




SOLUCIONES PARA EL AISLAMIENTO DE VIBRACIONES ADAPTADAS AL RITE Y SUS INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS

Rafael Torres del Castillo

Master en Acústica Arquitectónica y Medio Ambiental por Ingeniería La Salle (Universidad Ramón Llull),
Miembro de la Sociedad Española de Acústica (Instituto de Acústica C.S.I.C.),
Director Técnico de VIBCON

Ponencia presentada y publicada en CLIMATIZACION 2001
Artículo publicado en PROYECTAR Nº 65 SEPTIEMBRE-2001



<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

0.- INTRODUCCIÓN


La patología de vibraciones y ruido estructural en instalaciones de CLIMATIZACIÓN afecta tanto al bienestar del individuo como al correcto estado de las instalaciones y edificios.

De ahí que la sensibilización social existente sobre las repercusiones que las vibraciones y ruidos en viviendas tienen sobre la calidad de vida y, principalmente por los efectos perniciosos sobre la salud del individuo, se refleje en el ámbito del proyectista e instalador, así como en el creciente interés de los diferentes organismos estatales y locales por la regulación de tales repercusiones. De hecho, se catalogan como agentes contaminantes físicos en todas las normativas, reglamentaciones y ordenanzas medio ambientales y de salud e higiene laboral.

El presente trabajo pretende ser una revisión y puesta al día de las actuales técnicas de soluciones antivibratorias y de su consecuencia más inmediata: el ruido estructural. La particularidad especial de este trabajo es que las soluciones citadas se adaptan al actual RITE y de los criterios dictados por las normas UNE que hace uso este reglamento.

Se ha estructurado en tres apartados fundamentales que pretenden contestar a tres cuestiones básicas:

- 1- El actual reglamento marca unas directrices respecto al Aislamiento de Vibraciones ¿Los criterios que se han de aplicar son prácticos para su uso y aplicación?.
- 2- Toda solución técnica parte previamente de conocer los principios teóricos de los fenómenos que aparecen pero, en especial, sin perder en todo momento la perspectiva real de una instalación.
¿Cómo puedo colocar una máquina y dónde sin tener el menor problema de transmisión de vibraciones y, por tanto, de problemas.?
- 3- Y finalmente ¿Qué soluciones antivibratorias existen en función de la máquina, del lugar donde se instala y en donde se ubica?.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	--	--

1. - EI RITE RESPECTO A MEDIDAS DE CONTROL DE VIBRACIONES Y RUIDO.

Como bien es sabido por los profesionales de las técnicas ambientales, el RITE tiene por objeto establecer las condiciones que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios y así lo expresa en su primer artículo, cuyo ámbito abarca a todas las nuevas instalaciones y cuya observancia es de obligado cumplimiento. Para llevar a cabo su correcta aplicación, se han elaborado toda una serie de Instrucciones técnicas complementarias "ITE", en las cuales se hace amplio uso del procedimiento de referencia a 39 normas UNE, de ellas, 21 son de carácter obligatorio y 18 voluntario.

Haciendo buena referencia al primer apartado de su artículo artículo 2º

..." Las instalaciones objeto de este reglamento tienen como fin principal la obtención de un ambiente interior, térmico de calidad de aire y de condiciones acústicas"...

Se pone claramente de manifiesto que el confort acústico es la tercera condición que debe cumplir cualquier instalación de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria y además durante un período de vida económicamente razonable.

Si además tenemos en cuenta las importantes modificaciones realizadas en la NBE CA-88 (Norma Básica de la Edificación. Condiciones Acústicas) se entiende la clara pretensión de llenar el hueco legal existente hasta este momento, para el cumplimiento de unos requisitos básicos de calidad acústica en las viviendas así como en sus equipamientos e instalaciones.

1.1. - En cuanto al control de las vibraciones.


Encontramos que las Instrucciones Técnicas Complementarias hacen referencia en cuanto al diseño como al montaje, las técnicas y sistemas que garanticen la atenuación de vibraciones y ruidos a unos valores especificados.

En concreto se trata de este aspecto en las ITE 02.2.3, ITE 05.1.8 e ITE 05.2.2.

Como apoyo para su utilización se hace el uso de 5 normas UNE sobre acústica y vibraciones siendo de interés especial para nosotros por el tema que tratamos, la norma UNE 100-153/88.

UNE 100-153/88. Climatización: Soportes Antivibratorios. Criterios de selección.

Esta norma por la forma que se trata en la ITE 02.2.3, se puede considerar elevada a norma de obligado cumplimiento puesto que lo indica expresamente una orden administrativa*⁴ que en este caso es en forma de reglamento (RITE), más cuando su contenido afecta directamente a cuestiones de salud y seguridad de los individuos.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

Matizo “inicialmente”, puesto que la Comisión Asesora del RITE está preparando una revisión para reducir a 7, las normas de obligado cumplimiento. En cualquier caso, su observancia será decisiva para el buen cumplimiento de las citadas instrucciones.

1.2. -La norma UNE-100-153/88

Aunque por su título trate sobre un componente utilizado en las técnicas de control de vibraciones mecánicas en maquinaria, su importancia radica en la aplicación de un criterio determinado, para el aislamiento de vibraciones que permite realizar una adecuada selección de los soportes antivibratorios para una máquina.

La adopción de un criterio es fundamental en el cálculo de proyectos. La particularidad en nuestro caso es que el cálculo del rendimiento de aislamiento de vibraciones es difícil debido a la multitud de variables tanto del equipo a utilizar como de las características del emplazamiento. No existen criterios exactos que fijen la fuerza periódica que se transmite a la estructura del edificio, ni criterios o normas que determinen valores cuantitativos de las fuerzas que generan los diferentes tipos de equipos utilizados.

Esto supone una situación incómoda para el cálculo de proyectos, que fuerza a seleccionar un sistema de aislamiento eficaz sin conocer las fuerzas iniciales o la cantidad de transmisión que pueda tolerarse. Por eso, durante los últimos años, se tienden a especificar sistemas de aislamiento vibratorio sumamente efectivos, basándose en el razonamiento de que el aislamiento, por muy eficaz que sea, rara vez es demasiado costoso, y que por un gasto adicional muy pequeño, es preferible asegurarse a priori de que no se producirá la transmisión de vibración o ruido estructural capaz de generar molestia.

¿Este criterio es el más apropiado? Como tal, siempre será discutible entre los profesionales delante de aspectos particulares de las instalaciones, pero en general es bueno por varios motivos merecedores de destacar:

1º- Esta inspirado por los STANDARS DE ASHRAE que desde los años 1940 ya vieron la necesidad de dictar criterios y normas de actuación por lo anteriormente citado.

Son fruto del estudio de multitud de instalaciones y el cúmulo de estudios particulares de los cuales comparados con los modelos teóricos, se han extraído reglas de aplicación específicas para el control de vibraciones y ruido estructural.

2º- Es concreta, puesto que da disposiciones particulares según el tipo de equipo de un sector determinado: el de la Climatización.

Buenas Vibraciones Instalaciones Térmicas Ed:1ª 6/05	Artículo Técnico RITE&HVAC (I)	 FT-BV RITE
---	---	--

3º- Es practica, por que marca una especial importancia a las características del forjado sobre el que se apoyarán los equipos. Este factor es fundamental puesto que es el causante de los pobres resultados que a veces se consiguen en las máquinas con montajes antivibratorios.

4º- Es de fácil utilización permitiendo solicitar al fabricante de los antivibradores (y no silenblocs*) el tipo y modelo en función de la compresión que a de tener en servicio.

5º- Marca directrices en cuanto a los niveles de vibración máximos en las máquinas. Aunque como toda normativa es maximalista (**), da un criterio para tener en cuenta los posibles fenómenos de desequilibrio, desalineación y desgaste de componentes muy importantes puesto que su consecuencia más evidente es que incrementan los niveles de vibración en las máquinas con el paso del tiempo en servicio y en consecuencia generarán una molestia creciente.

