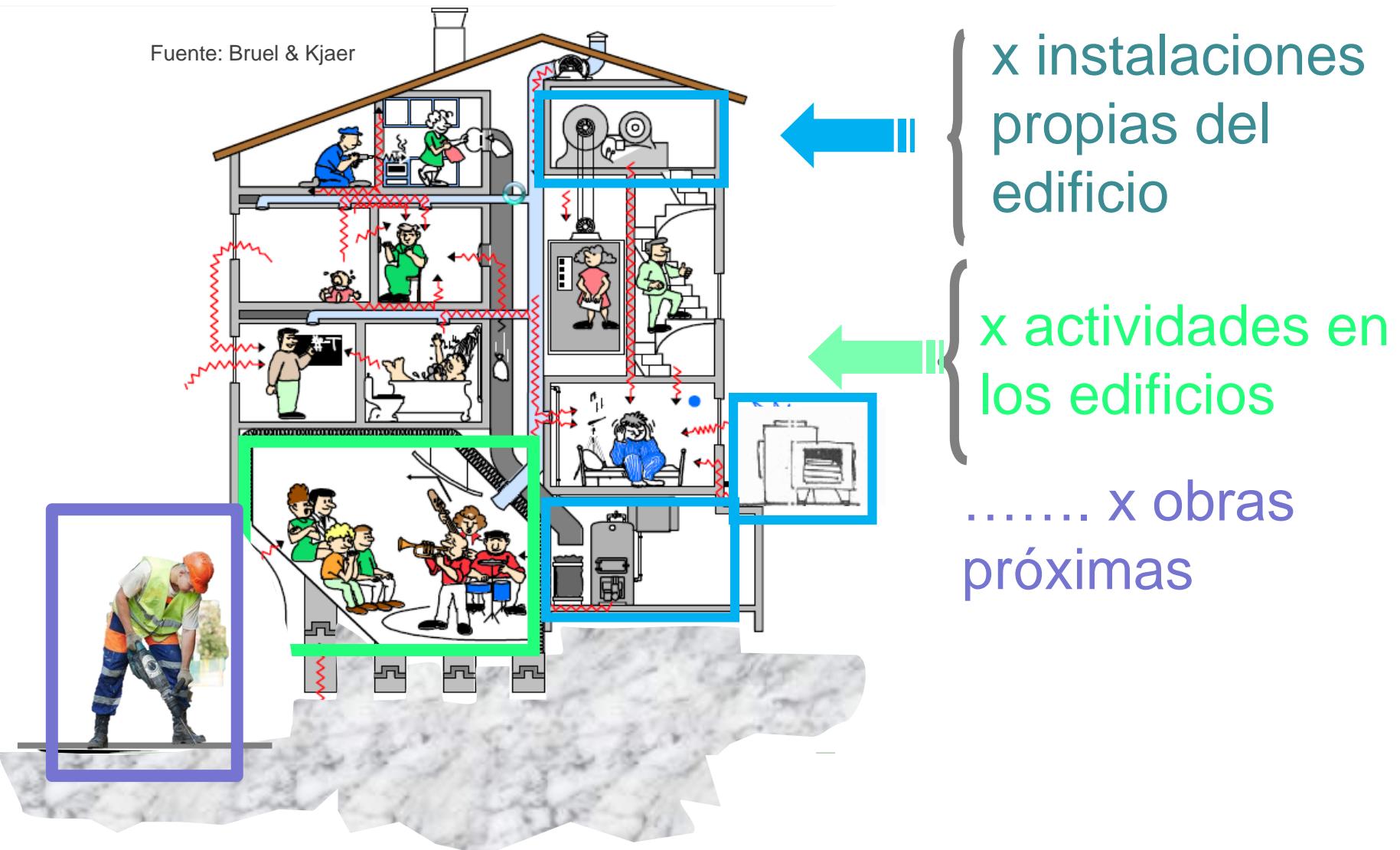
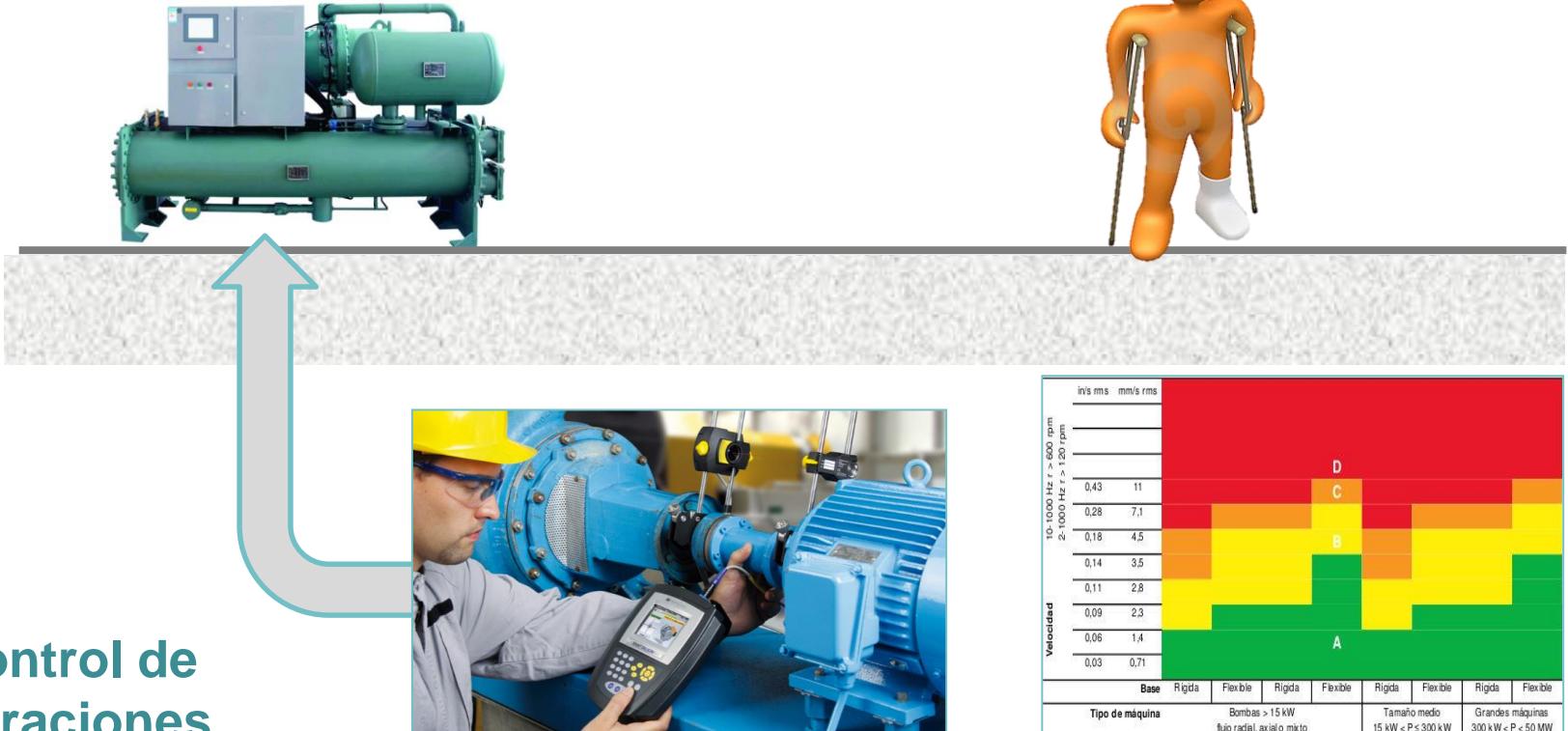


Fuente: Brüel & Kjaer



Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

# Fuente de vibración



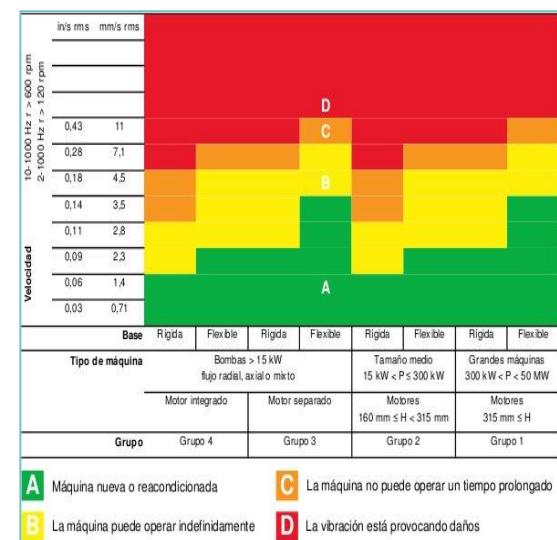
## Control de vibraciones

Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

# Fuente de vibración



# Control de vibraciones



Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

# Fuente de vibración



Control de  
vibraciones

1<sup>er</sup> Principio isolation vibes

Dime como funcionas.....

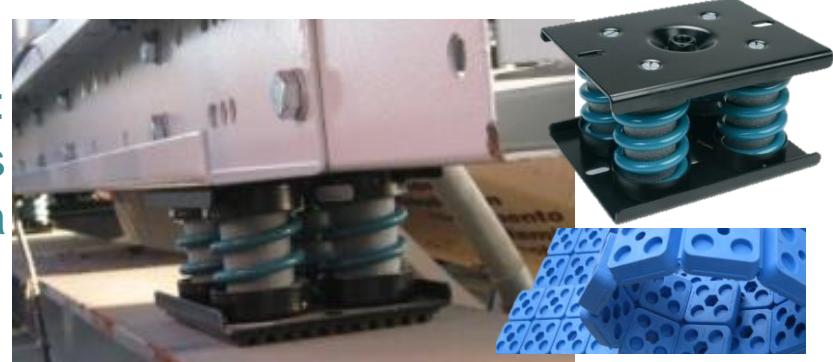
.....y te diré como vibras

# Fuente de vibración



**Aislamiento  
PASIVO DIRECTO**

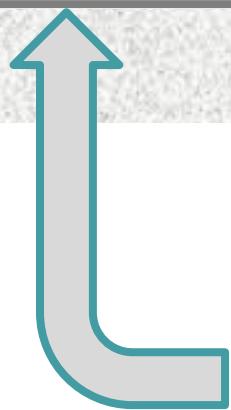
**Solución óptima:**  
actuar sobre los  
fenómenos que la  
originan



# Fuente de vibración



2<sup>er</sup> Principio isolation vibes



Las máquinas molestan.....

.....cuando funcionan



Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015



Medio o camino transmisión

Aislamiento  
**PASIVO DERIVADO**





Receptor



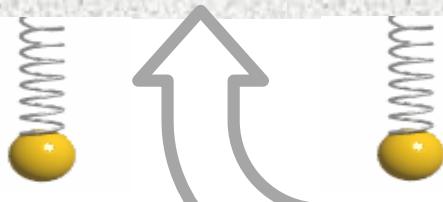
Aislamiento &  
amortiguación  
**PASIVO INDIRECTO**

Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015



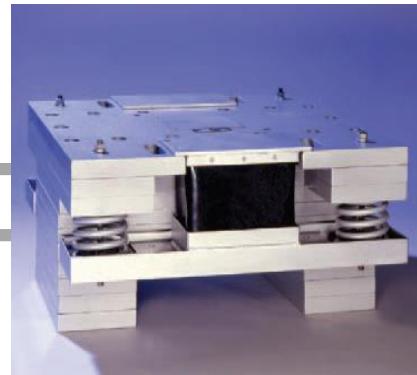
Receptor

## Actuación sobre la respuesta de la estructura



Absorbentes dinámicos

## Aislamiento ACTIVO



DVA



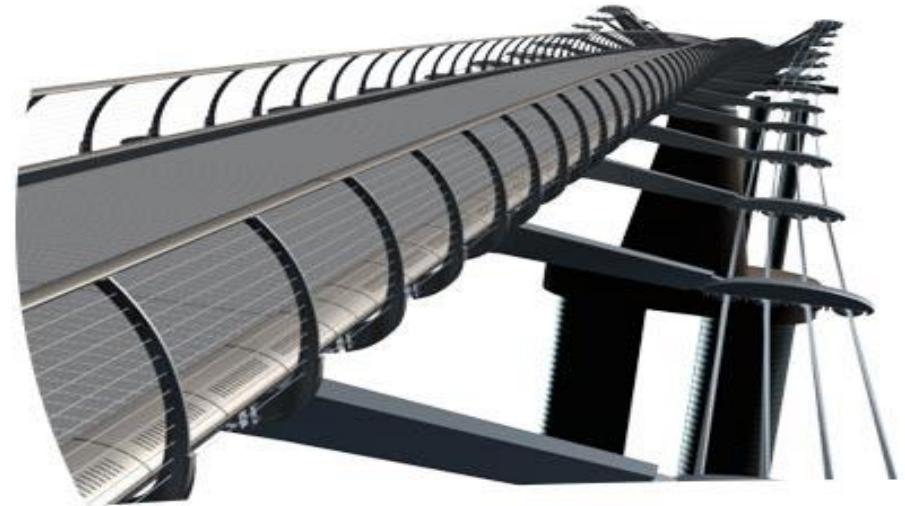
Rafael Torres del Casti  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

Fue abierto el 10 de junio de 2000, dos meses más tarde de lo esperado, unas inesperadas vibraciones y fallos estructurales, hicieron que éste tuviera que ser cerrado el 12 de junio, dos días después de su apertura, para realizar modificaciones. Estos movimientos eran producidos por el gran número de personas, 90.000 el primer día y más de 2.000 en el puente al mismo tiempo. Las primeras pequeñas vibraciones animaron (o incluso obligaron) a los viandantes a caminar de manera sincronizada con el balanceo, incrementando el efecto, incluso cuando el puente se encontraba relativamente poco transitado al comienzo del día. Estos balanceos hicieron que el puente se ganase el apodo de **Wobbly Bridge**.(puente tambaleante)

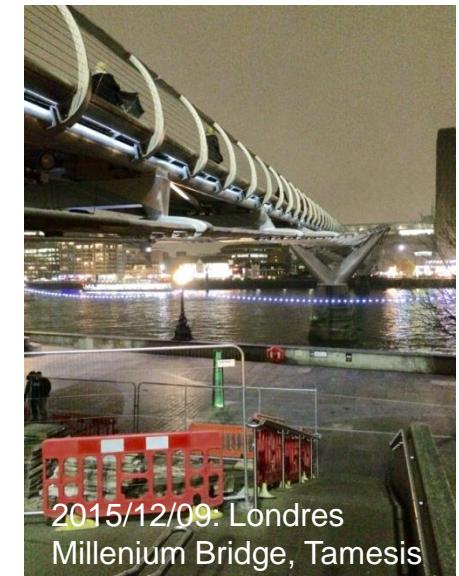


Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015



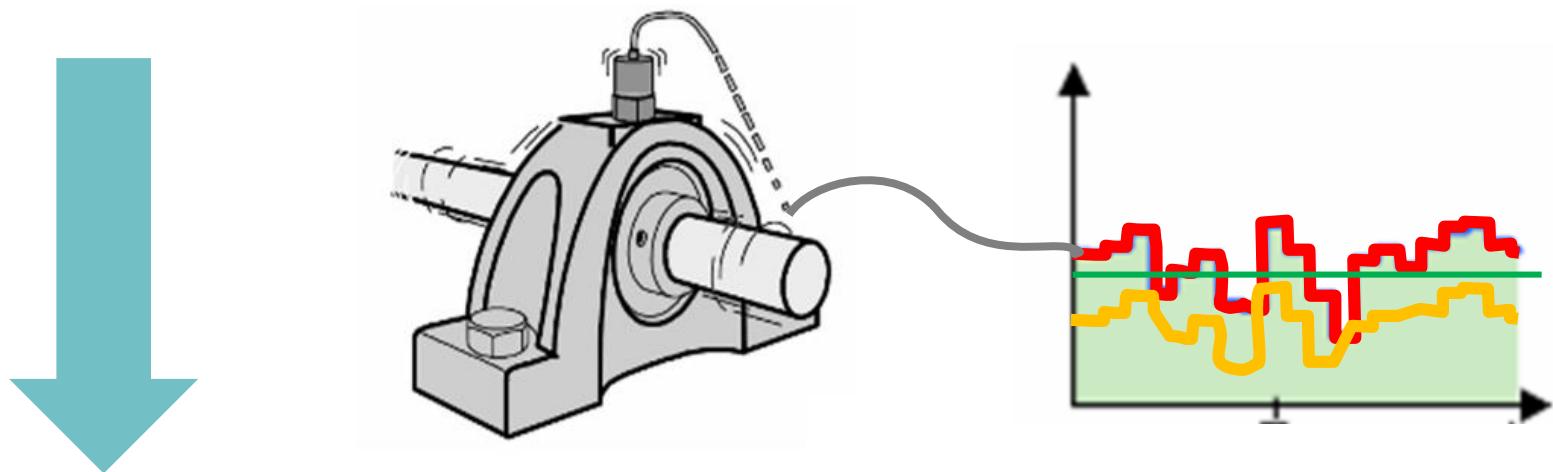
2015/12/09: Londres  
Millenium Bridge, Tamesis



