



# Vibraciones en edificios, actividades e instalaciones



Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





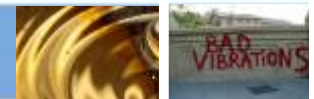
- Las personas son más sensibles que las estructuras

- Por tanto la tolerancia humana frente a la vibración indica el criterio de aceptación

## CRITERIOS DE CONFORT VIBROACUSTICO

172005 Gran Hotel Hesperia BCN (Richard Rogers)

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



## DIN 4150/3-1986: Vibraciones estructurales en edificios

| TIPO DE ESTRUCTURA |  | Velocidad de vibración<br>V en mm/s |              |         | Criterio de<br>INSPECCION                    |
|--------------------|--|-------------------------------------|--------------|---------|--|
|                    |  | VALORES GUIA                        |              |         |  |
|                    |  | Rango de Frecuencia                 |              |         |  |
|                    |  | <10Hz                               | 10 a<br>50Hz | <50Hz   |  |
| 1                  | EDIFICIOS PARA USOS<br>COMERCIALES E INDUSTRIALES  | 20                                  | 20 a 40      | 40 a 50 | < AL VALOR GUIA<br><b><u>FAVORABLE</u></b>   |
| 2                  | VIVIENDAS O EDIFICIOS<br>DE USOS SIMILARES   | 5                                   | 5 a 15       | 15 a 20 |  |
| 3                  | Estructuras que por su particular<br>sensibilidad a las vibraciones no<br>corresponde a las líneas anteriores.<br>Edificios que están bajo preservación. | 3                                   | 3 a 8        | 8 a 10  | > AL VALOR GUIA<br><b><u>DESAVORABLE</u></b> |

Para periodos largos cuando las estructuras están sometidas a vibraciones continuas superiores a 5 mm/s, se precisan estudios dinámicos específicos de la respuesta estructural

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

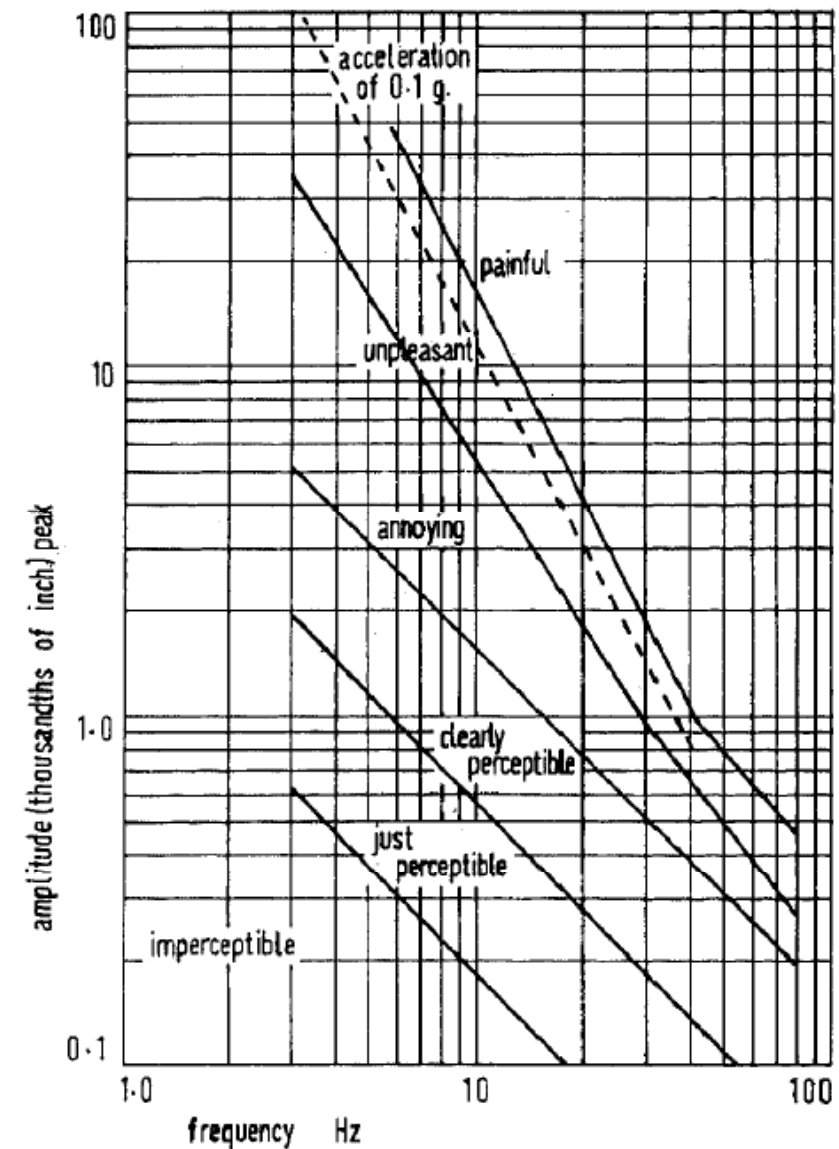


This article originally appeared in the December 1971 issue of 'Environmental Engineering', the official journal of the Society of Environmental Engineers, published by Policy Journals Ltd. The Editor wishes to thank the people concerned for granting permission to reproduce the article.