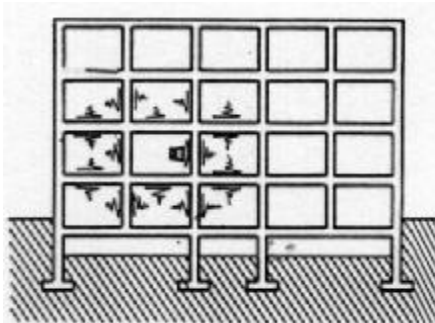


2. –EL AISLAMIENTO DE VIBRACIONES

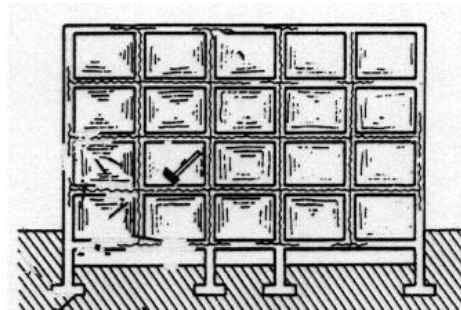
No entraremos a explicar aquí los conceptos básicos sobre la teoría de vibraciones puesto que no es el tema central y por otro lado podemos encontrar amplia documentación al respecto.

2.1.- Diferencias entre ruido aéreo y estructural.

Este apartado previo, en cambio, es de suma importancia puesto que de cara al proyecto de una instalación nos permite establecer un criterio de prioridad de actuación dentro de las técnicas de aislamiento y control vibro-acústico. Si vemos las diferencias entre ambos fenómenos vemos la razón de ello.



Dibujo: Ruido aéreo.C. M. Harris




Dibujo: Ruido estructural C. M. Harris

La transmisión de vibraciones se manifiesta claramente en forma de ruido estructural que se transmite a través de todos los paramentos horizontales y verticales del edificio. Por tanto el sonido, al viajar a través de la vía sólida, se encontrará con la más variada tipología de materiales constructivos de naturaleza y características muy heterogéneas de manera que se propagará de forma notablemente distinta según en que medio se encuentre y ello hará muy difícil predecir su comportamiento.

En cambio, cuando este mismo sonido cambie del medio sólido al aéreo, se transmitirá más lentamente pero con la notable diferencia de que en éste podrá propagarse uniforme y omnidireccionalmente por ser totalmente homogéneo. Las únicas pequeñas variaciones que presenta la propagación del sonido en el aire son debidas al cambio de la humedad y el gradiente de temperatura ambiental. Por tanto se puede predecir su comportamiento a partir de las leyes de propagación del sonido en el aire.



<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<h2>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</h2>	 FT-BV RITE
---	---	---

Por establecer un ejemplo, cuando damos un fuerte martillazo en el suelo de un edificio lo podrán sentir casi todos los vecinos del mismo. En cambio cuando subimos el volumen del televisor quienes se verán más afectados son los vecinos de al lado. Como se observa en el cuadro adjunto, puede observarse la notable diferencia entre la velocidad de propagación del sonido en el acero frente a la del aire.

MATERIAL	VELOCIDAD DEL SONIDO en m/s
Acero	5.010
Vidrio	5.000
Cobre	3.500
Hormigón	3.100
Ladrillo	2.500
Madera	1.500
Plomo	1.320
Aire (condiciones Normales)	340
Caucho 70° ShA	230
Caucho 60°ShA	100
Caucho 50°ShA	64
Caucho 40°ShA	50
Caucho 30°ShA	35

Las diferencias fundamentales del ruido estructural originado por vibraciones frente al ruido aéreo son básicamente:

- Su propagación es más rápida y puede llegar a mayor distancia.
- Las vibraciones generan ondas de flexión que son más complejas que las ondas de presión del sonido en el aire. Se caracterizan por propagarse proporcionalmente con la raíz cuadrada de la frecuencia, así a altas frecuencias la velocidad es mayor que en bajas frecuencias y es por ello que sentimos antes las primeras.
- Su espectro muestra que es ricos en bajas frecuencias y además son ondas más complejas que las ondas longitudinales o de presión, por tanto las técnicas de aislamiento acústico basado en la ley de masas es poco efectiva y se han de tratar técnicas específicas al respecto.
- Consecuencia del punto anterior los ruidos estructurales dan la sensación de ruido envolvente y los ruidos aéreos, al ser más ricos en medias y altas frecuencias, son más direccionales (se focalizan en una dirección determinada) por poseer longitudes de onda más pequeñas.



- Su respuesta no es uniforme en todas sus direcciones como en el caso del medio aéreo. El medio sólido posee unas fuerzas de cohesión a nivel molecular más fuertes que las de cualquier gas, con la particularidad que pueden ser mayores o menores según en que sentido de su cadena molecular sean más intensas, por ello su respuesta frente a la propagación de las vibraciones mecánicas no es igual.

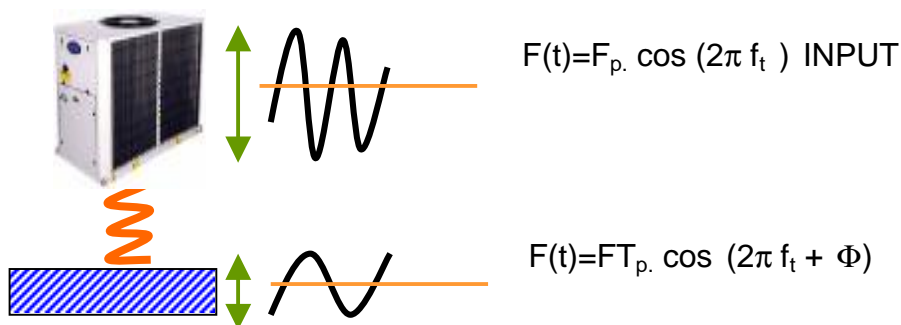
Por ello el tratamiento de las vibraciones en una instalación es prioritario frente a tratamientos acústicos y más dependiendo de si la ubicación de la instalación está cercana a zonas críticas del edificio.

2.2. -Técnicas de Aislamiento de Vibraciones

El tipo de técnica comúnmente más utilizada para las instalaciones de climatización es el aislamiento por discontinuidad.

Se basa sencillamente en realizar toda unión de las máquinas y cualquier componente de la instalación al forjado del edificio, interponiendo un elemento de rigidez y masa completamente diferente de los que posee la instalación en general y la estructura de apoyo (montaje antivibratorio).

Puesto que las impedancias mecánicas son muy diferentes, se producen fenómenos de disipación de energía por reflexión y fricción provocando que se produzca una atenuación de la energía transmitida al entorno. Como se observa en el cuadro adjunto la impedancia específica del acero es de 1000 veces más grande que la del caucho de inferior dureza. Si lo tratásemos en dB diríamos que el acero tiene un nivel de 30,5 dB más ,respecto al caucho más blando.