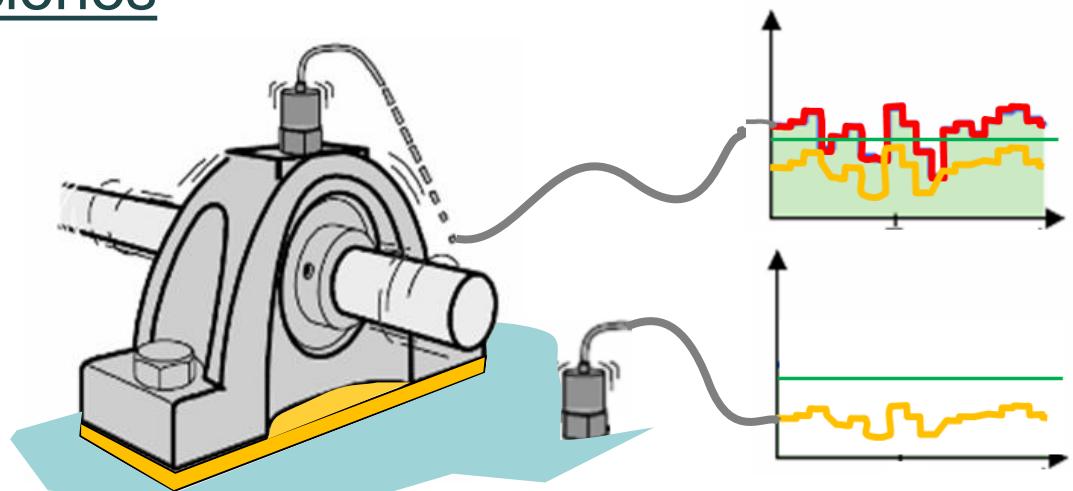
2015/12/09: Londres  
Millenium Bridge, Tamesis

## Millenium Bridge -Londres

# Control de vibraciones



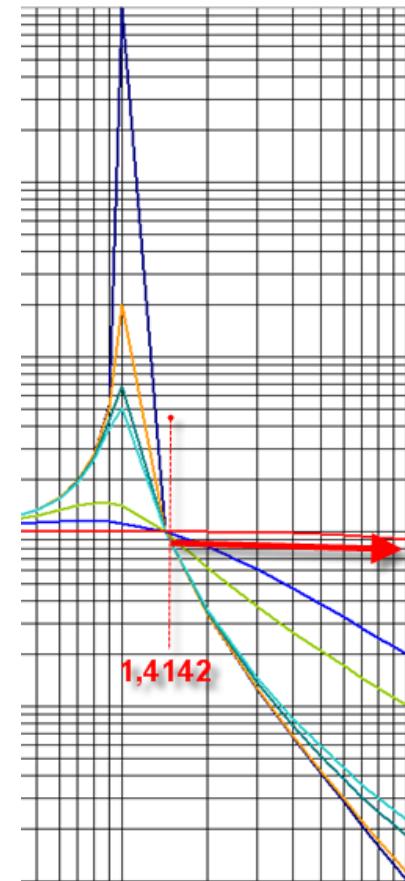
# Aislamiento de vibraciones

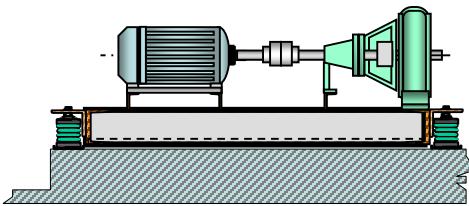


Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

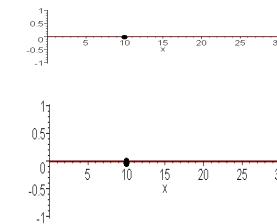
## AISLAR VIBRACIONES (reducir la Transmisión) y RUIDOS

- 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**





$$TL = 20 \cdot \log \frac{a_S}{a_E}$$

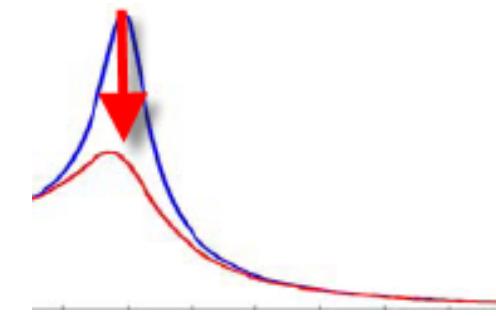


$20\log a_S - 20\log a_E < 0$  Atenuación (Negativo)

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

## 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 ( $\alpha$ ) o coeficiente de amortiguación ( $\zeta$ )**, En ambos casos “0” indicará absorción o amortiguación **nula** y 1 corresponde a la absorción o amortiguación **total (perfecta)**.



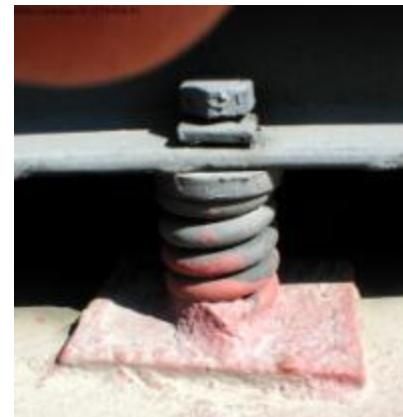
$$\alpha = \frac{\text{Energía sonora absorbida}}{\text{Energía sonora incidente}}$$

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

## EJERCICIO 1

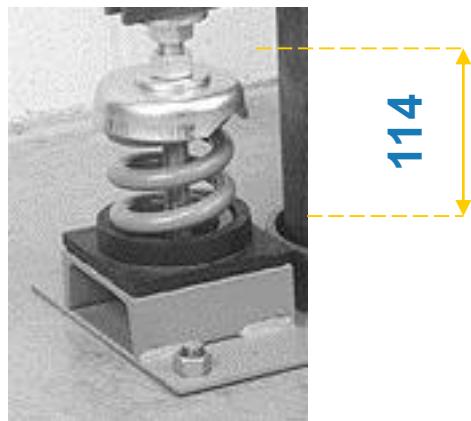
Enfriadora en planta cubierta de un edificio situado en Rbla. Catalunya nº 9 de Barcelona.

Ha estado en servicio durante 20 años y no poseen la memoria técnica de la instalación y únicamente tienen archivados algunos datos debido a actuaciones como resultado de la gestión de su mantenimiento.



# Datos facilitados

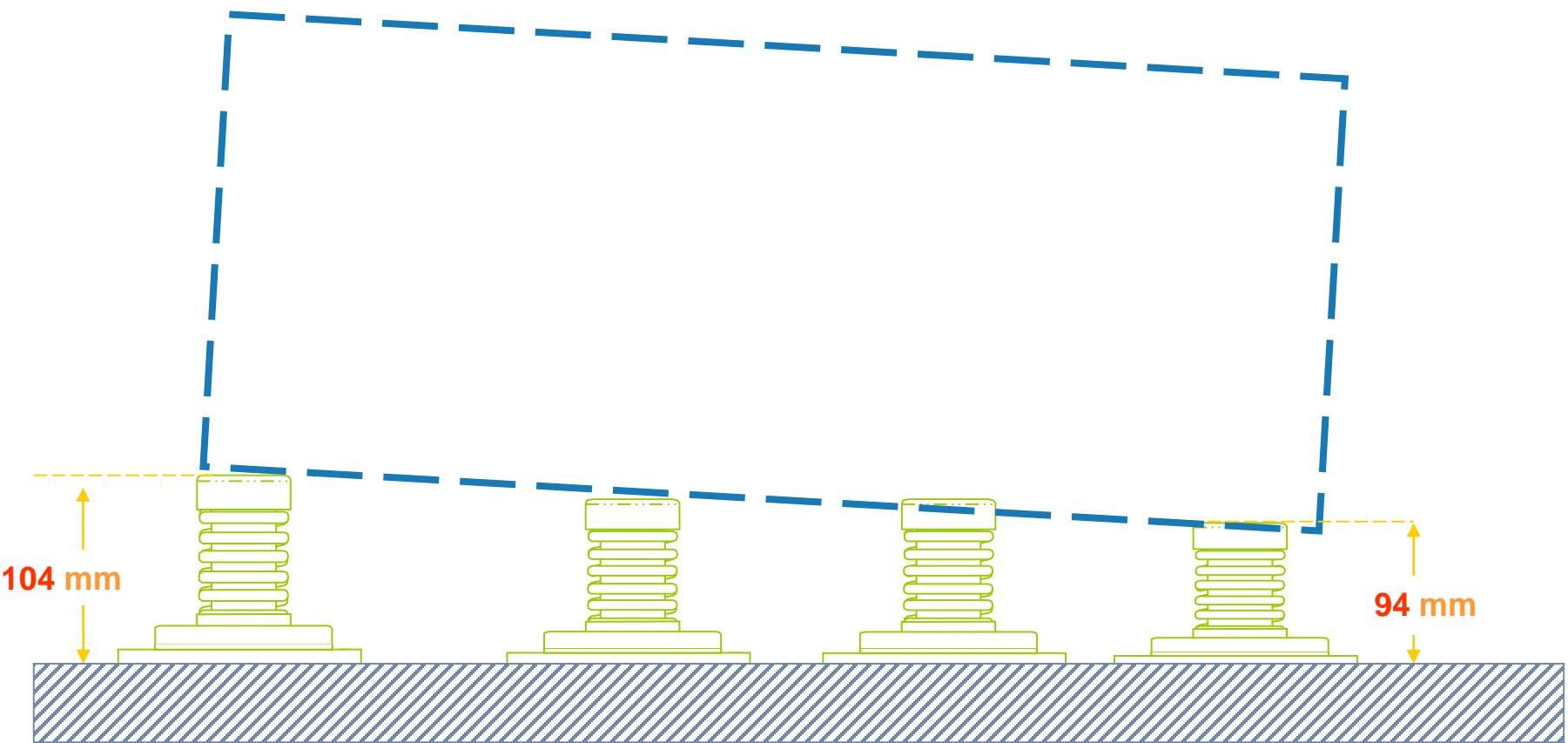
Fecha de instalación	1986
Peso de la enfriadora	Se desconoce
Motocompresores rpm al 100%	3000 rpm
Régimen de trabajo	Al 75%-100% de la corredera del compresor

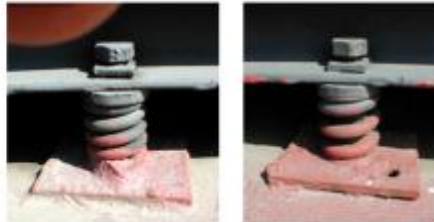


8 Aisladores montados	Marca ACME
Altura libre	114 mm
Carga mínima	500 N
Flecha mínima	5 mm.
Carga máxima	2500 N
Flecha Máxima	25 mm.

Los 8 aisladores son iguales

-En inspección ocular medimos las alturas de trabajo de los muelles (Ht).

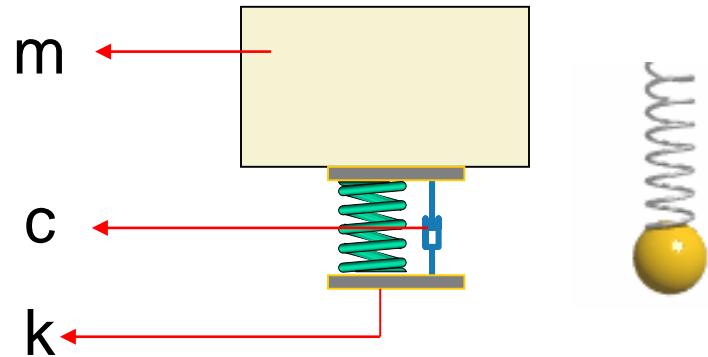




### 1.1.-¿Que tipo de sistema mecánico tengo?

Tengo un sistema mecánico MASA-MUELLE discretizado en los siguientes elementos

- M: masa del climatizador ¿simétrico?
- C: componente amortiguadora bajísima
- K: componente elástica elevada del montaje antivibratorio pero notablemente deteriorada.
- Sistema de VIBRACIÓN FORZADA a una frecuencia de 3000 rpm.
- GLD  $\approx 1$  Lin+1angular acoplado por los aisladores a diferentes alturas.



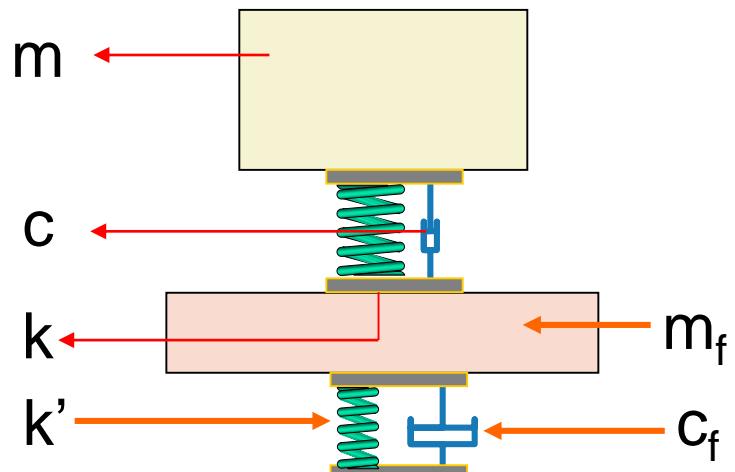


## 1.2.-¿Que tipo de sistema mecánico tengo?

Tengo un sistema mecánico MASA-MUELLE discretizado en los siguientes elementos

- M: masa del climatizador ¿simétrico?
  - C: componente amortiguadora bajísima
  - K: componente elástica elevada del montaje antivibratorio pero notablemente deteriorada.
  - Sistema de VIBRACIÓN FORZADA a una frecuencia de 3000 rpm.
- 
- mf: masa del forjado
  - K': parte elástica del forjado
  - C': componente amortiguadora alta del forjado

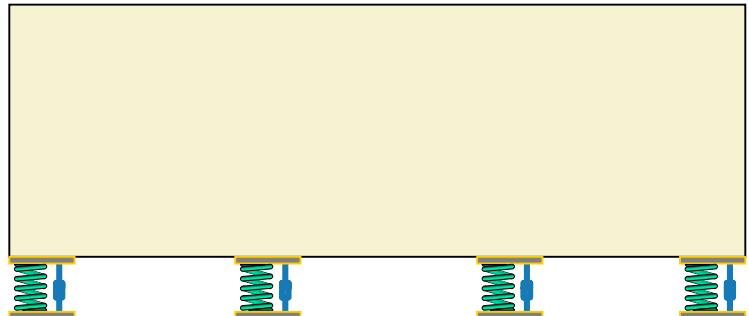
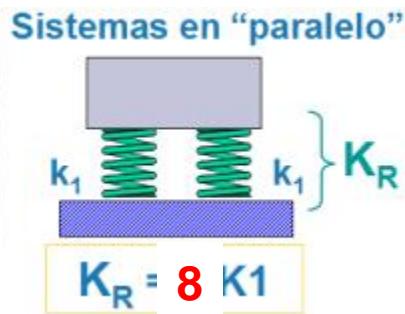
Mejor!!