# Mechanically Induced Vibration in Buildings

by R.G.MONK\*

Sensibilidad humana a las vibraciones



HUMAN SENSITIVITY TO VIBRATION

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

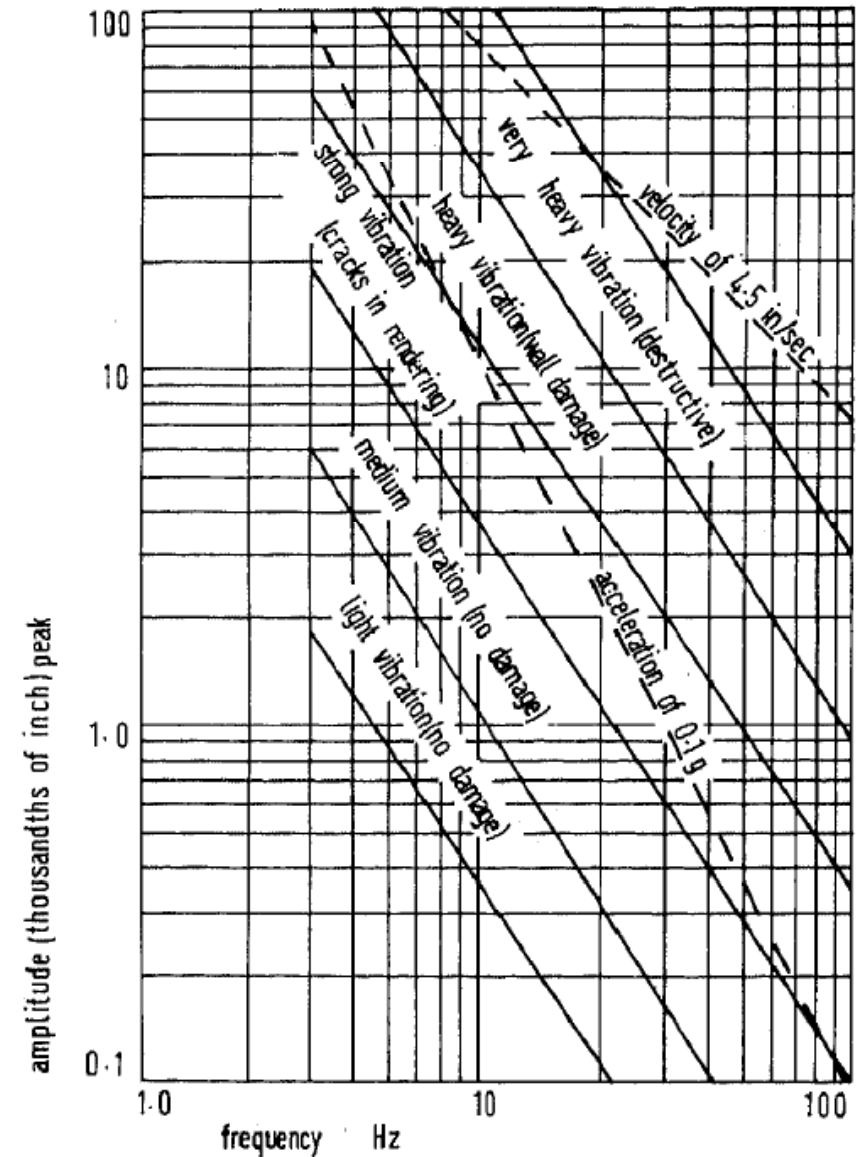


This article originally appeared in the December 1971 issue of 'Environmental Engineering', the official journal of the Society of Environmental Engineers, published by Policy Journals Ltd. The Editor wishes to thank the people concerned for granting permission to reproduce the article.

# Mechanically Induced Vibration in Buildings

by R.G.MONK\*

Respuesta estructural a las vibraciones



STRUCTURAL RESPONSE TO VIBRATION

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



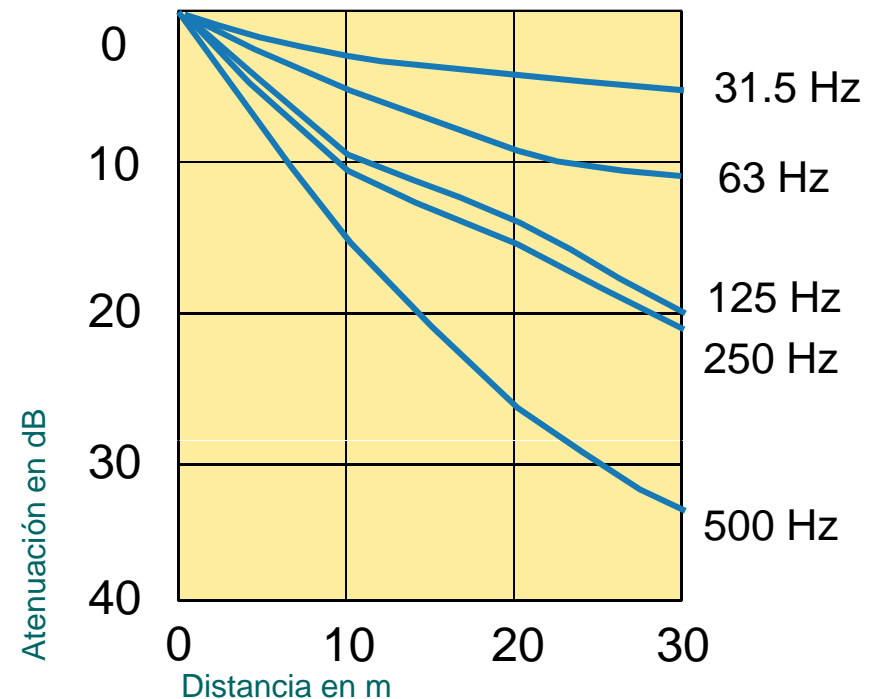
- Atenuación geométrica

La atenuación natural x distancia es > a f altas que a bajas frecuencias

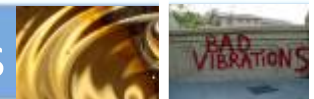
1. Amortiguamiento interno
2. Reflexión en las irregularidades y cambios de impedancia
3. Dispersión de la energía

Atenuación por distancia en un  
forjado de hormigón

H.ARAU ABC de la AA: Crockett, JMA y  
Hammond: Reducction of Ground  
vibrations into structures-paper nº18  
3/1947



Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.







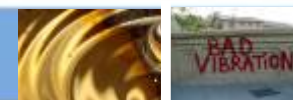
Department of transportation USA  
FTA Federal Transit Administration

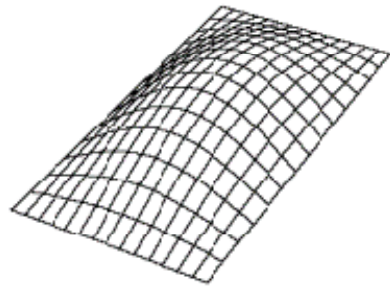
## TRANSIT NOISE AND VIBRATION IMPACT ASSESSMENT

### 10-8 Transit Noise and Vibration Impact Assessment

| Receiver Factor  | Adjustment to Propagation Curve   | Comment  |
|--|---|--|
| Floor-to-floor attenuation                                     | 1 to 5 floors above grade: -2 dB/floor<br>5 to 10 floors above grade: -1 dB/floor | This factor accounts for dispersion and attenuation of the vibration energy as it propagates through a building.   |
| Amplification due to resonances of floors, walls, and ceilings | +6 dB   | The actual amplification will vary greatly depending on the type of construction. The amplification is lower near the wall/floor and wall/ceiling intersections. |