ESQUEMA2.2.: SISTEMA MASA-MUELLE

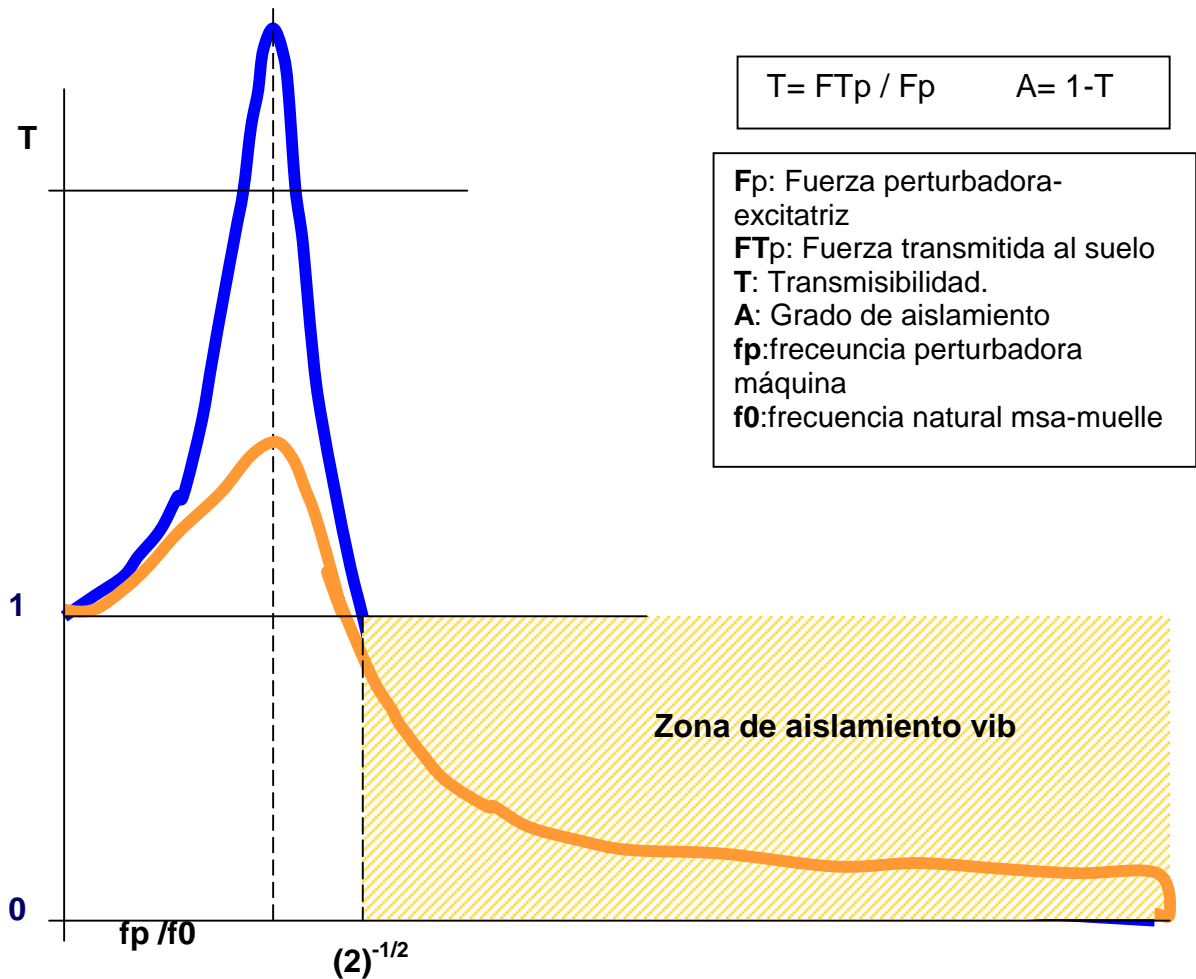
MATERIAL	Impedancia acústica específica (ρc) en gr/cm^2 (Ω acústicos)
Hierro forjado	400×10^4
Acero	391×10^4
Hierro fundido	270×10^4
Cinc	240×10^4
Granito	162×10^4
Plomo	150×10^4
Vidrio	140×10^4
Hormigón	$100-81 \times 10^4$
Marmol	99×10^4
Madera(cedro)	20×10^4
Agua	14×10^4
Corcho-caucho	$1,2 \times 10^4$
Caucho 70 °ShA	$2,87 \times 10^4$
Corcho-caucho	$1,2 \times 10^4$
Caucho 60 °ShA	$1,18 \times 10^4$
Caucho 50 °ShA	$0,71 \times 10^4$
Caucho 40 °ShA	$0,53 \times 10^4$
Caucho 30 °ShA	$0,35 \times 10^4$

En pocas palabras, se trata de realizar uniones elásticas para desolarizar todo equipo de la estructura del edificio. Por ello es un cambio del enfoque hiperestático al isostático, tanto en el proyecto de la instalación como en la concepción arquitectónica de los edificios y de los espacios habilitados para sus equipamientos e instalaciones.

2.3.- Determinación de la eficacia del aislamiento antivibratorio.

El montaje elástico de una máquina de masa m_1 puede ser representado según el esquema 2.2.


Como vemos, dicha máquina está unida a un montaje antivibratorio (muelle) con masa prácticamente nula, de manera que la suspensión elástica posee la característica de estar apoyada sobre una estructura soporte que en este caso, la supondremos infinitamente rígida. Más adelante comentaremos que, por desgracia, en la realidad nos encontramos con estructuras que son todo lo contrario al supuesto dado.



Siguiendo con la modelización de nuestro sistema, supongamos ahora que pasa de un estado de reposo a un movimiento periódico debido a la aplicación de una fuerza determinada en una única dirección.

La consecuencia más inmediata es que oscilará libremente a una frecuencia propia denominada *frecuencia natural*, que dependerá únicamente de su masa y de la rigidez del montaje antivibratorio. Este movimiento oscilatorio comenzará a disminuir por efectos disipativos hasta que llegado a un momento se pare, debido a que su amortiguación interna ha convertido toda la energía mecánica en calor.

Ahora bien, cuando los mecanismos internos de la máquina funcionen generarán una fuerza que obligue al sistema a vibrar forzosamente a una frecuencia denominada *frecuencia perturbadora*, es decir, se le obliga a vibrar a una frecuencia diferente a la suya propia.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<h2>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</h2>	 FT-BV RITE
---	---	---


Para calcular el rendimiento del aislamiento antivibratorio se ha optado en estos últimos años, por determinarlo mediante el cálculo de la cantidad de energía vibratoria que se transmitirá a la estructura. Para ello se procederá a su cálculo mediante una función de transferencia que relacionará la señal de salida (output) con la de entrada (input).

Realizado este cálculo y grafiado, podemos definir la *transmisibilidad* (T), como la capacidad que posee el sistema mecánico para facilitar el paso de la vibración a la estructura del edificio y que dependerá de su *modulación* (relación cuadrática entre la frecuencia perturbadora y la natural).

Así cuando la modulación se iguale a la unidad, nos indicará que el sistema está en una situación nada deseable puesto que entra en resonancia y por tanto la amplitud del sistema será muy elevada (tenderá a ser infinita). A medida que vaya aumentando de valor, la transmisibilidad disminuirá, es decir, el sistema dejará pasar cada vez menos energía vibratoria al forjado y por tanto, el montaje antivibratorio será cada vez más efectivo.

La norma UNE 100-153 / 88 determina como buen grado de eficacia de aislamiento, cuando la modulación sea igual a un factor de 4. Por la experiencia profesional podríamos establecer precisando más:

TIPO	Características	Valor de modulación recomendado
ZONAS MUY CRITICAS	Edificaciones de uso cultural (auditorios, teatros, cines) Hoteles y Hospitales	4 a 4,6
ZONAS CRITICAS	Zonas cercanas a dormitorios Oficinas y estudios	3,5 a 4
ZONAS NO CRITICAS	Almacenes Sótanos y zonas de poco compromiso	3,3 a 3,5

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

2.4.- El montaje antivibratorio (m.a.).

Como se observa en el dibujo anterior el m.a., suspende elásticamente la máquina sobre la cimentación del suelo, garantizando que no se produzca una unión rígida entre ambas.

Cuando el equipo genera una vibración a una frecuencia determinada en el m.a., se ponen en juego cambios de energía cinética y potencial de forma que a cada ciclo, una parte de la energía vibratoria es consumida en forma de calor debido a la amortiguación interna que poseen todos los elementos elásticos en mayor o menor grado.