### 1.3.-¿Que tipo de montaje antivibratorio tiene?

- Montaje antivibratorio formado por AISLADORES METALICOS DE MUELLE LINEAL
- Es un montaje de 8 aisladores en PARALELO





## 1.4.-Determinar la k y la $f_0$ del sistema

-1 Como son aisladores SIN AMORTIGUADOR la frecuencia Natural ( $f_0$ )será

$$\left. \begin{array}{l} \omega_0 = 2\pi f_0 \\ \omega_0 = \sqrt{k/m} \end{array} \right\} f_0 = 1/2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{F}{\delta}$$

$f_0$ :frecuencia natural [Hz]  
k:Constante del muelle [N/m]  
 $\delta$ : Flecha del muelle [m]  
F:fuerza o carga puntual sobre el muelle [N]

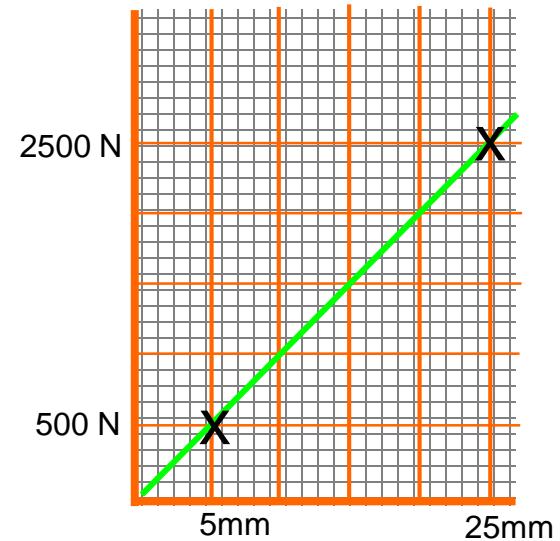
## -CALCULAMOS LA K DEL SISTEMA MASA-MUELLE.

Es un sistema lineal por tanto



114

Aislador	Marca ACME
Altura libre	114 mm
Carga mínima	500 N
Flecha mínima	5 mm.
Carga máxima	2500 N
Flecha Máxima	25 mm.



$$k = F / \rho = 500N / 0,005m = 2500N / 0,025m$$

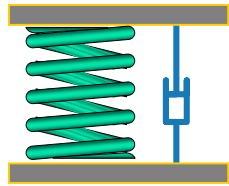
$$k = 100.000 N/m$$

-DETERMINAMOS LA  $f_0$  DEL SISTEMA MASA-MUELLE.

Por tanto utilizamos la expresión

$$\left. \begin{array}{l} \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \\ \omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \end{array} \right\} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Conocemos la  $k$ , pero NO CONOCEMOS LA  
MASA DEL CLIMATIZADOR COMO  
DETERMINARLO?



! Esta expresión solamente es aplicable para AISLADORES METÁLICOS DE MUELLE !

$$\left. \begin{array}{l} f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \\ k\delta = mg \\ \frac{k}{m} = \frac{g}{\delta} \end{array} \right\} f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}} = \frac{\sqrt{g}}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{\delta}}$$

}

$$f_0 = \frac{\sqrt{g}}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{\delta}} = \frac{0,5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

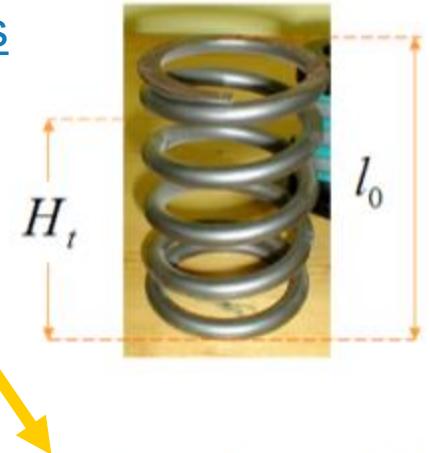
$\delta \text{ en [m]}$

-Ahora determinamos la flecha de compresión de los aisladores

Por tanto utilizamos la expresión

$$\bar{l} - H_t = \delta \Rightarrow 114\text{mm} - \frac{(104\text{mm} + 94\text{mm})}{2} = 0,015\text{m}$$

$$f_0 = \frac{0,5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

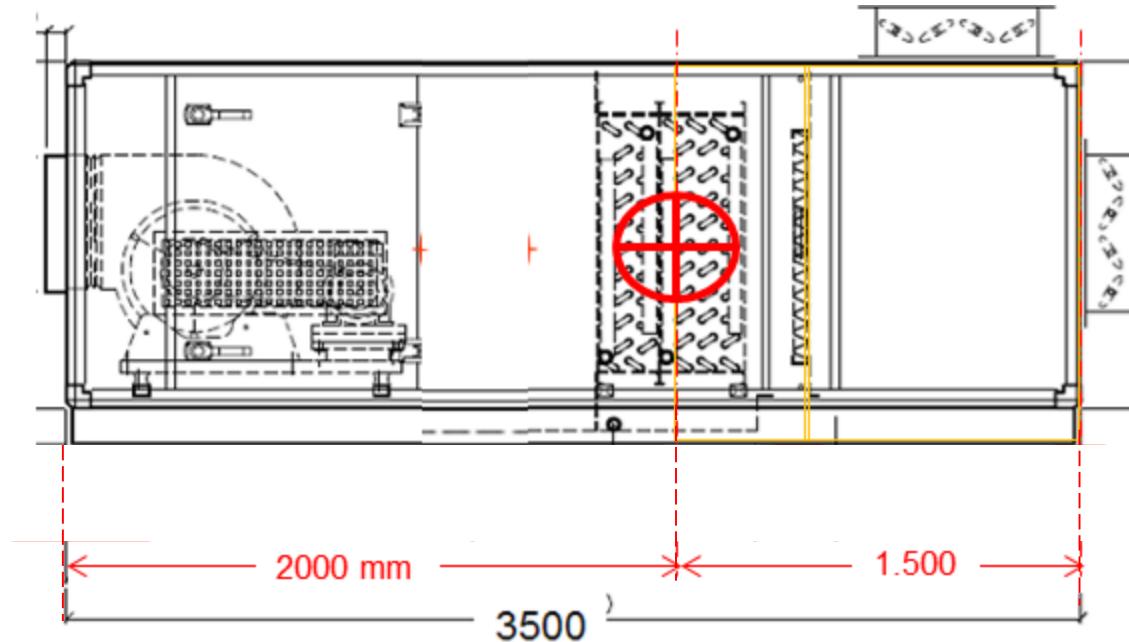


$$\delta = l_0 - H_t$$

$$f_0 = \frac{0,5}{\sqrt{0,015}} = 4 \text{ [Hz]}$$

## EJERCICIO 2

Para un climatizador EN SERVICIO y de peso total 900Kg, se opta por colocarle un montaje antivibratorio de frecuencia natural  $f_n=10\text{Hz}$ , compuesto por un sistema en paralelo de 6 muelles de igual rigidez ( $k$ ) distribuidos en la base de la máquina conociendo la situación del centro de gravedad. ¿Qué flecha y  $k$  elástica tendrán los aisladores de muelle?

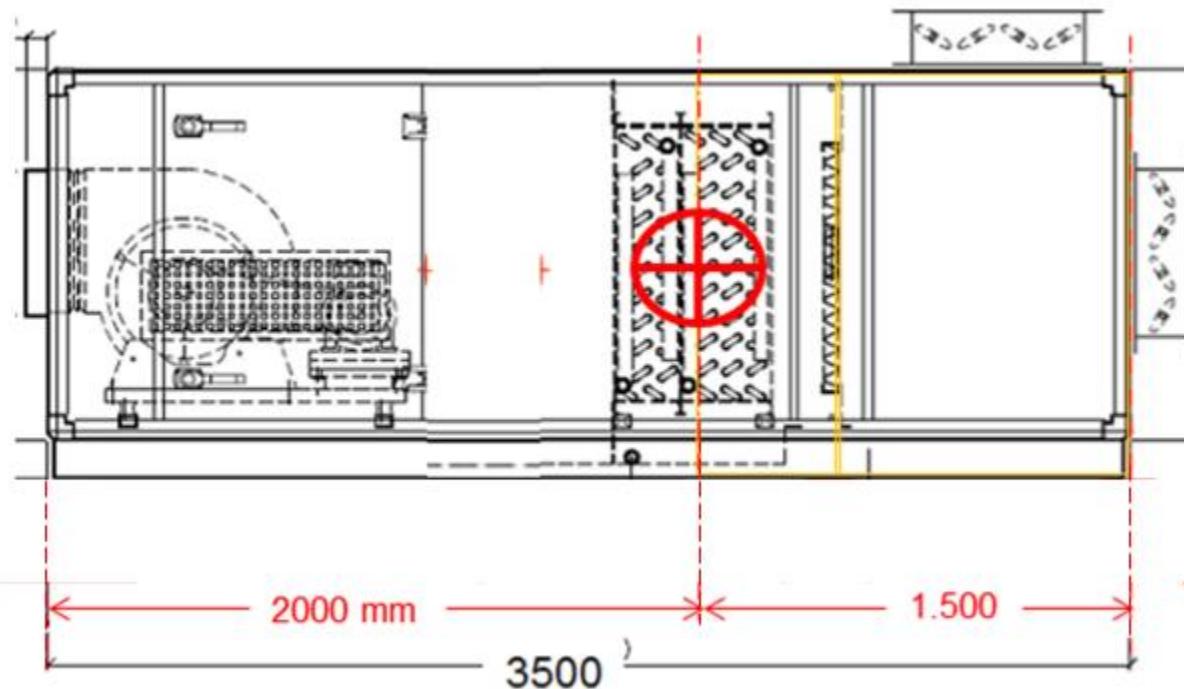


dibujo s/escala

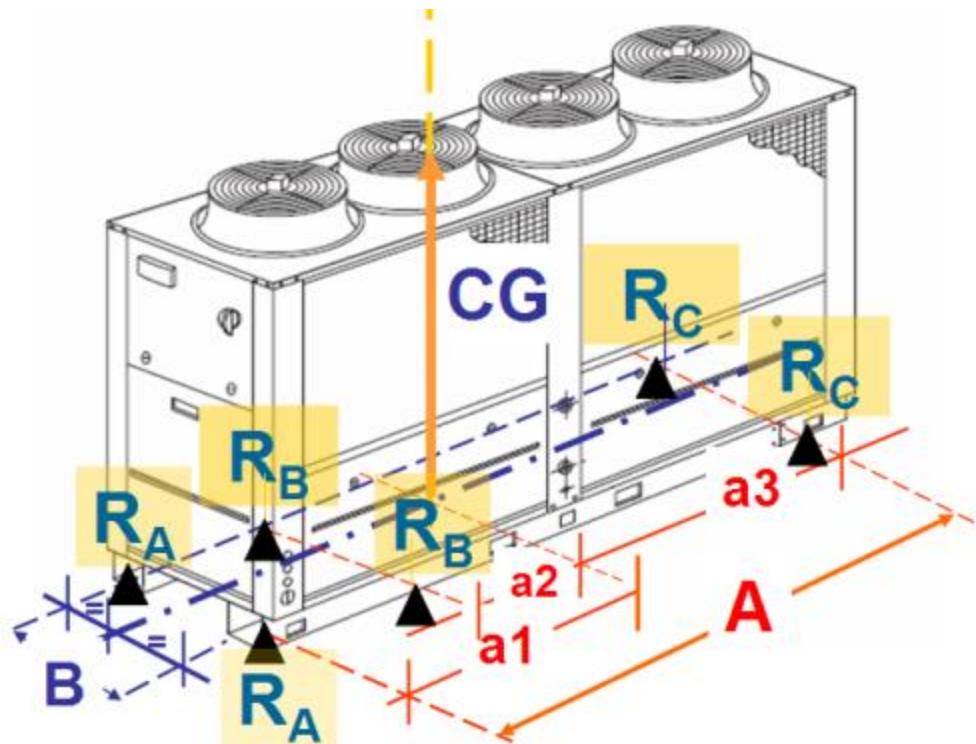
Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

Existe SIMETRIA a lo ancho (dato facilitado), pero existe ASIMETRIA a lo largo (3.500mm)

$$900\text{kg} \equiv 900\text{daN}$$



## 6 Apoyos es >3 metros de largo (s/criterio RT)



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

$$R_A = R_B = R_C = 1/6 P$$

$$MR_A + MR_B - MR_C = 0$$

$$MR_A + MR_B = MR_C$$

$$(R_A \cdot a_1) + (R_B \cdot a_2) = (R_C \cdot a_3)$$

$$R_A(a_1 + a_2) = R_A a_3$$

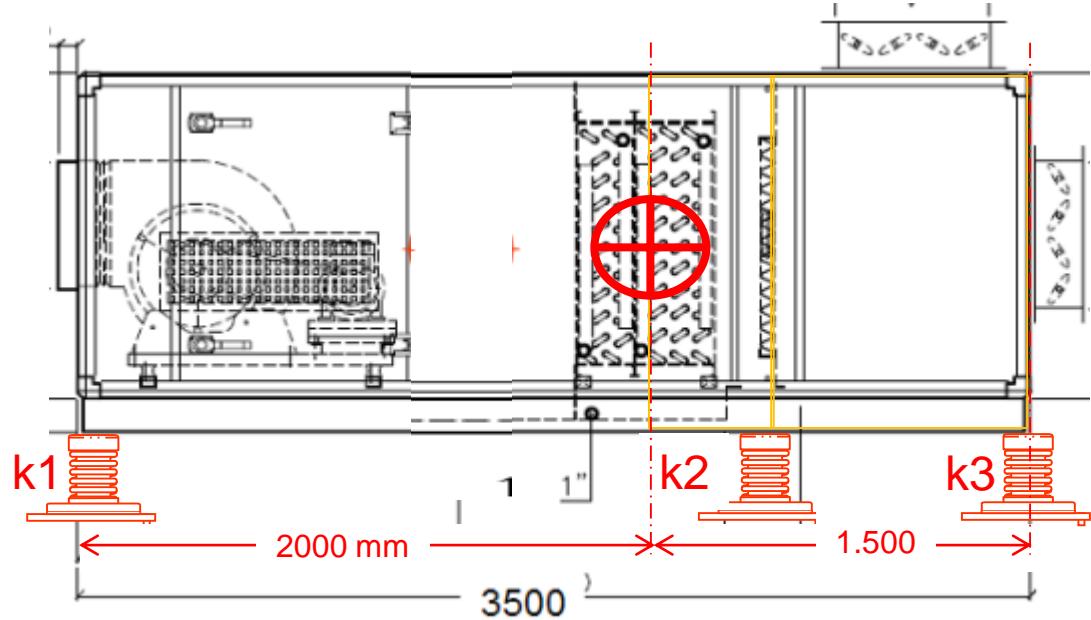
$$a_1 + a_2 = a_3$$

$$R_A = 1/6 P$$

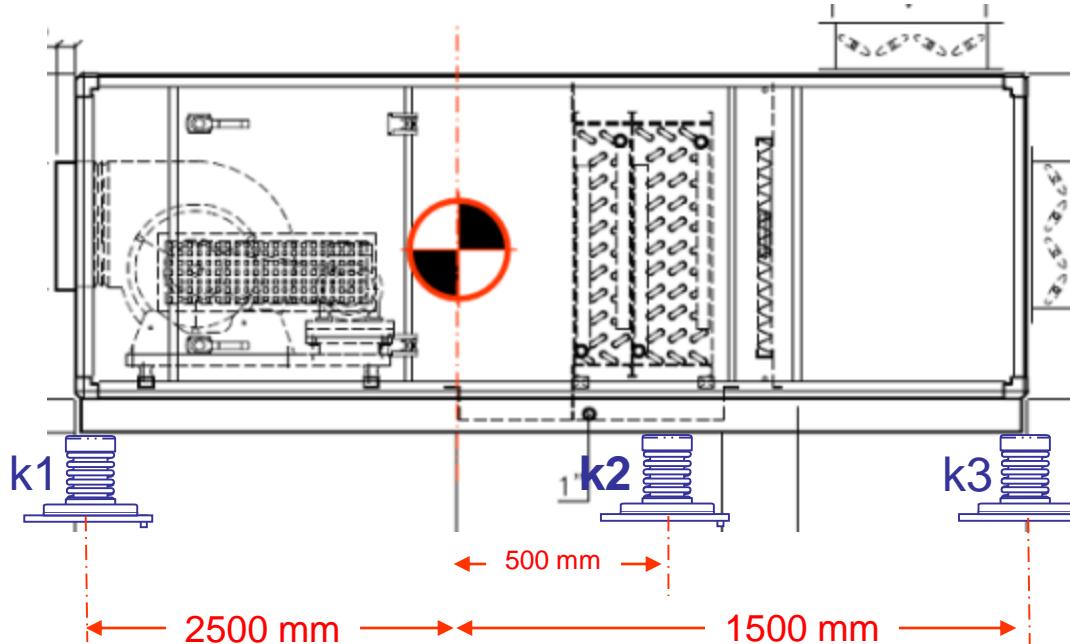
Al ser el montaje antivibratorio compuesto por 6 aisladores de muelle iguales, se colocaran 3 por lado.(3x2=6)

