

Herramienta para el cálculo computacional de sistemas antivibratorios

F.J. MARTÍNEZ

Dpto. Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza
fjmargo@unizar.es

J. LASIERRA

Grupo de Vibroacústica. Universidad de Zaragoza

Resumen

La necesidad de incorporar nuevas metodologías de trabajo tanto en proyección como en ejecución en el campo del control de ruido y vibraciones en las instalaciones viene inducida por la entrada en vigor de la normativa relativa a estas disciplinas, hablamos del CTE DB-HR y del Real Decreto 1367/2007 de desarrollo de la Ley 37/2003. Así pues, tras realizar varios estudios referentes al aislamiento de vibraciones y análisis de bancadas de inercia de máquinas, se presenta una herramienta informática que pretende servir de apoyo al proyectista en el cálculo de soportes antivibratorios y bases inerciales, así como dar respuesta a los requerimientos normativos.

INTRODUCCIÓN

La entrada en vigor del Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación así como del Real Decreto 1367/2007 de desarrollo de la Ley 37/2003 del Ruido plantea para el proyectista y el instalador la necesidad de cumplir con unas nuevas exigencias legales más estrictas que las recogidas en la obsoleta NBE-CA-88. Para adaptarse con éxito a esta nueva situación deben plantearse importantes cambios metodológicos tanto en lo relativo al proyecto como a la ejecución y mantenimiento de las instalaciones en los edificios. Estos cambios van más allá de un mero cumplimiento normativo, que ya de por sí es de obligado cumplimiento, debiendo adoptarse cambios de planteamiento que van a verse necesariamente impulsados por el profundo cambio social que se está produciendo en este país en relación a la percepción social de las molestias por ruido y vibraciones en las viviendas y en especial en lo relativo a las generadas por las instalaciones ubicadas en las mismas.

A partir de estas consideraciones surge la necesidad de crear herramientas diseñadas con el fin de facilitar la respuesta eficiente de los técnicos a esa demanda social. La herramienta informática que se presenta en esta comunicación tiene como objetivo básico apoyar de manera fiable al proyectista en el ámbito del diseño de sistemas de aislamiento de vibraciones. Dicha herramienta se ha desarrollado a partir de un estudio detallado del aislamiento de diversas máquinas presentes en edificios y en una posterior validación de los resultados obtenidos.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

Comenzaremos planteando, una cuestión, que si bien puede parecer obvia para los técnicos con experiencia en la materia, no está tan clara en el ámbito de las instalaciones de la edificación si nos atenemos a los resultados obtenidos en los análisis de campo realizados:

Garantizar un eficiente aislamiento vibratorio de una máquina requiere de un análisis previo de la máquina, de su entorno de trabajo y sus condiciones de funcionamiento así como un correcto cálculo, selección, instalación y mantenimiento de los sistemas de aislamiento ya se trate de bancadas de inercia o de elementos de soporte-

aislantes.

Aunque el planteamiento anterior pueda considerarse una obviedad, que quizás levante alguna indulgente sonrisa por su simpleza entre los técnicos avezados en la materia, no es por ello menos cierto y constatable su incumplimiento en la práctica cotidiana con los consiguientes problemas que ello ha estado ocasionando y va a ocasionar en el futuro, aspecto éste que se ve agravado por las nuevas exigencias legales.

Ante esta situación se decidió diseñar una herramienta de apoyo al diseño y selección de sistemas de aislamiento de vibraciones. La herramienta se estructuró en varios módulos que permiten tanto la selección de conjuntos de elementos aisladores, como el cálculo de bancadas de inercia de nueva ejecución y, en su caso, la comprobación de bancadas de inercia existentes.

Una vez iniciada la implementación de la herramienta, se llevan a cabo varias mediciones relativas a la vibración producida por máquinas y se utiliza el módulo de comprobación para evaluar el rendimiento de las bancadas sobre las que se apoyan o de los soportes antivibratorios. Esta serie de análisis vibratoriales proporcionan una visión global de las deficiencias que se pueden encontrar en el aislamiento de vibraciones y así desarrollar una herramienta que garantice el aislamiento que se le requiere a cada máquina teniendo en cuenta su ubicación y sus características de funcionamiento.

