

# MODELO INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE BASES INERCIALES Y SOPORTES ANTIVIBRATORIOS

43.40.-Tm VIBRATION ISOLATORS, ATTENUATORS, AND DAMPERS

Lasierra Liarte, Joaquín; Martínez Gómez, Francisco Javier  
Grupo de Vibroacústica de la Universidad de Zaragoza  
C/ María de Luna s/n – Ed. Betancourt, Campus Río Ebro  
50018 Zaragoza  
España  
Tel: 976 76 21 62  
E-mail: [joaquin@grupovac.org](mailto:joaquin@grupovac.org); [fjmargo@unizar.es](mailto:fjmargo@unizar.es)

## ABSTRACT

The adoption of CTE DB-HR and the Real Decreto 1367/2007 implies deep changes in the methodologies relating to the project and the implementation of the facilities of buildings, considering this, this article is structured to raise two issues, first an analysis of the vibration isolation of two typical cases of HVAC equipment installations, while on the other is presented tool to support the calculation of vibration isolation systems.

## RESUMEN

La entrada en vigor tanto del CTE DB-HR como del Real Decreto 1367/2007 de desarrollo de la Ley 37/2003 del Ruido implica necesariamente profundos cambios en las metodologías relativas tanto al proyecto como a la ejecución de las instalaciones de los edificios, partiendo de esta consideración el presente artículo se ha estructurado planteando dos aspectos, por un lado se realiza un análisis del aislamiento de vibraciones de dos casos típicos de maquinaria de instalaciones de climatización, mientras que por otro y a la luz de las deficiencias de diseño observadas en los estudios de campo se presenta una herramienta informática de apoyo al cálculo de sistemas de aislamiento de vibraciones.

## 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, la 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.

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 las figuras 1 y 2. 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 objeto de estudio



Figura 2: Detalle del apoyo de la bomba de calor

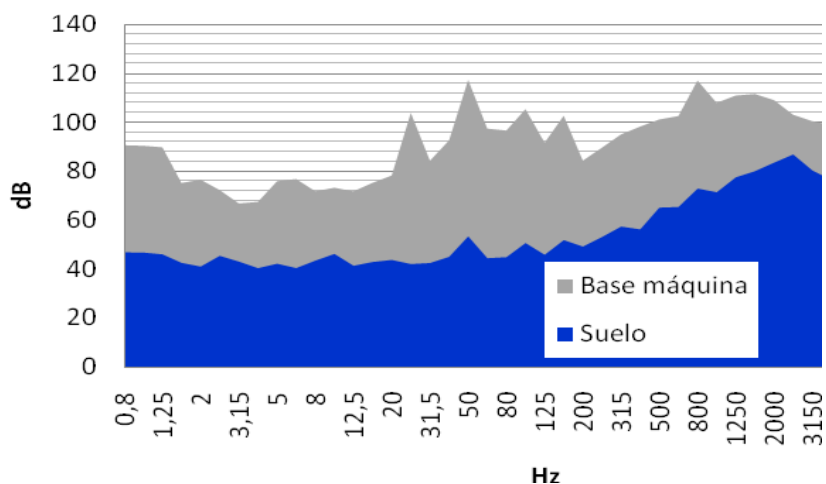


Figura 3: Análisis espectral diferencial de la bomba de calor

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 3.

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. Sin embargo al realizar una inspección visual del conjunto se detecta, y esto es muy habitual, que el peso de la bomba está siendo soportado por 6 elementos de idénticas características, si bien la distribución de cargas y la geometría de la máquina no es regular, lo que implica obviamente que los elementos están soportando cargas diferentes, parece razonable argumentar que el proceso de cálculo y selección debería haber considerado este aspecto, escogiendo en cada punto de apoyo los elementos adecuados para las condiciones de carga específicas. Al no haberse realizado este análisis diferenciado se aprecia que las deformaciones no son homogéneas por lo que las condiciones de trabajo no son adecuadas

Este tratamiento diferenciado puede realizarse de manera muy sencilla utilizando la herramienta desarrollada, dado que permite calcular el aislador adecuado para los distintos puntos de apoyo seleccionados, tanto en el caso de máquinas como la bomba de calor aislada mediante elementos aisladores como para aquellas máquinas apoyadas sobre bancadas de inercia

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 4. El equipo se apoya sobre una bancada de acero que a su vez se sustenta sobre cuatro aisladores de caucho. Tras una primera inspección visual nos encontramos con que uno de los cuatro aisladores ni si quiera 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 5.