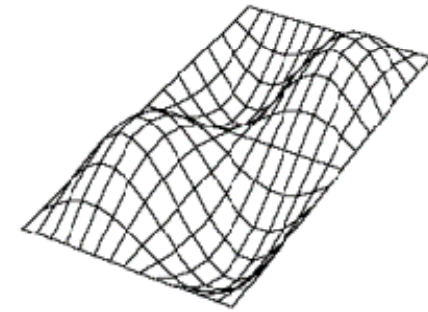
Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



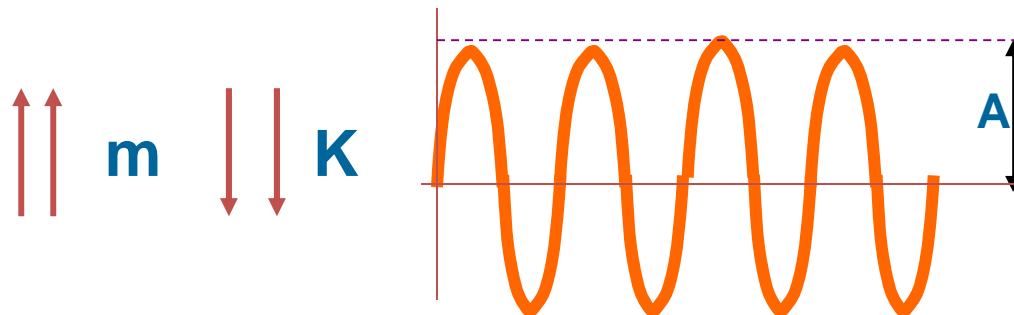


M (1,1)

$$\eta_{(1,1)} \ll \eta_{(2,2)}$$

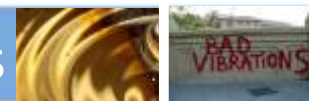


M (2,2)



Muelle blando/duro

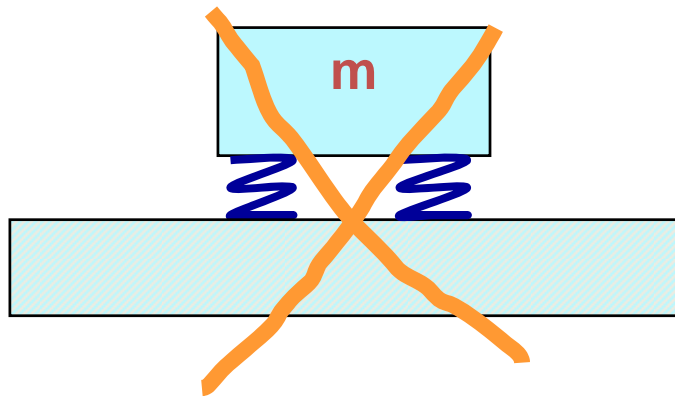
Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





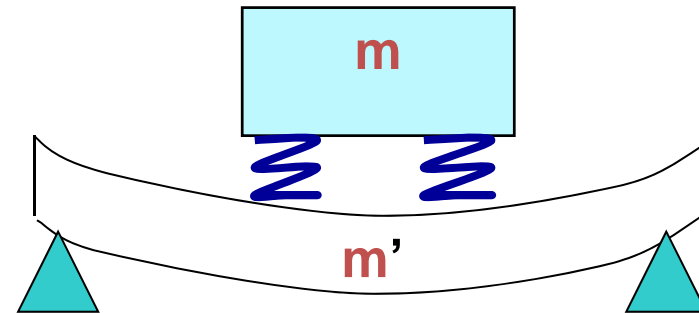
# La MOVILIDAD de las estructuras

Según la teoría vibraciones

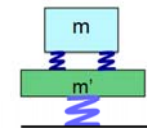


$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

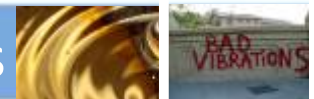
Los forjados son elásticos



$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{(m+m')}}}$$



Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

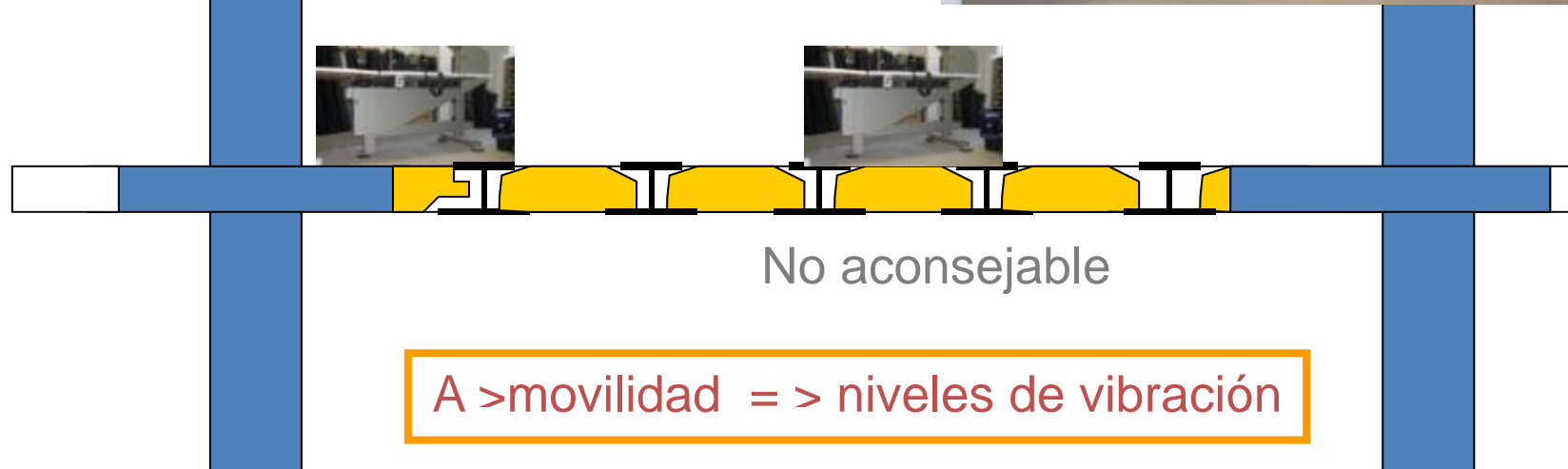


# La MOVILIDAD :resonancias en forjados

Colocar las máquinas cerca de las zapatas de los pilares



SI!!