$$2k_1 = 2k_2 = 2k_3 = 2k$$

$$k_{\text{total}} = 6k$$



$$\left. \begin{aligned} P_1 \cdot 2000mm &= (P_2 \cdot x) + (P_3 \cdot 1500mm) \\ 2P_1 = 2P_2 = 2P_3 &= \frac{900}{6} [kg] \end{aligned} \right\} 2000 = x + 1500 \Rightarrow x = 500 [mm]$$



$$f_0 = \frac{0,5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

Para  $\delta$  en [m]

$$f_0 = \frac{15,8}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

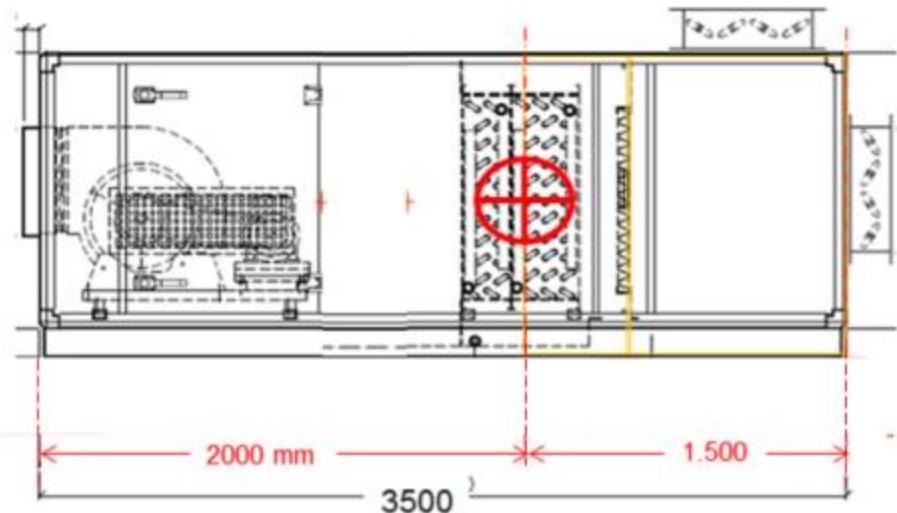
Para  $\delta$  en [mm]

$$\delta = \left( \frac{15,8}{f_n} \right)^2$$

$$\delta = \left( \frac{15,8}{10} \right)^2$$

$\delta=2,5$  [mm]

$K=150/2,5=60$  [daN/mm]



## EJERCICIO 3

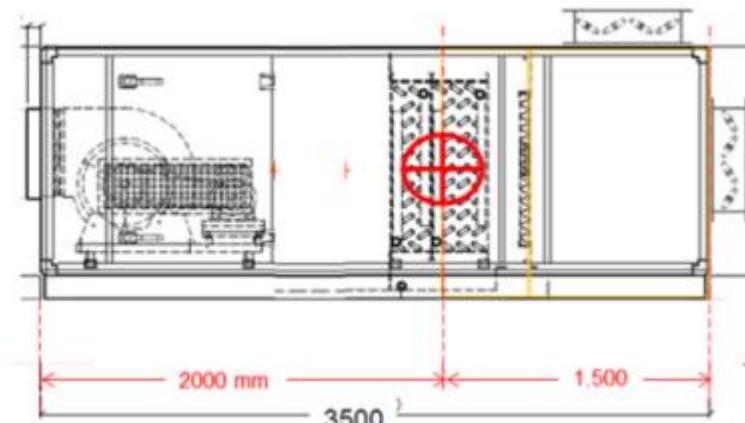
UNA VEZ COLOCADOS LOS AISLADORES DE 10Hz se observa que la máquina vibra el doble que antes de colocar los aisladores de muelle  
¿Qué ha pasado? ¿Por qué ha sucedido? ¿hay solución?

## RESPUESTAS

### 3.1 ¿Qué HA PASADO?

Ha pasado que se han colocado aisladores sin saber la frecuencia perturbadora de la máquina (rpm ventiladores climatizador).

SIEMPRE hay que averiguar cual es la frecuencia perturbadora fundamental del equipo, si no nos dan el dato hay que averiguarlo (luz estroboscópica\*,etc)



La luz estroboscópica es propia de los TACÓMETROS para proyectan un haz de luz a una frecuencia determinada mediante un variador. El haz de luz proyectado sobre el eje de un motor, permite determinar las rpm del motor cuando al variar la frecuencia de la luz estroboscópica se visualice que el eje del motor se para aparentemente. Esta situación se produce cuando la frecuencia proyectada del haz de luz coincide con las rpm del motor.

Por tanto un TACÓMETRO es un dispositivo que mide la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Los tacómetros se utilizan en mecánica para el mantenimiento de motores.

## RESPUESTAS

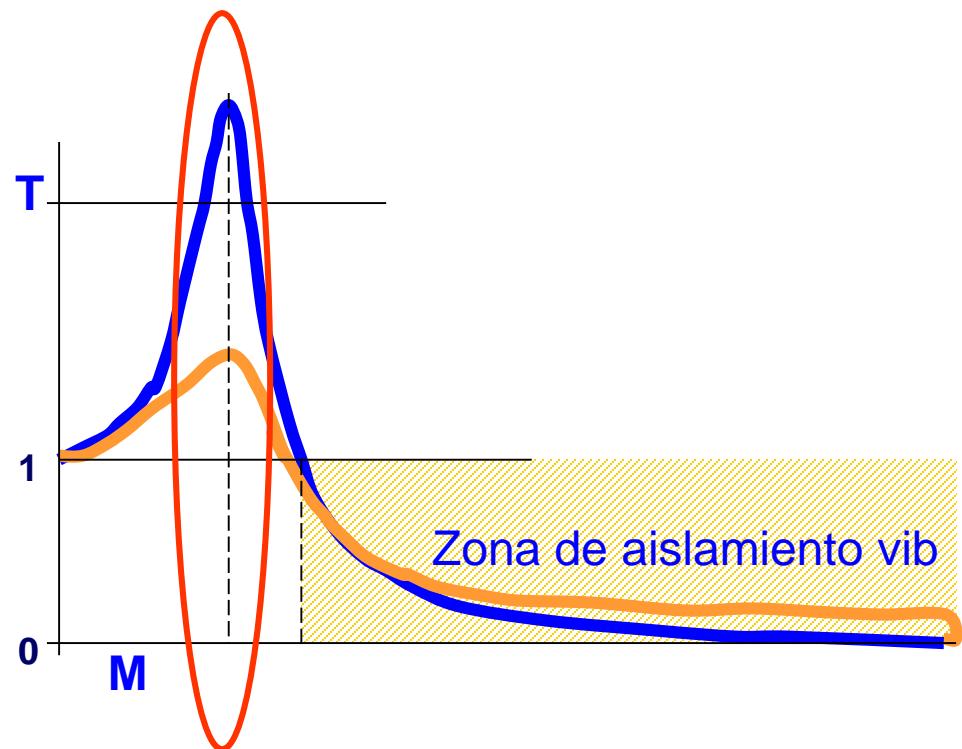
### 3.1- ¿Por qué ha pasado?

Ha pasado que el sistema masa-muelle ha entrado en resonancia debido a que ha coincidido con la frecuencia perturbadora fundamental del climatizador, que en este caso son las rpm del ventilador de 600 rpm (600 rpm/60=10Hz)

$$\rho = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{2\pi f}{2\pi f_0} = \frac{f}{f_0}$$

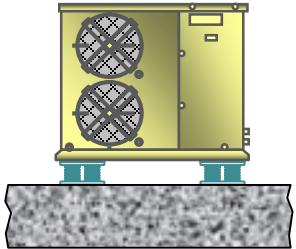
$$M = \frac{f}{f_0} = \frac{10}{10} = 1$$

RESONANCIA

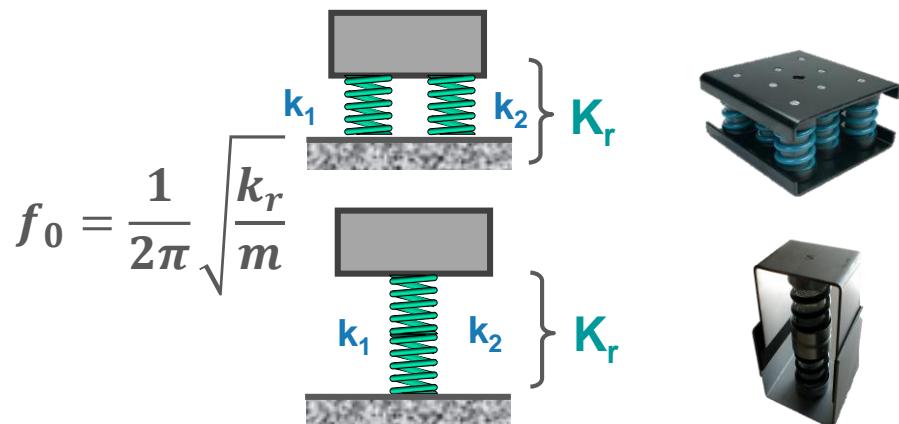
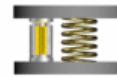


# Cálculo analítico del TL (log)

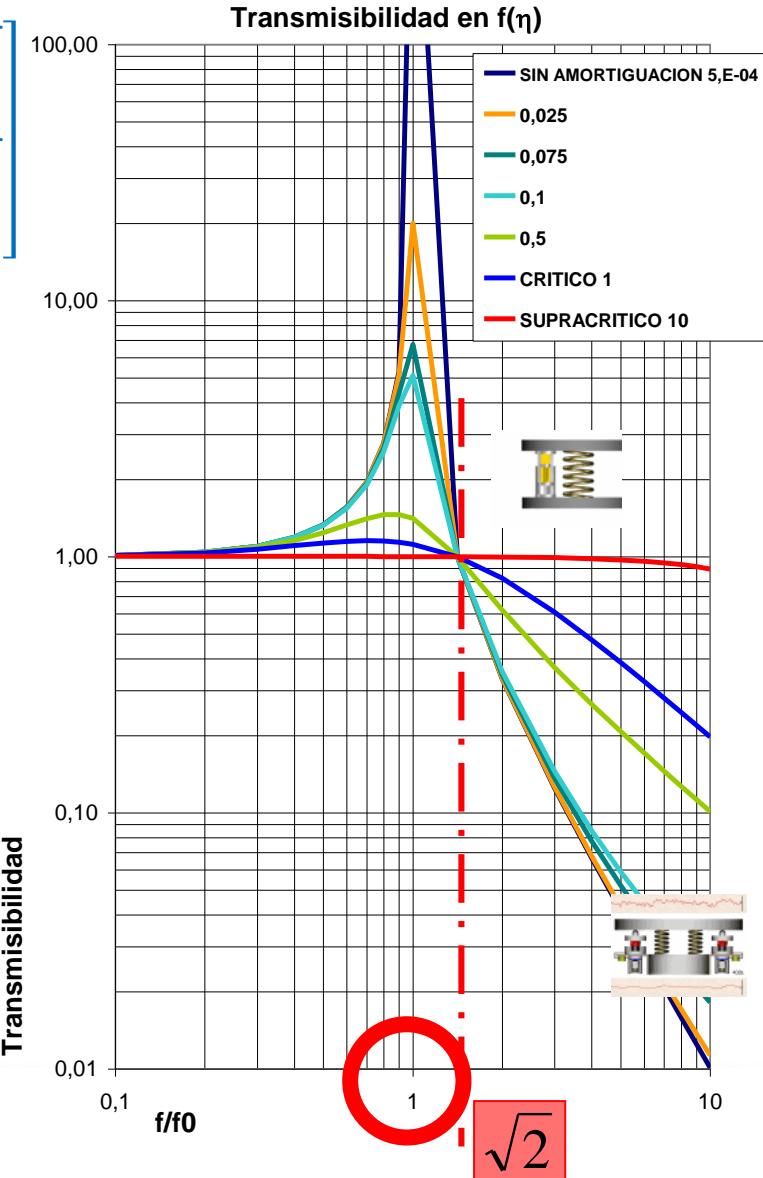
MA directo



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

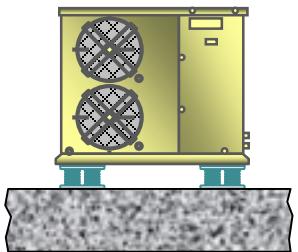


Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015



# Cálculo analítico del TL(lineal)

MA directo



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

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

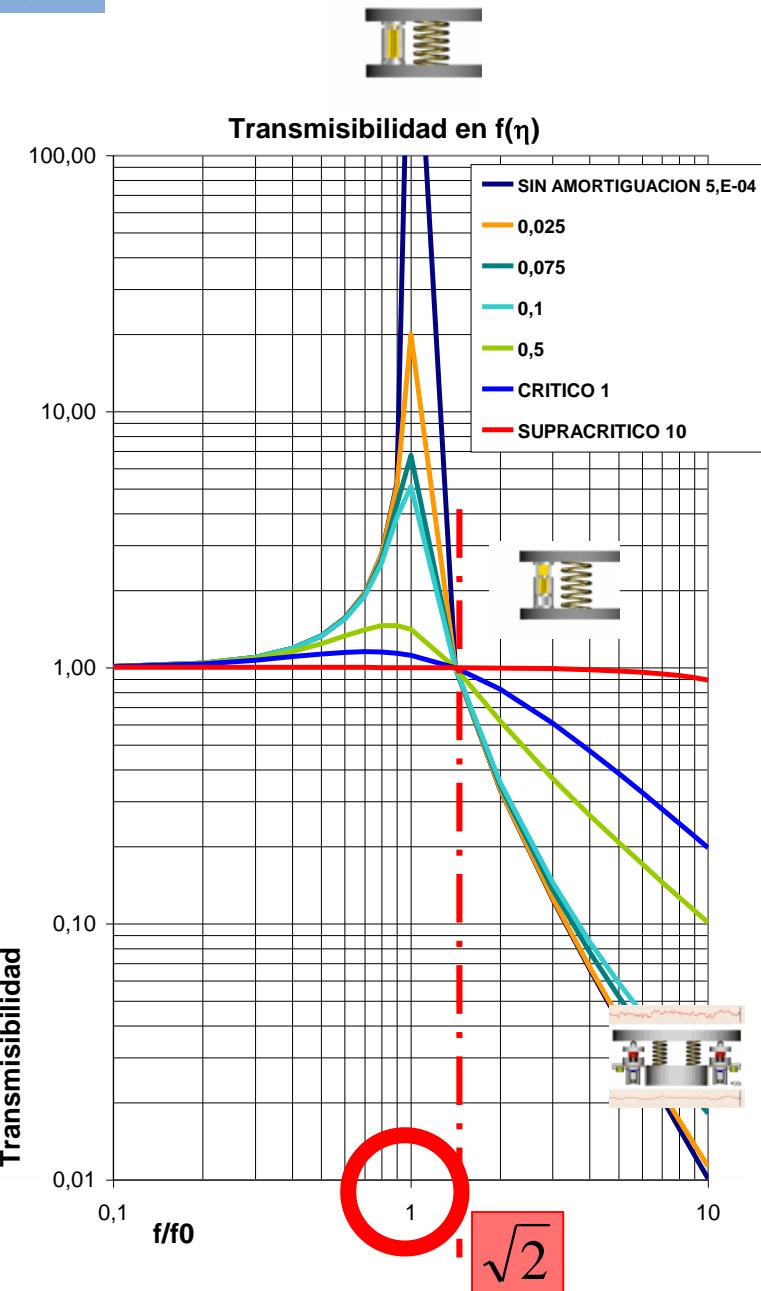
Como el aislamiento es el inverso de la transmisibilidad