Los resultados que obtengamos dependerán inicialmente de las propiedades de que dotemos al montaje antivibratorio, ya que un diseño arbitrario puede empeorar la situación de partida, generando amplitudes aún mayores a riesgo de producir daños irreparables en la máquina y en las conexiones fijadas elásticamente a ella (resonancias).


2.5.- El Antivibrador o soporte antivibratorio

Es el componente fundamental del m.a. Se caracteriza por poseer dos funciones principales: la función aislante y la función amortiguadora. De la determinada proporción de ambas se diferenciará básicamente una familia de antivibradores de las otras.

La función aislante o “aislar” ,consiste en oponer resistencia a la propagación del movimiento oscilatorio producido por la fuerza de naturaleza periódica generada por la máquina.

En cambio, la función amortiguadora considera la transformación de la energía vibratoria incidente en calor, debido a la acción de fuerzas disipativas intrínsecas a los antivibradores.

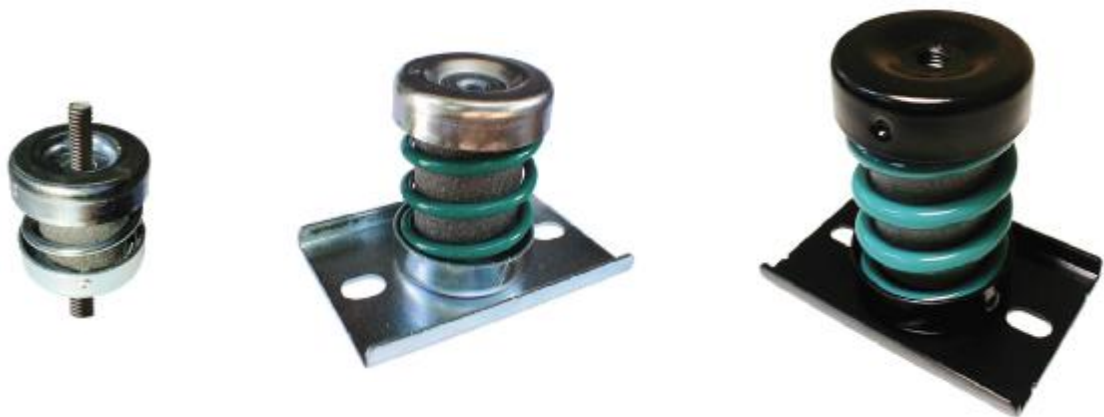
Así el antivibrador que básicamente aisle en su 99% y apenas amortigüe, se denominará “aislador”, como es el caso de los antivibradores metálicos de muelles. Por el contrario los amortiguadores se caracterizan por que su función disipadora puede ser más del 90%.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

2.6.- Tipos de Antivibradores

2.6.1.- Aisladores Metálicos de Muelle

La norma UNE 100-153/88 los denomina que las iniciales AM Y AL. Como ya hemos citado antes, son aisladores al 99% y son idóneos para instalaciones de climatización en zonas críticas y muy críticas.



Fotos aisladores VIBCON: MINIVIB, VIB100 Y VIB1000

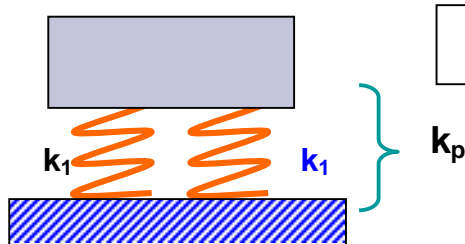
Su rigidez es lineal y permite conseguir grandes deflexiones. La frecuencia natural de los aisladores AM es inversa a la deflexión estática, de manera que al incrementarla su grado de aislamiento aumenta. Por este motivo, los fabricantes de estos productos han de adjuntar certificados de ensayos de compresión y cálculo de la flecha que cumplan con las directrices marcadas en la norma UNE 100-153/88. Paralelamente se han de adjuntar certificados de calidad de fabricación s/norma DIN tanto del tipo de material utilizado como del proceso de fabricación.

Aunque su envejecimiento es largo se recomienda siempre protegerlos con acabados de pinturas epoxi. La práctica común es protegerlos con baños galvanicos que aunque duran menos son más económicos. Además, puede ocasionar daños en su piel superficial debido a fenómenos de hidrogenación en el proceso hidrolítico y en consecuencia posible rotura repentina del muelle en condiciones de trabajo.

La desventaja más importante como ya sabemos, es que su función amortiguadora es prácticamente nula (coeficiente de amortiguación de 0,005), por ello son idóneos para el aislamiento de vibraciones con amplitudes pequeñas, como es el caso de equipos de climatización.



Otra particularidad característica de los aisladores AM Y AL es la posibilidad de realizar montajes en paralelo de varios muelles, para el caso dado de soportar cargas puntuales elevadas o muy elevadas. Así el aislador que figura en la foto, esta compuesto por dos muelles.



Esquema : sistema mecánico en paralelo lineal



Foto aislador VIBCON VIB2000


2.6.2.- Amortiguadores de caucho y caucho-metal*

La norma UNE 100-153/88 los identifica por las siglas AG. No son amortiguadores puros puesto se les denomina frecuentemente viscoelásticos, ya que su función amortiguadora y aislante guardan una proporción equilibrada.



Fotos amortiguadores VIBCON: GOM, SC35 Y VIB SB

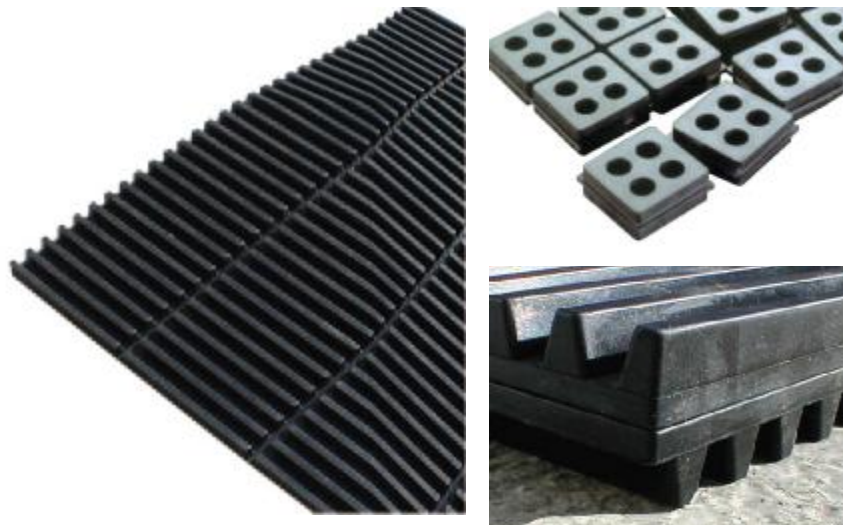
La amortiguación interna de histéresis les hace idóneos para el caso de movimientos bruscos (paradas y arranques de máquina) o en zonas de trabajo próximas a la frecuencia de resonancia.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	--	---

Los amortiguadores de caucho-metal* como bien se indica, están armados de una armadura metálica en una o ambas caras para dotarle de mayores propiedades de rigidez. La rigidez de un amortiguador de caucho suele ser de la mitad, respecto a uno de igual geometría pero dotado de armaduras.

También merece la pena destacar las “Alfombrillas Antivibratorias de Caucho” incorrectamente denominadas por “neoprenos”(**) que son de practica utilidad en el aislamiento de estructuras metálicas apoyadas sobre enanos o cabeza de pilares.

Suelen ser dentadas por una o ambas caras para así evitar el fenómeno de fluencia y proporcionar mejores rendimientos en cuanto a grado de aislamiento.



