

## SISTEMAS DE AISLAMIENTO VIBROACUSTICO EN INSTALACIONES DE ASCENSORES

PACS: 43.40.Tm

Torres del Castillo, Rafael  
Vibcon Dir técnico e I+D.  
Vibroaustica C.A. S.L  
Abat Marçet 41-43  
08173 Sant Cugat. Barcelona  
Tel: 902195512, FAX: 936755890  
E-mail: [rafa@vibcon.net](mailto:rafa@vibcon.net)

### ABSTRACT

El presente trabajo muestra sistemas de aislamiento de vibraciones para ascensores electromecánicos caracterizados por trabajar bajo carga variable y sometidos a vibración aleatoria formada fundamentalmente por transitorios de arranque y parada que generan impulsos fácilmente audibles en las viviendas de los edificios. Por ello el objetivo es mostrar sistemas de montajes antivibratorios para este tipo de instalaciones no solamente para reducir la transmisión de la vibración generada si no también con el propósito de aminorar la transmisión de ruido estructural inducido por la misma.

### 1.- ANTECEDENTES

El equipo de trabajo que lleva a cabo estas investigaciones está formado por el LEAM de la Escola Técnica Superior de Enginyers Industrial de Terrasa y el departamento de I+D de Vibcon dentro de un acuerdo realizado a través del CIDEM de la Generalitat de Catalunya para investigación y desarrollo dentro del marco de la calidad acústica en la edificación.

Hay que añadir además que otro importante motor de este proyecto viene dado por la futura aprobación del *Código Técnico de la Edificación*, que regula el nivel de ruido provocado por las propias instalaciones del edificio e indica valores máximos recomendados de inmisión sonora situados alrededor de los 30 dBA., valor muy por debajo de los niveles de inmisión sonora generados por las instalaciones de ascensores que se sitúan en torno a los 45 dBA superando ampliamente los valores indicados.

### 2.- SISTEMAS ANTIVIBRATORIOS AXISTENTES EN EL MERCADO

Los sistemas de aislamiento de vibración están concebidos por sistemas mecánicos de masa constante y que funcionan en régimen permanente. Por el contrario en un ascensor electromecánico nos encontramos por un lado que a su propio peso hay que añadir una carga viva que puede ser variable y por otro, están sometidos a una continua generación de transitorios (arranque y frenado) que generan impulsos audibles en las viviendas con una transmisión de vibración por los paramentos verticales y horizontales que inducen ruido estructural.

Además, los sistemas actuales están concebidos básicamente para asegurar un correcto funcionamiento del sistema, controlar que la vibración mecánica generada esté dentro de unos parámetros aceptables y aislar para evitar su transmisión al entorno. En cambio, dada las características de este tipo de instalaciones y su ubicación, no basta con conseguir las máximas de aislamiento vibratorio antes mencionadas si no que se hace más relevante reducir el ruido estructural inducido, por ello los sistemas antivibratorios han de ser mucho más específicos y eficaces.

Los actuales sistemas antivibratorios utilizados para estos equipos están constituidos básicamente por piezas de caucho de elevada dureza y en algunos casos armados mediante componentes metálicos para mejorar sus propiedades mecánicas y favorecer su fijación al resto de elementos de la instalación. Sus diseños no son específicos para este tipo de instalaciones si no más bien son adaptaciones y extrapolaciones de diseños realizados para otros tipos de maquinaria y especialmente para motores de vehículos en los cuales los objetivos fundamentales son aminorar la amplitud de las vibraciones, garantizar el funcionamiento correcto de los equipos y alargar su vida útil.



Figuras 2.1: Imágenes (izquierda) Tacolastic amortiguador de caucho adaptado por ascensores Otis ;(centro) taco de caucho extrapolado de amortiguación en motores; silenbloc de caucho-metal para motor adaptado a ascensores

En la actualidad existe una amplia proliferación de estos productos tanto en gamas como en tipos de calidad pero todos ellos no cumplen con los requerimientos de aislamiento vibroacústico específicos para este tipo de instalaciones.

### 3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO INICIAL

El equipo de trabajo planteo el proyecto con los siguientes objetivos parciales para conseguir el objetivo final que es el diseño de aisladores de vibración adecuados para las instalaciones de ascensores.