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

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

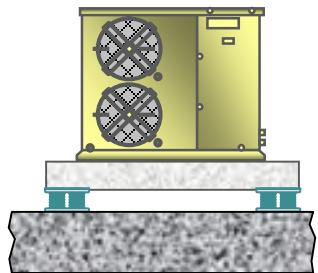
TL (Transmisión Loss y FT( transmisibilidad) son lo mismo

Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015



# Cálculo analítico del TL con bancada

MA c/ bancada



$$F = a \cdot m$$

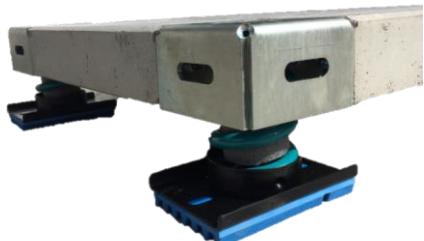
$$F = y(t)\omega^2 m$$

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

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

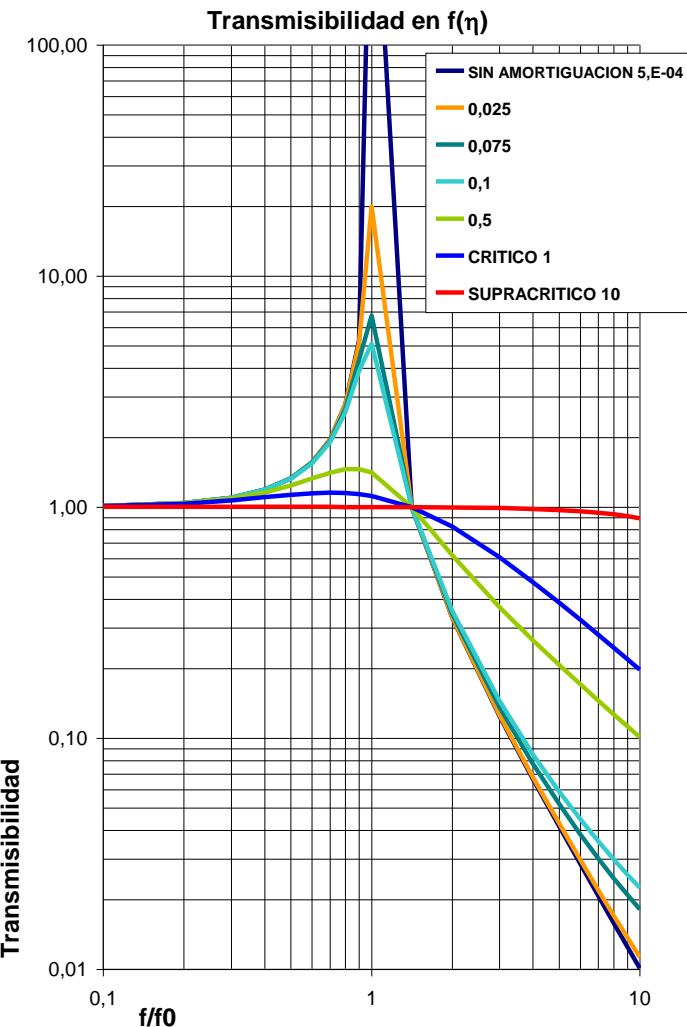


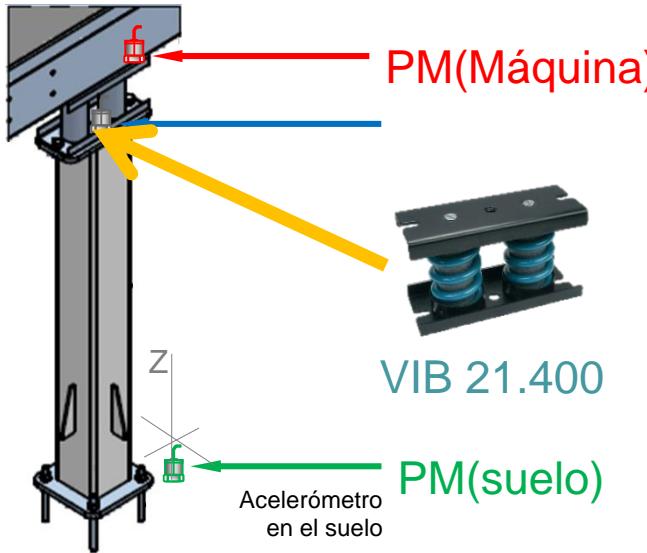
Bancada modular Pte: Jesús Uriol



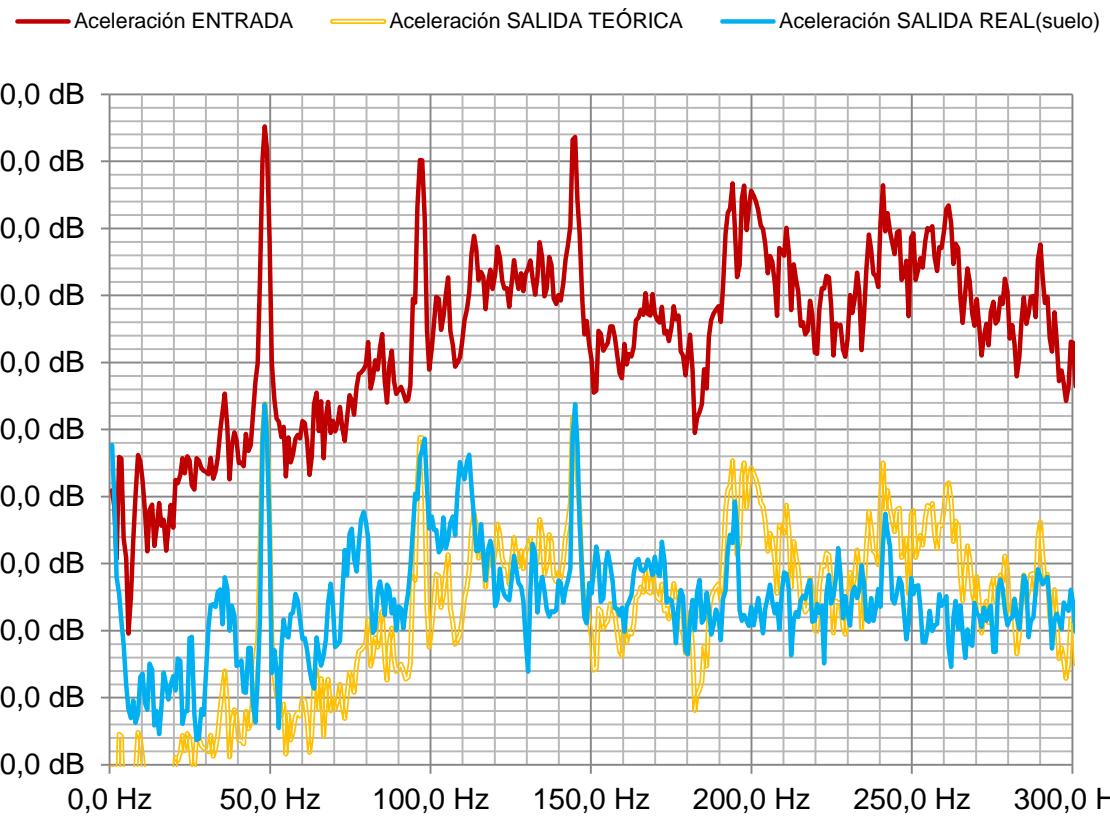
Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015





PE-ADEL43960415



Atenuación vibratoria  
Teórica

**-41,4dB**

Atenuación vibratoria  
Real

**-41,9 dB**

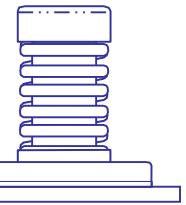
Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

# RESPUESTAS

## 3.2- ¿Por qué HA SUCEDIDO?

'NO HA SEGUIDO LA HOJA DE RUTA CONVENIENTE .

Cuando hay transmisión de vibraciones hay que realizar la siguiente hoja de ruta aplicable para montajes antivibratorios formados por aisladores de muelle:



1. Ver que tipo de maquina es (dime como funciona y te diré como vibras):si es equipo de clima, grupo electrógeno.etc
2. Averiguar su régimen de trabajo (rpm) en condiciones normales y a mínimo régimen (la máquinas molestan cuando funcionan)
3. Conocer su peso y localizar su centro de gravedad (CG)
4. Establecer el nº de apoyos en función de la situación del CG: con 4 apoyos, 6 apoyos, etc. En caso de no conocer el dato del CG recomendable colocar 6 apoyos como mínimo. (4 en los vértices y 2 a cada lado del largo de la máquina más o menos donde recaiga la zona de mayor peso).
5. Conocer a donde se coloca la máquina: tipo de edificación a donde se colocará (viviendas, recinto público, hospital, fábrica, local comercial, etc). Averiguar su ubicación si se coloca encima de un forjado en la planta cubierta, entreplantas o bien en el sótano
6. Del punto anterior (5) tenemos que ir a la tabla QUE RELACIONA GRADO DE AISLAMIENTO en función del USO o TIPO DE EDIFICACIÓN.

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

# RESPUESTAS

## 3.2- ¿Por qué HA SUCEDIDO?

7. Conocido el grado de aislamiento podemos determinar la MODULACIÓN (M) despejando de la expresión:
8. Seguidamente conocido el valor de la modulación podremos conocer la frecuencia natural ( $f_0$ ) del montaje antivibratorio puesto que sabemos la frecuencia de funcionamiento de la máquina ya visto en el anterior punto 2. La frecuencia de la máquina es la denominada frecuencia perturbadora ( $f_p$ ).
9. Ahora ya sabemos la frecuencia natural requerida que ha de tener el montaje antivibratorio ( $f_0$ ). Por tanto la incógnita que nos falta por determinar será la deflexión estática o flecha que ha detener el montaje antivibratorio formado por aisladores de muelle ( $\delta$ ).

$$G = \frac{M^2 - 2}{M^2 - 1}$$

$$M = \frac{f_p}{f_0}$$

$$f_0 = \frac{0,5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

Para  $\delta$  en [m]

$$f_0 = \frac{15,8}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

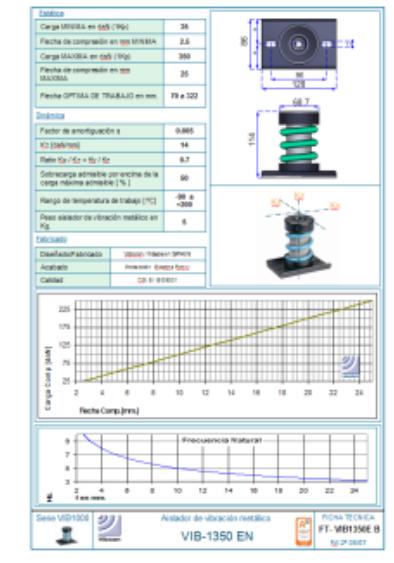
Para  $\delta$  en [mm]

La respuesta a este apartado 3.2 se puede responder ahora. No podemos empezar la casa por el tejado fijando un montaje antivibratorio directamente de 10Hz, cuando para determinarlo se necesitan conocer y calcular otros datos técnicos imprescindibles para una correcta selección tal como se está viendo en esta hoja de ruta.

# RESPUESTAS

## 3.2- ¿Por qué HA SUCEDIDO?:

10. Determinada la deflexión estática o flecha del montaje antivibratorio, deberemos localizar un producto del mercado que cumpla estos requisitos .ner el montaje antivibratorio ( $f_0$ ).
11. Por lo general los fabricantes dan gráficos de carga&flecha o deflexión estática expresado en kg/mm o bien en daN /mm (es lo más propio). El ejercicio 3 trata este aspecto.



**IMPORTANTE:** tal como se indicaba al principio, esta hoja de ruta con las fórmulas expuestas sirve para montajes antivibratorios SIN AMORTIGUACIÓN, es decir para máquinas que trabajan con valores bajos de amplitud de vibración (<0,1mm). Para motores de combustión interna y equipos que generen amplitudes importantes se han de utilizar los apuntes dados de vibraciones forzadas puesto que se ha de determinar el coeficiente de amortiguación necesario.

## RESPUESTAS

### 3.3.- ¿Hay solución?

SI!!!. Ahora aplicamos adecuadamente la HOJA DE RUTA CITADA ANTERIORMENTE. ☺

¿CUÁL?

hay que diseñar un montaje antivibratorio con frecuencia natural más baja (sistema muelle blando) para obtener una frecuencia natural más baja.

PREGUNTAMOS A LA PROPIEDAD PARA QUE NOS FACILITEN MÁS DATOS Y NOS DICEN SOLAMENTE QUE EL CLIMATIZADOR ESTÁ SITUADO EN UNA CUBIERTA DE UN HOSPITAL.