A continuación se presentan dos ejemplos del procedimiento de validación realizado sobre dos máquinas características de un recinto de instalaciones destinado a climatización.

El primero de los casos se trata de una bomba de calor apoyada sobre aisladores, perteneciente al circuito de calefacción/refrigeración ubicada en el sótano del edificio al que da servicio como puede verse en la figura 1. Dicha máquina se compone de cuatro compresores cuyo funcionamiento simultáneo depende de la demanda energética en cada momento. Si nos remitimos a la norma UNE 100 – 153/2004, el grado aislamiento requerido para una máquina situada en un sótano debería ser al menos del 85 %.



Figura 1. Bomba de calor. Detalle del apoyo

Una vez caracterizada la máquina se procedió a realizar mediciones de los niveles de vibración en dos puntos de medida para cada apoyo, uno ubicado sobre la máquina y otro ubicado sobre el forjado de apoyo obteniéndose el resultado mostrado en la figura 2.

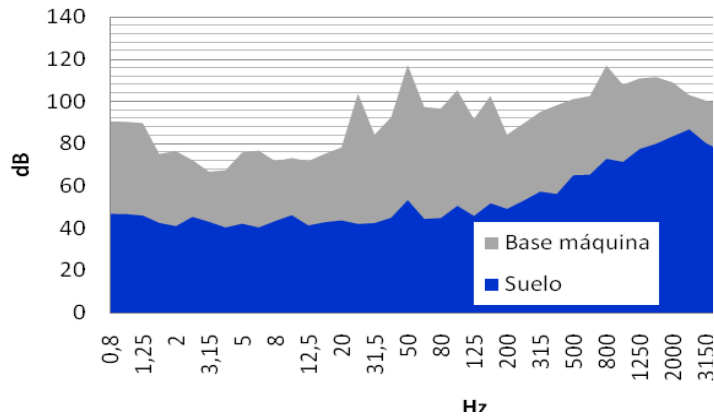


Figura 2. Análisis espectral diferencial de la bomba de calor

A partir del análisis de las mediciones realizadas se concluye que el aislamiento proporcionado por los elementos aisladores instalados es del 94 %, por lo que puede estimarse que el aislamiento es adecuado.

Analizaremos a continuación una bomba de impulsión que forma parte del sistema de climatización de un edificio de oficinas como puede verse en la figura 3. El equipo se apoya sobre una bancada de acero que a su vez se sustenta sobre cuatro aisladores de caucho.



Figura 3. Bomba de reflujo. Detalle apoyo

Tras una primera inspección visual nos encontramos con que uno de los cuatro aisladores ni siquiera realiza la función de apoyo de la bancada, por lo que a todos los efectos la máquina está apoyada únicamente sobre tres apoyos. Se aprecia además que los aisladores utilizados tienen una rigidez de 60 daN/mm lo que implica que a pesar de que la velocidad de giro de la máquina es de 50 Hz, el sistema de aislamiento no proporcionará en ningún caso el aislamiento requerido. Una vez realizada la inspección visual, se llevaron a cabo las oportunas mediciones de los niveles de vibración con el objeto de comprobar el aislamiento real proporcionado por sistema de análisis, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 4.

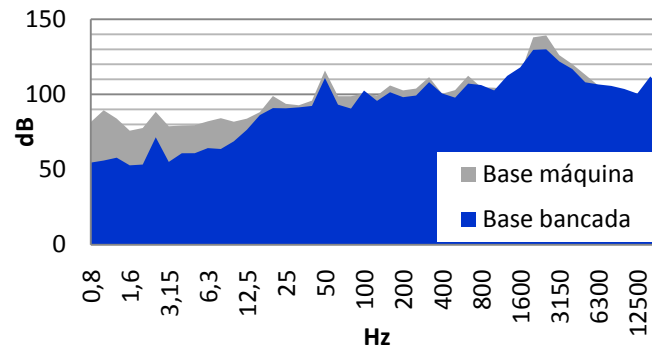


Figura 4. Análisis espectral de la bomba de impulsión

En esta ocasión el aislamiento obtenido es inferior al 70 %, por lo que la bancada no cumple las condiciones especificadas en la norma UNE 100-153/2004.

