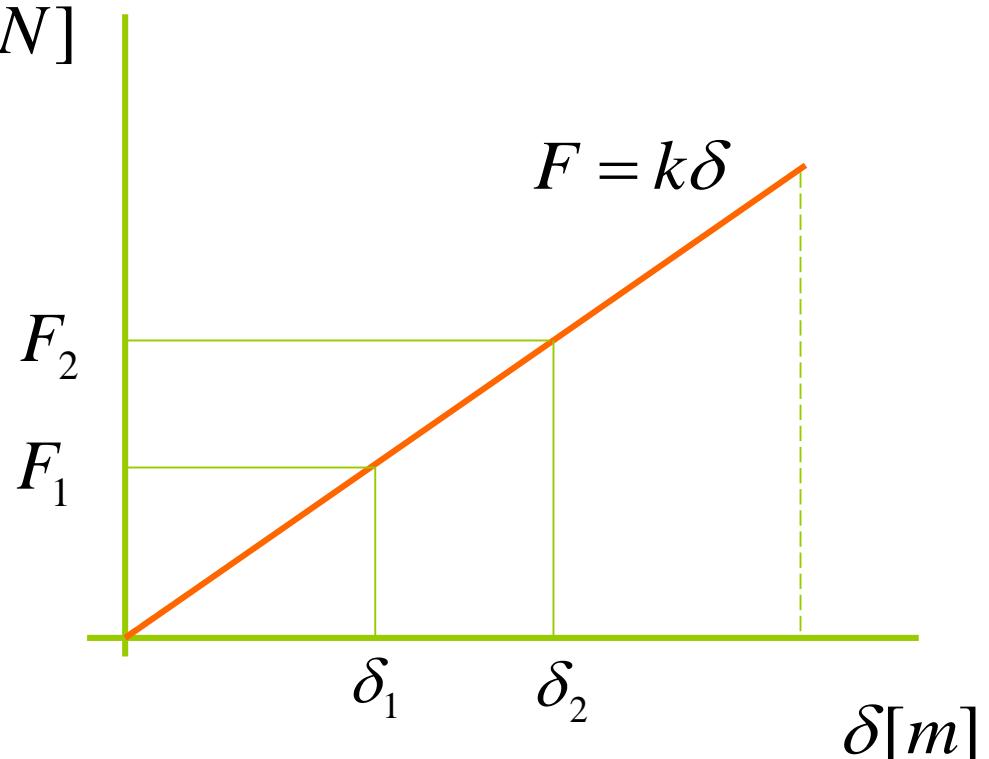
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Muelles lineales

ojo!



$$\delta = l_0 - H_t$$



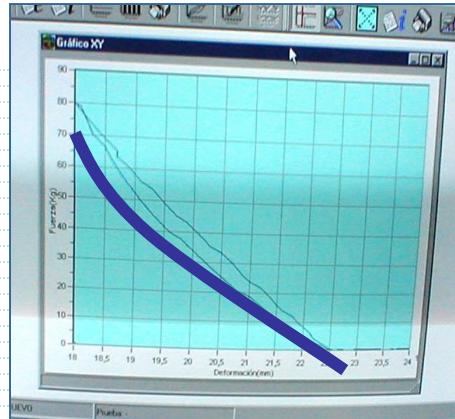
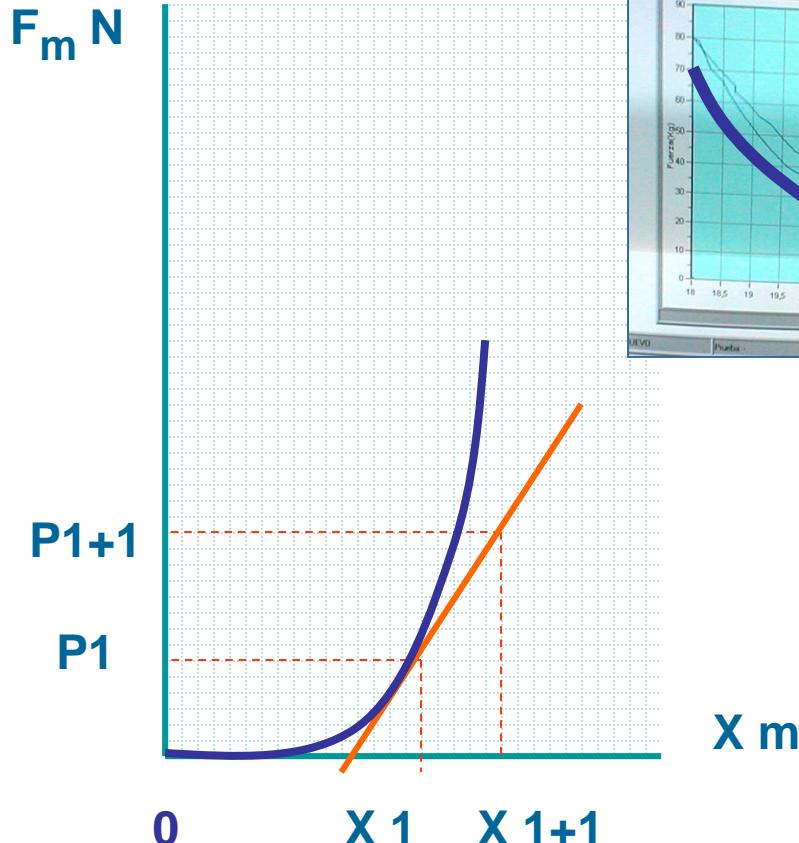
$$K = \frac{dF}{d\delta}$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Muelles NO lineales



Dinamómetro



Ed13:06/02/2018

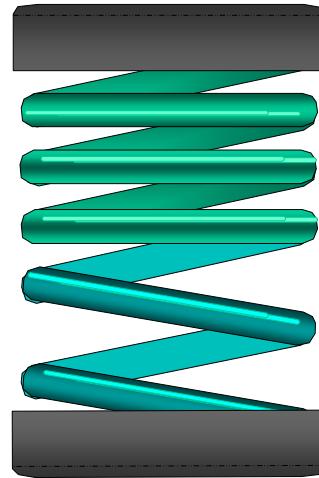
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Ejemplos Muelles NO lineales

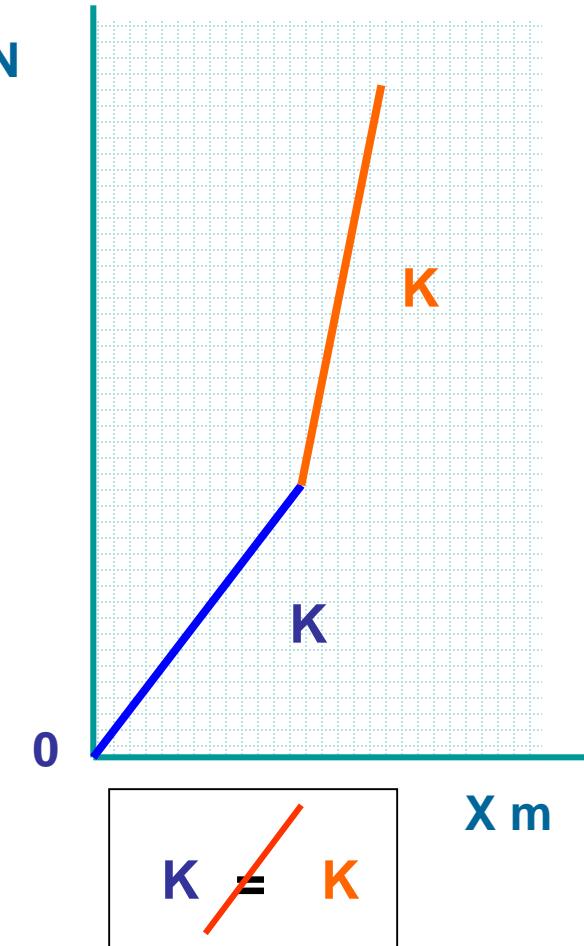


Muelles cónicos



Muelles bielásticos

Utilizados en la suspensión de una moto



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

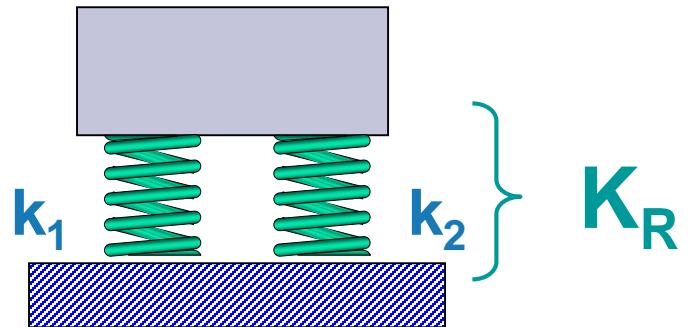


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Centre Comercial Espais



$$F_1 = K_1 \cdot \delta$$

$$F_2 = K_2 \cdot \delta$$

$$F_R = F_1 + F_2 = (K_1 + K_2) \cdot \delta$$

Fuente:
VIBCON
Aisladores

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

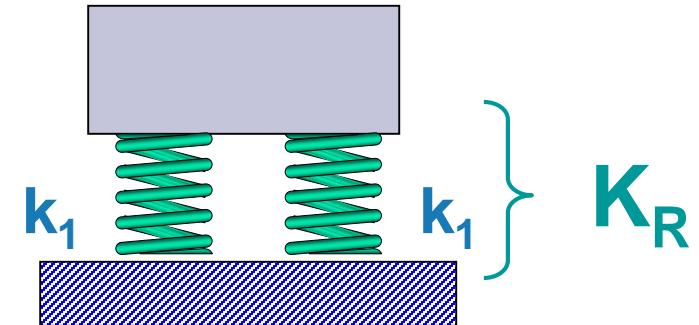
Muelle Bogie



Carga oportuna por bogie entre 15.000 a 17.000 kg.

$$K_R = 4K$$

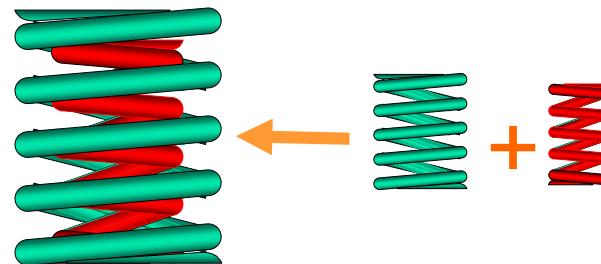
Sistemas en “paralelo”



$$K_R = 2K_1$$



Muelle Bogie



Suspensión coaxial

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Fuente: ALFGI (Iabein)
VITORIA E
1997

10/2003



Cámara horizontal

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$F = K_1 \cdot \delta_1$$

$$F = K_2 \cdot \delta_2$$

$$\delta_R = \delta_1 + \delta_2 = \frac{F}{K_1} + \frac{F}{K_2} = F \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \right)$$

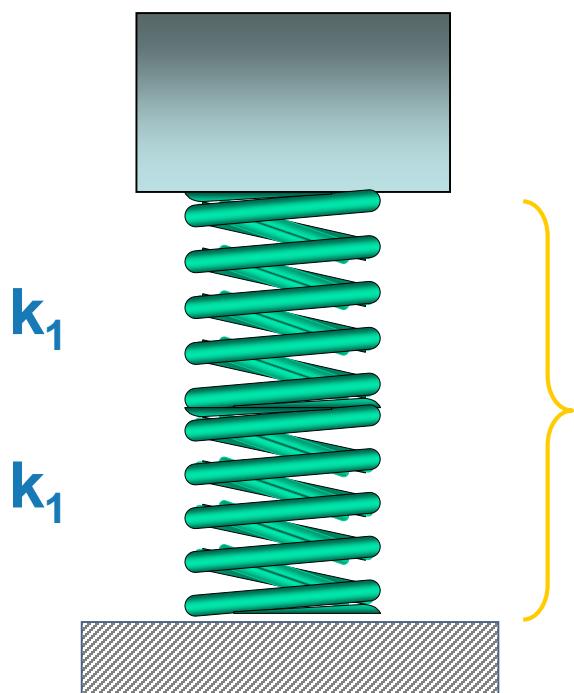
$$\frac{1}{K_R} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

$$K_R = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2}$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$K_R = \frac{1}{2} K_1$$