Fuente: CERVERA/ALDOVIER C/Hector 2/2004

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



## Análisis Estructural en edificios: MODOS PROPIOS



$$M = 1/Z = \frac{v}{F} \left( \frac{m}{s/N} \right)$$

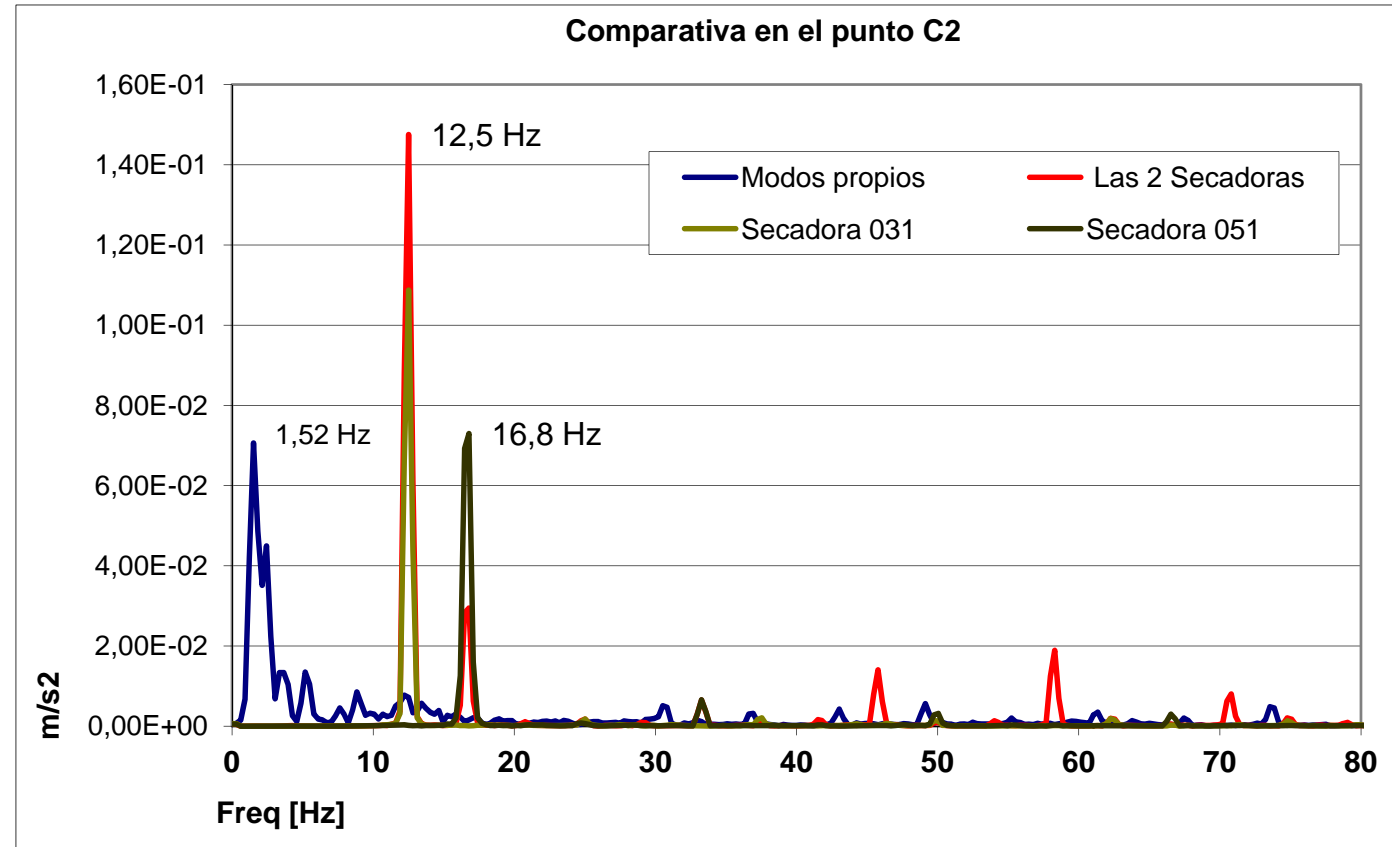
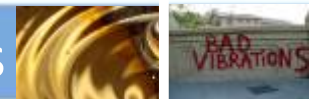


Grafico 3.4: Planta +8.5. Comparativo de los espectros de los modos propios respecto al de los secaderos en marcha en el punto C2

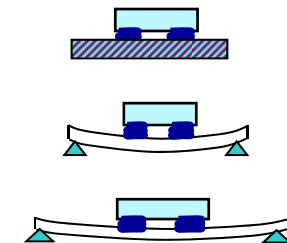
Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



## • Fenómenos de resonancia

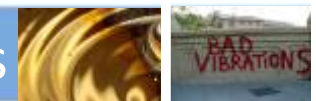
- De la manera en que se encuentren anclados en sus extremos las estructuras de los forjados, depende la aparición de resonancias respecto a algún modo de vibración, ya sea apoyada, empotrada o mixto.
- La frecuencia natural de un forjado bajo carga depende básicamente de su luz entre apoyos