Fotos Alfombrillas antivibratorias VIBCON: AD412, MULTIPAD (superior) Y PAD (inferior)

Cuando mejor suelen actuar es cuando se forman conjuntos de dos a mas planchas unidas por su cara dentada o por el contrario encarándolos exteriormente pero girados uno respecto al otro 90° (PAD (planchas antivibratorias dobles) .Si las durezas entre ellas son muy diferentes favorece más el fenómeno de discontinuidad (ver cuadro del apartado 2.2).

Como norma, el tipo de caucho utilizado en estos productos es a base de caucho natural puro con cargas de antiozono para protegerlo del ataque a los agentes atmosféricos.



Es muy importante que los fabricantes adjunten gráficos de comportamiento bajo carga mediante ensayos en dinamómetro, ya que el comportamiento del caucho cuando se comprime es diferente a cuando es descargado debido a la histéresis propia que retarda su total recuperación. Por tanto su curva característica no es lineal, como la de los aisladores, si no cíclica.

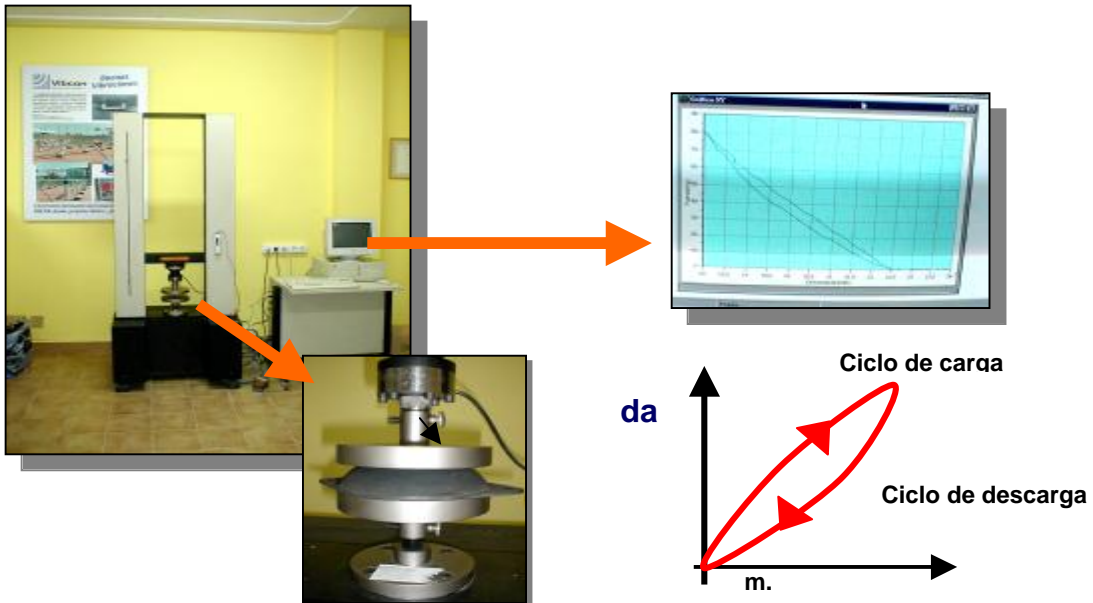


Foto Laboratorio VIBCON: Dinamómetro con capacidad de 20.000 N


2.7.- Selección adecuada de los Antivibradores

Tal como se cita en el apartado 10 de la norma, para seleccionar adecuadamente un antivibrador, es necesario establecer la deflexión y calcular el peso del equipo que actúa sobre el mismo.

Con estos datos se puede entrar en las tablas que suministra el fabricante y elegir el soporte antivibratorio que, bajo ese peso, tenga una deflexión igual o superior a la requerida.

En la mayoría de los casos los apoyos de la máquina son siempre diferentes e incluso sucede que algunos apoyos guardan una relación del doble respecto a otros. En estos casos los antivibradores deberán seleccionarse en función de las cargas puntuales de cada apoyo, dato que ha de facilitar el fabricante o distribuidor del equipo.

Así debemos elegir el modelo adecuado de antivibrador por apoyo de forma que las deflexiones producidas a las diferentes cargas han de ser iguales en todos los apoyos para conseguir en todos una misma frecuencia natural. Esta condición garantizará que el grado de aislamiento obtenido se correlacione con el esperado.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

La deflexión media obtenida entre todos los apoyos no debe sobrepasar de un rango de 5 mm. por encima o por debajo (lo más óptimo es de + - 2 mm.), y siempre ha de ser igual o superior a la deflexión marcada en la norma en función del equipo a aislar y del tipo de estructura soporte.

Cuando debido a la complejidad del problema, la elección del soporte elástico deba hacerse a través del cálculo, se procederá de la siguiente manera:

- se determina la frecuencia mínima de la fuerza vibratoria;
- se escoge el valor de frecuencia natural que satisfaga el factor de transmisión que se desea conseguir (generalmente del 5 al 10% y zonas críticas y del 15% en zonas no críticas);
- se determina la deflexión estática que han de tener los antivibradores bajo carga;
- se elige el número de soportes antivibratorios y la carga estática que grava sobre cada uno;
- se selecciona el modelo de antivibrador sobre la base de los datos de catálogo del fabricante.

2.8.- Bancadas y suelos flotantes

Se las puede considerar como otro elemento del montaje antivibratorio. La norma UNE 100-153/88 las denomina por los terminos BA asignando así a las bancadas de perfiles normalizados de acero, y por BH las bancadas de hormigón reforzado con armadura y perfiles.

Las propiedades que confieren al montaje antivibratorio son entre otras:

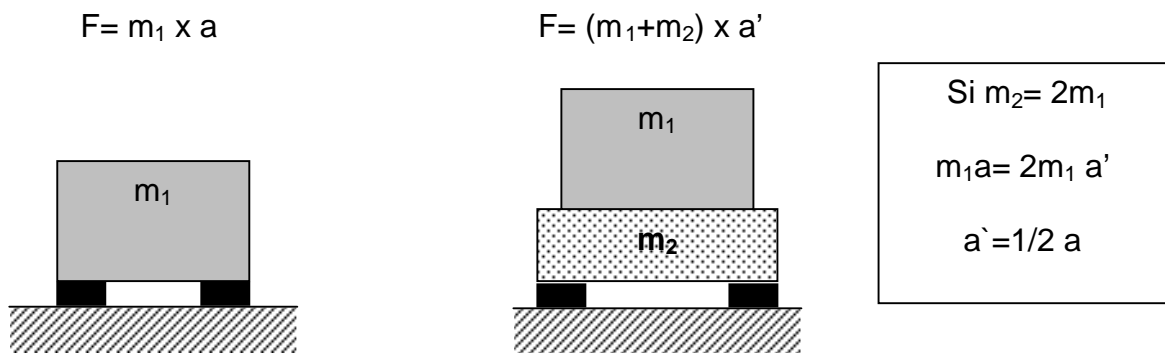
- Baja el centro de gravedad y aumenta la estabilidad, especialmente diseñado para equipos con momento de inercia elevados, y en equipos que generan amplitudes importantes en el arranque o parada.
- Disminuye la amplitud de la vibración por lo anteriormente mencionado.
- Mejora la uniformidad de la distribución de peso sobre los antivibradores
- Reducción de efectos de fuerzas exteriores originados por vibraciones que provienen del forjado (vibraciones pasivas).

Para los criterio de dimensionado la norma da unos criterios de dimensión aunque dependerá fundamentalmente del emplazamiento.

Hay que remarcar que las bancadas, contrariamente a lo que se cree, “no aíslan”, si nos que ayudan a aislar. Ello se debe a que el lastre adicional que proporciona al conjunto al montaje antivibratorio reduce los fenómenos de amplitud.



Tal como se muestra en el esquema siguiente, la fuerza periódica “**F**” que produce la máquina al funcionar, genera un valor determinado de amplitud que como es un desplazamiento lineal, podemos tratarla matemáticamente como una aceleración de amplitud “**a**”. Si posteriormente añadimos una masa complementaria m_2 , de igual peso de la maquina ,la aceleración de amplitud del sistema resultante será de la mitad de la inicial puesto que la fuerza periódica **F** es la misma.