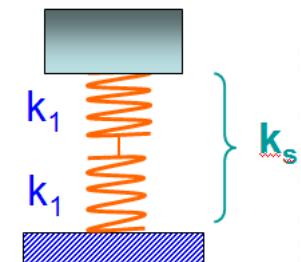
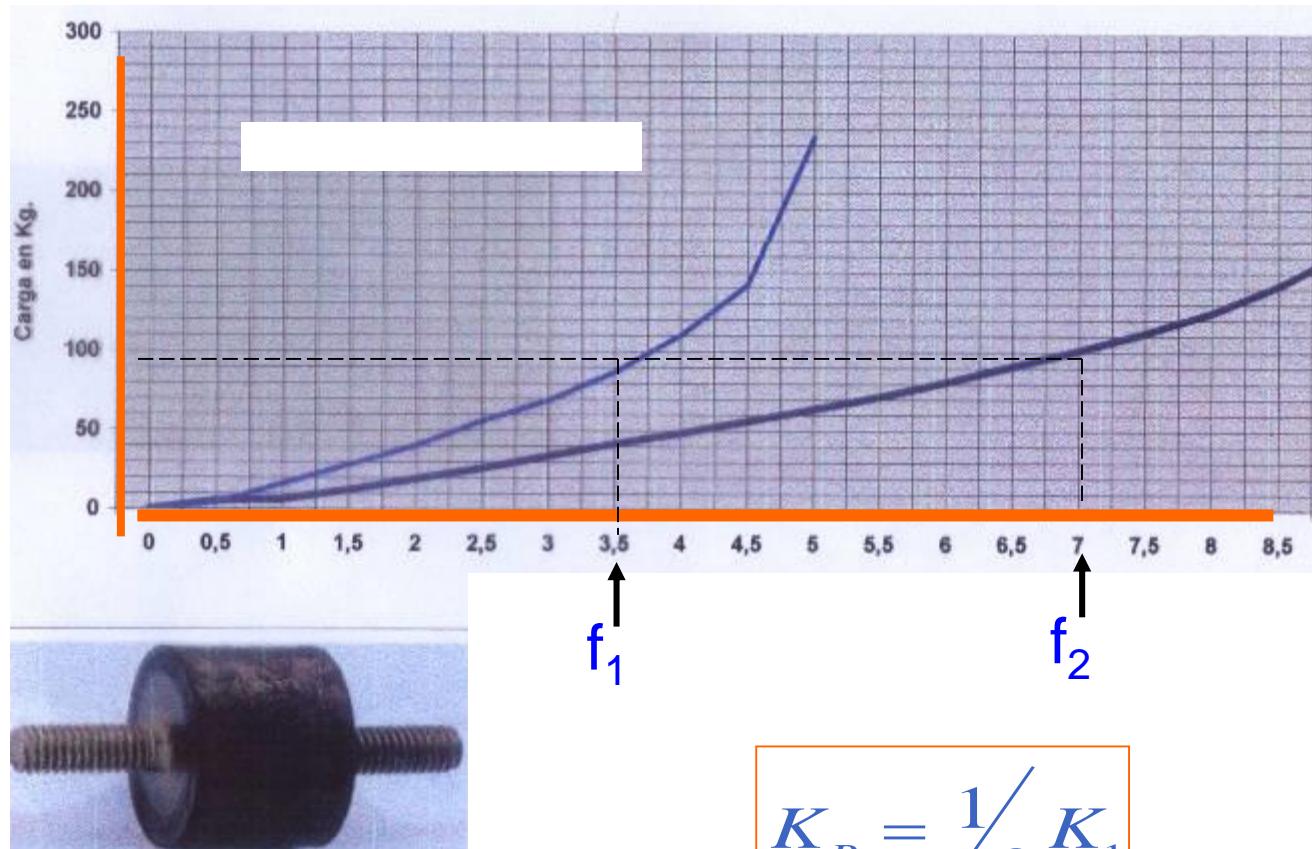


Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

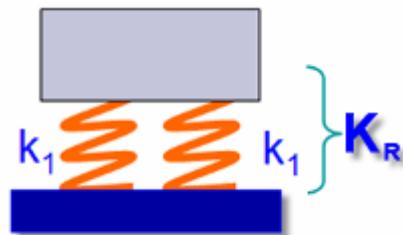
Amortiguadores Viscoelásticos



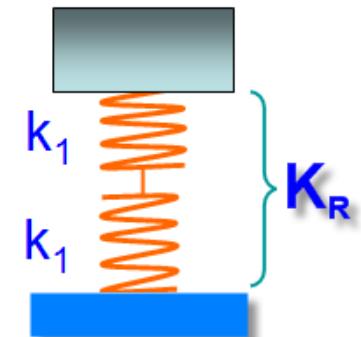
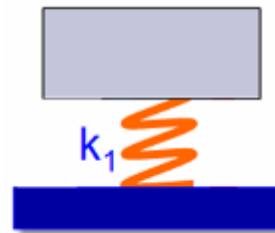
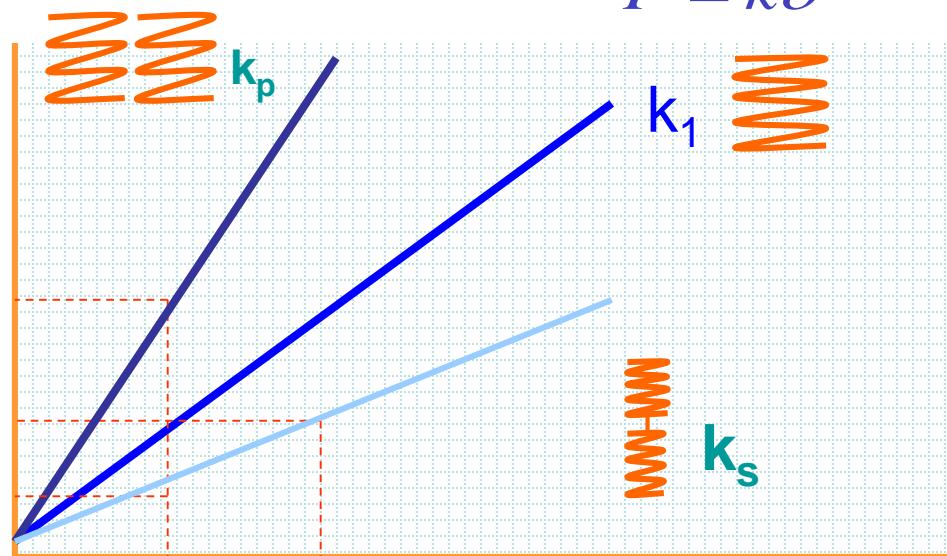
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$K_R = 2K_1$$



$$K_R = \frac{1}{2} K_1$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

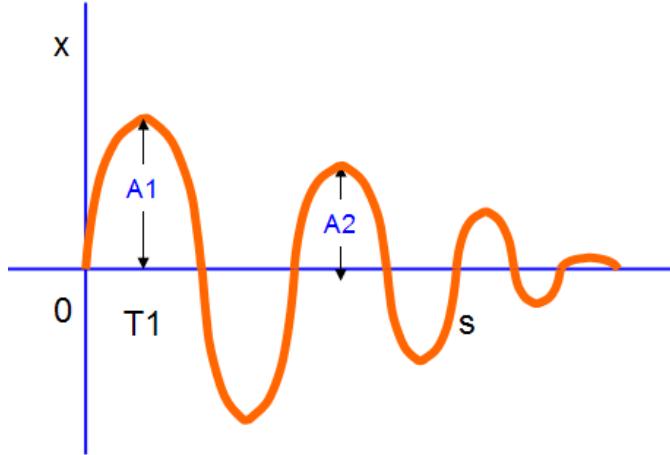
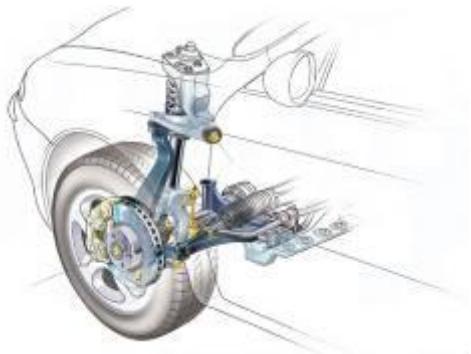
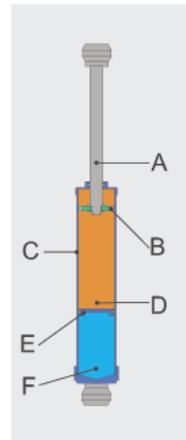
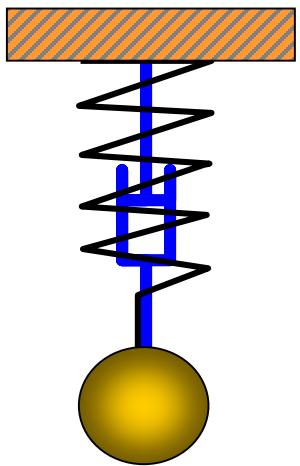


Fuente: GYMSA 10/2003

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k\delta + c \frac{dx}{dt} = 0$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

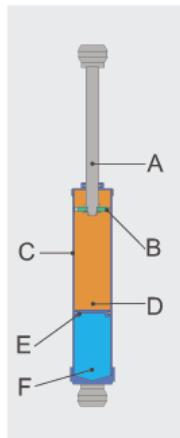
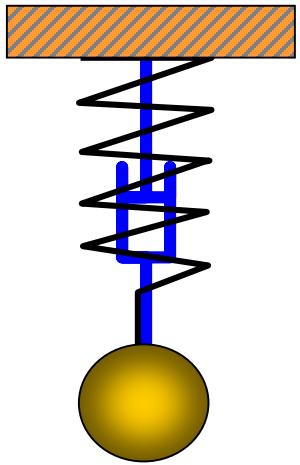
$$\omega_D' = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta}$$

$$f_D = f_n \sqrt{1 - \left(\frac{c}{c_c} \right)^2}$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



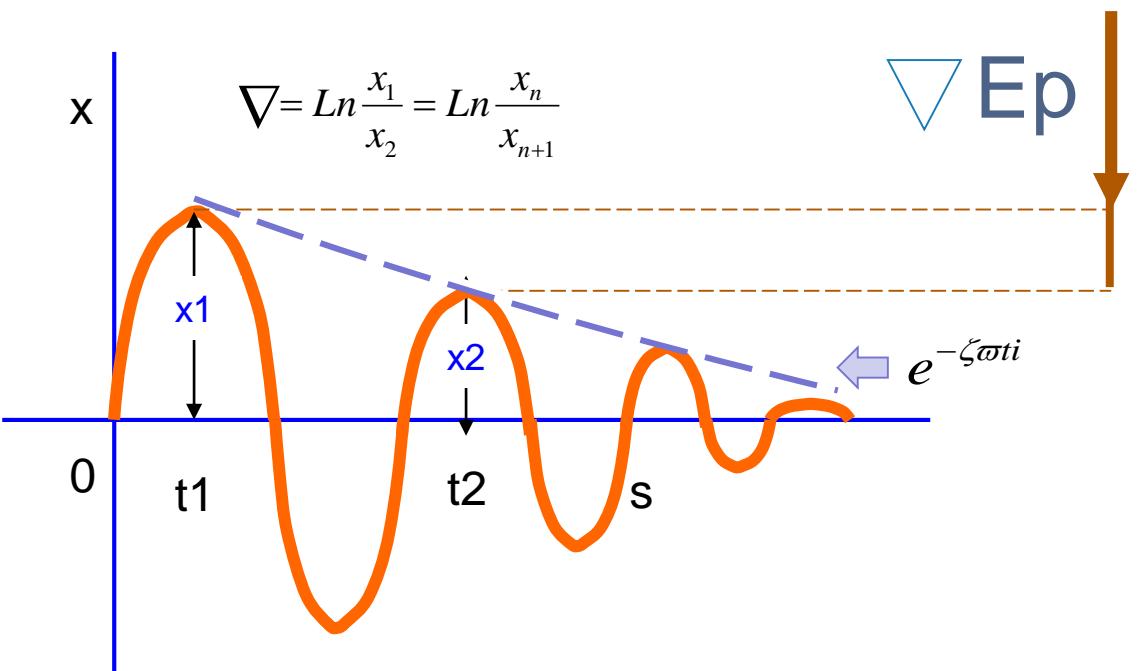
$$x_i = e^{-\zeta \varpi t} \rho \cos(\varpi_D t - \theta)$$

$$t_2 = t_1 + t_D = t_1 + \frac{2\pi}{\varpi_D}$$

$$\nabla = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} = \frac{2\pi\varpi\zeta}{\varpi_D} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Conocido ∇ se determina ζ

Fuente: Joan AV: 20170209



$$f_D = f_n \sqrt{1 - \left(\frac{\zeta}{\zeta_c} \right)^2}$$

∇ = decremento logarítmico
 ζ = amortiguamiento viscoso

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

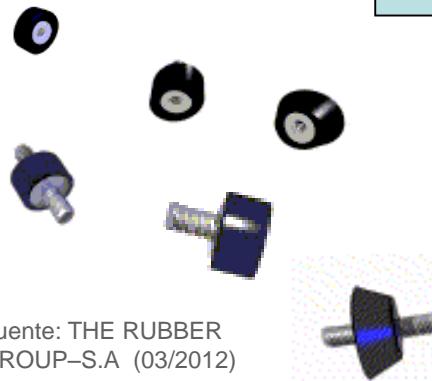
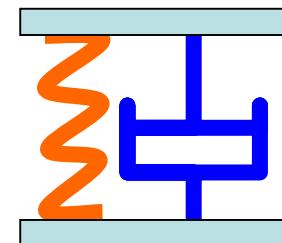
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Fuente: Hotel Sunway (Sitges-2002)

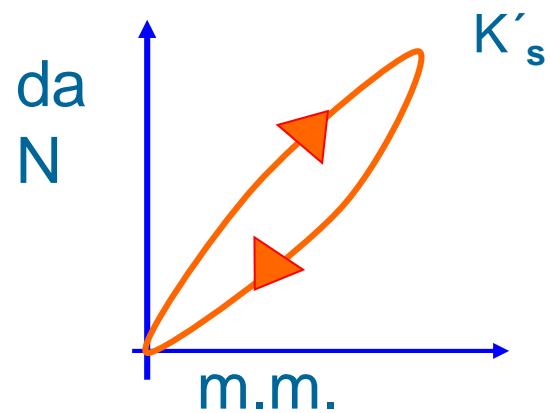
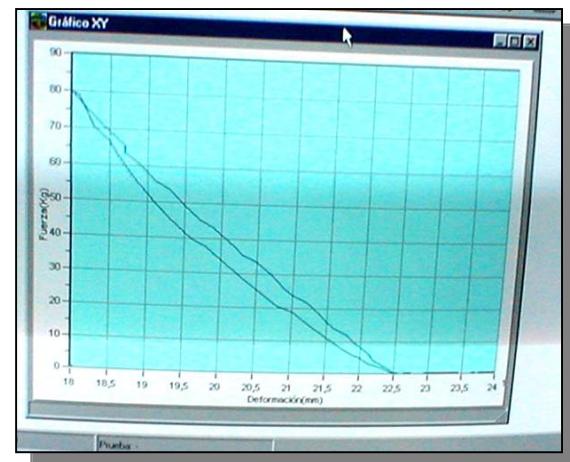


viscoelásticos



Fuente: THE RUBBER GROUP-S.A (03/2012)