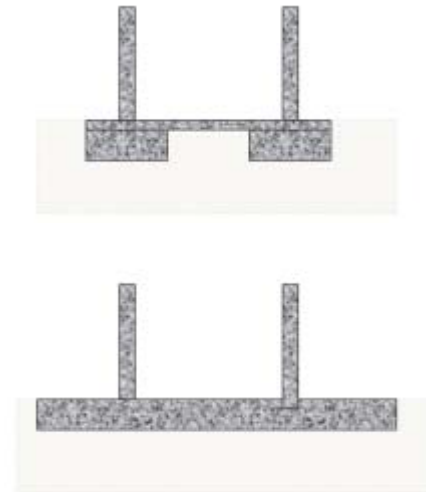
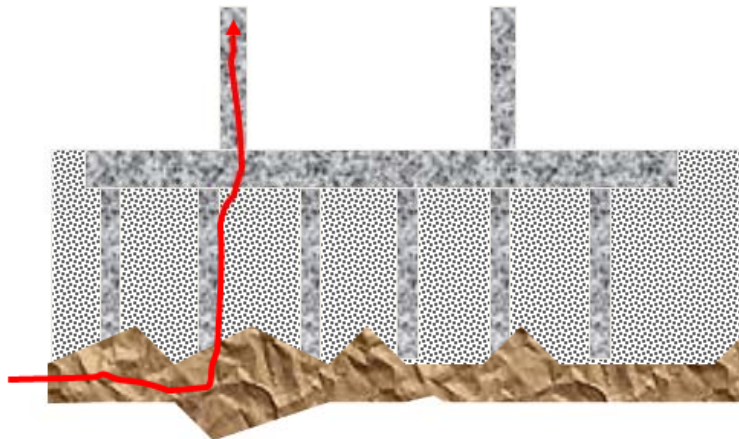
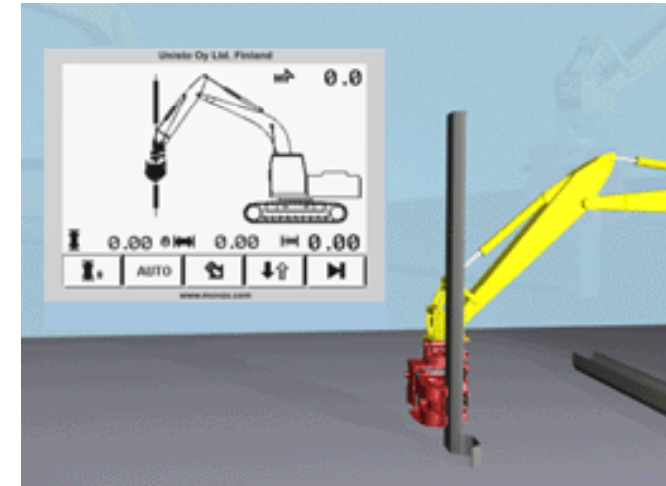
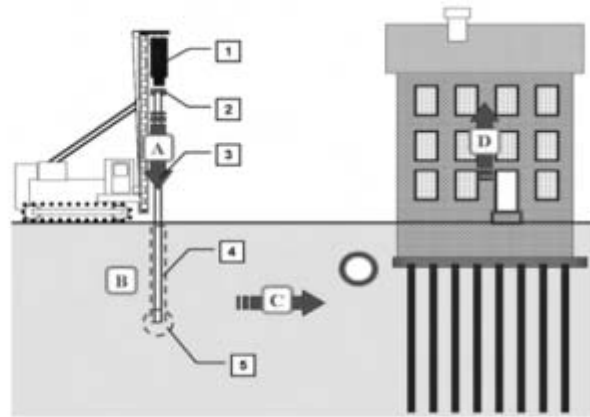
| Clase de solera | Luz entre apoyos de la solera | Frecuencia natural estimada Hz |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| S               | En sótano, sobre terreno      | 9                              |
| F6              | Luces hasta 6 metros     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



Fuente: **Den Hartog**

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Ult.Actualización: 08/01/2013

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



## Transmisión de vibraciones por de cimentación y puentes en pared divisoria



Guillotina

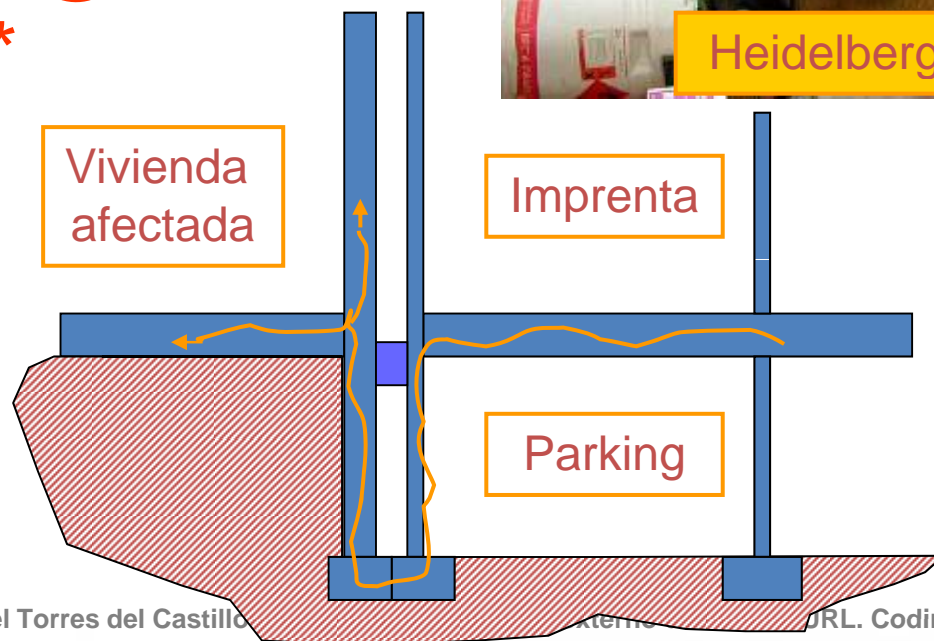


Heidelberg 4c



Heidelberg 1c

\*



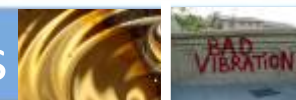
Imprentas: Máquinas de impresión cuatricomías

Rafael Torres del Castillo

externo

JRL. Codirector de

Fuente: MATIMPRES Viladecans 2/2004





# Documento Básico **SE-C**

---

## Seguridad estructural

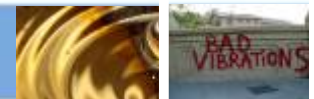
### Cimientos



#### 2.2.1.3 Estados límite de servicio

- 1 Se considerarán estados límite de servicio todos aquellos clasificados como tales en el apartado 3.2.2 del DB-SE.
- 2 Como estados límite de servicio deben considerarse los relativos a:
  - a) los movimientos excesivos de la cimentación que puedan inducir esfuerzos y deformaciones anormales en el resto de la estructura que se apoya en ellos, y que aunque no lleguen a romperla afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones;
  - b) las vibraciones que al transmitirse a la estructura pueden producir falta de confort en las personas o reducir su eficacia funcional;

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



**Tabla 2.4. Valores de referencia para el valor pico de la vibración del terreno en su mayor componente frente a vibraciones de corta duración (UNE 22-381-93)** →

Une Voladuras

| Clase de edificio  | Frecuencia principal (Hz) |                                       |                     |
|--|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|
|  | 2-15                      | 15-75                                 | >75                 |
|  | Velocidad<br>[mm/s]       | Desplazamiento <sup>(1)</sup><br>[mm] | Velocidad<br>[mm/s] |
| Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas. | 20                        | 0,212                                 | 100                 |
| Edificios de viviendas y otros similares en su construcción y/o en su utilización.     | 9                         | 0,095                                 | 45                  |
| Edificios especialmente sensibles a las vibraciones.                                   | 4                         | 0,042                                 | 20                  |