- 1.- Caracterización de la generación de vibraciones en el grupo motor-tractor de los ascensores.
- 2.- Caracterización de la fenomenología que determina la generación de ruido estructural inducido por la vibración generada en instalaciones de ascensores en los edificios.
- 3.- Creación de una planta de caracterización de aisladores de vibración que cumpla con los requisitos de aislamiento para ruido estructural.
- 4.- Diseño de aisladores adecuados para instalaciones de ascensores.

Para ello se solicitó la colaboración de *Ascensores Orona en Barcelona* que y nos facilitó en todo momento su colaboración para mostrarnos diversas tipologías de ascensores electromecánicos. Además *La llave de Oro* empresa promotora y constructora, nos brindó poder realizar en viviendas duplex de nueva construcción, mediciones paralelas de vibración y ruido con el ascensor en funcionamiento en sus diferentes fases.

### 3.1.- Estudio de Tipologías de Ascensores Electromecánicos

De una manera general, el sistema electromecánico está formado por un grupo de tracción situado sobre el recinto por donde se desplaza el ascensor que al mismo tiempo soporta y mueve la cabina con un contrapeso en el lado opuesto. Los cuartos de máquinas se sitúan por lo general justo encima del buc (ascensor tipo maquina arriba), recinto por el cual se desplaza el ascensor. El grupo motor-tractor con el peso correspondiente de cabina+bastidor y el contrapeso reposan sobre la losa de hormigón apoyada sobre las propias paredes del buc.

En las visitas realizadas se ha observado que la losa que soporta la maquinaria tiene un espesor entre 16 y 20 cm., y descansa directamente sobre las paredes del buc del ascensor, normalmente contruidas con ladrillo Gero de 10 cm de espesor. Estas paredes lindan con las viviendas y están conectadas con el resto del edificio y otras paredes interiores el edificio.

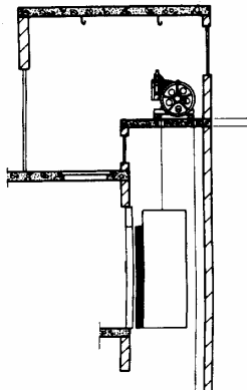


Figura 3.1: Esquema de un ascensor electromecánico (izquierda). Foto de ascensor máquina arriba en edificios con duplex (derecha).

Desde el punto de vista vibroacústico esta tipología suele comportar problemas de generación de ruido en las viviendas especialmente en aquellas alrededor del cuarto de ascensores y el buc en las plantas superiores de los edificios. Concretamente de las visitas realizadas el nivel medio en las viviendas afectadas estaban alrededor de  $L_{eqA,5s}$  igual a 45 dBA, medido de acuerdo con el criterio que actualmente se está considerando en la *Ley del Ruido* y del *Código Técnico de la Edificación*. Es fácil concluir pues que la mayoría de este tipo de instalaciones incumplirá el marco normativo cuando los niveles máximos recomendados se sitúan en 30 dBA en dormitorios en horario nocturno. Las otras tipologías de ascensores mencionadas poseen un comportamiento vibroacústico muy similar.

## 4.- GENERACION DE VIBRACION Y RUIDO ESTRUCTURAL EN ASCENSORES

En una primera fase se realizaron medidas en ascensores con sistemas antivibratorios formados con tacos de caucho en sus apoyos en viviendas de nueva construcción. Se utilizaron analizadores de dos canales, de forma que se podía medir la vibración de la maquinaria y la vibración que ésta transmite a la losa que la soporta, a través del taco de caucho. También se realizaron medidas en el interior de la vivienda más cercana, en el suelo del comedor, siguiendo el protocolo de medida de la Llei 16/2002 (Llei de Protecció Contra la Contaminació Acústica). Se midieron respecto al tiempo de un ciclo completo de arranque, funcionamiento a régimen y parada del ascensor.