Solamente se puede conocer empíricamente



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

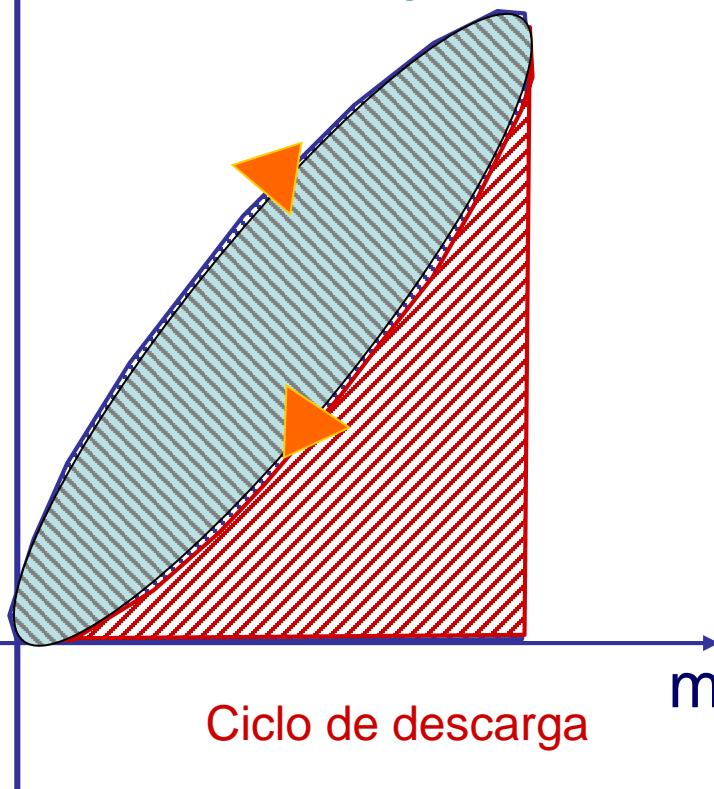
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



N
Ciclo de carga



$$K_s \approx K_d$$



Amortiguamiento de Histéresis



Ed13:06/02/2018

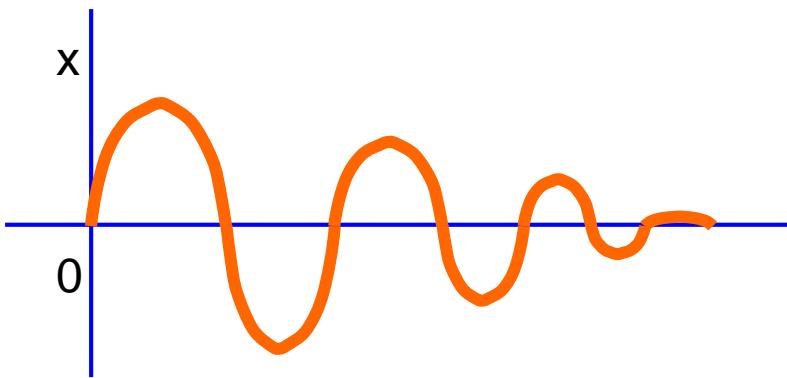
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

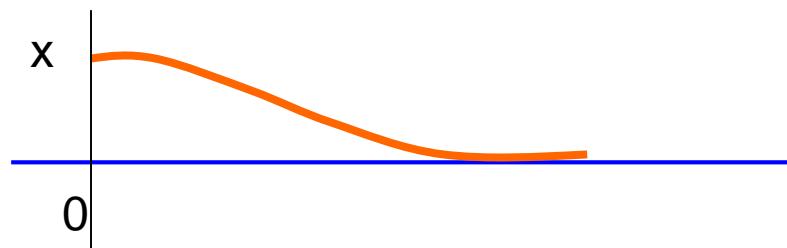
$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

Factor de Amortiguación

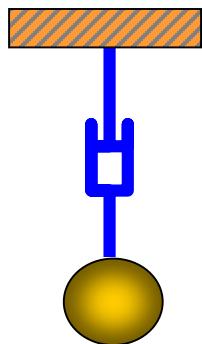


$\zeta < 1$ Infracrítico



$\zeta = 1$ Crítico

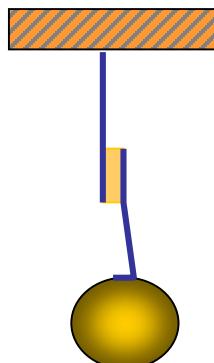
$\zeta > 1$ Supercrítico



Amortiguamiento viscoso

$$F_c = c \frac{dx}{dt}$$

C:cte. amortiguación Nm/s

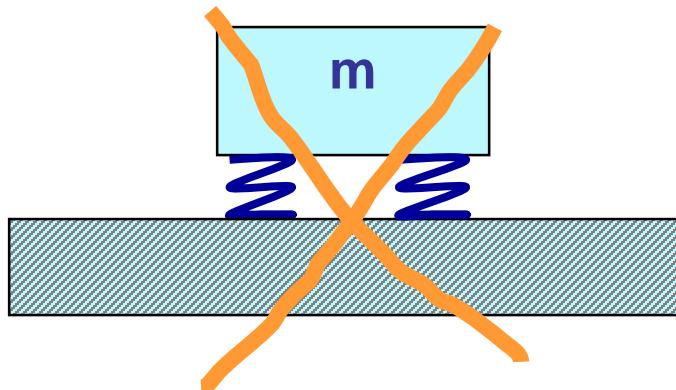


Amortiguamiento seco o de Coulomb

$$F_c = \mu N$$

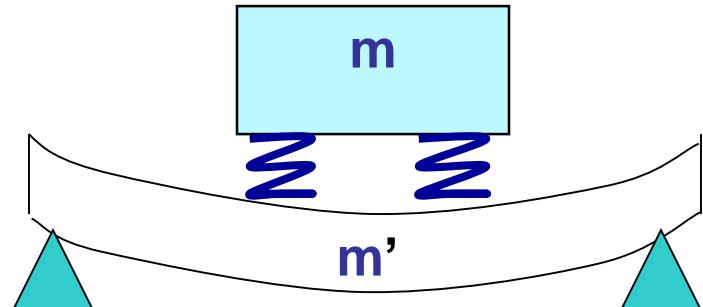
Amortiguamiento de Histéresis (η)

Según la teoría vibraciones

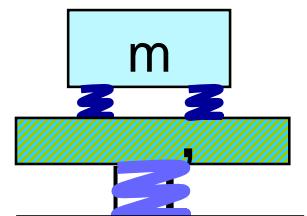


$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Los forjados son elásticos



$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m + m'}}$$



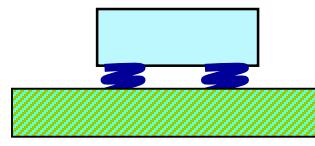
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

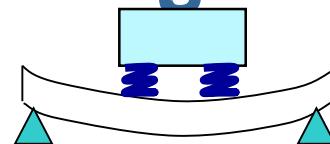
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Clase de solera	Luz entre apoyos de la solera	Frecuencia natural estimada Hz
S	En sótano, sobre terreno	9
F6	Luces hasta 6 metros	7
F9	Luces hasta 9 metros	6

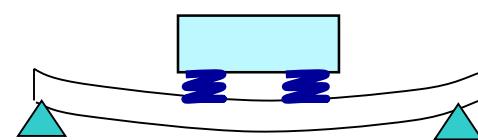
Fuente: Den Hartog



S

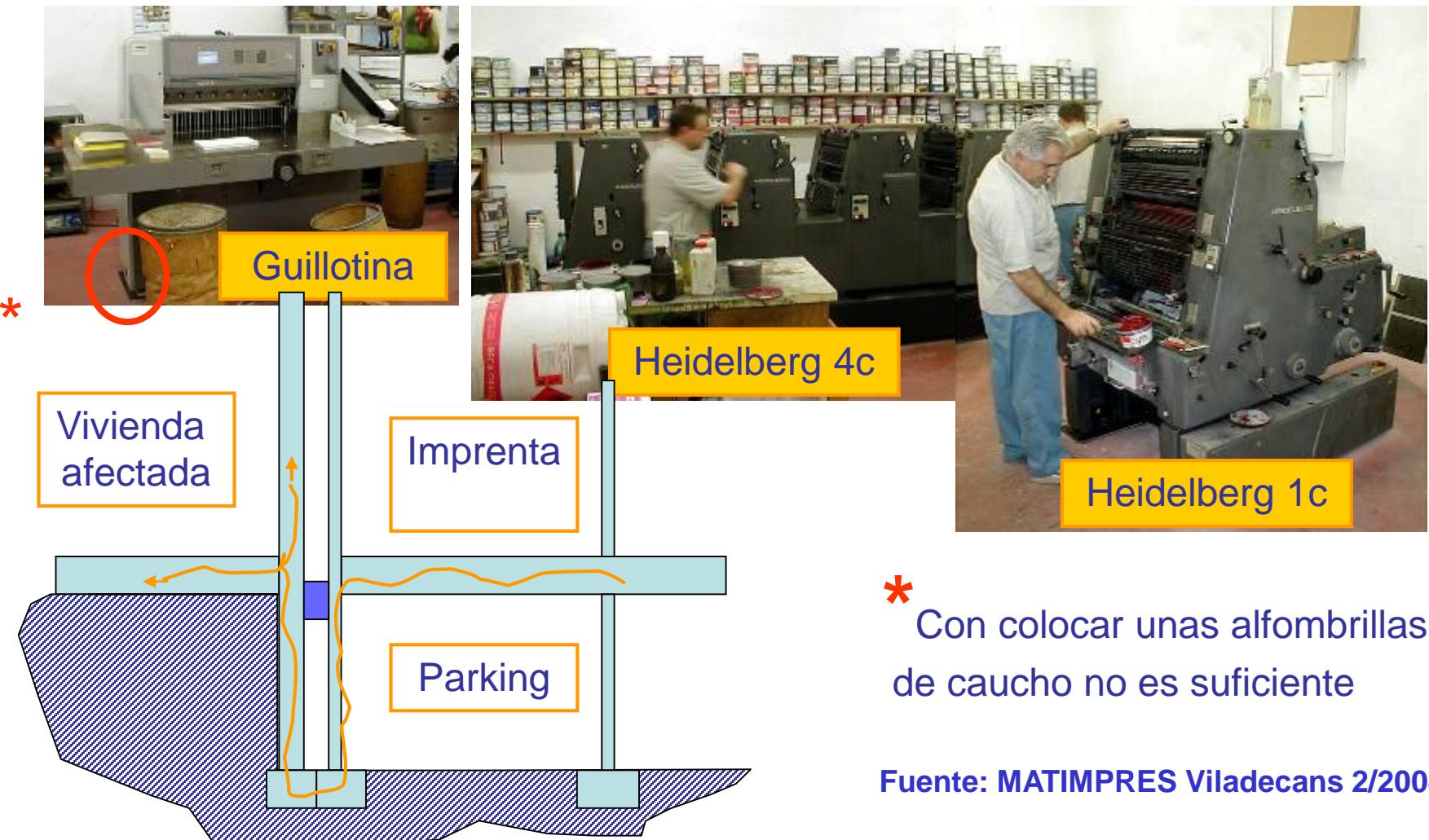


F6



F9

Ejemplos: Imprentas Máquinas de impresión cuatricomías



* Con colocar unas alfombrillas de caucho no es suficiente

Fuente: MATIMPRES Viladecans 2/2004

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Ejemplo: cortadoras textiles de cinta

Colocar las máquinas cerca
de los capiteles de pilares



Fuentes:

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura laSalle URL

0. Estrategias de actuación



1. Grado de libertad



3. Montaje antivibratorio



4. Vibraciones forzadas



5. Tipos de MA



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

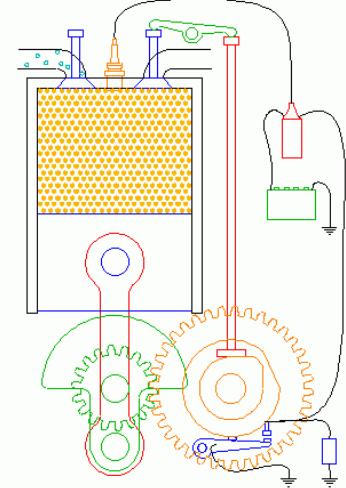
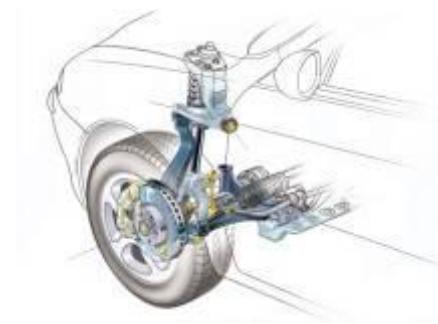
Libres



Cris con 6 años

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$$

Forzadas



Copyright 2000, Keveney.com

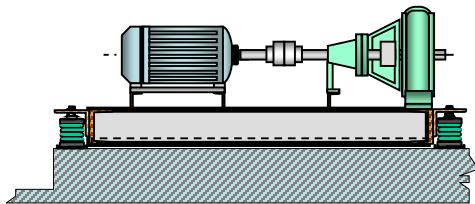
Ed 13/06/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$20 \log \frac{a_s}{a_E}$$



$20 \log a_s - 20 \log a_E < 0$ Atenuación (Negativo)

$20 \log a_s - 20 \log a_E > 0$ Amplificación (Positivo)