Estos dos casos, que no son más que una muestra de los muchos analizados, demuestran el interés de disponer de una herramienta informática que de forma sencilla, rápida y fiable permita conocer las reacciones en cada uno de los apoyos de una máquina permitiendo seleccionar el aislador adecuado teniendo en cuenta las características de la máquina (velocidad de giro, distribución de masas, etc.)

HERRAMIENTA DE CÁLCULO

Terminada la descripción de dos casos bastante representativos de lo que nos encontramos en situaciones reales de instalaciones de edificios pasamos a describir la herramienta desarrollada. Como se ha dicho anteriormente, se consideran tres tipos de situaciones para las que sirve de ayuda utilizar la herramienta que se presenta, como puede observarse en la figura 5. Dichas situaciones se traducen en tres módulos independientes de cálculo que sin embargo, se basan en los mismos principios de control de vibraciones. Los módulos a los que se hace referencia son: cálculo de bancadas de hormigón, de acero y evaluación de bancadas existentes.



Figura 5. Pantalla de inicio

Una vez se decide qué tipo de bancada se desea calcular o analizar nos encontramos con un formulario como el de la figura 6 en el que se nos pedirán los datos de entrada necesarios para realizar el cálculo como son las dimensiones de la máquina, posición del centro de gravedad, consideración de la carga, velocidad de giro, número de puntos de apoyo, uso del edificio con el objeto de determinar el grado de aislamiento según la norma UNE 100-153/2004, número de grados de libertad, etc., de igual manera se seleccionará la base de datos del fabricante de donde serán seleccionados los elementos a considerar.

Centro de gravedad:

xcgm (m) m

ycgm (m) m

zcgm (m) m

Velocidad de giro

n (rpm) r.p.m.

Masa de la máquina:

Masa (kg) kg

Consideración de la masa

Aislamiento requerido:

Zona de uso:

i(%)

Seleccionar vista del gráfico:

Figura 6. Formulario de datos de entrada:

Una vez considerados todos los aspectos relativos a los datos de entrada mencionados anteriormente, la herramienta ofrece el resultado de cálculo óptimo según los criterios de resistencia y estabilidad que se establecen en el programa por defecto. Sin embargo, el usuario puede ajustar los resultados imponiendo su propio coeficiente de seguridad.

El resultado que se obtiene de la utilización de la herramienta es eminentemente práctico. La salida de datos consiste en calcular las reacciones en los apoyos (método directo de la rigidez), características de la bancada (ej: perfilera perimetral de perfil angular de 80x80x6 mm, y adición de masa de hormigón de 35 kg) y características de los elementos soporte-aisladores (VIB 050). (Ver figura 7).



Figura 7. Bancada mixta acero-hormigón para bomba de reflujo

En casos complejos donde las dimensiones de la máquina así como su masa y fuerza perturbadora son de gran magnitud y provocan una gran vibración es necesario optimizar los sistemas antivibratorios. Para alcanzar la solución que más se ajusta a cada caso se implementa un módulo de análisis modal donde se estudia la frecuencia o frecuencias de excitación de la máquina para determinar el número de elementos soporte-aisladores que optimiza el funcionamiento de cada tipo de máquina así como la posición correcta de los mismos (figura 8).