<sup>(1)</sup> En los tramos de frecuencias comprendidas entre 15 y 75 Hz se podrá calcular la velocidad equivalente conociendo la frecuencia principal a través de la ecuación:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d$$

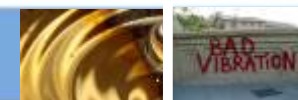
siendo

v la velocidad de vibración equivalente en mm/s

f la frecuencia principal en Hz

d el desplazamiento admisible en mm indicado en la tabla

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

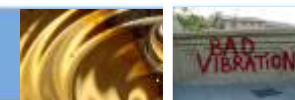


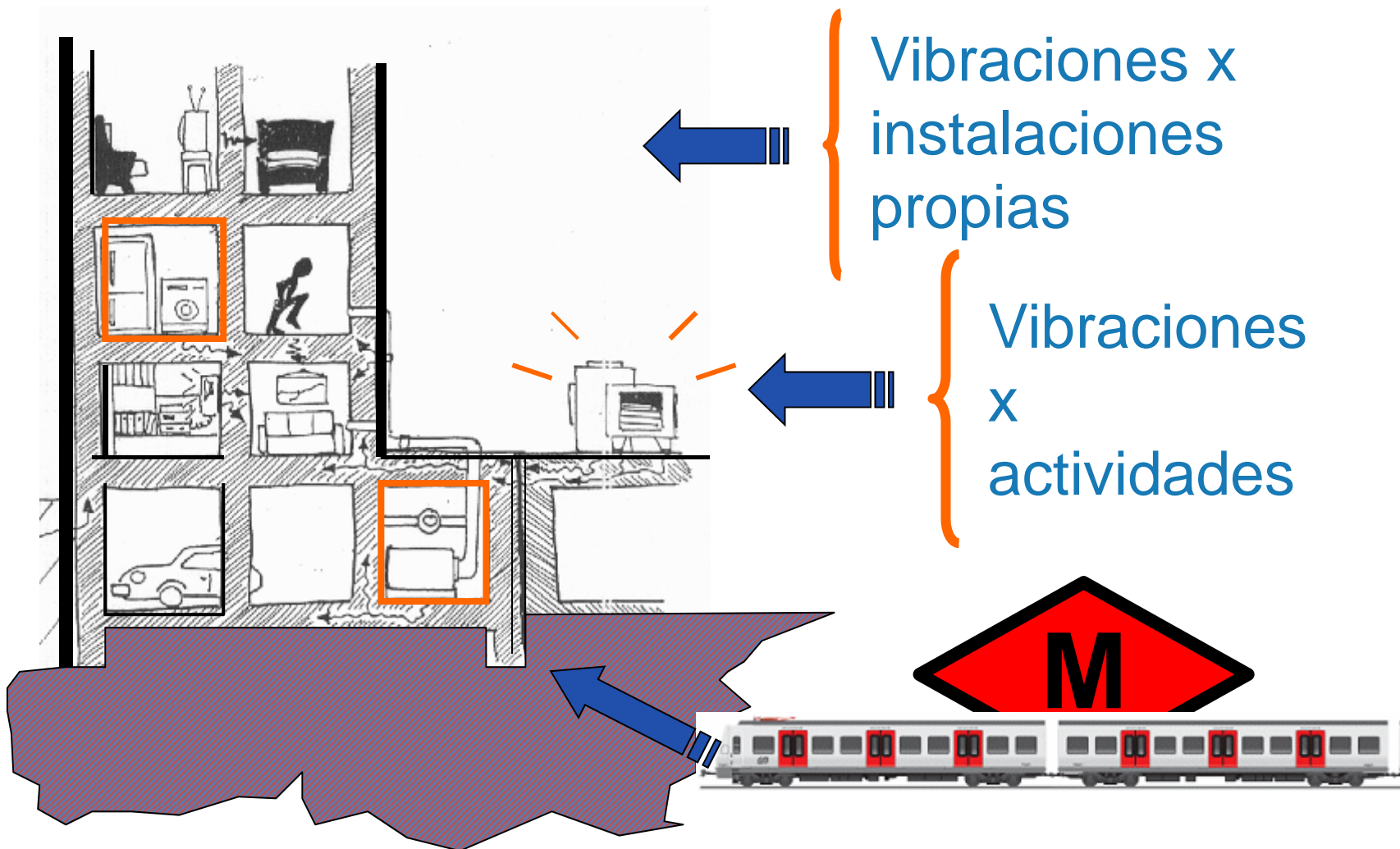
**Tabla 2.5. Valores de referencia para la velocidad de vibración (mm/s) de las cimentaciones frente a vibraciones de corta duración**

| Clase de edificio   | Cimientos  |            |                            | Nivel del techo del piso mas alto habitable | Forjados o Techos               |
|---|--|------------|----------------------------|---|---------------------------------|
|   | Valor máximo de las 3 componentes del vector velocidad |            |                            | Vibraciones horizontales en dos direcciones | Vibración vertical en el centro |
|   | Frecuencias  |            |                            | Todas las frecuencias                       | Todas las frecuencias           |
|   | < 10 Hz  | 10 a 15 Hz | 50 a 100 <sup>(1)</sup> Hz |   |                                 |
| Edificios utilizados para actividades industriales y edificios industriales                             | 20   | 20 a 40    | 40 a 50                    | 40  |                                 |
| Edificios de viviendas y otros similares en su construcción y/o su utilización. Edificios con enlucidos | 5  | 5 a 15     | 15 a 20                    | 15  | 20                              |
| Edificios especialmente sensibles a las vibraciones   | 3  | 3 a 8      | 8 a 10                     | 8   |                                 |

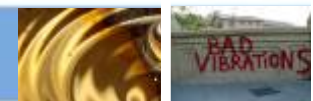
(1) Para frecuencias superiores a 100 Hz se deben aplicar, como mínimo, los valores de referencia para 100 Hz