Figura 4. Bomba de impulsión

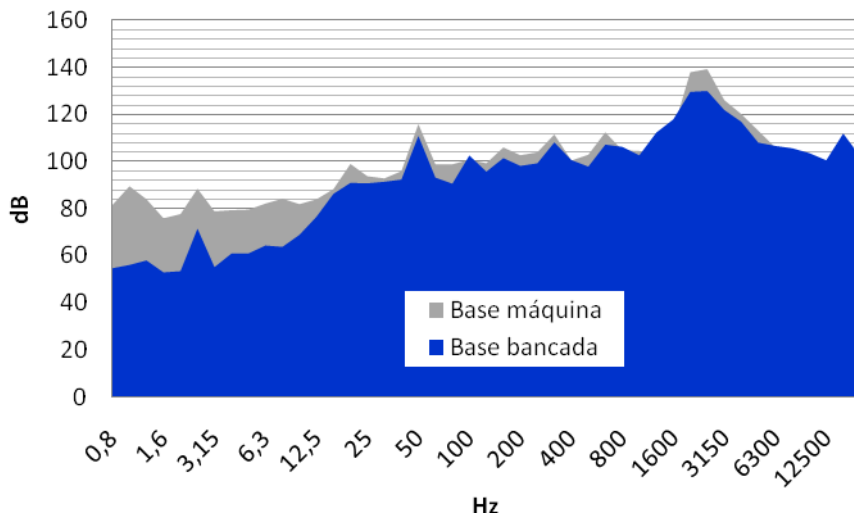


Figura 5. Análisis espectral de la bomba de impulsión

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 INFORMÁTICA: EJEMPLO DE APLICACIÓN

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, realizando para ello un ejemplo de cálculo que permitirá evaluar la utilidad del software.

En la pantalla de inicio mostrada en la figura 6 podemos escoger, entre otros, los siguientes módulos de cálculo: cálculo y selección de elementos aisladores, cálculo de bancadas de inercia de hormigón, cálculo de bancadas de acero y evaluación de bancadas.

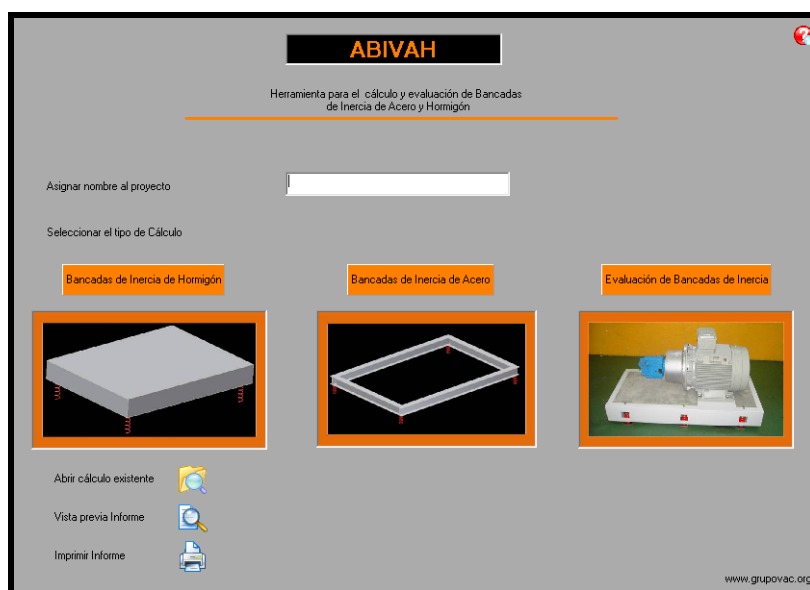


Figura 6 : pantalla de inicio

En nuestro ejemplo vamos a diseñar la bancada de inercia de un grupo motobomba mediante una base inercial de hormigón, para lo que utilizaremos el módulo de cálculo correspondiente.

Una vez dentro del módulo nos encontraremos con un formulario como el de la figura 7 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, zona de uso 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 7: Formulario de datos de entrada

En el caso del grupo motobomba objeto de estudio introducimos los datos enumerados anteriormente para que la herramienta determine los aisladores a instalar en la base inercial para obtener el aislamiento requerido según la zona de uso, en este caso, el grado de aislamiento requerido es del 90 %. Es importante decir que el programa calcula la reacción en cada apoyo por el Método Directo de la Rigidez y tiene en cuenta la posición del centro de gravedad.

Una vez seleccionado los elementos soporte-aislador se puede consultar la base de datos del fabricante incluida en la herramienta con el objeto de obtener información adicional.

Con el fin de ofrecer más información sobre el cálculo la herramienta incorpora elementos gráficos complementarios que facilitan la interpretación de los datos de salida del programa. A modo de ejemplo se muestra en la figura 8 un gráfico del grado de aislamiento. Entre los parámetros adicionales facilitados por el programa se encuentran la frecuencia natural del sistema, la relación entre frecuencia de excitación frente a frecuencia natural ( $\beta$ ), deformación mínima de los aisladores, etc.