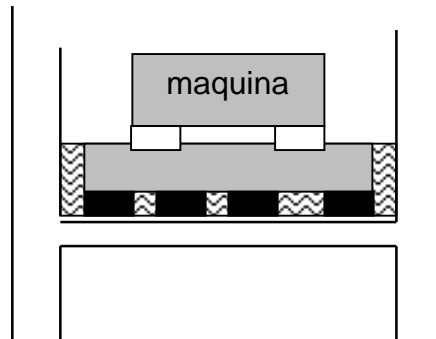


Las bancadas cuando son flotantes, suelen utilizarse más frecuentemente PADS de caucho frente a otros materiales ya casi en desuso, como es el corcho. Se suelen colocar a lo largo de la superficie de la bancada en forma intercalada a modo de damero. El material que se intercale de relleno puede ser tanto de naturaleza fibrosa, como fibra de vidrio de alta densidad o similar.

El corcho es un material que para las instalaciones de climatización y en especial refrigeración ya no se recomienda puesto que, por un lado se descompone con el tiempo y por la humedad y, por otro, es idóneo para grandes compresiones y velocidad de giro en máquinas muy elevadas (>4000 rpm).

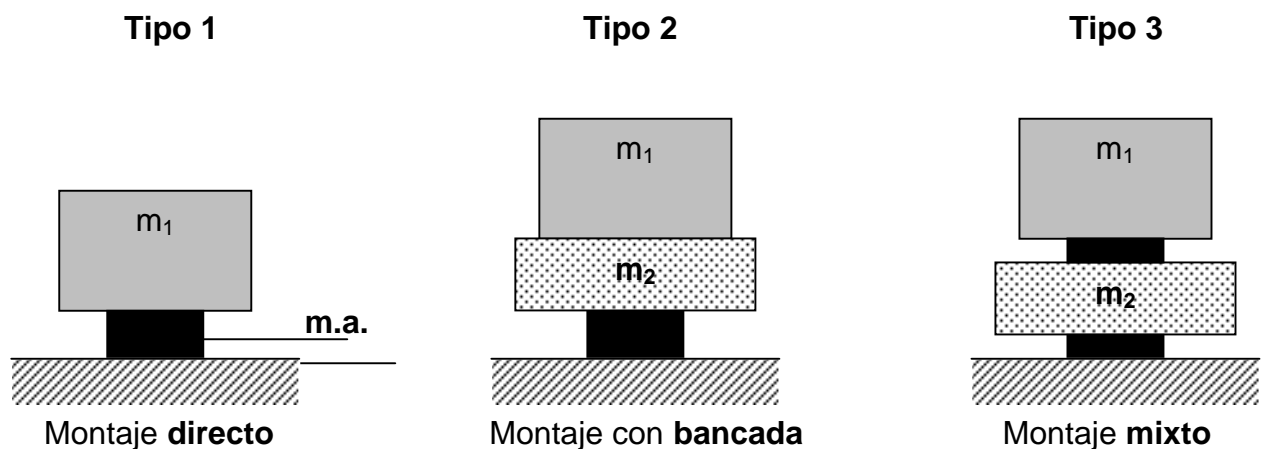
Los suelos flotantes se utilizan frecuentemente en instalaciones muy críticas, como por ejemplo estudios de radio, etc. Pueden reducir notablemente la transmisión de ruido estructural y aéreo a las zonas tanto inferior como adyacentes, debido a que al haber una masa adicional desacoplada del suelo principal.

Los materiales flexibles a seleccionar para la sustentación del suelo se han de regir predominantemente por que sean lo más resistentes a la transmisión del ruido, es decir, de que tengan la menor impedancia acústica posible (cuadro del apartado 2.2). Los materiales más utilizados son el caucho (PADS) para formar suelos flotantes discontinuos o bien láminas de polietileno flexibilizado o fibras sintéticas para suelos flotantes continuos.




suelo flotante
discontinuo

2.9. Tipos de montajes antivibratorios



El montaje directo se suele utilizar para pequeños equipos compactos de poco peso.
El montaje antivibratorio (ma).

El montaje con bancada se caracteriza por añadir un lastre inercial de hormigón o bien de perfiles estructurales de acero. Es de suma utilidad para equipos formados por componentes o módulos diferenciados de montaje, como es el caso de climatizadores. También suele utilizarse en equipos que debidos a sus particulares necesidades de linealidad en la transmisión en el eje precisa de la mayor estabilidad posible. Un claro ejemplo son los grupos de presión.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

El último tipo de montaje se suele utilizar para grandes equipos que pesen más de 1000 Kg de carga puntual. Este tipo de montaje aunque es de dos grados de libertad y por tanto da dos frecuencias naturales su rendimiento es mejor que los tipos anteriores. La condición importante a cumplir en este tipo de montaje es que la relación de frecuencias naturales entre los dos montajes antivibratorios intercalados, ha de ser de 1 a 3 veces para imposibilitar la presencia de fenómenos de resonancia. En la mayoría de casos la primera batería de aislamiento (entre máquina y bancada) está constituida por aisladores metálicos de muelles y la segunda batería está formada mediante alfombrillas antivibratorias de caucho (PADS).

2.10.- Pero, qué nos encontramos en realidad

Hasta ahora hemos supuesto en todo momento que el suelo era infinitamente rígido por las condiciones de partida del modelo dado en el apartado 2.3. Esta es, claro está, una situación idealizada, que rara vez o nunca se produce.


Lo que nos encontramos muy frecuentemente es que el lugar asignado para la ubicación de las instalaciones y maquinaria no cumplen ciertos requisitos y especialmente con suelos que flexan. Bien es cierto que todos los suelos flexan, pero también unos más que otros debido, posiblemente, a que fueron construidos con otros fines muy diferentes a los actuales, motivados por cambios de propietarios, rehabilitaciones, ampliaciones, etc.

Por ello es sabido por muchos profesionales del sector que nunca dos instalaciones son idénticas aún con el mismo equipamiento.

La norma UNE 100-153/88 a este fin, ha catalogado el tipo de forjado sobre el que se apoyará la máquina. De esta manera no solamente selecciona el antivibrador según el tipo de maquinaria sino además del tipo de estructura soporte existente.

Símbolo	Descripción de la estructura soporte
S	Solera sobre terreno
F6	Forjado con luz entre apoyos de hasta 6 m
F9	Forjado con luz entre apoyos de 6 a 9 m
F12	Forjado con luz entre apoyos de 9 a 12 m
F15	Forjado con luz entre apoyos de 12 a 15 m

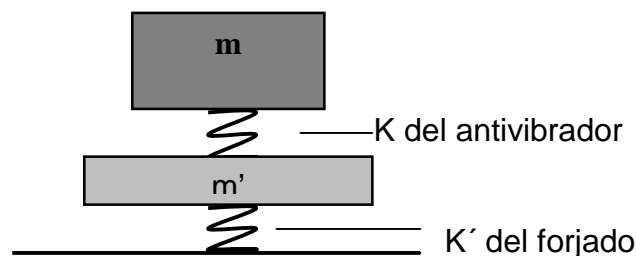
Por tanto y retomando ahora lo comentado en el último párrafo del apartado 2.4, no solamente basta con seleccionar un montaje antivibratorio adecuado a las características del equipo (ya que de esta forma podemos evitar fenómenos de resonancia), si no que es tanto o más importante saber sobre que estructura soporte vamos a asentarla.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	--

Suele suceder el caso, de encontrarse con instalaciones montadas y en funcionamiento que aisladas correctamente mediante antivibradores, dar unos resultados muy alejados de los esperados e incluso en alguna ocasión amplificarse la vibración.