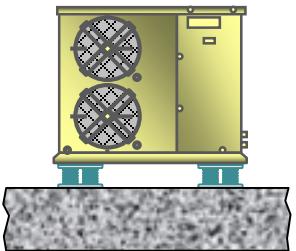
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

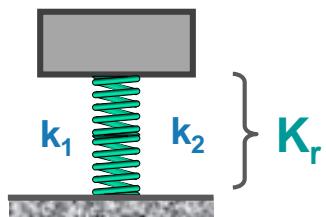
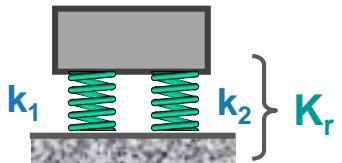
Cálculo analítico del TL (log)

MA directo



$$TL = 20 \cdot \log \left[\frac{1 + \left(2\xi \frac{f}{f_0} \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right)^2 + \left(2\xi \frac{f}{f_0} \right)^2}} \right]$$

- TL: Transmisibilidad de la vibración, es decir la vibración que pasa a ser transmitida al entorno.
- f y f_0 : frecuencia perturbadora (las rpm de la máquina) y frecuencia natural del montaje antivibratorio.
- ξ : factor de amortiguación del montaje antivibratorio (va de 0 a 1)

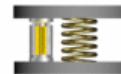


$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_r}{m}}$$

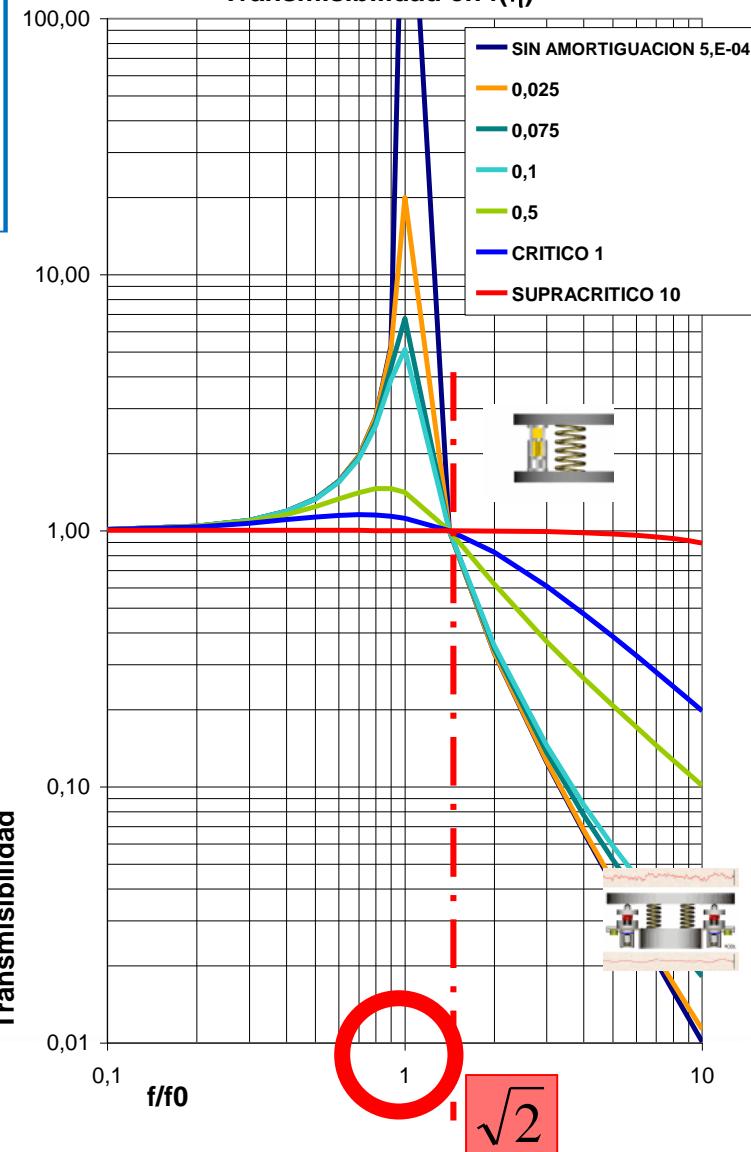
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

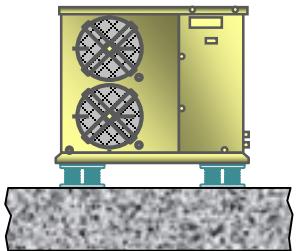


Transmisibilidad en $f(\eta)$



Cálculo analítico del TL(lineal)

MA directo



$$TL = \frac{F_t}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + \left(2\xi \frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \left(2\xi \frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

$$\xi \approx 0 \Rightarrow TL = \frac{F_t}{F_0} = \frac{1}{|1 - M^2|} = \frac{1}{M^2 - 1} \quad M = \frac{f}{f_0}$$

Como el aislamiento (A) es el inverso de la transmisibilidad (TL)

$$A = 1 - TL \quad A = 1 - \frac{1}{M^2 - 1} = \frac{M^2 - 1 - 1}{M^2 - 1}$$

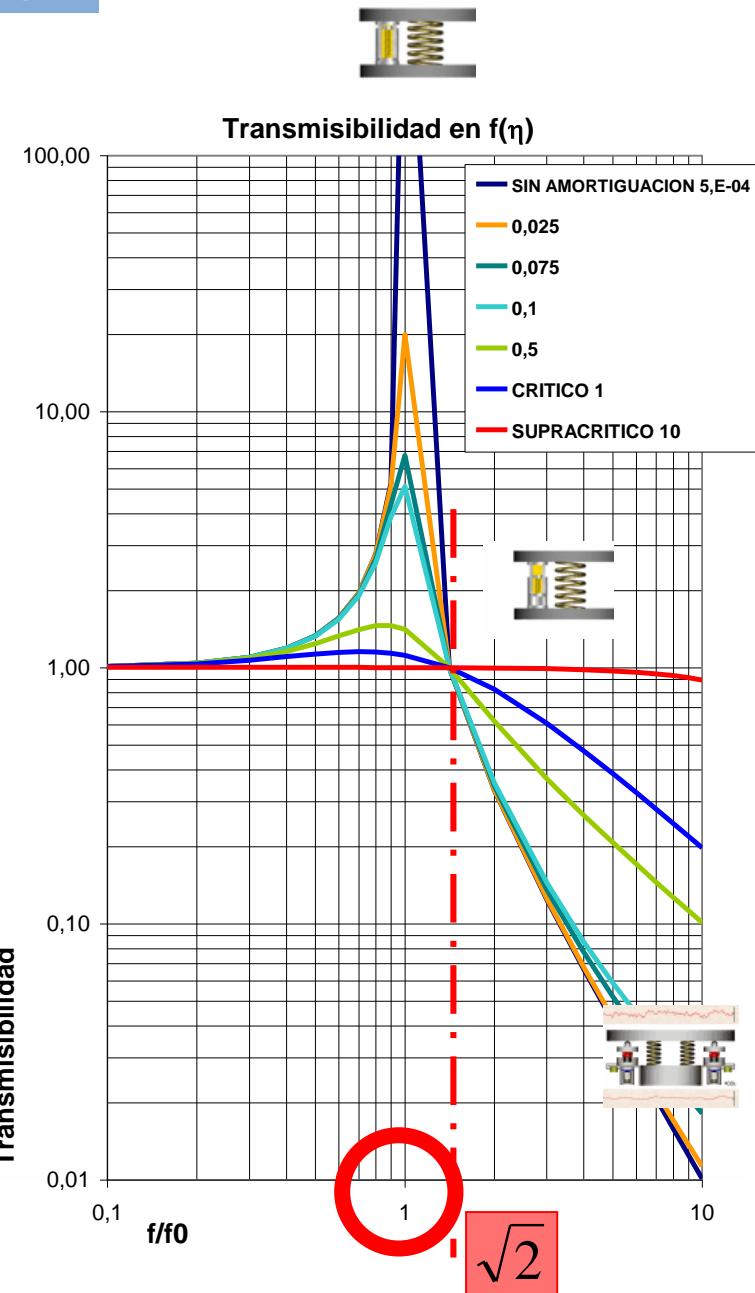
$$A = \frac{M^2 - 2}{M^2 - 1} \quad \rightarrow \quad G_A = \left(\frac{M^2 - 2}{M^2 - 1} \right) 100 \quad (\%)$$

TL (Transmisión Loss y FT(transmisibilidad) son lo mismo

Ed13:06/02/2018

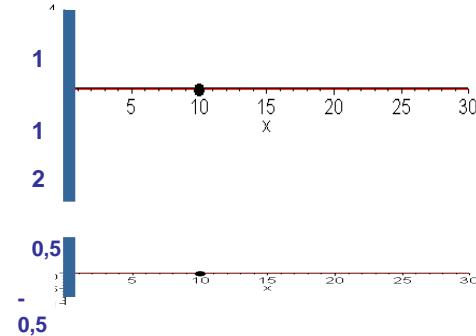
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$G_A \Rightarrow 90\%$$

$$\frac{f_p}{f_n} > 4$$



Zona de Sensibilidad	Tipo de zona	G %
MUY CRITICA	Hospitales, Hoteles, Edificios de uso cultural (auditorios, teatros, centro convenciones)	$\geqslant 95\%$
CRITICA	Zonas cercanas a dormitorios. Oficinas y estudios, supermercados en edificios	$\geqslant 90\%$
NO CRITICA	Sótanos, zonas industriales, Centros comerciales	$\geqslant 85\%$

Fuente: basado en experiencia Rafa Torres-Vibcon y criterio del Dc HIGINI ARAU

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

UNE 100-153/2004

Climatización: Soportes Antivibratorios.

Criterio de Selección

MODULACION: $f_p / f_0 > 4$

G Grado de aislamiento en % =>90%

f / f ₀	%		dB
	G	T	G'
1	0	100	0
2	67	33	10
3	88	12	18
4	93	7	23
5	96	4	28
6	97	3	30
7	98	2	34
8	98	2	34
9	99	1	40
10	99	1	40

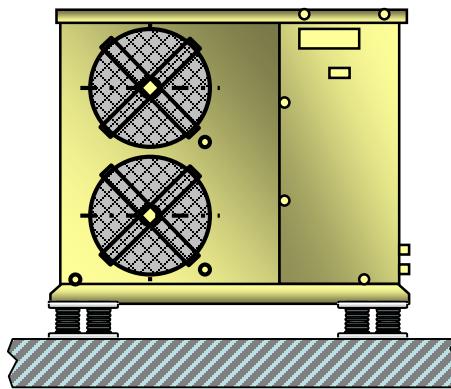
R_A en dB

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

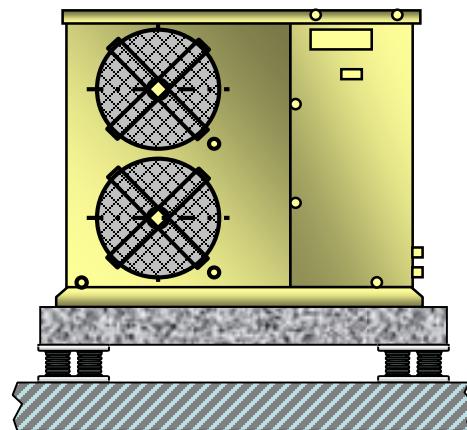
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

MA directo



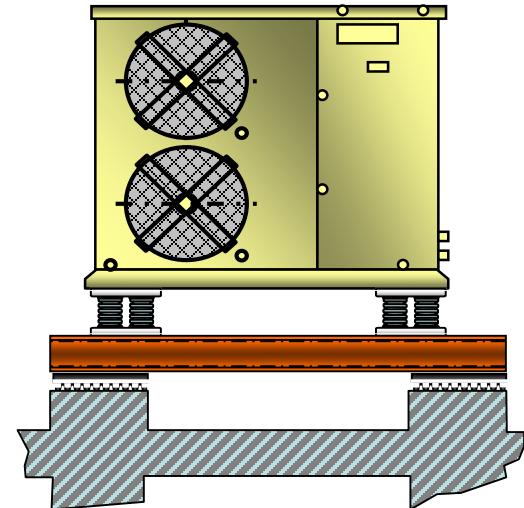
Climatizadores,
domésticos,
motoventiladores, etc

MA c/ bancada



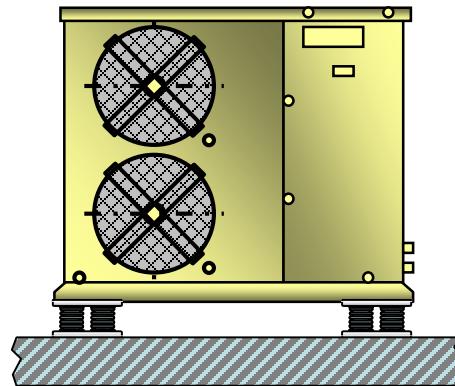
Roof-Top,
ventiladores axiales,
Enfriadoras,
grupos de presión,
etc.