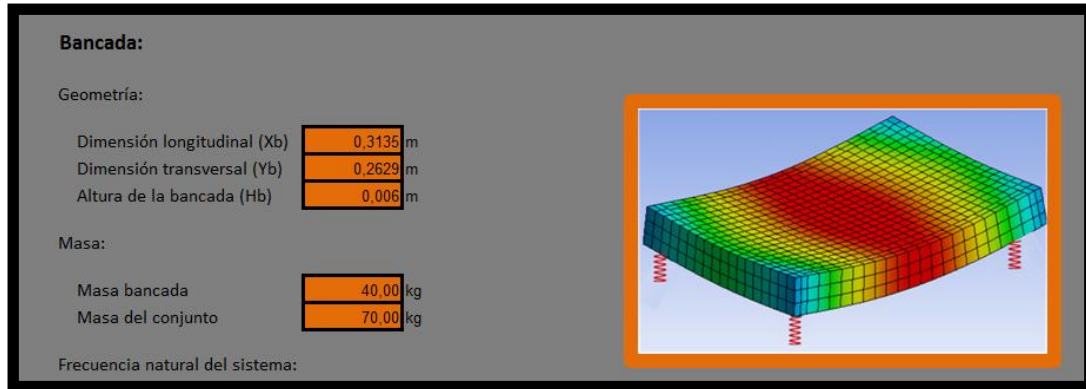


Figura 8. Análisis modal bancada de hormigón

En aquellos casos en que una máquina está sometida a varias frecuencias y fuerzas perturbadoras, muchas veces no basta con realizar bancadas de inercia de dos grados de libertad si no que resulta vital la colocación correcta de los elementos aisladores teniendo en cuenta los modos de vibración del conjunto máquina-bancada y obviamente, los criterios mecánicos y de estabilidad.

La herramienta que se ha descrito ha sido testeada en numerosas ocasiones y se podría decir que los resultados han sido satisfactorios, no obstante, dados supuestos que necesariamente se asumen así como la diferencia inevitable entre la teoría y la práctica se va un paso más allá y se dota de cierta inteligencia al software para reducir lo máximo posible las discrepancias que pudiere haber. Lo que se pretende es que la ya mencionada herramienta de cálculo de bases inerciales “aprenda” a medida que se utiliza. Para ello necesita un “feed back” que se le proporciona realizando medidas de atenuación de vibración una vez realizada la bancada e instalada la máquina. Además de que dicha medida posterior de la atenuación de vibración sea una práctica recomendada, cada vez que se realiza una bancada, el software da la posibilidad de que se le realimente con el valor de porcentaje de atenuación de la vibración que se ha conseguido en la práctica obtenido mediante la ya señalada medición in situ. Con este procedimiento además de comprobar la eficacia del cálculo realizado se produce un ajuste en el programa para que cada cálculo sucesivo se ajuste más al comportamiento real. Esta realimentación se consigue con un algoritmo sencillo que se muestra a continuación en la figura 9. El funcionamiento del ajuste del programa, que se puede reiniciar en cualquier momento, sencillamente consiste en identificar aquellos factores que se consideran independientes para el cálculo de un sistema aislador de vibraciones. El programa “conoce” los datos de entrada que se le introducen para realizar un determinado cálculo y al incorporar también el valor de la medición de la vibración transmitida puede sectorizar entre tipo de bancada, masa añadida, fabricante, etc. y así discriminar el tipo de ajuste, es decir, el algoritmo de ajuste no implica cambios generales en la herramienta, sino que distingue entre los factores que aparecen en el algoritmo y aplica el ajuste a los factores implicados.