No olvidemos que un montaje en forjado flexible obedece a un modelo de suspensión elástica de dos grados de libertad y por tanto el sistema ya no posee una única frecuencia natural si no dos, por considerar la propia del forjado como si éste fuese también otra masa con su muelle acoplado, que resta rendimiento a la del montaje antivibratorio.


Cabe destacar la similitud dada con el tipo del montaje mixto del apartado 2.9 ,por ello poníamos como condición que la relación entre ambas frecuencias debía de ser de una a tres veces, precisamente para evitar acoplamientos o resonancias.



K = constante de carga elástica

m = masa de la máquina

m' = masa del forjado

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	--	---

3.- SOLUCIONES ANTIVIBRATORIAS A LOS PRINCIPALES TIPOS DE INSTALACIONES.

3.1.- Pequeñas instalaciones

3.1.1.- Instalaciones domésticas.

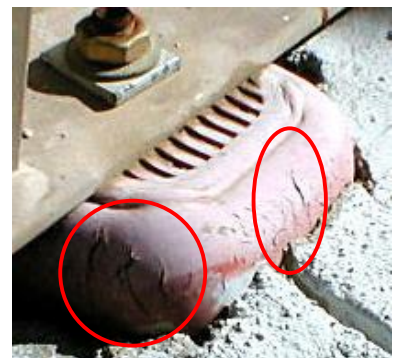
Son la más simples, pues normalmente sólo llevan los Splits interiores y las condensadoras exteriores. Se instalan habitualmente en viviendas particulares y en pequeñas oficinas o locales comerciales.


Las soluciones antivibratorias ya las hemos comentado en el punto 2.6.2. Para las unidades exteriores suelen montarse preferentemente apoyadas al suelo mediante soportes de caucho (tacos de plancha MULTIPAD) o bien si va sobre escuadras colocarlos mediante aisladores metálicos de muelle de baja altura (MINIVIB).



-“Amortiguador con superficie totalmente agrietada por la acción del ozono del medio ambiente, debido a que su formulación carecía de agentes antiozonantes. Este amortiguador estuvo expuesto al exterior y al segundo año de exposición ya ofrecía este aspecto.

-“Amortiguador de color con baja resistencia a rayos ultravioleta. Por mal diseño y elección de la formulación de caucho, este amortiguador tras 6 meses de su instalación ya se aprecian grietas. Ref: MOATI Castellón. Nuevos Juzgados



<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<h1>Artículo Técnico</h1> <h2>RITE&HVAC (I)</h2>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	--	--

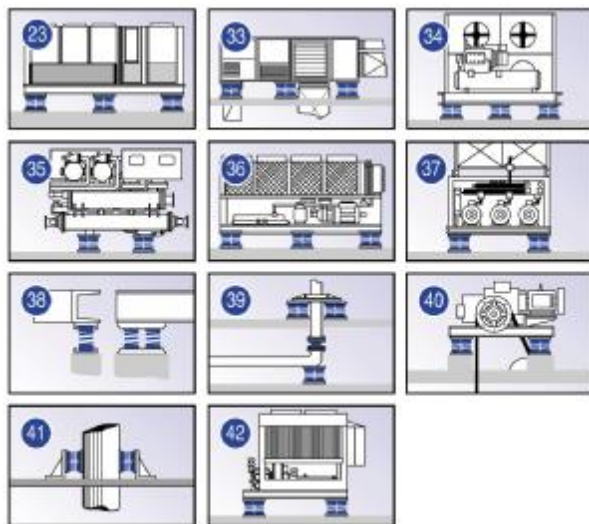
3.1.2.- Instalaciones semi-domésticas

Son las que se realizan en viviendas unifamiliares y chalets, así como en oficinas y locales comerciales de tipo medio y pequeño. Estas instalaciones se pueden subdividir en:

- Con Splits interiores y Condensadoras, con soluciones antivibratorias como en el caso anterior.
- Con equipos de baja silueta, que pueden llevar evaporadoras y la condensadora separadas en muebles independientes o en forma compacta. Estos equipos normalmente van instalados con conductos de aire y rejillas de difusión. Por tanto se tendrá especialmente cuidado en tomar medidas de control de vibraciones en las suspensiones de los conductos al techo.

El tipo de montaje antivibratorio se realiza con los mismos sistemas de soportación elástica que el apartado anterior.

3.2.- Medianas y grandes instalaciones



Generalmente son instalaciones centralizadas en todo el edificio como: hoteles, hospitales, edificios de oficinas, bancos, grandes superficies, cines, teatros, etc.

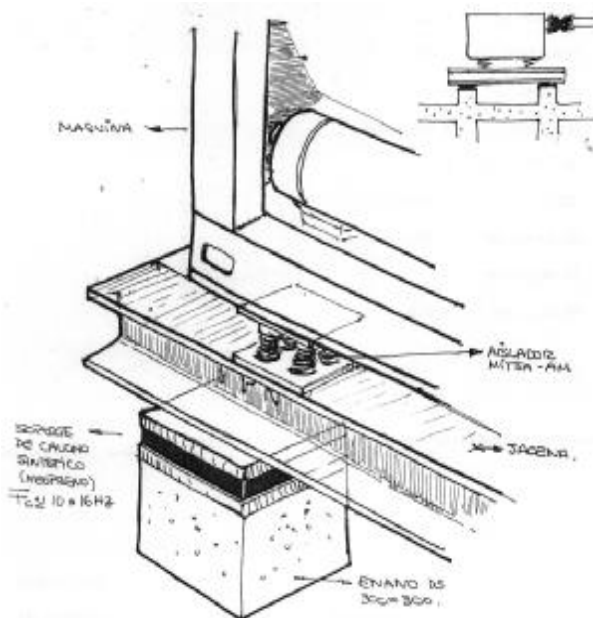
Las podemos dividir en 3 grandes grupos:

3.2.1.- Con acondicionadores autónomos de cubierta (ROOF-TOPS)

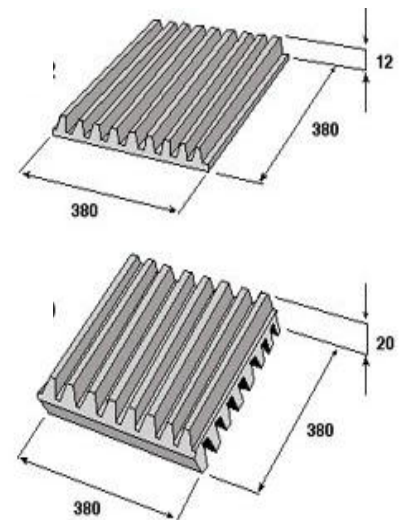
Las instalaciones con este tipo de equipos normalmente no llevan climatizadores, ni Fan-coils, pues el aire ya tratado parte directamente de los Roof-Top por los conductos de aire, saliendo por las rejillas a los difusores. Este sistema es, dentro de las instalaciones centralizadas, uno de los más sencillos, pues el aire tratado es totalmente uniforme para todo el local. Se emplea generalmente en Hipermercados, grandes superficies, polideportivos, cines, discotecas, etc.



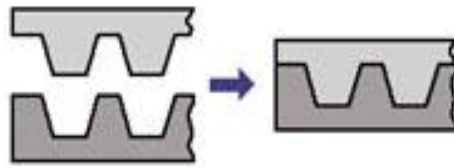
Por norma siempre se han de aislar colocando bancada flotante de hormigón a ser posible, y si la estructura soporte no fuese lo suficientemente rígida, se montarán sobre una estructura metálica a partir de perfiles normalizados de acero apoyados elásticamente mediante PADS en las cabezas de pilares. Los antivibradores serán siempre del tipo aisladores metálicos de muelle (VIBCON VIB20000, VIB40000) y se determinará su deflexión estática a tenor de lo que marca la norma UNE 100-153/88 según las luces entre apoyos del forjado.