MA mixto

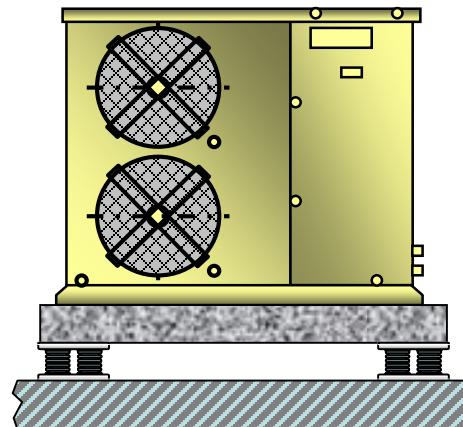


Enfriadoas, Bombas
de calor, torres
recuperación, etc

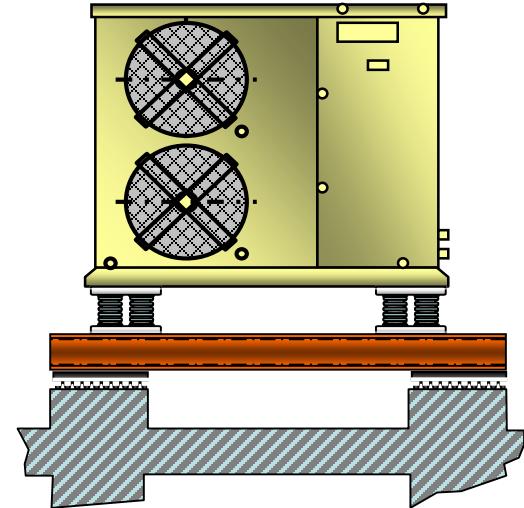
directo



con bancada



mixto

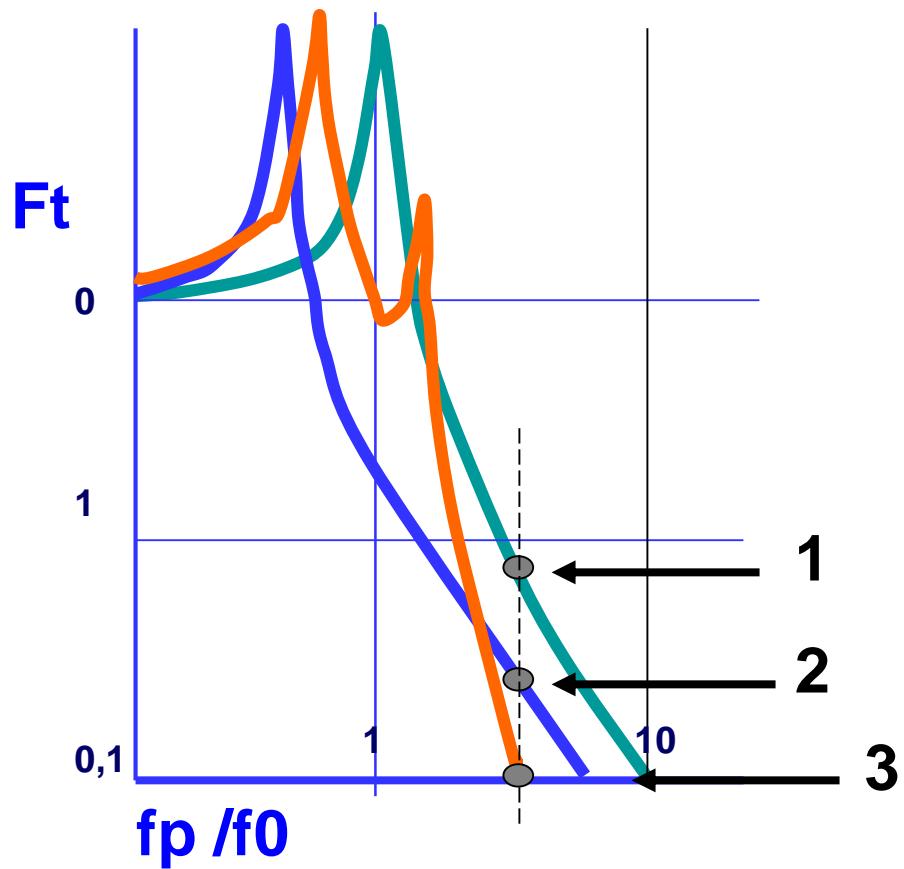


- ¿En qué tipo de estructura o edificio se ubicará la máquina?
- ¿Qué tipo de maquina es?
- ¿Cúal será su emplazamiento?

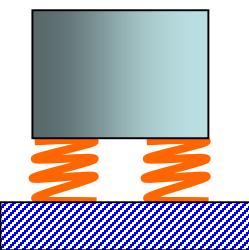
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

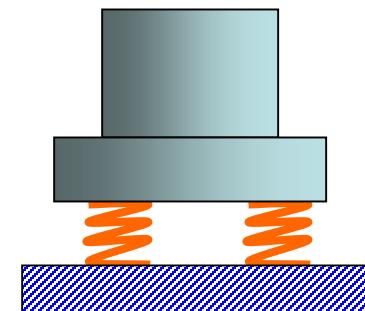
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



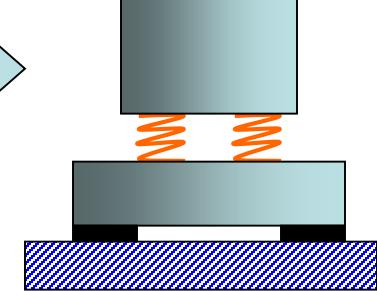
Tipo 1



Tipo 2



Tipo 3 mixto



$EI F.t._1 > F.t._2 > F.t._3$

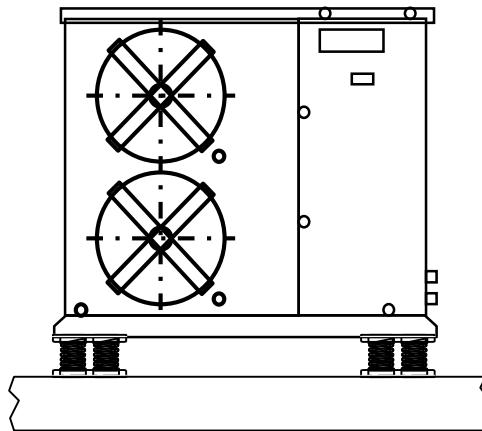
$A < F_t => >$ Grado de Aislamiento

Ed13:06/02/2018

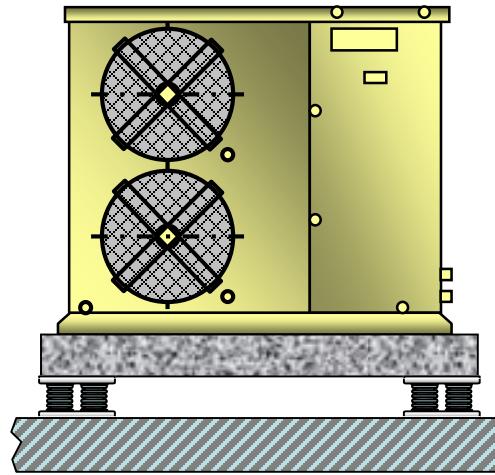
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

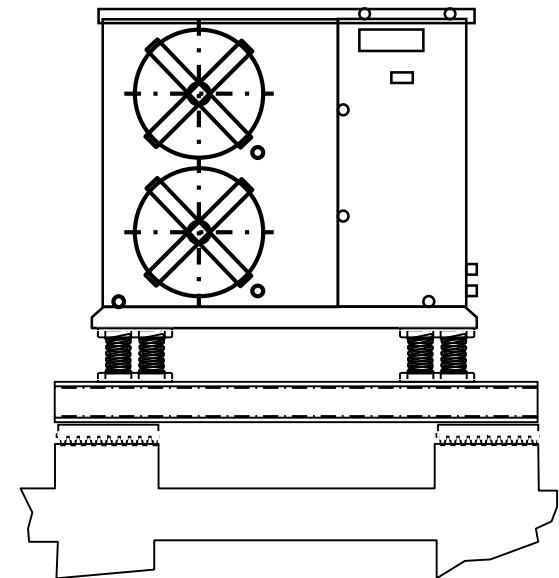
MA directo



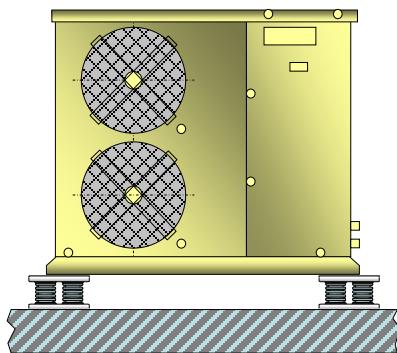
MA c/ bancada



MA mixto



Roof-Top, ventiladores
axiales, Enfriadoras,
grupos de presión, etc.



$$F = a \cdot m$$

\searrow

$$\omega^2 d$$

F: Fuerza periódica generada por la máquina ($\omega^2 d$)

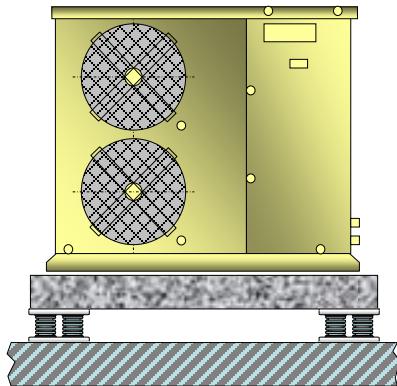
a: Valor de amplitud de aceleración de las máquinas

a': Valor de aceleración transmitida al suelo

m: masa de la máquina o conjunto de la instalación [Kg]

m': Masa de la bancada

a_r : aceleración
relativa o normalizada



$$F = a \cdot m = a' \cdot (m' + m)$$

$$a \cdot m = a' \cdot 2m$$

$$a' = \frac{1}{2} a \quad m' = m$$

F: Fuerza periódica generada por la máquina (w^2d)

a: Valor de amplitud de aceleración de las máquinas

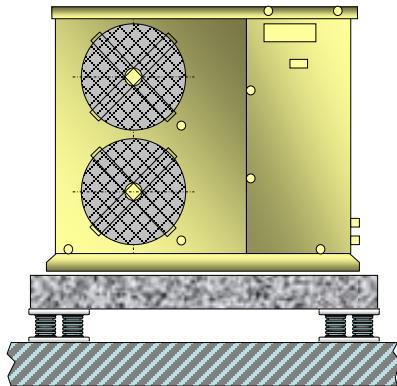
a': Valor de aceleración transmitida al suelo

m: masa de la máquina o conjunto de la instalación [Kg]

m': Masa de la bancada

- Baja el centro de G.
- Mejora estabilidad
- Reducción de efectos por vibraciones pasivas

a_r: aceleración relativa o normalizada



$$a \cdot m = a' \cdot (m' + m)$$

$$a \cdot m = a' [(e \cdot \rho \cdot s) + m]$$

a: Valor de amplitud de aceleración de las máquinas

a': Valor de aceleración transmitida al suelo

m: masa de la máquina o conjunto de la instalación [Kg]

ρ: Densidad del material de la bancada [Kg/m³]

s: Superficie de la bancada [m²]

e: Espesor de la bancada [m]

m': Masa de la bancada (S·e·d)

$$\frac{a'}{a} = \frac{m}{(e \cdot \rho \cdot s) + m}$$

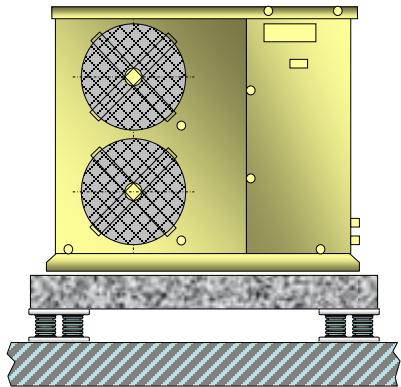
$$a_r = \frac{a'}{a}$$

a_r: aceleración
relativa o normalizada

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



$$a \cdot m = a' \cdot (m' + m)$$

$$a \cdot m = a' [(e \cdot \rho \cdot s) + m]$$

$$a_r = 1/2$$

$$a_r = 1/10$$

a_r: aceleración relativa o normalizada

$$a_r = \frac{m}{(e \cdot \rho \cdot s) + m}$$

$$e = \frac{\frac{m}{a_r} - m}{\rho \cdot S}$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Ref:BUGA-42261114-Ángel

05/12/2014

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Recordar que!!!
Las bancadas sirven para transformar cargas puntuales en una carga distribuida lo más uniformemente sobre una superficie determinada.
Las bancadas de inercia además aportan inercia al sistema