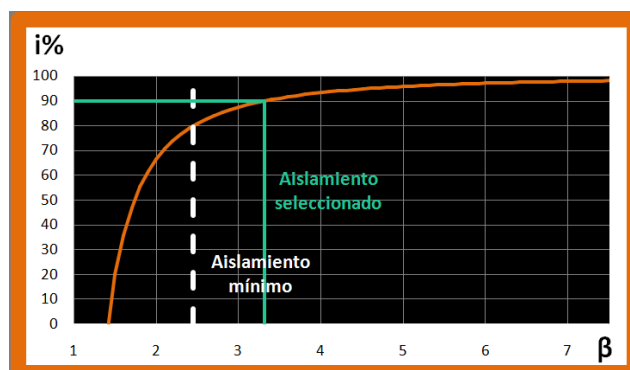


Figura 8: Gráfico del grado de aislamiento frente a  $\beta$

En nuestro caso la bancada calculada está formada por perfiles angulares de acero de 80 mm que encierran un volumen ortoédrico donde se ha vertido hormigón para aportar masa a la bancada. También siguiendo con los cálculos de la herramienta y dado que la distribución de cargas se ha considerado uniforme se colocan 4 resortes con almohadilla antideslizante (tipo VIB 050), en cualquier caso la herramienta permite calcular, como ya se ha apuntado, condiciones de carga no homogéneas

Para validar el cálculo realizado por la herramienta se procedió a realizar una serie de medidas de niveles de vibración, obteniéndose los resultados presentados en la figura 9, a partir de los

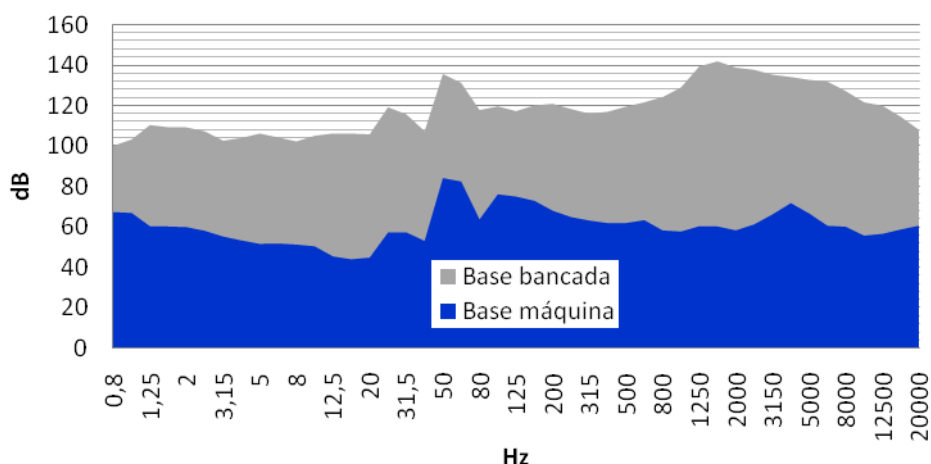


Figura 9: Análisis espectral diferencial del grupo motobomba

cuales se comprueba que el valor del aislamiento obtenido a partir de las mediciones es del 90% que el valor seleccionado para el cálculo de la bancada realizado con la herramienta.

En el proceso de validación de la herramienta se ha constatado una adecuada convergencia entre los valores calculados y los medidos para las distintas configuraciones analizadas lo que permite establecer que la herramienta tiene el grado de fiabilidad requerido para el cálculo y diseño de los distintos sistemas de aislamiento contemplados.

La utilización de la herramienta descrita requiere un cierto nivel de conocimiento sobre dinámica de máquinas, dado que por ejemplo, en el caso del grupo motobomba estudiado anteriormente éste bombea gran cantidad de fluido con sus correspondientes desplazamientos de masas en distintos ejes, por lo que además de seleccionar adecuadamente los aisladores resulta necesario un diseño de la bancada optimizando la posición del centro de gravedad para garantizar la estabilidad de la máquina. Este aspecto requeriría la medición de los niveles de vibración en tres ejes (x, y, z) para determinar cuál es la magnitud de las fuerzas excitadoras asociadas al movimiento de fluidos en cada eje así como los posibles momentos de vuelco generados.

Conviene igualmente mencionar que a medida que aumenta la velocidad de la máquina se reduce la transmisibilidad, incrementándose por el contrario la magnitud de la fuerza excitadora asociada al giro de la máquina, por todo ello resulta de vital importancia tanto el cálculo de los elementos que realizan la función de aisladores como el análisis y el diseño de la bancada, resultando primordial bajar de forma significativa la posición del c. d. g. de la bancada mediante una adecuada geometría de la estructura de acero utilizada.

## 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 BIBLIOGRÁFICAS**

Pedro Flores Pereita: "Manual de acústica ruidos y vibraciones". Edición Pérez Fajardo 1990.

Victor Wowk: "Machinery Vibration". Editorial Mc Graw Hill 1991.

Rafael Torres del Castillo: "Patologías vibroacústicas generadas por instalaciones térmicas en edificios". Ponencia presentada en jornadas técnica CLIMATIZACIÓN 2003.

Javier Abad Blasco: Apuntes sobre "Vibraciones Mecánicas". Impartida en el curso 2007-2008 en la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.

Andrew D. Dimargogonas, Sam Haddad: "Vibration for Engineers". Editorial Penitence Hall 1992.

M. F. Dimentberg, K. V. Frolov, A. I. Menyailov: "Vibroacoustical Diagnostics for Machines and Structures". Research Studies Press 1991.