Montaje antivibratorio mixto



Alfombrillas de caucho AD412 Y 420



SISTEMA PAD formado a partir del montaje en serie de dos Planchas Antivibratorias.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

3.2.2.- Con climatizadores

Este tipo de instalaciones precisa además de los climatizadores, enfriadoras y/o torres de refrigeración para enfriar el fluido que va a las baterías de los climatizadores, que es donde se trata el aire, que se enviará por los conductos hasta las rejillas o difusores por los que saldrá a las distintas dependencias del edificios. En este sistema el aire se trata de forma distinta en cada climatizador, según las necesidades particulares de cada dependencia o zona del edificio, con lo cual se obtiene una mayor versatilidad en las prestaciones.

Por lo general las soluciones antivibratorias son parecidas al caso anterior aunque para climatizadores medianos se suelen realizar montajes directos mediante aisladores metálicos de muelle (VIB100, VIB1000).

En la actualidad se fabrican climatizadores con velocidades cada vez más bajas, incluso en algunos casos poseen variadores de frecuencia, para estos casos se está adoptando la utilización de aisladores metálicos de muelles con deflexiones que pueden ser del orden de 100 a 125 mm.

3.2.3.- Con Fan-coil

Además de los fan-coils se necesitan enfriadoras para enfriar el fluido que va a las baterías de los fan-coils, que es donde se genera y enfría el aire, que sale por las rejillas que incorporan los propios equipos. Este tipo de instalaciones no lleva conductos de aire y son las que tienen una versatilidad máxima, pues en cada dependencia se puede regular la velocidad del ventilador obteniendo la temperatura deseada, así como el equipo se puede parar o arrancar según se desee. Este sistema es típico de los hoteles, se utilizan también en edificios de oficinas, clínicas, sanatorios, etc.

Por ser de poco peso, estos equipos se suspenden elásticamente mediante amortiguadores de caucho metal insertados en una carcasa metálica que permite que el Fan-coil se suspenda elásticamente pero con el amortiguador trabajando a compresión (los amortiguadores de caucho y caucho metal, nunca han de trabajar a tracción para el aislamiento de vibraciones en maquinaria). El modelo de amortiguador más utilizado es el que se aprecia en la tabla del apartado 2.6 con la referencia "serie TG".

3.2.4.- Instalaciones complementarias: Bombas o Grupos de presión

En las instalaciones medianas y grandes se precisan en mayor o en menor grado para la impulsión o recirculación de los distintos fluidos.

El tipo de montaje más afectivo para estas instalaciones es mediante bancada flotante de hormigón flotante mediante un montaje antivibratorio compuesto por aisladores AM.




Instalación en servicio de hace más de 20 años. En montaje antivibratorio está compuesto por aisladores metálicos de muelle y como se aprecia aún permanecen en perfecto estado de funcionamiento.

3.3.- Instalaciones de ventilación

En las instalaciones en que solamente se requiere la renovación forzada del aire (sin enfriarlo), se utilizan normalmente “cajas de ventilación” o “grupos moto-ventiladores (axiales o centrífugos). Se emplean principalmente en garajes, aparcamientos, almacenes, etc.

Hay que aplicar las mismas soluciones antivibratorias que para los climatizadores.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

4.-CONCLUSIONES

Tanto los instaladores como los fabricantes de componentes y equipos para instalaciones térmicas, tienen ahora que cumplir unos requisitos marcados por el RITE, que por ser de rango superior dispone que ciertas instrucciones técnicas (ITE) y normas UNE, sean de obligado cumplimiento.

No basta con preocuparse únicamente con conseguir equipos con bajos niveles de potencia sonora y de niveles vibratorios, si no que el entorno y la disposición de las instalaciones han de ser adecuadas para evitar problemas de transmisión de vibración así como niveles de ruido estructural como consecuencia de los primeros.


Hemos visto que la norma UNE 100-153 / 88 da a fines teóricos y prácticos una herramienta para las soluciones antivibratorias en instalaciones térmicas, desarrollando tanto aspectos del montaje antivibratorio como de su variada tipología así como de maquinaria.

*El término **SILENBLOCK** es el nombre comercial de una firma francesa y por tanto no es correcto su uso. Si es correcto "antivibrador", "soporte antivibratorio". Frecuentemente se suele utilizar este término más para denominar a los "amortiguadores de caucho-metal".

** La norma **ISO10816-1** da niveles más concretos de niveles de vibración en maquinaria y puede servir de guía más efectiva puesto que afina más que los niveles mencionados en la UNE 100-153, ya que estos son claramente elevados.

*** El término **NEOPRENO** es una marca comercial perteneciente a la firma americana DUPOND, la cual hace referencia a una formulación de caucho sintético de policloropreno muy utilizada para fabricar moldeados de caucho resistentes al ambiente y otros medios agresivos. En la actualidad se tiende al desuso por su elevado coste, y se utilizan en sustitución cauchos naturales con cargas antiozonantes, o bien otros cauchos sintéticos como los EPDM. No es correcto el uso de dicha palabra como término genérico para mencionar a un caucho para usos en el ámbito de la Ingeniería y Arquitectura. El término correcto sería CAUCHO TECNICO.

**⁴ Las Leyes Básicas o Normas Básicas son de primer rango. Su contenido es en ocasiones de carácter general. Seguidamente están las Ordenanzas que a nivel local son redactadas y pueden matizar mejor y describir según sea el caso, aspectos de la norma o ley básica pero por ellas mismas, por ejemplo, no poseen régimen sancionador. Únicamente las leyes básicas pueden poseer esta condición. En una Ley Autonómica si en uno de sus preceptos se contradice con la ley Estatal o Europea se redactan modificaciones a dicha norma pues no es posible esta circunstancia. Por último cabe indicar que por encima de las Normas Básicas a nivel Estatal están las norma de la Comunidad Europea. Por información En breve se aprobará en el Parlament la Ley Básica sobre Ruidos y Vibraciones de manera que todas las ordenanzas locales deberán adecuarse y poseerá un régimen sancionados que ira desde 150.000 a 50 millones de pesetas.

<p>Buenas Vibraciones</p> <p>Instalaciones Térmicas</p> <p>Ed:1ª 6/05</p>	<p>Artículo Técnico RITE&HVAC (I)</p>	 <p>FT-BV RITE</p>
---	---	---

5.-AGRADECIMIENTOS

A Susana Neira mi compañera por su permanente apoyo.

Francesc Daumal, catedrático en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, por haber encendido la mecha a mi naturaleza docente y por su sincera amistad. Siempre le estaré eternamente agradecido.

Y a Jesús Arrabal Aguayo mi compañero de trabajo y amigo, por ayudarme con sus conocimientos tras su dilatada vida profesional en el sector de la ventilación industrial y al cual le agradezco, además, el tomarse siempre en serio todas mis elucubraciones.

6.-REFERENCIAS

- 1.- Rafael Torres del Castillo. "Vibraciones y ruido estructural en máquinas e instalaciones en edificios". Conferencia realizada en el Colegio de Arquitectos de Asturias.
- 2.- Antonio Pérez López. "Control de ruido en salas de máquinas e instalaciones". Revista el Instalador de 1992.
- 3.- ASHRAE. " A practical guide to noise and vibration control for HVAC systems".1991ASHRAE Special Publications.
- 4.- ASHRAE."1991 Applications Handbook".
- 5.- ATECYR. "Fundamentos del control de ruidos y vibraciones".
- 6.- Cyril M.Harris."Shock and Vibration Handbook". Mc. Graw Hill 1988.
- 7.- J.M. Soroa Gutierrez-R Aramburu Máqua: Aplicaciones de la Plancha de Plomo en la Insonorización de la Edificación. Montajes e Instalaciones.