Agrietamientos en hormigón inducido x vibración

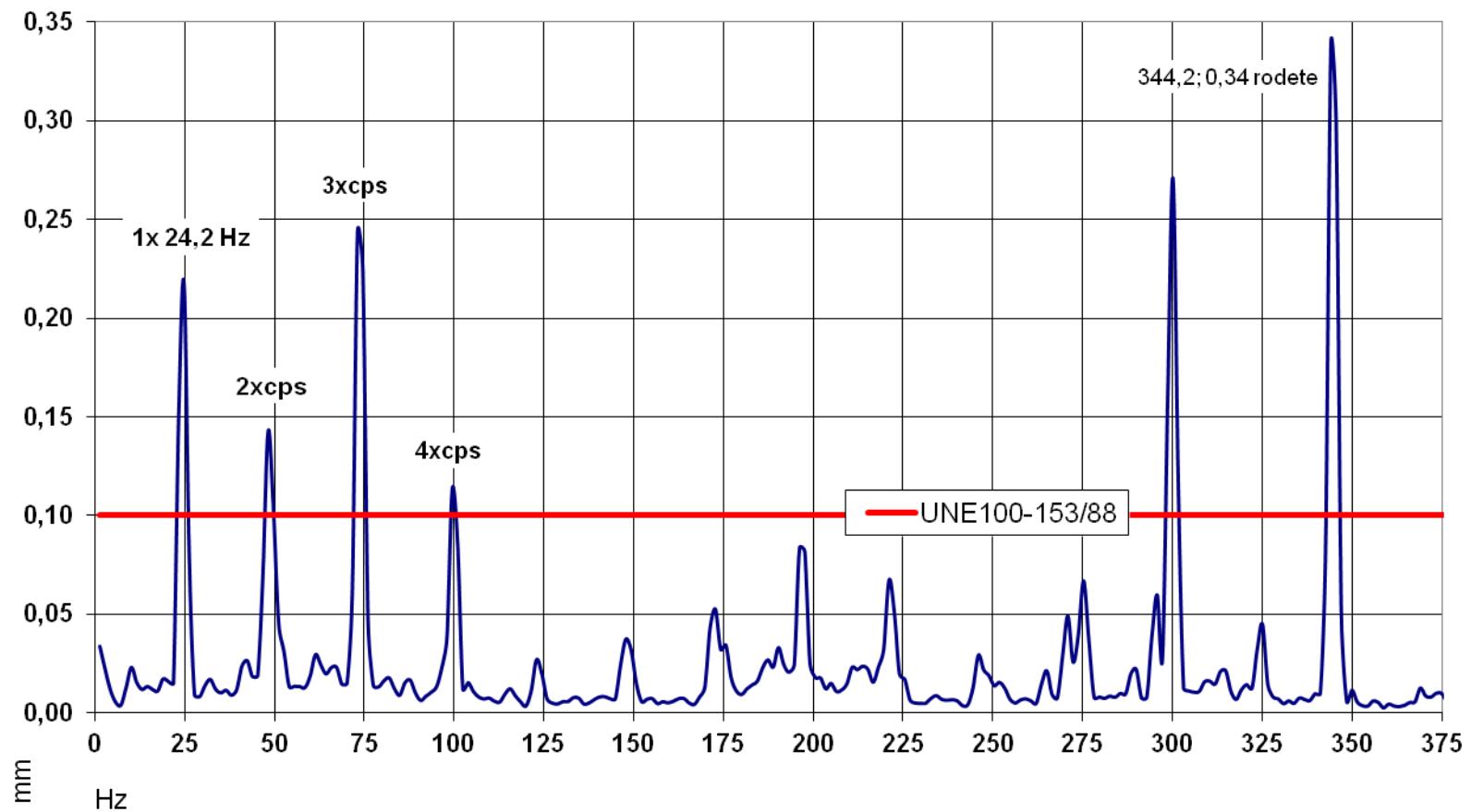
Ref: La Caixa zona Restringida A Plt-3 Torre1-4/2005

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

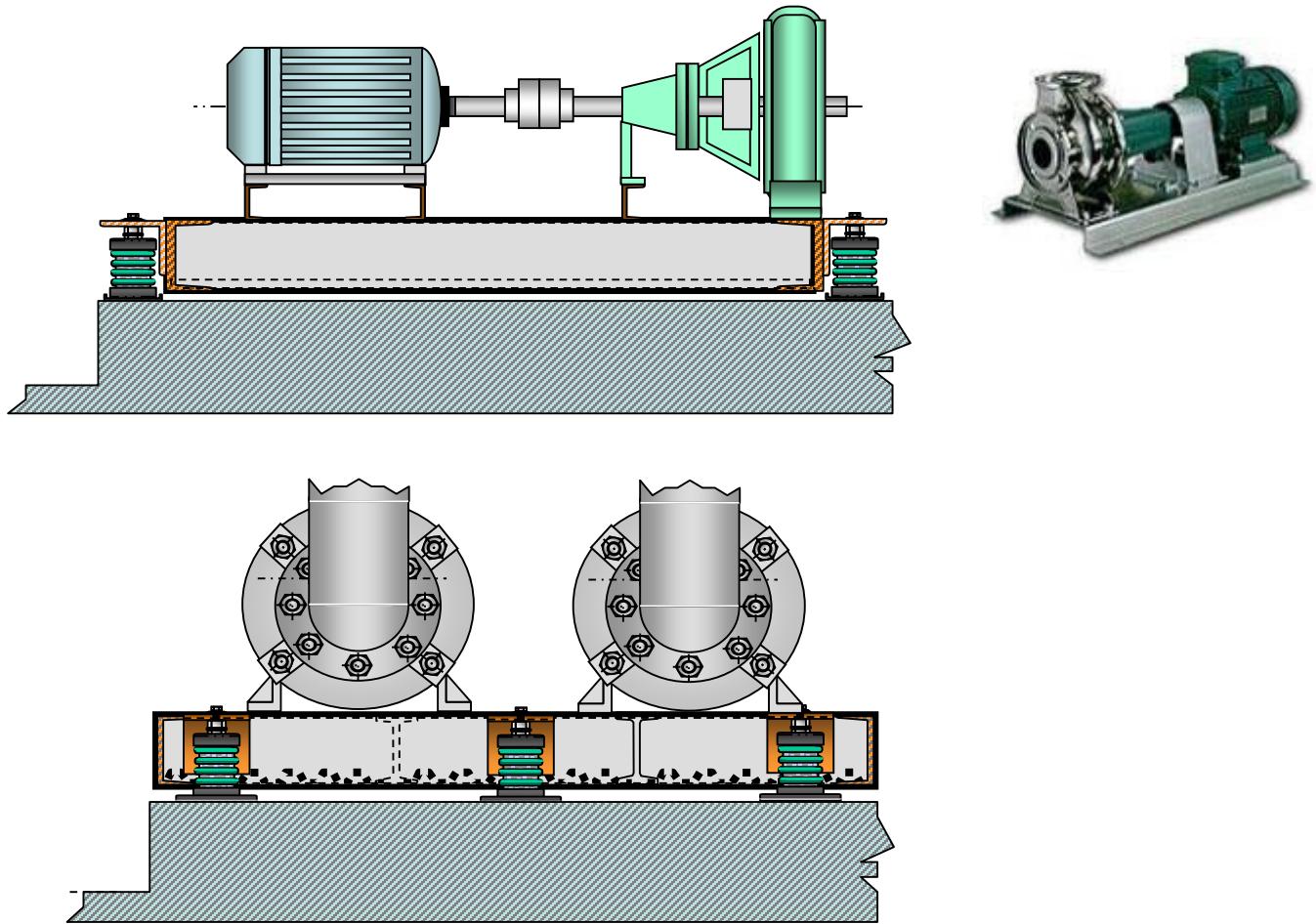
Amplitud de Desplazamiento RMS/ Comparada con UNE100-153/88 para bombas de 1500rpm



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

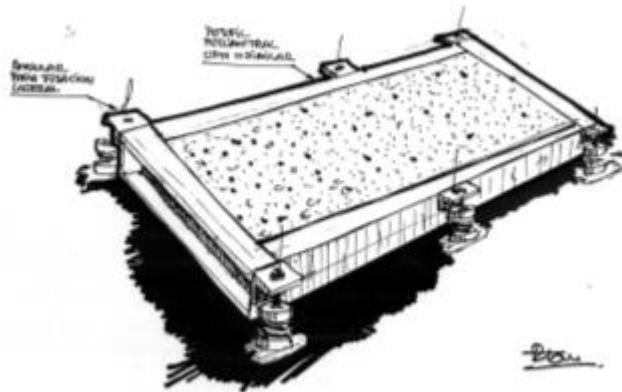
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



**Bancada
flotante de
hormigón**

BHF



**Bancada metálica a
partir de perfiles.
normalizados**

BM

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Fuente: AUDITORI FORUM2004

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

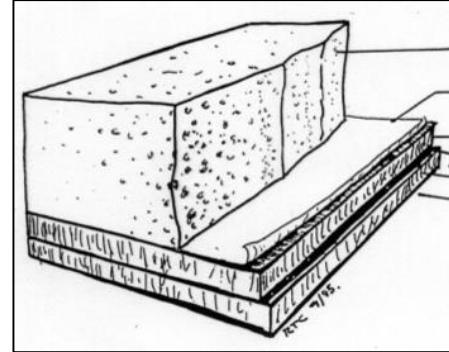


Ed13:06/02/2018

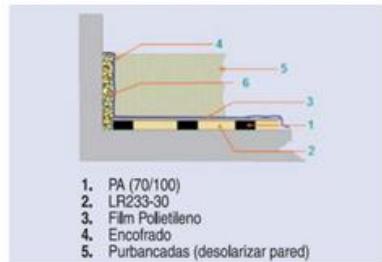
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

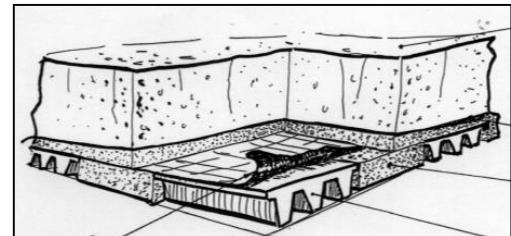
Suelo flotante de elemento Continuo (formado por elemento fibroso)



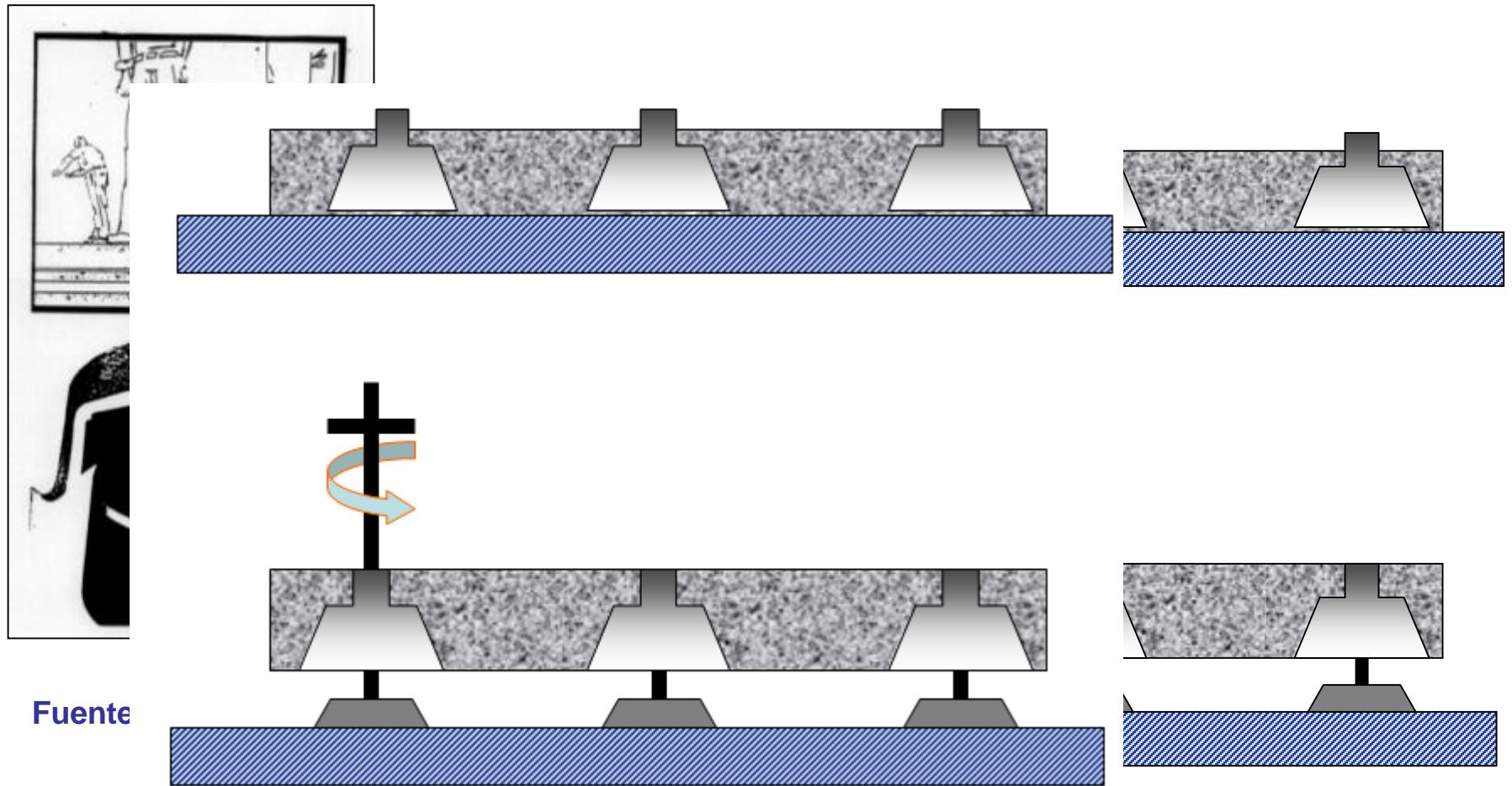
Ref: Centro geriátrico en Valldoreix en Sant Cugat de Barcelona-Vibcon



Suelo flotante de elementos Discontinuos: PADS de caucho y fibra sintética



Rafael Torres del Castillo
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

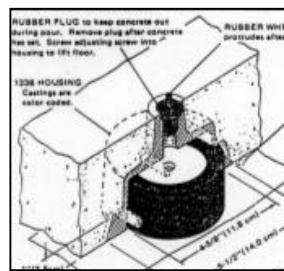
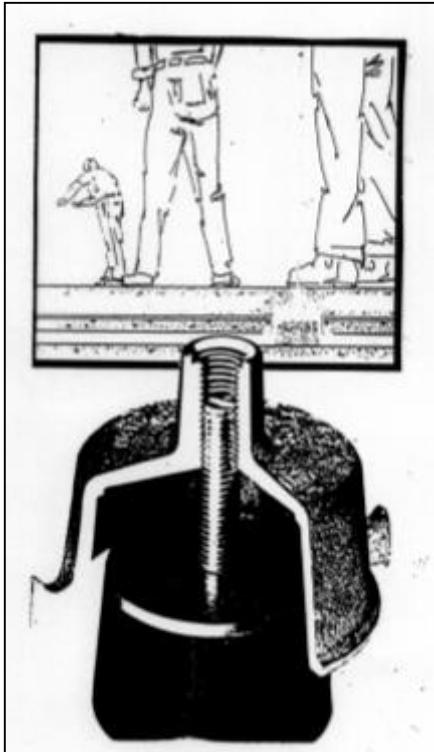