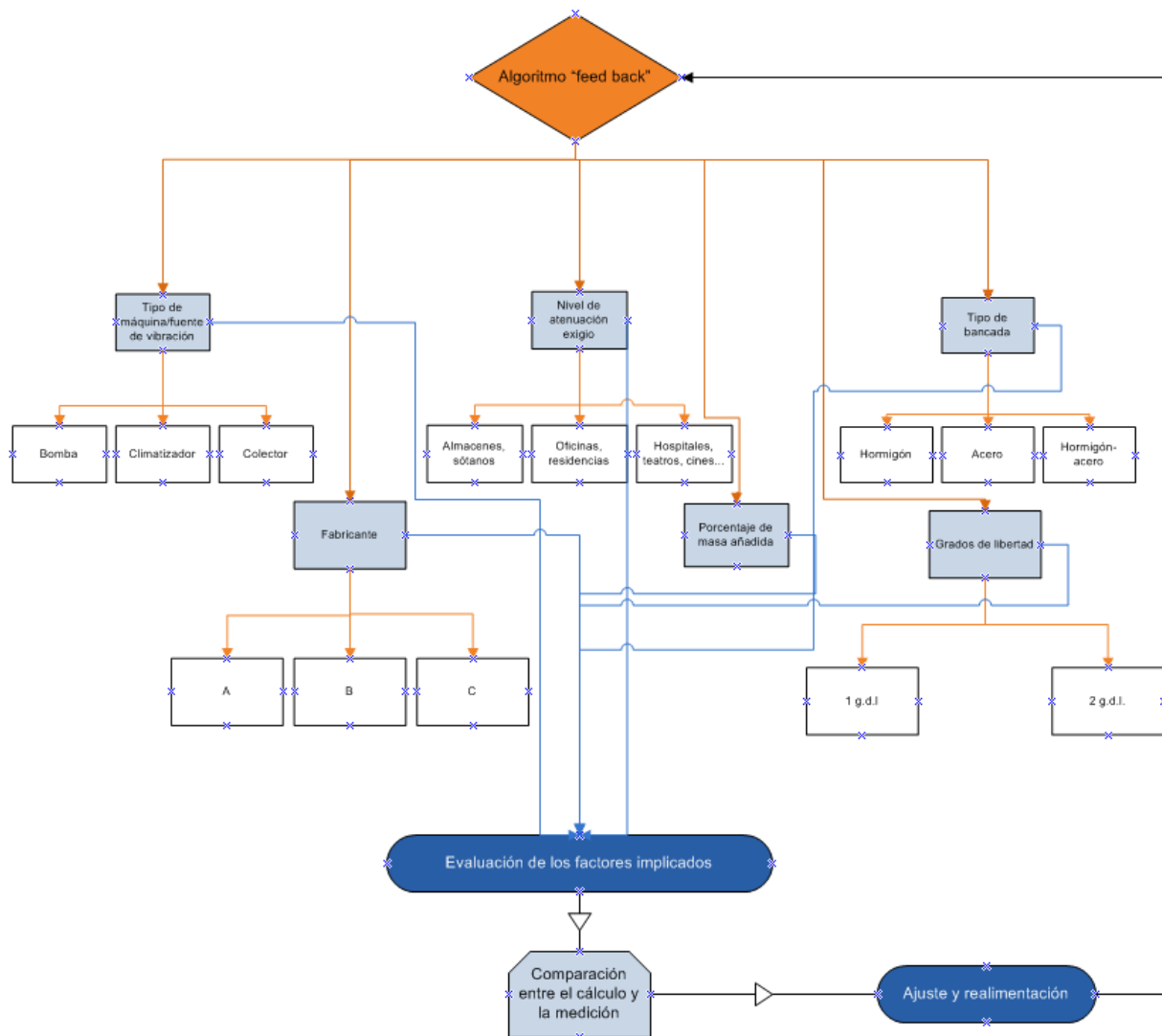


Figura 9. Factores implicados en la realimentación

CONCLUSIÓN

Para concluir decir que la herramienta anteriormente presentada no pretende ser más que un apoyo para el diseñador de sistemas de aislamiento de vibraciones en el proceso de selección de los aisladores adecuados, si bien conviene tener presente que cada caso de estudio requiere un análisis específico, asociado a una cierta experiencia así como a criterios de carácter teórico claros para llegar a un buen diseño final.

Conviene para finalizar resaltar que, además de un buen cálculo y diseño, es imprescindible, aunque a la luz de los distintos casos analizados no siempre es así, garantizar un adecuado mantenimiento de los sistemas de aislamiento.

REFERENCIAS

- [1] Pedro Flores Pereita: “Manual de acústica ruidos y vibraciones”. Edición Pérez Fajardo 1990.
- [2] Rafael Torres del Castillo: “Patologías vibroacústicas generadas por instalaciones térmicas en edificios”. Ponencia presentada en jornadas técnicas CLIMATIZACIÓN 2003.
- [3] Javier Abad Blasco: Apuntes sobre “Vibraciones Mecánicas”. Impartida en el curso 2007-2008 en la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.