Acordarse criterio Arau/RT



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

Acordarse criterio Arau/RT

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

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{1}{|1-M^2|} = \frac{1}{M^2 - 1}$$

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

$$G\% = \frac{M^2 - 2}{M^2 - 1} \times 100$$



$$M = \sqrt{\frac{2 - G}{1 - G}}$$

$$M = 4,58$$

Por tanto la MODULACIÓN ha de ser del orden mínimo de 4,58. Es decir que la frecuencia natural del sistema antivibratorio ha de ser 4,58 veces MAS PEQUEÑO que la frecuencia perturbadora del climatizador ( $F_p=600\text{rpm}=10\text{Hz}$ )

$$M = 4,58$$

$$f_0 = \frac{15,76}{\sqrt{\delta}}$$

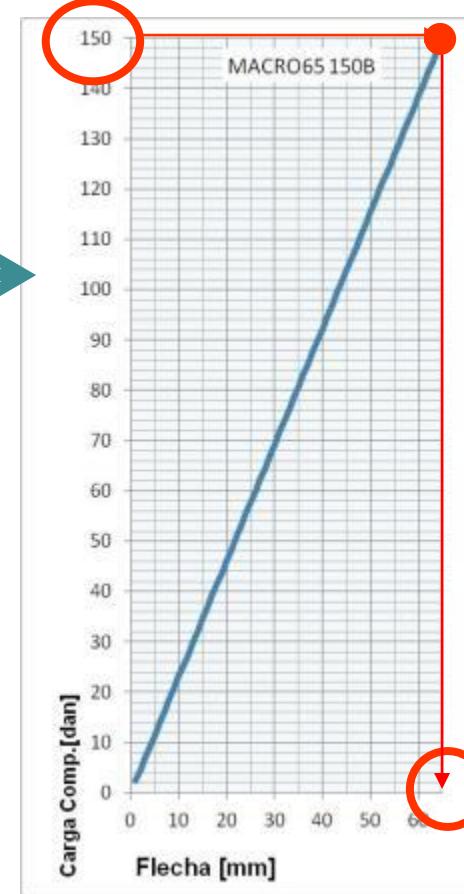
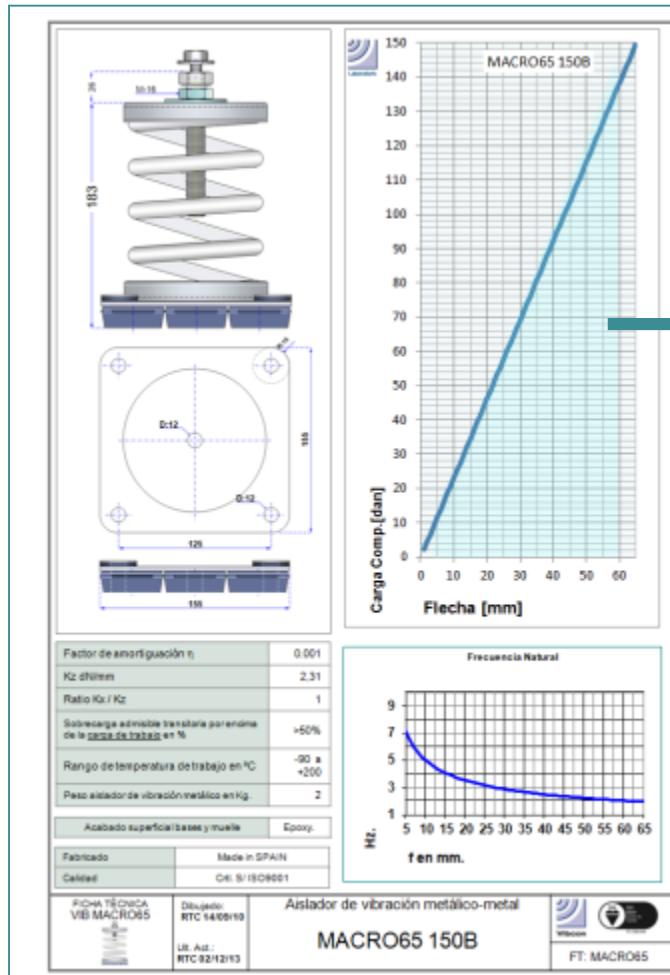
$$M = \frac{f_p}{f_0} = \frac{f_p}{15,8} = \frac{f_p \cdot \sqrt{\delta}}{15,8}$$

$$4,58 = \frac{10\sqrt{\delta}}{15,8}$$

Con esto sabremos la flecha del montaje antivibratorio, es decir cuantos se han de comprimir los muelles para la cubierta de una Hospital

$$\delta = 52mm$$

Ahora buscaremos aisladores de la marca X, que para una carga puntual de 150 se compriman 52 mm



**IMPORTANTE:** SE HA CALCULADO LA DEFLEXIÓN ESTÁTICA MÍNIMA!!!! Que ha de tener el montaje antivibratorio. Por tanto si un fabricante tiene un producto que se comprime más que el mínimo calculado mucho mejor. En este caso el fabricante X consigue para una carga de 150kg una deflexión o flecha de 65 mm!!!

- EJERCICIO 4:
  - Climatizador de 800Kg repartido en 4 apoyos simétricos
  - Motor 1500 rpm
  - Ventilador 700 rpm
- 
- a) Seleccionar el montaje antivibratorio para obtener un grado de aislamiento del 90%
  - b) Reajustar el sistema reutilizando el mismo montaje antivibratorio al saber que se va a colocar un variador de frecuencia para que el ventilador gire a 400 rpm.

- EJERCICIO 4:Climatizador de 800Kg repartido en 4 apoyos simétricos

- Motor 1500 rpm
- Ventilador 700 rpm



a) Seleccionar el montaje antivibratorio para obtener un grado de aislamiento del 90%

$$G = \frac{M^2 - 2}{M^2 - 1} \longrightarrow M = \sqrt{\frac{2 - G}{1 - G}}$$

$$\begin{aligned} G &= \frac{M^2 - 2}{M^2 - 1} \\ G(M^2 - 1) &= M^2 - 2 \\ GM^2 - G &= M^2 - 2 \\ GM^2 - M^2 &= G - 2 \\ M^2(G - 1) &= (G - 2) \end{aligned}$$

$$M = \sqrt{\frac{2 - 0,9}{1 - 0,9}}$$

$$\boxed{M = 3,3}$$

$$M^2 = \frac{2 - G}{1 - G}$$

- EJERCICIO 4:Climatizador de 800Kg repartido en 4 apoyos simétricos

- Motor 1500 rpm
- Ventilador 700 rpm



- b) Seleccionar el montaje antivibratorio para obtener un grado de aislamiento del 90%

$$M = 3,3$$

$$M = \frac{f_p}{f_0} = \frac{f_p}{15,8} = \frac{f_p \cdot \sqrt{\delta}}{\sqrt{\delta_0}}$$

$$\delta = \left( \frac{15.8M}{f_p} \right)^2$$

$$f_p = \frac{700 \text{ rpm}}{60} = 11,66 \text{ Hz}$$

$$\delta = 20 \text{ mm}$$

- EJERCICIO 4:Climatizador de 800Kg repartido en 4 apoyos simétricos

- Climatizador de 1.000Kg
- Motor 1500 rpm
- Ventilador 700 rpm

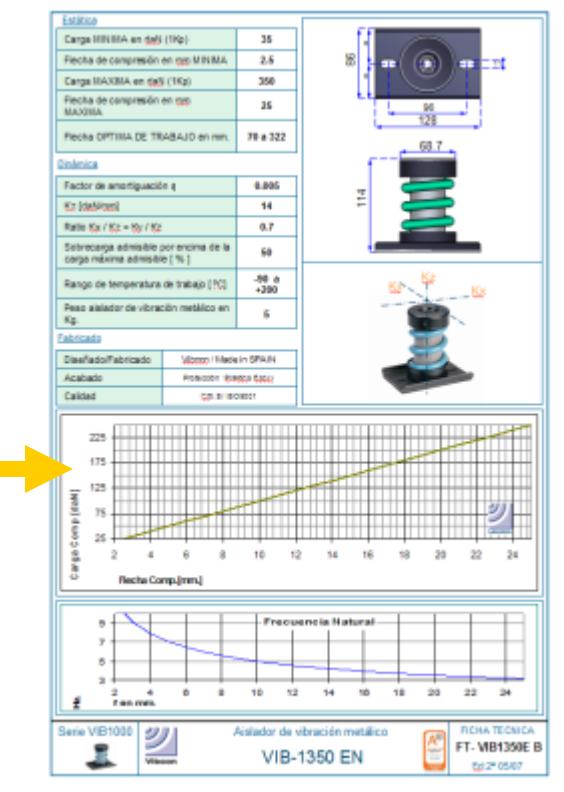


- c) Seleccionar el montaje antivibratorio para obtener un grado de aislamiento del 90%

Ahora busco unos aisladores de la marca X, que satisfagan las siguientes condiciones:

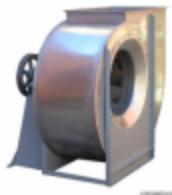
- Carga puntual por apoyo 250Kg (800/4)
- Aisladores metálicos de muelle
- Flecha de compresión

$$\delta = 20mm$$



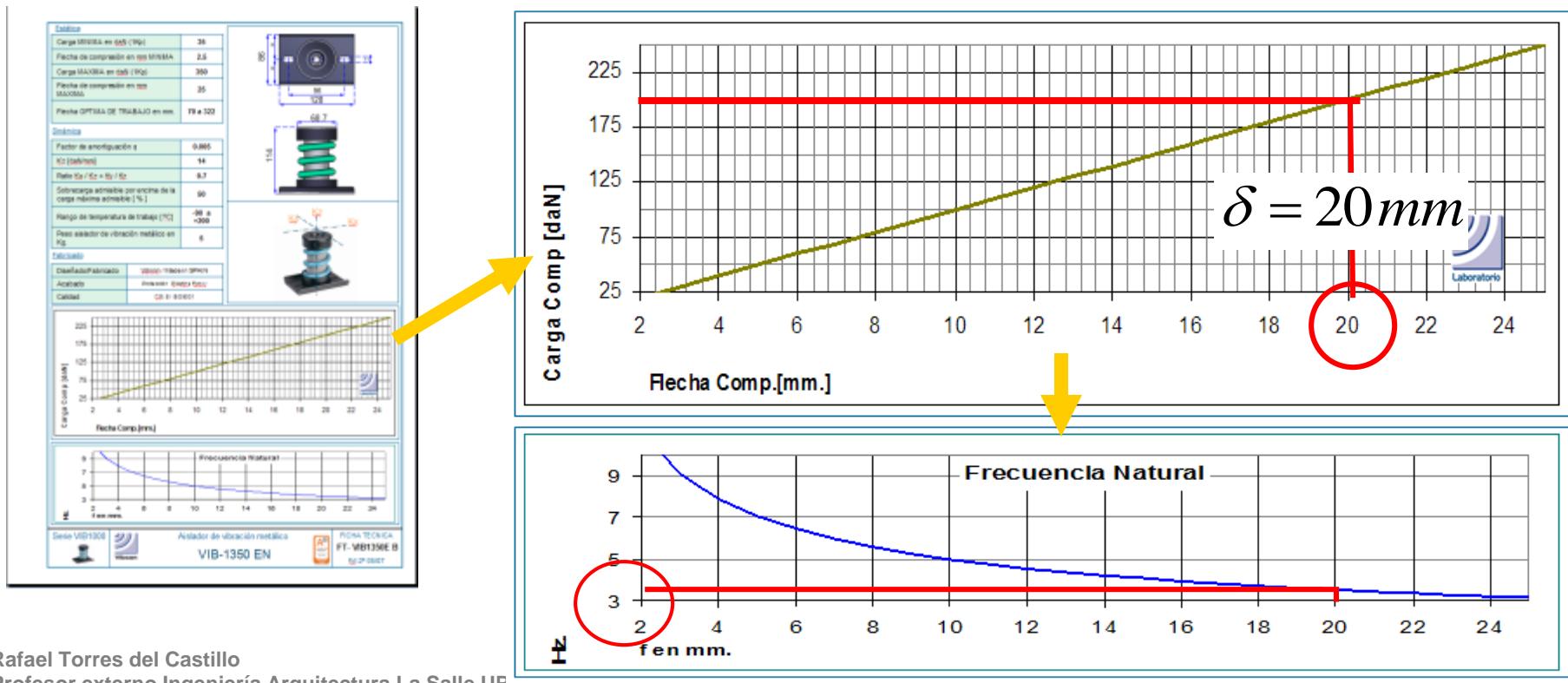
•EJERCICIO 4:Climatizador de 800Kg repartido en 4 apoyos simétricos

- Climatizador de 1.000Kg
- Motor 1500 rpm
- Ventilador 700 rpm



- c) Seleccionar el montaje antivibratorio para obtener un grado de aislamiento del 90%

Una vez conocida la flecha mínima a la cual los aisladores se han de comprimir he de buscar en el cata



Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle UR

Lu. 15. 05/05/2015

•EJERCICIO 5: Reajustar el sistema reutilizando el mismo montaje antivibratorio al saber que se va a colocar un variador de frecuencia para que el ventilador gire a 400 rpm.

- Climatizador de 1.000Kg
- Motor 1500 rpm
- Ventilador 700 rpm → Pasa a 400 rpm



$$f_p = \frac{700 \text{ rpm}}{60} = 11,66 \text{ Hz} \longrightarrow f_{pv} = \frac{400 \text{ rpm}}{60} = 6,66 \text{ Hz}$$

Esto lo debéis calcular vosotros

Utilizar montaje en serie

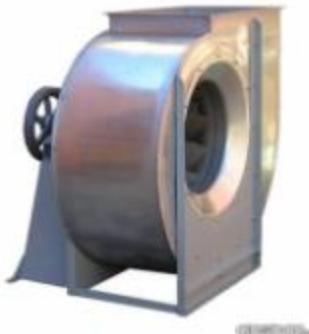
•EJERCICIO 5: Reajustar el sistema reutilizando el mismo montaje antivibratorio al saber que se va a colocar un variador de frecuencia para que el ventilador gire a 400 rpm.

•Climatizador de 1.000Kg

•Motor 1500 rpm

•Ventilador 700 rpm

$$\xrightarrow{\text{Pasa a 400 rpm}} f_p = \frac{700\text{rpm}}{60} = 11,66\text{Hz} \quad \xrightarrow{} f_{pv} = \frac{400\text{rpm}}{60} = 6,66\text{Hz}$$



Tenemos como datos ya calculados:

1. La modulación que para un grado de aislamiento del 90% es de

$$\longrightarrow M = 3,3$$

2. La frecuencia perturbadora ahora ( $f_p$ ) es de

$$f_{pv} = \frac{400\text{rpm}}{60} = 6,66\text{Hz}$$

2. La frecuencia natural  $f_0$  será por tanto:

$$M = \frac{f_p}{f_0} = \frac{f_p}{\sqrt{\delta_0}} = \frac{f_p \cdot \sqrt{\delta}}{15,8}$$

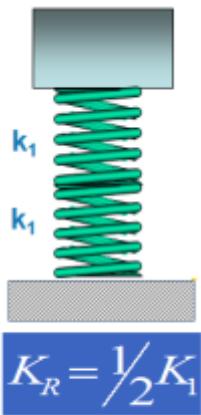
$$\delta = \left( \frac{15,8M}{f_p} \right)^2$$

$$\longrightarrow \delta = 62\text{mm}$$

## •EJERCICIO 5

Por tanto si debemos utilizar los mismos modelos, deberemos obligatoriamente hacer un MONTAJE EN SERIE.

Este tipo de montaje se caracteriza por que su la flecha total ( $\delta_R$ ) es igual a la suma de los aisladores a colocar siempre y cuando tengan la misma constante elástica  $K \rightarrow K_R=1/nK$



$$\delta_1 = 25mm$$

$$\delta_R = 2,5\delta_1 = \boxed{3\delta_1}$$

$$\delta_R = 2\delta_1$$

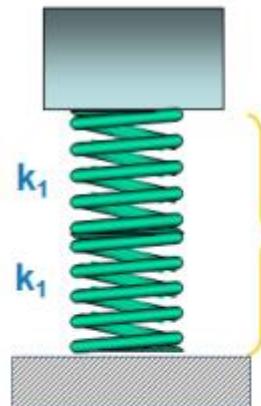
SE NECESITARÁ UN MONTAJE EN SERIE COMPUESTO POR 3 AISLADORES DE MUELLE



Sistema en serie formado por 2 aisladores de muelle.



Sistema en serie formado por 4 aisladores de muelle. En este caso se requería una flecha total de 90 mm



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

$$\delta_R = 2\delta_1$$



Sistema en serie formado por 4 aisladores de muelle. En este caso se requería una flecha total de 90 mm

Los montaje en serie en resumen, formado por dos aisladores son los más frecuentes.

Realizar con más aisladores se han de proteger con un blindaje exterior

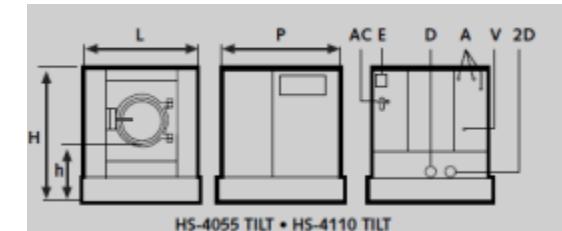
ED12:14/02/2013  
Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Vibraciones Mecánicas La Salle URL

## •EJERCICIO 6: Diseñar el montaje antivibratorio para una lavadora industrial.

MODELO		HS-4055 STAT
Capacidad	kg 1/10	57
Ø Bombo	mm	1080
Longitud bombo	mm	621
Volumen bombo	dm <sup>3</sup>	569
Peso neto	kg	1850
Peso bruto	kg	2130
Altura H	mm	1900
Anchura L	mm	1550
Profundidad P	mm	1450
Base puerta al suelo h	mm	908
Vel. de lavado	r.p.m	12-35
Vel. centrifugado	r.p.m	800
Factor G		387
Ø Desagüe D	(mm) inch.	(75) 3
Ø Agua A	(mm) inch.	(25,4) 1
Ø Vapor V	(mm) inch.	(19) 3/4
Potencia motor	kVA	7,4
Calefacción eléct.	kW	33
Dimensiones con embalaje LxPxH	mm	1690x1590 x2160

### PLANTEAMIENTO

1. En estos casos se ha de conocer la carga dinámica que la lavadora genera en su fase de mayor vibración:fase de centrifugado.
2. Por tanto la carga total a considerar de la lavadora será = al peso de la lavadora+ carga de ropa + agua +carga dinámica en fase de centrifugado (Fc)
3. Para determinar la carga dinámica se solicita al fabricante que excentricidad produce el bombo de la lavadora y las revoluciones de la misma.
4. En estos caso se ha de diseñar una bancada con una masa igual o superior a la carga total de la lavadora (estático+dinámico) para así reducir la amplitud a la mitad. (ver apuntes de sistemas de montajes antivibratorios)



LAVADORA	Peso	carga	total ESTÁTICA
Girgau HS-4055	1.850 Kg	55 Kg	1.905 Kg



Diámetro bombo (D)	rpm	Carga dinámica (Fc)
0,7 m	800,0 m	2.757 daN

(m) Carga de ropa

$$e\% = \frac{x}{D} \cdot 100$$

(e) excentricidad=10%

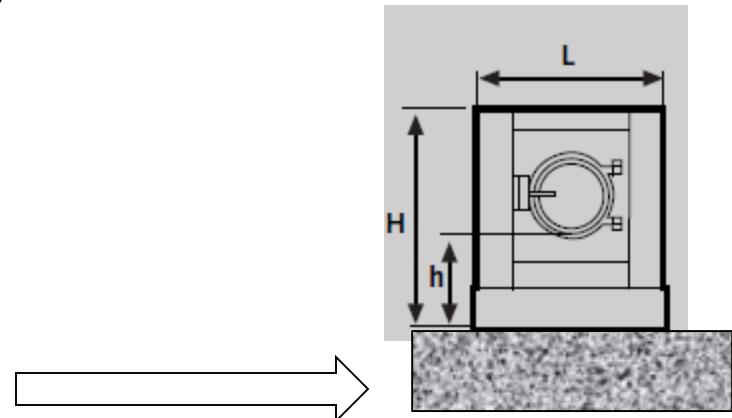
$$F_c = m \cdot e \cdot \omega^2$$

$$\omega = 2\pi f$$

Velocidad angular de giro de la lavadora

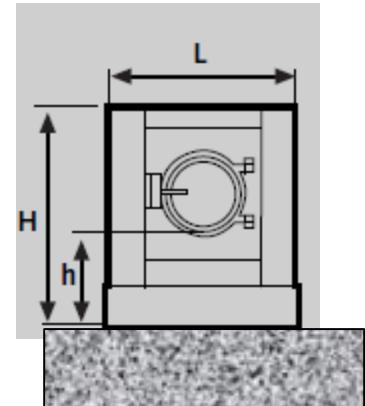
Dimensionado de la bancada:  
dos veces el peso estático y dinámico de la lavadora

L (largo)	A (ancho)	Superficie	Espesor	Peso bancada
3,0 m	8,0 m	24,0 m <sup>2</sup>	0,10 m	5.520 Kg



Por tanto la carga total será suma de:

total ESTÁTICA	+	Carga dinámica ( $F_c$ )	+	Peso bancada
1.905 Kg		2.757 daN		5.520 Kg



A partir de ahora se ha de diseñar un montaje antivibratorio pero con amortiguación.

Para ello utilizar los apuntes de TRANSMISIBILIDAD (Vibraciones forzadas).

# Buena suerte compañeros!!!!!!

*Buenas  
vibraciones*



[rafa@vibcon.es](mailto:rafa@vibcon.es)

Rafael Torres del Castillo  
Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

•EJERCICIO 5: Reajustar el sistema reutilizando el mismo montaje antivibratorio al saber que se va a colocar un variador de frecuencia para que el ventilador gire a 400 rpm.

R.Torres Vibcon ®



Sistema en serie formado por 2 aisladores de muelle.

R.Torres Vibcon ®



R.Torres Vibcon ®

Sistema en serie formado por 4 aisladores de muelle. En este caso se requería una flecha total de 90 mm

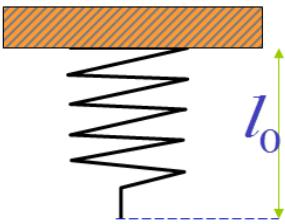
VOLTAJE: es el trabajo requerido para mover una carga positiva de 1 coulomb de un extremo del terminal a otro a través de un dispositivo.

CORRIENTE: es la rapidez con que una carga positiva se mueve desde un punto a otro en una dirección específica.

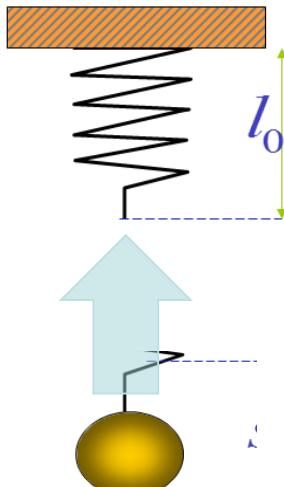
En resumen: el voltaje es la energía necesaria para llegar a un punto y la corriente es (por así decirlo) la fuerza que mueve esa energía. Por esta razón es que la corriente es mas peligrosa que el voltaje.

Ahora bien, cuando se conectan baterías en serie lo que se hace es aumentar el voltaje de un circuito eléctrico, pero si estas mismas baterías se conectan el paralelo se logrará aumentar la corriente (que se mide en amperios)

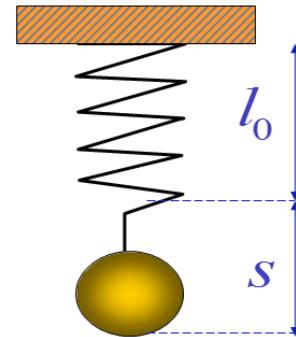
Si se tienen 2 baterías de 12V y 0,5 amp cada una y se conectan en serie se tendrá un circuito de 24V y 0,5 amp; si se conectan estas mismas baterías en paralelo se tendrá un circuito de 12V y 1amp.



$$F = -k\delta$$

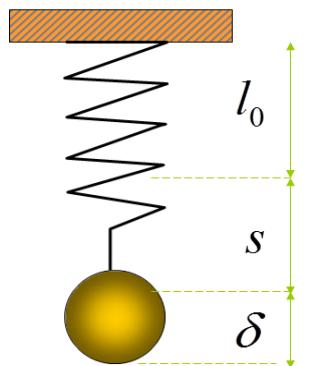
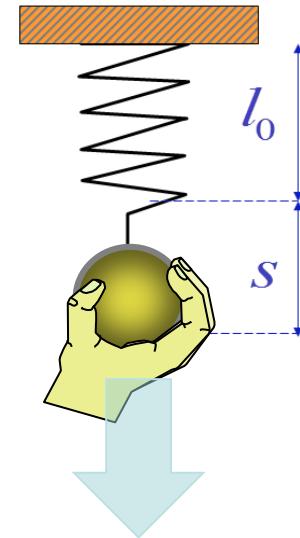


$$P = mg$$



$$P = mg$$

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



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

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

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

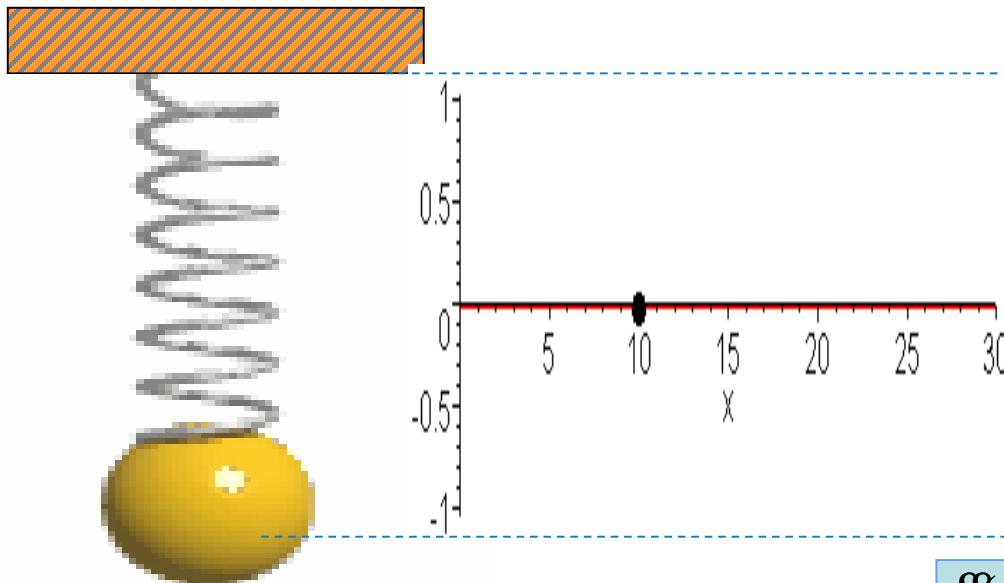
$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}\delta$$

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

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

$$f = 1/T$$

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



$$m\ddot{x}(t) = -kx(t)$$

$$\begin{aligned} \ddot{x}(t) &= A\varpi_0^2 \cos(\varpi_0 t + \varphi) \\ x(t) &= A \sin(\varpi_0 t + \varphi) \\ -mA\varpi^2 \sin(\varpi_0 t + \varphi) &= -kA \sin(\varpi_0 t + \varphi) \\ -mA\varpi^2 &= -kA \end{aligned}$$

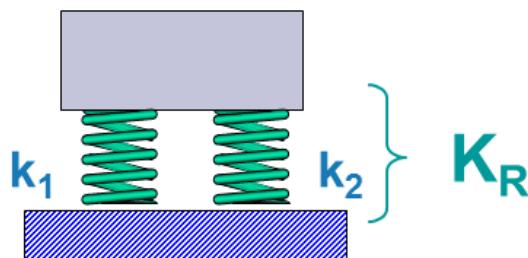
$$\varpi^2 = \frac{k}{m}$$

Ref:Apuntes Rafa 12/08/2010

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015

## Sistema mecánico en paralelo



$$F_1 = K_1 \cdot \delta$$

$$F_2 = K_2 \cdot \delta$$

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



## Sistema mecánico en serie

$$F = K_1 \cdot \delta_1$$

$$F = K_2 \cdot \delta_2$$

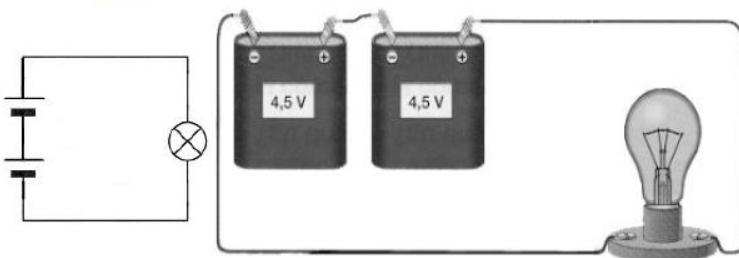
$$\delta_R = \delta_1 + \delta_2 = \frac{F}{K_1} + \frac{F}{K_2} = F \left( \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \right)$$

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

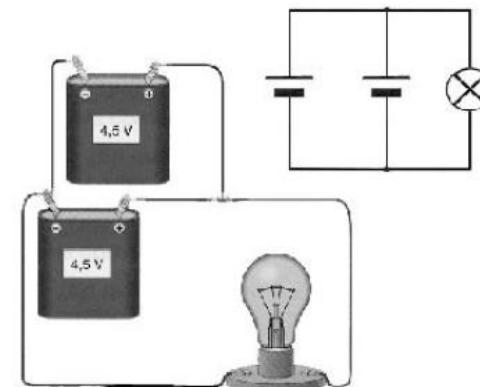
$$K_R = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2}$$

## Sistema eléctrico de baterías en serie

Por ejemplo, en el circuito de la figura, cada pila de petaca da una tensión de 4,5 V; con las dos en serie se estará aplicando a la lámpara una tensión de 9 V.



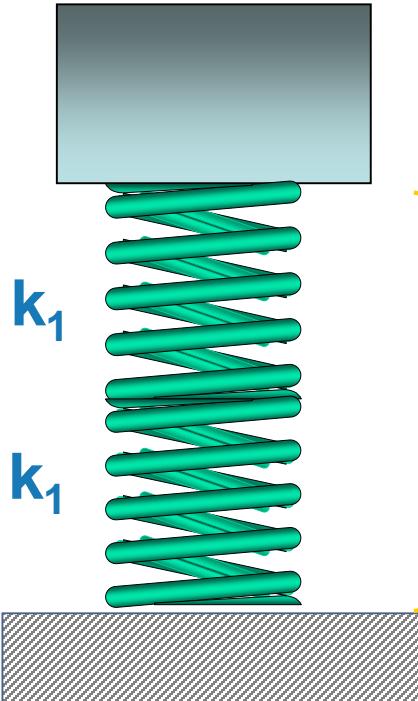
## Sistema eléctrico de baterías en paralelo



Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/

La **tensión** que proporciona el **conjunto** es la **misma** que la que proporciona **una sola pila**. La **corriente** que **suministra** el conjunto **se la reparten entre las pilas**. O sea, cada pila da menos corriente, por lo que durará más.