Fuente

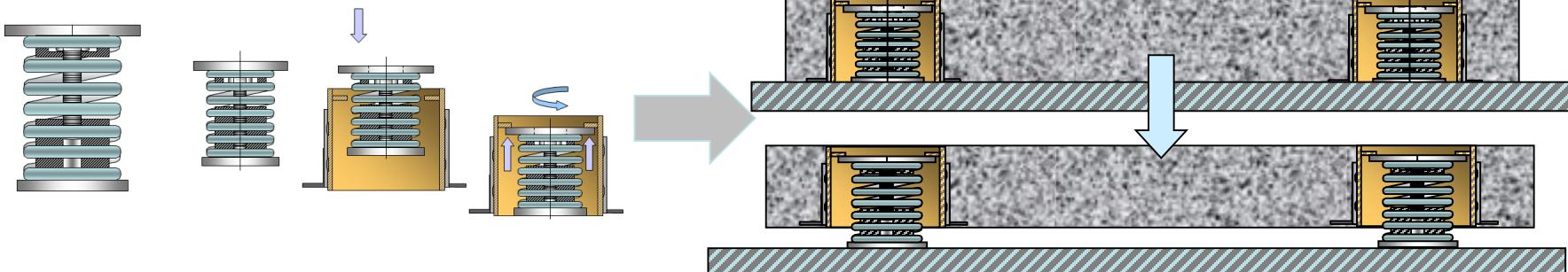
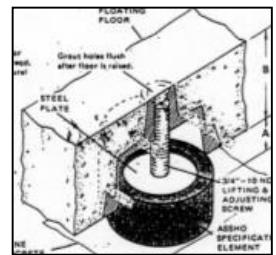
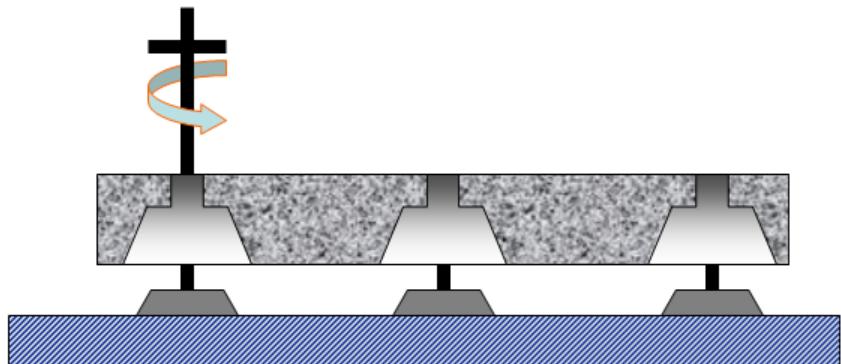
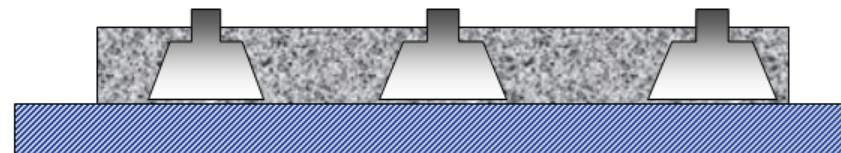
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



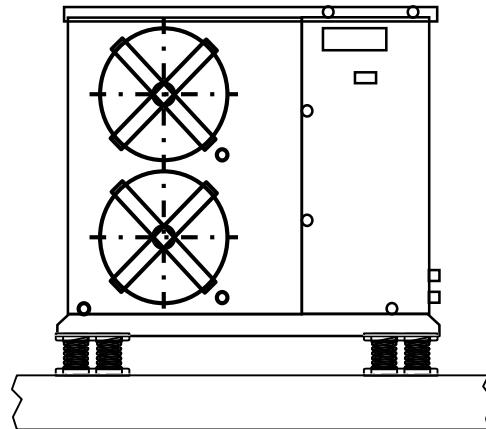
Fuente:
MASON U.S.A



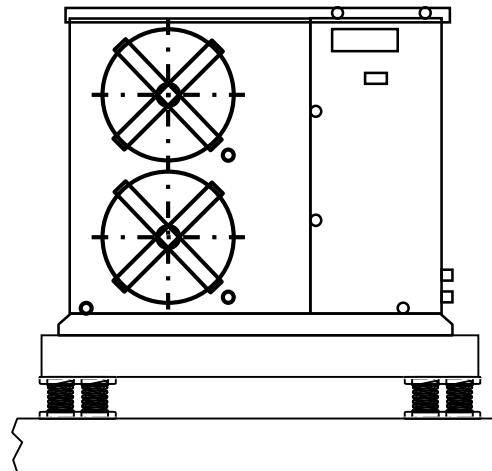
Ed13:06/02/2018
Rafael Torres del Castillo
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Fuente: Vibcon

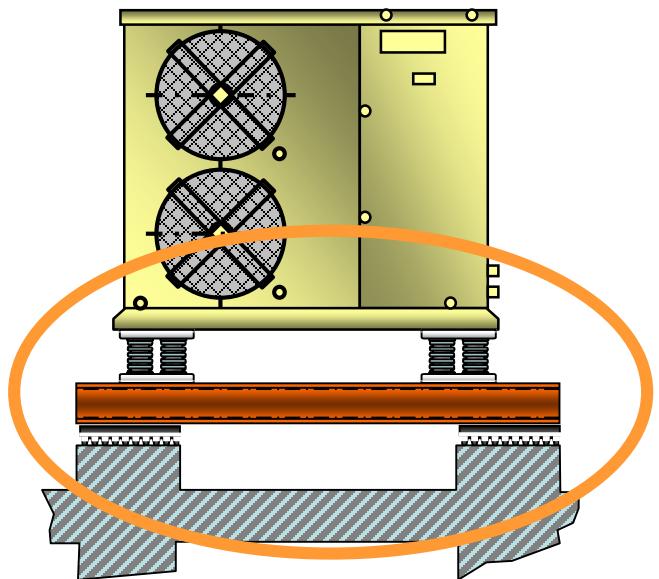
MA directo



MA c/ bancada



MA mixto



$$T_3 > T_2 > T_1$$

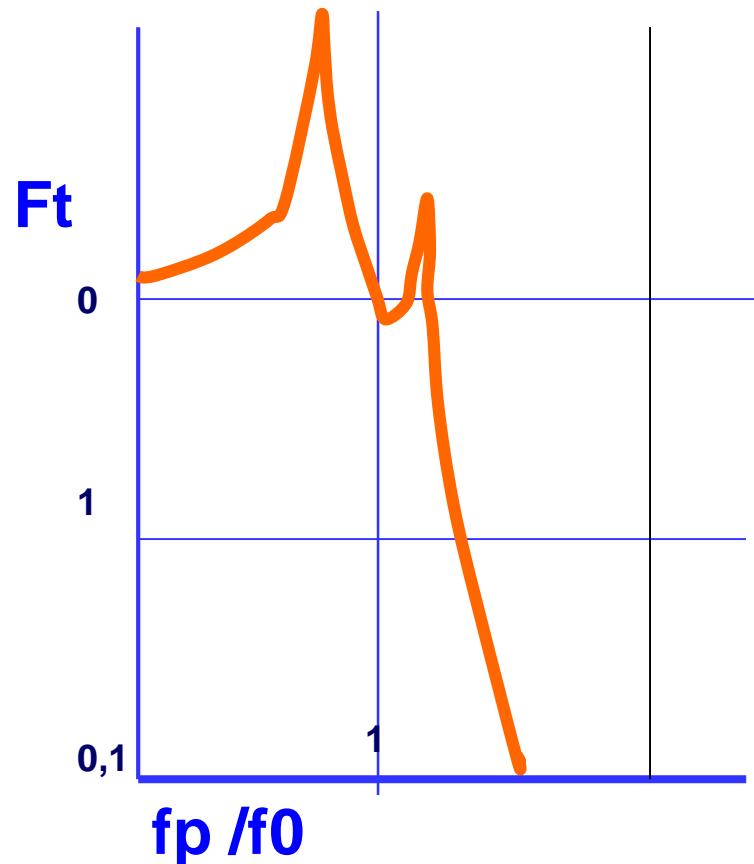
Enfriadoras, Bombas
de calor, torres
recuperación, etc

Ed13:06/02/2018

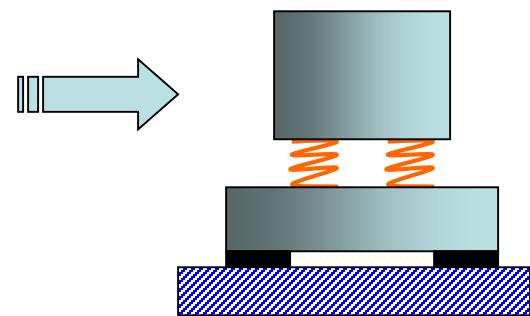
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Sistema de dos grados de libertad



Tipo 3
mixto



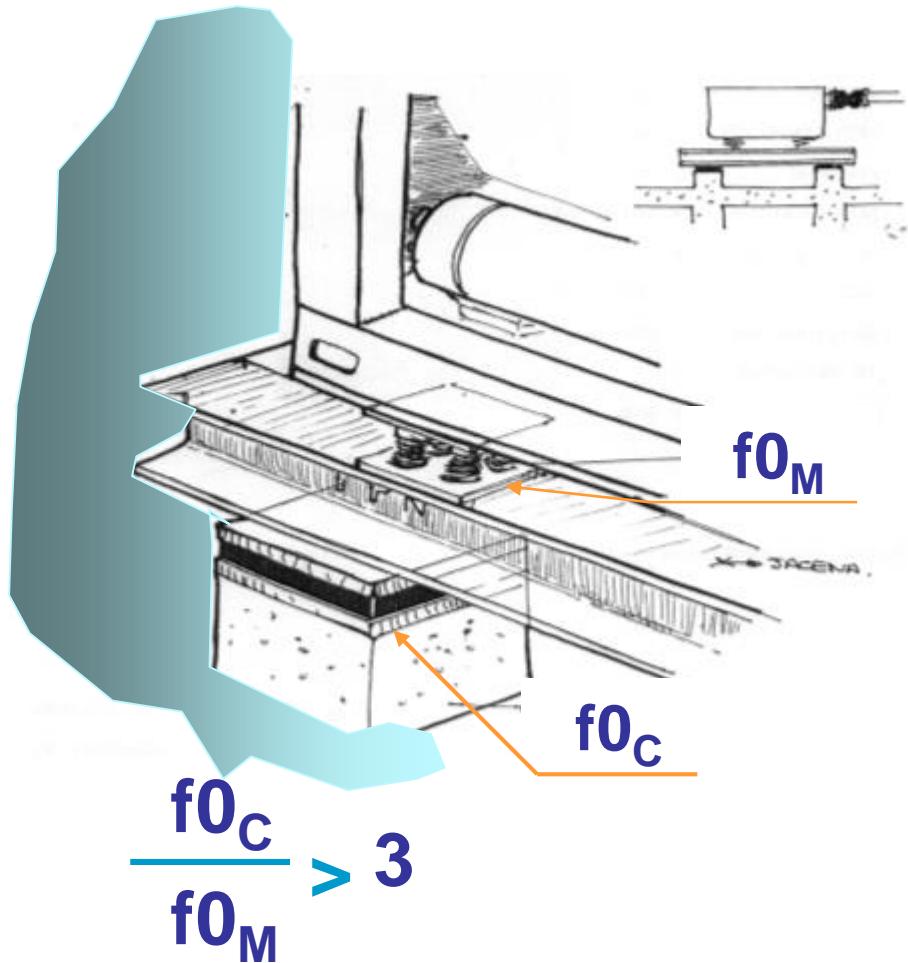
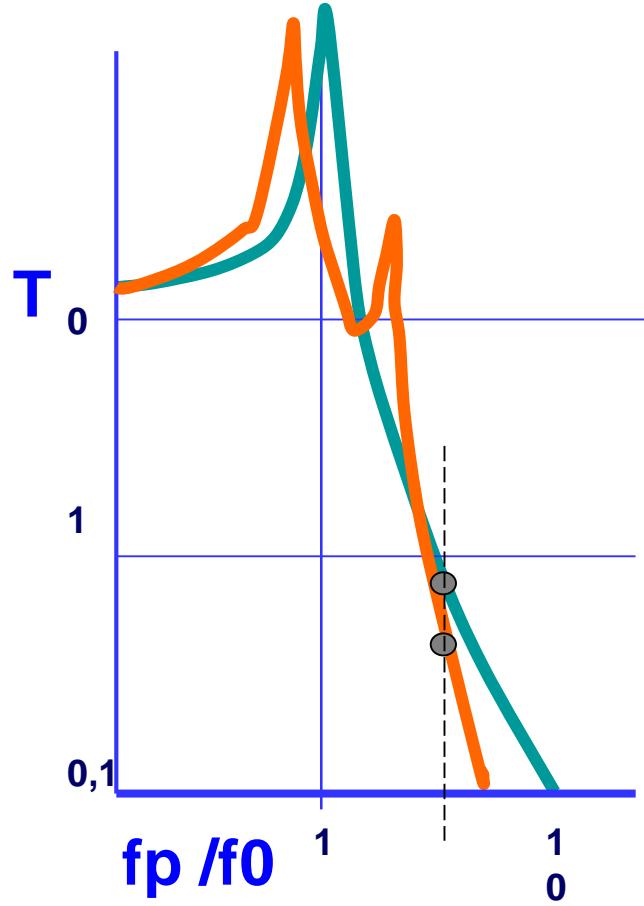
fp =Frecuencia perturbadora máquina en Hz

f_0 =Frecuencia natural del montaje antivibratorio en Hz

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



f_{0M} =Frecuencia natural antivibradores máquina en Hz

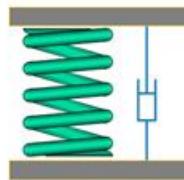
f_{0c} =Frecuencia natural del montaje antivibratorio enano-bancada en Hz