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Instalaciones térmicas



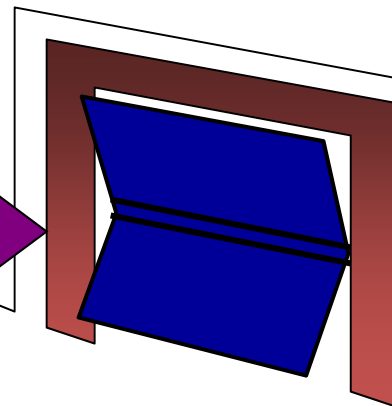
Ascensores



Instalaciones de Agua



Puertas de  
garaje



Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





Depurador de piscinas  
y riego de jardines

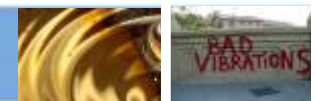


Bombas riego y piscina



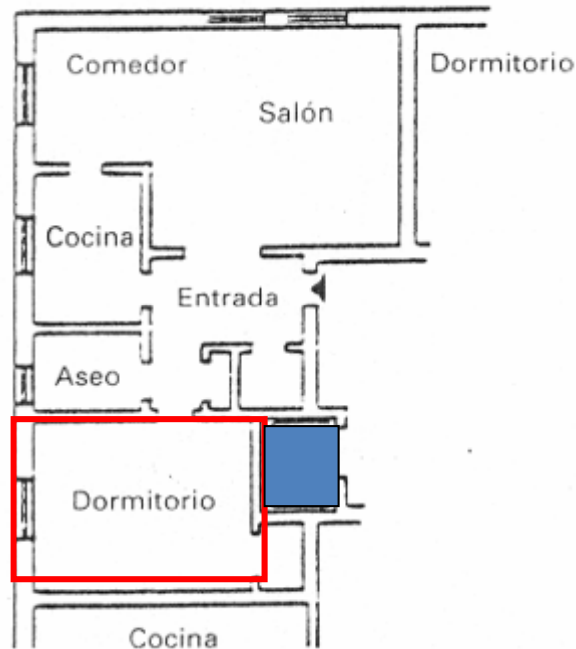
Centrales transformadoras

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

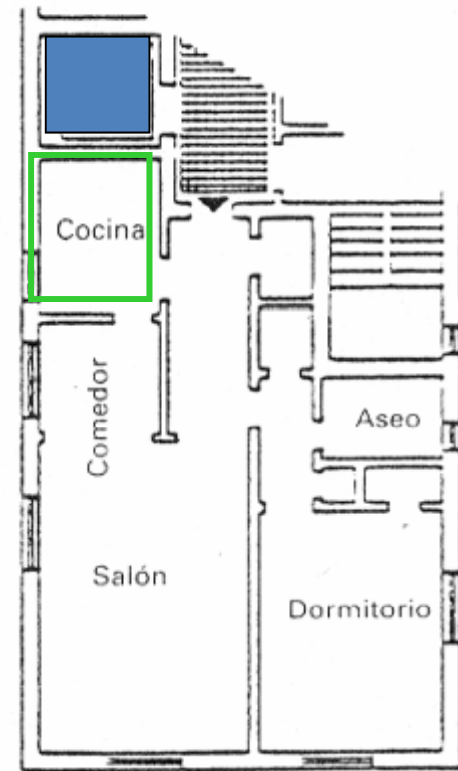




## Una distribución racional evita problemas en molestia de vibraciones y ruidos



Fuente: C.M.Harris





Ejemplo:  
situación del  
Ascensor

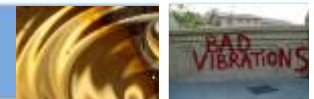
Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



Inspección de la molestia de las actividades, instalaciones, vecindario y transporte que en su uso, funcionamiento o ejercicio generen molestia y riesgo para la salud de las personas, su salud o bienestar o bien deteriorar la calidad del medio ambiente.

- ISO 2631-2 2003:Método cálculo MTVV
  -  **RD 1367/2007: Anexo II: Objetivos de calidad acústica**
- ISO 2631-2 1989:Método Índice K de vibración
  -  **Ley 7/2002 de Protección contra la contaminación acústica de la Comunidad Valenciana.**

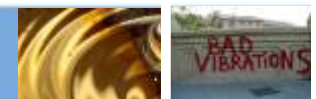
Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



**Tabla C. Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.**

| Uso del edificio           | Índice de vibración<br>$L_{aw}$ |
|----------------------------|---------------------------------|
| Vivienda o uso residencial | 75                              |
| Hospitalario               | 72                              |
| Educativo o cultural       | 72                              |

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.



# ANEXO IV

## Métodos y procedimientos de evaluación para los índices acústicos

### B. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones

#### 1. Métodos de medición de vibraciones.

Los métodos de medición recomendados para la evaluación del índice de vibración *Law*, son los siguientes:

##### **a) Con instrumentos con la ponderación frecuencial *w<sub>m</sub>*.**

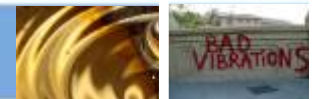
Este método se utilizará para evaluaciones de precisión y requiere de un instrumento que disponga de ponderación frecuencial *w<sub>m</sub>*, de conformidad con la definición de la norma ISO 2631-2:2003. Se medirá el valor eficaz máximo obtenido con un detector de media exponencial de constante de tiempo 1s (slow) durante la medición. Este valor corresponderá al parámetro *a<sub>w</sub>*, Maximum Transient Vibration Value, (MTVV), según se recoge en la norma ISO 2631-1:1997.

##### **b) Método numérico para la obtención del indicador *Law***

Cuando los instrumentos de medición no posean ponderación frecuencial y/o detector de media exponencial, o como alternativa a los procedimientos descritos en los apartados a) y c), se podrá recurrir a la grabación de la señal sin ponderación y posterior tratamiento de los datos de conformidad con las normas ISO descritas en el apartado a).

##### **c) Calculando la ponderación frecuencial *w<sub>m</sub>*.**

Teniendo en cuenta que este procedimiento no es adecuado cuando se miden vibraciones transitorias (*a causa de la respuesta lenta de los filtros de tercio octava de más baja frecuencia (108 s ) respecto a la respuesta “slow”*) su uso queda limitado a vibraciones de tipo estacionario.



# ANEXO IV

## Métodos y procedimientos de evaluación para los índices acústicos

### B. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones

- Cuando los instrumentos no dispongan de la ponderación frecuencial  $w_m$  se podrá realizar un análisis espectral, con resolución mínima de banda de tercio de octava de acuerdo con la metodología que se indica a continuación.

#### METODOLOGÍA PARA POSPROCESADO

- El análisis consiste en obtener la evolución temporal de los valores eficaces de la aceleración con un detector-promediador de media exponencial de constante de tiempo 1s (slow)
- Análisis espectral CPB en bandas de tercio de octava especificadas en la norma ISO 2631-2:2003
- Banda frecuencias de 1 a 80 Hz.
- Periodicidad de como mínimo un segundo para toda la duración de la medición.
- Posteriormente multiplicar cada uno de los espectros obtenidos por el valor de la ponderación frecuencial  $w_m$  (ISO 2631-2:2003)

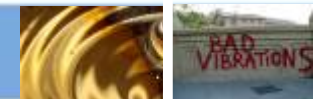
En la siguiente tabla se detallan los valores de la ponderación  $w_m$  (ISO 2631-2:2003) para las frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava de 1 Hz a 80 Hz.



| Frecuencia | $w_m$  |       |
|------------|--------|-------|
|            | factor | dB    |
| 1          | 0,833  | -1,59 |
| 1,25       | 0,907  | -0,85 |
| 1,6        | 0,934  | -0,59 |
| 2          | 0,932  | -0,61 |
| 2,5        | 0,910  | -0,82 |

| Frecuencia | $w_m$  |        |
|------------|--------|--------|
|            | factor | dB     |
| 3,15       | 0,872  | -1,19  |
| 4          | 0,818  | -1,74  |
| 5          | 0,750  | -2,50  |
| 6,3        | 0,669  | -3,49  |
| 8          | 0,582  | -4,70  |
| 10         | 0,494  | -6,12  |
| 12,5       | 0,411  | -7,71  |
| 16         | 0,337  | -9,44  |
| 20         | 0,274  | -11,25 |
| 25         | 0,220  | -13,14 |
| 31,5       | 0,176  | -15,09 |
| 40         | 0,140  | -17,10 |
| 50         | 0,109  | -19,23 |
| 63         | 0,0834 | -21,58 |
| 80         | 0,0604 | -24,38 |

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.





## B. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones

- Seguidamente se obtendrán los valores de aceleración global ponderada para los distintos instantes de tiempo (para cada espectro) mediante la siguiente fórmula:

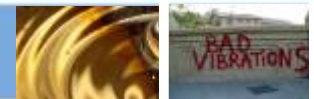
$$a_{w,i} = \sqrt{\sum_j (w_{m,j} a_{w,i,j})^2}$$

Donde:

- $a_{w,i,j}$ : el valor eficaz (RMS, slow) de la señal de aceleración expresado en m/s<sup>2</sup>, para cada una de las bandas e tercio de octava (j) y para los distintos instantes de la medición (i).
- $w_{m,j}$ : el valor de la ponderación frecuencial *w<sub>m</sub>* para cada una de las bandas de tercio de octava (j).
- $a_{w,i}$ : el valor eficaz (RMS, slow) de la señal de aceleración global ponderada para los distintos instantes de la

- Finalmente, para encontrar el valor de  $a_w$  (MTVV) debe escogerse el valor máximo de las distintas aceleraciones globales ponderadas, para los distintos instantes de medición.

$$a_w = \max \{ a_{w,i} \}_i$$



## B. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones

### 2. Procedimientos de medición de vibraciones.

Los procedimientos de **medición in situ** utilizados para la evaluación del índice de vibración que establece este real decreto se adecuarán a las prescripciones siguientes:

- a) Previamente a la realización de las mediciones es preciso identificar los posibles focos de vibración, las direcciones dominantes y sus características temporales.
- b) Las mediciones se realizarán sobre el suelo en el lugar y momento de mayor molestia y en la dirección dominante de la vibración si esta existe y es claramente identificable. Si la dirección dominante no está definida se medirá en tres direcciones ortogonales simultáneamente, obteniendo el valor eficaz  $a_{w,i}(t)$  en cada una de ellas y el índice de evaluación como suma cuadrática, en el tiempo  $t$ , aplicando la expresión:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,x}^2(t) + a_{w,y}^2(t) + a_{w,z}^2(t)}$$

**C)** Para la medición de vibraciones generadas por actividades, se distinguirá entre vibraciones de tipo estacionario o transitorio.

**i) Tipo estacionario:** se deberá realizar la medición al menos en un minuto en el periodo de tiempo en el que se establezca el régimen de funcionamiento más desfavorable; si este no es identificable se medirá al menos un minuto para los distintos regímenes de funcionamiento.



## B. Métodos de evaluación para el índice de vibraciones

### 2. Procedimientos de medición de vibraciones.

**ii) Tipo transitorio:** se deberán tener en cuenta los posibles escenarios diferentes que puedan modificar la percepción de la vibración (foco, intensidad, posición, etc.). A efectos de la aplicación de los criterios señalados en el artículo 17, apartado 1.b), en la medición se deberá distinguir entre los periodos diurno y nocturno, contabilizando el número de eventos máximo esperable.

**d)** En la **medición de vibraciones generadas por las infraestructuras** igualmente se deberá distinguir entre las de carácter estacionario y transitorio. A tal efecto el tráfico rodado en vías de elevada circulación puede considerarse estacionario.

**i) Tipo estacionario:** se deberá realizar la medición al menos en cinco minutos dentro del periodo de tiempo de mayor intensidad (principalmente de vehículos pesados) de circulación. En caso de desconocerse datos del tráfico de la vía se realizarán mediciones durante un día completo evaluando el valor eficaz  $a_w$ .

**ii) Tipo transitorio:** se deberán tener en cuenta los posibles escenarios diferentes que puedan modificar la percepción de la vibración (p.e: en el caso de los trenes se tendrá en cuenta los diferentes tipos de vehículos por cada vía y su velocidad si la diferencia es apreciable). A efectos de la aplicación de los criterios señalados en el artículo 17, apartado 1.b), en la medición se deberá distinguir entre los periodos diurno y nocturno, contabilizando el número de eventos máximo esperable.

**e)** De tratarse de episodios reiterativos, se realizará la medición al menos tres veces, dándose como resultado el valor más alto de los obtenidos; si se repite la medición con seis o más eventos se permite caracterizar la vibración por el valor medio más una desviación típica.

**f)** En la medición de la vibración producida por un emisor acústico a efectos de comprobar el cumplimiento de lo estipulado en el artículo 26 se procederá a la corrección de la medida por la vibración de fondo (vibración con el emisor parado).

**g)** Será preceptivo que antes y después de cada medición, se realice una verificación de la cadena de medición con un calibrador de vibraciones, que garantice su buen funcionamiento.

Rafael Torres del Castillo (9ª Ed.:6/2015) Profesor externo de la Salle URL. Codirector del MAAM.