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

$$\delta_R = 2\delta_1$$



Sistema en serie formado por 4 aisladores de muelle. En este caso se requería una flecha total de 90 mm

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot x + c \cdot \frac{dx}{dt} = F(t)$$

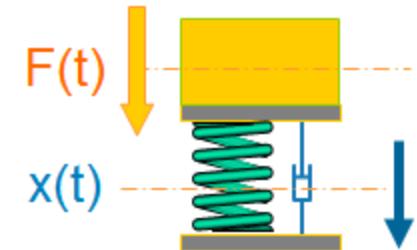
$$F(t) = F_0 \cdot \operatorname{sen}(\varpi \cdot t + \varphi)$$



$$H(\rho) = \frac{x_0}{F} = \frac{1/K}{\sqrt{(1-\rho^2)^2 + (2\rho)^2}}$$

Ref: Centre Comercial  
Espais(Girona)2006

$$H(\rho) = \frac{x_0}{F}$$



### Relación CAUSA -EFFECTO

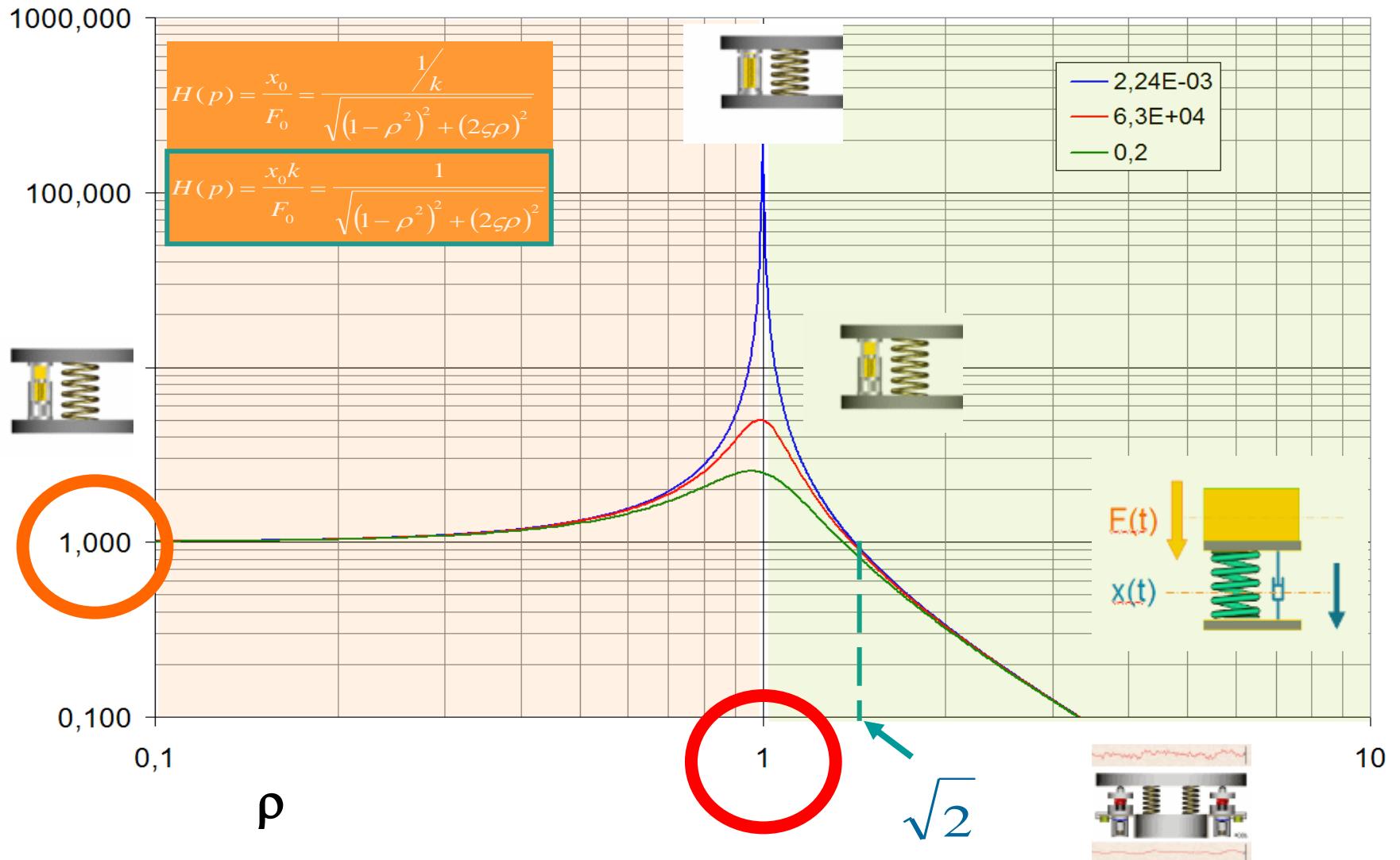
Efecto  $x(t)$

Causa  $F(t)$

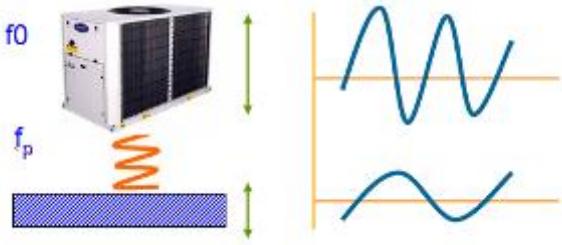
### Relación INPUT -OUTPUT

señal de SALIDA (OUTPUT)

señal de ENTRADA (INPUT)



Rafael Torres del Castillo  
 Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015



$$F(t) = F_0 \operatorname{sen}(2\pi f_t)$$

$$F(t) = F_t \operatorname{sen}(2\pi f_t + \phi)$$

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta\rho)^2}}{\sqrt{(1 - \rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

$$FT = \frac{F_t}{F_0} \left( \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \right)$$

- $FT > 1 \Rightarrow$  Amplificación (ko)
- $FT = 1 \Rightarrow$  Trasnmisibilidad total (ko)
- $FT < 1 \Rightarrow$  Transmisibilidad baja (ok)
- $FT = 0 \Rightarrow$  Trasnmisibilidad nula (ideal)

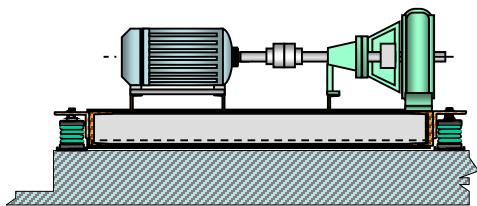
$F_0$ : Fuerza dinámica perturbadora (excitatrix)

$F_T$ : Fuerza transmitida al suelo

FT: Transmisibilidad de la fuerza.



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



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

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

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta\rho)^2}}{\sqrt{(1 - \rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

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

$$\rho = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{2\pi f}{2\pi f_0} = \frac{f}{f_0} \Rightarrow M = \frac{f}{f_0} \text{ Modulación}$$

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

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta\rho)^2}}{\sqrt{(1 - \rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

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

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

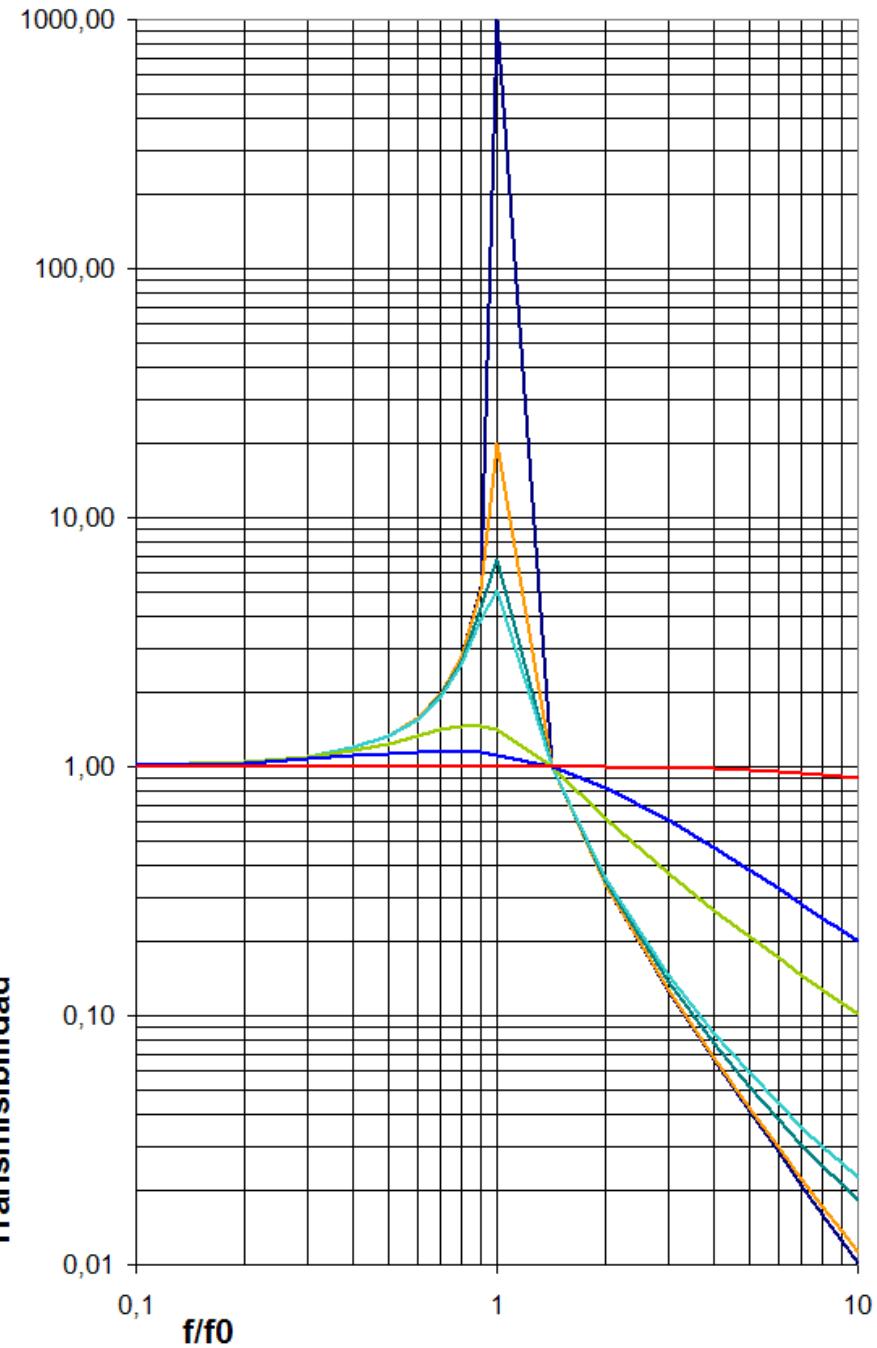
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

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

$$\rho = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{2\pi f}{2\pi f_0} = \frac{f}{f_0} \Rightarrow M = \frac{f}{f_0} \text{ Modulación}$$

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

### Transmisibilidad en $f(\eta)$



$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta\rho)^2}}{\sqrt{(1 - \rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

- SIN AMORTIGUACION 5,E-04
- 0,025
- 0,075
- 0,1
- 0,5
- CRITICO 1
- SUPRACRITICO 10

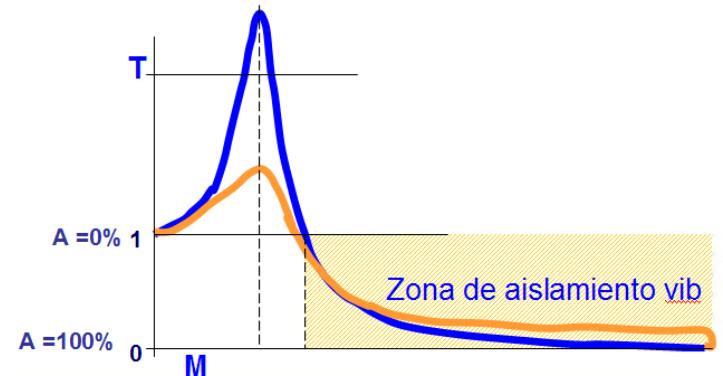
$$FT = \frac{F_t}{F_0} \left( \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \right) \left\{ \begin{array}{l} \bullet FT = 1 \Rightarrow \text{transmisibilidad total (ko)} \\ \bullet FT = 0 \Rightarrow \text{Transmisibilidad nula (ok)} \end{array} \right.$$

$$A = 1 - FT$$

$$G_A = (1 - T)100$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet FT = 1 \Rightarrow \text{Aislamiento nulo (ko)} \\ \bullet FT = 0 \Rightarrow \text{Aislamiento total (ok)} \end{array} \right.$$

$$R_A = 20 \log(M)^2$$



$\uparrow \zeta \Rightarrow \uparrow FT \Rightarrow \downarrow A$

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{\sqrt{1+(2\zeta\rho)^2}}{\sqrt{(1-\rho^2)^2 + (2\zeta\rho)^2}}$$

$$A = 1 - FT$$

- máximo valor de aislamiento vibratorio (AV) se conseguirá con  $\zeta \approx 0$

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



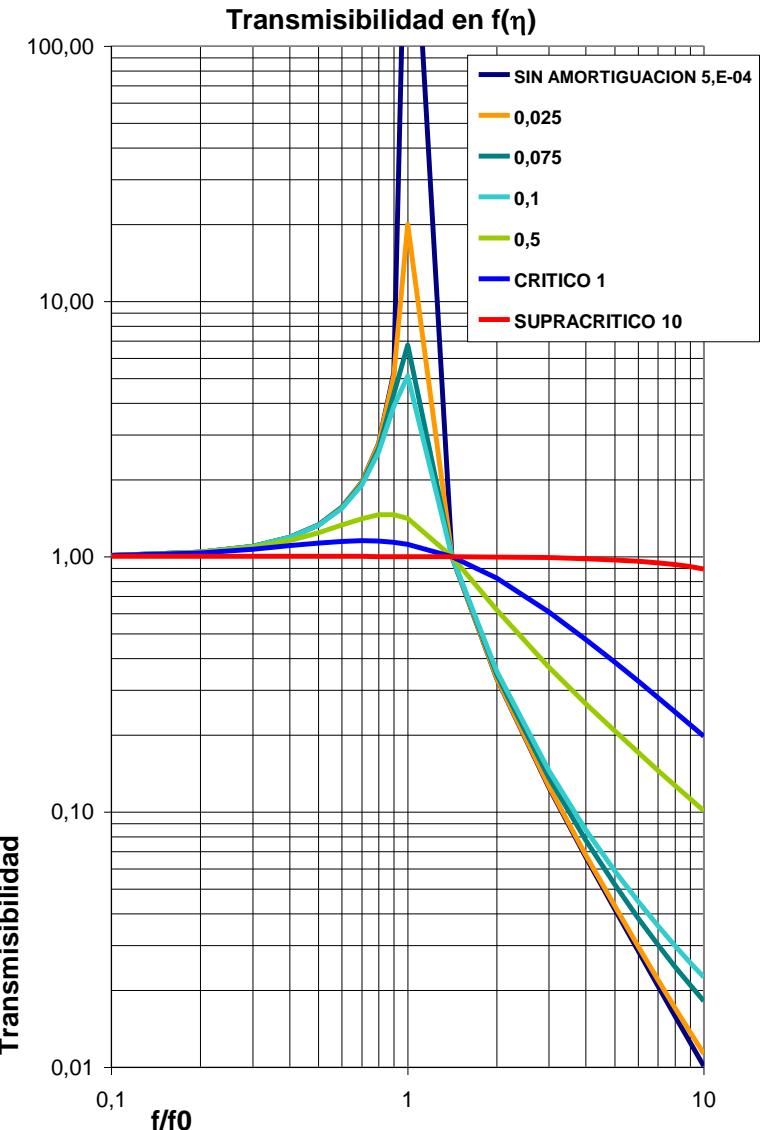
$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{1}{|1 - M^2|} = \frac{1}{M^2 - 1}$$

$$FT = \frac{F_t}{F_0} = \frac{1}{|1 - M^2|} = \frac{1}{M^2 - 1}$$

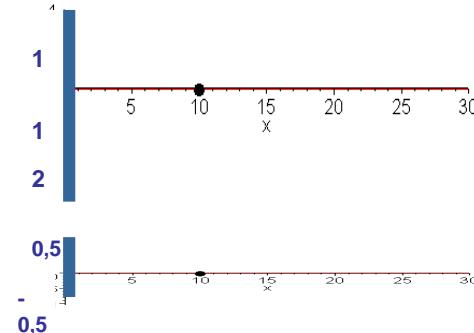
$$G_A = (1 - FT)100 \quad (\%)$$

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



$G \Rightarrow >90\%$

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



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

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

Rafael Torres del Castillo

Profesor externo Ingeniería Arquitectura La Salle URL Ed.15: 05/05/2015