1. Aproximarlo el sistema a aislar a un sistema de 1GL



2. El montaje antivibratorio ha de ser aislante más que amortiguante.

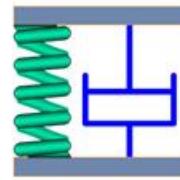
Aisladores



ok



Viscoelásticos



ko



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

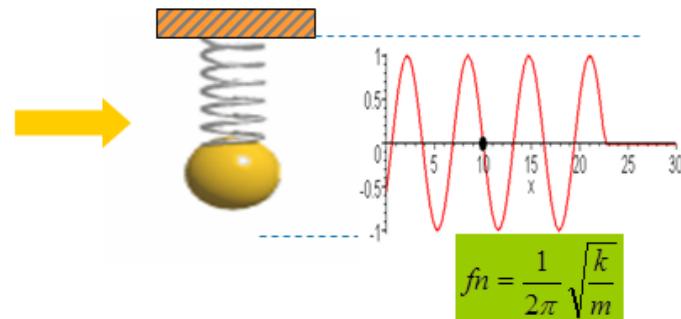
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

3. El montaje antivibratorio deberá tener $G_A \geq 90\%$

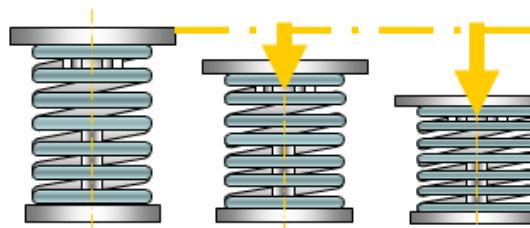
$$\frac{f_e}{f_n} \geq 4$$



$$\frac{rpm \text{ máquina}/60}{f_n} > 4$$

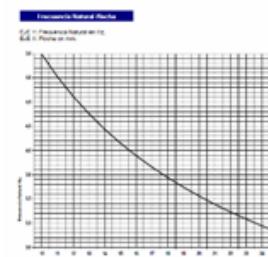


4. La compresión de los aisladores de vibración (básicamente de muelle), es inversamente proporcional a la f_n .



$$a > f \Rightarrow < f_n$$

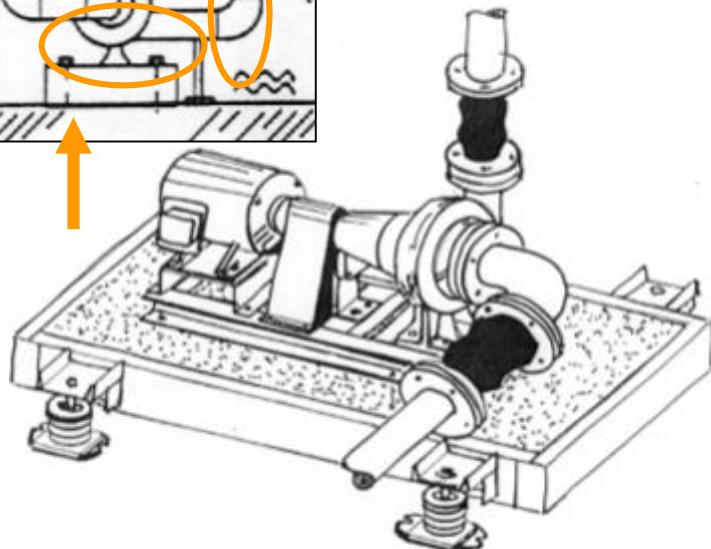
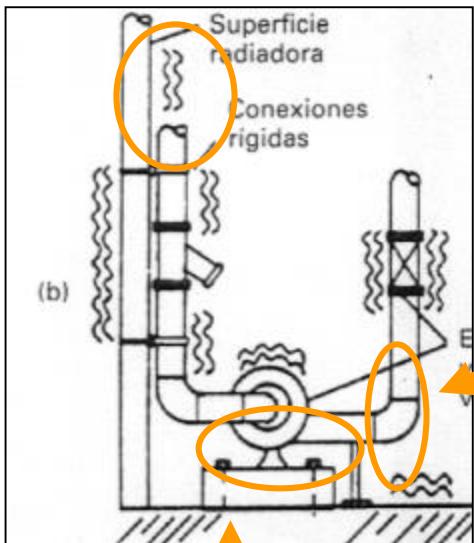
VIBROACÚSTICA
Aisladores
Serie: VB100
PT VB-100



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Se ha de aislar también la tubería

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Fuente: GYMSA
10/2003



$$f_0 = f_0'$$

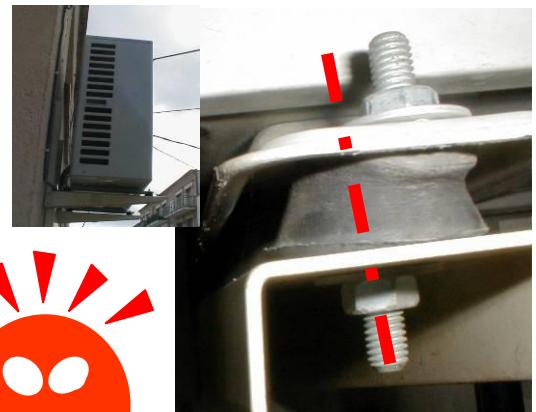
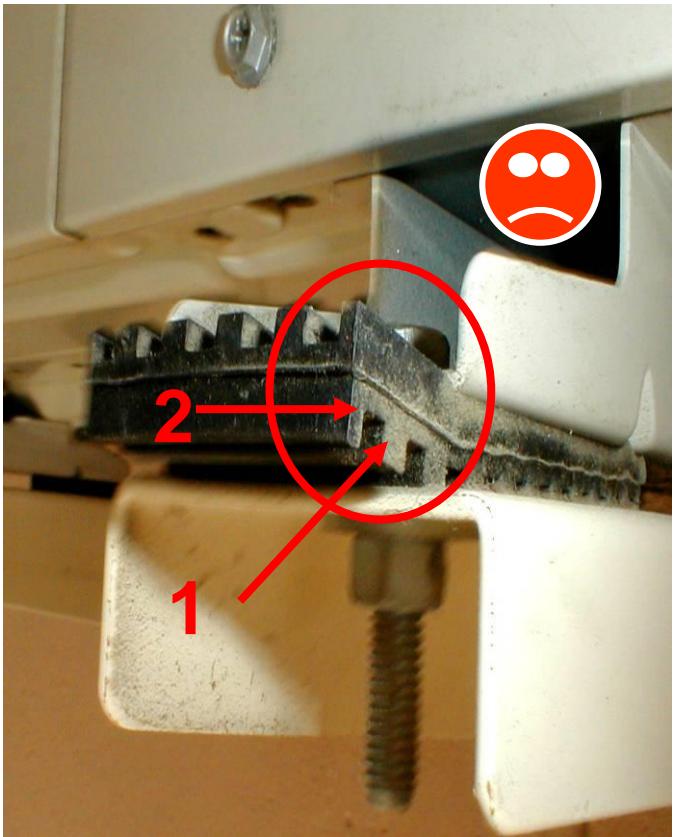
“Resonancia”



Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Despegue de la armadura metálica superior



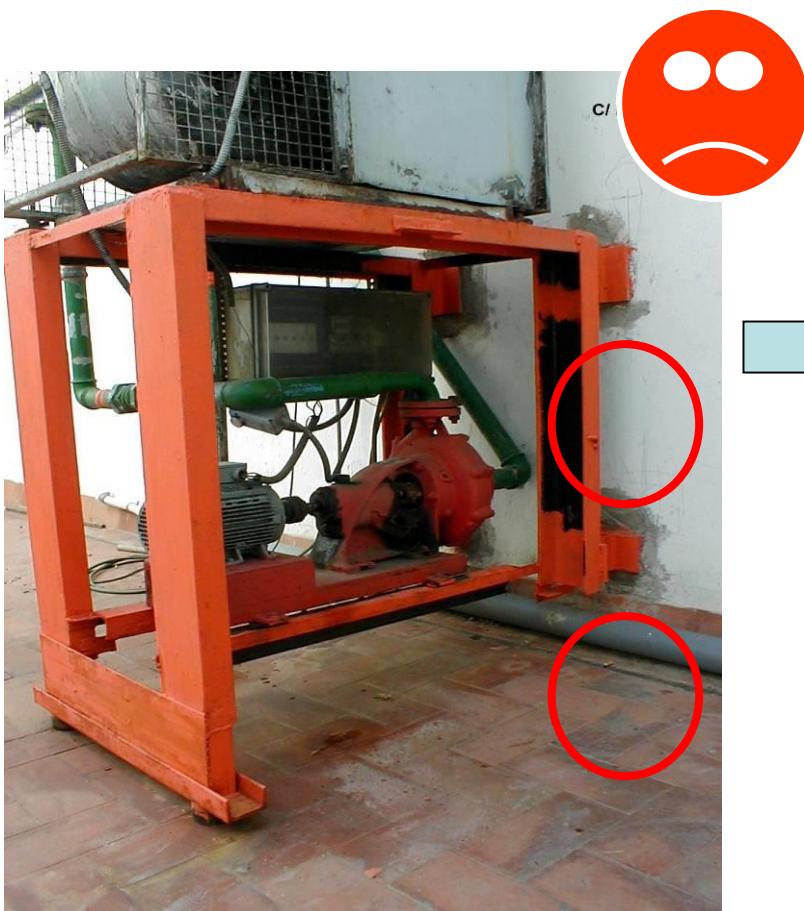
Síndrome de piel de naranja

-1 La vibración pasa a través del tornillo.

-2 Si el tornillo toca la ranura de los orificios

=> transmisión

Patologías: Se han dejado uniones rígida



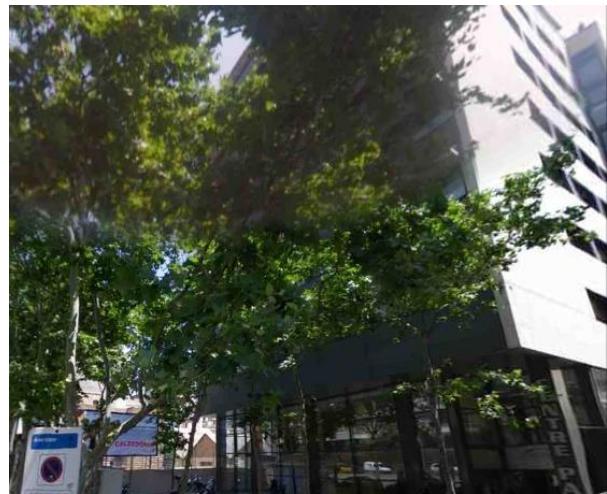
Fuentes: EMTE-KLIMACAL Juan Carlos Bo.

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

- Patología vibroacústica por instalación de bombas que afecta a habitaciones plantas inferiores

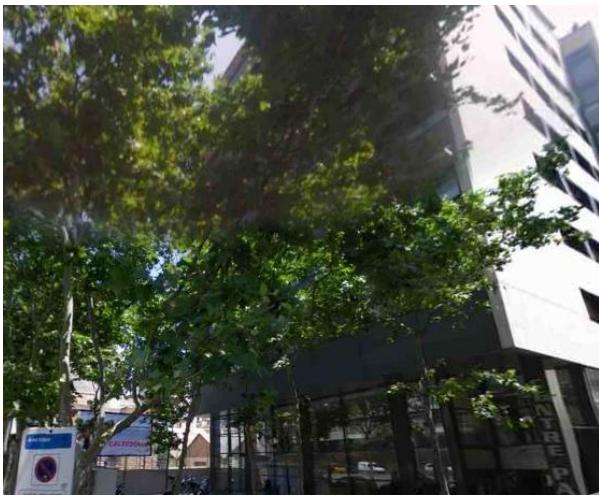


Residencia geriátrica Centre Parc
Av. De Madrid 210 BARCELONA(2006)

Antes!!!!



Ed13:06/02/2018
Rafael Torres del Castillo
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL



Residencia geriátrica Centre Parc
Av. De Madrid 210 BARCELONA(2006)

Después!!!!

- Se consiguió reducir el ruido estructural inducido por vibración mecánica



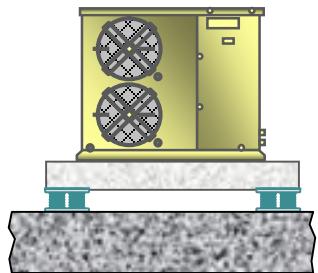
Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

Cálculo analítico del TL con bancada

MA c/ bancada



$$F = a \cdot m$$

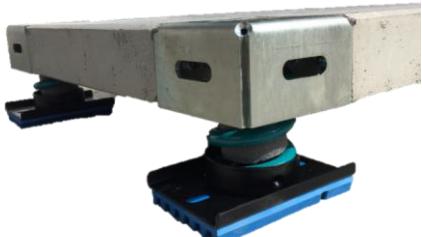
$$F = y(t)\varpi^2 m$$

$$y(t)\varpi^2 m = y'(t)\varpi^2 (m + m')$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{m}{m + m'}$$



Bancada modular Pte: Jesús Uriol



$$TL = 20 \cdot \log \left[\frac{1 + \left(2\xi \frac{f}{f_0} \right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right)^2 + \left(2\xi \frac{f}{f_0} \right)^2}} \right]$$

Ed13:06/02/2018

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL