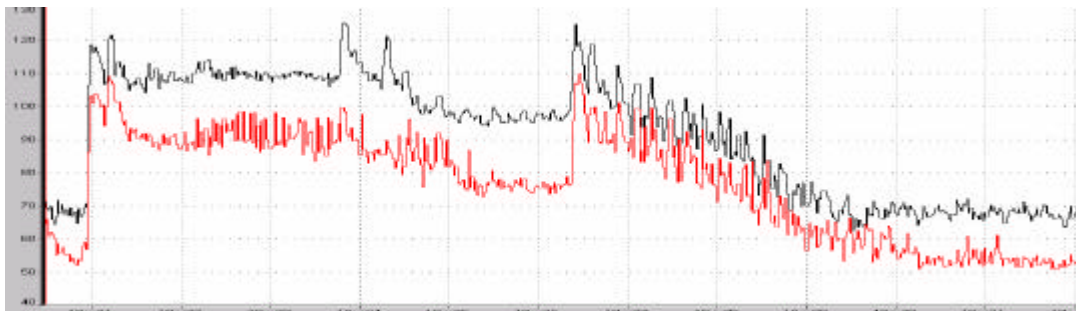


Figura 4.1: Nivel de vibración respecto al tiempo en apoyo máquina (negro) y en el forjado (rojo) .

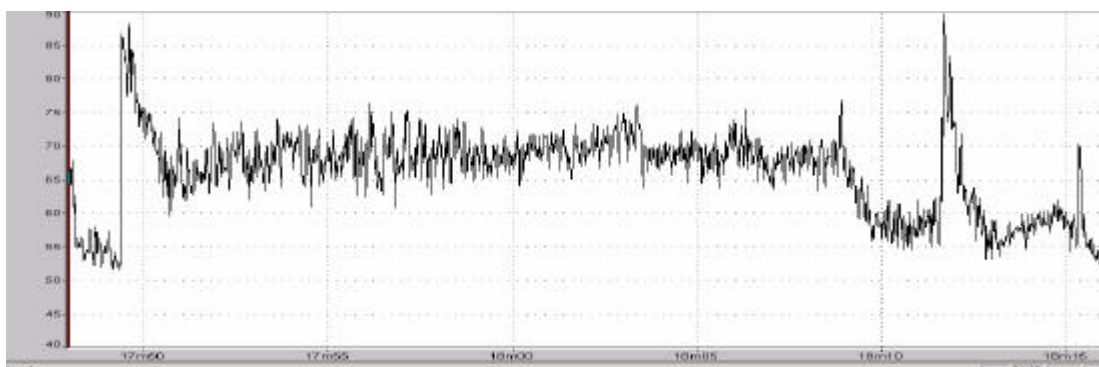


Figura 4.2: Nivel de vibración en el suelo del comedor de la vivienda debajo del ascensor.

En la fig. 4.1 se observan siete fases diferentes de funcionamiento desde el punto de vista de generación y transmisión de vibración: salto de contactores (transitorio), arranque (transitorio), funcionamiento en régimen continuo, cambio de velocidad (transitorio), cambio de velocidad (transitorio), régimen de velocidad reducida (continuo), frenada (transitorio) y caída final (transitorio). Las fases transitorias presentan niveles claramente por encima del régimen permanente de funcionamiento (entre 10 a 15 dB). La vibración en la losa es menor (menos 15 dB) pero sigue siendo muy elevada ya que respecto a la situación de no funcionamiento del ascensor existe una diferencia de 50 dB en transitorios y de 30 dB en régimen continuo.

-Estos fenómenos se transmiten fielmente a la planta inferior según se puede ver en la fig.4.2 se aprecian sobre todo los transitorios de arranque y cambio de velocidad y frenado (éste más mitigado) y la vibración continua generada por la carrera del ascensor.

-Se realizaron también medidas con ascensor vacío y con carga viva (tres personas) pero los valores se reproducían fielmente dando resultados muy similares sin diferencias significativas.

#### 4.1.- Estudio de Propagación de Vibraciones y Generación de Ruido Estructural.

Este importante aspecto fue la base de los objetivos centrales indicados en el apartado 3 y que mostramos muy resumidamente. Para ello se monitorizó un duplex a dos niveles con puntos de medida tanto de ruido en las diversas habitaciones como de vibración en paredes y suelo mediante un analizador multicanal. Con posterioridad se modelizó mediante un sistema de predicción basado en el análisis estadístico de la energía radiada por las superficies sometidas a vibración, denominado por las siglas anglosajonas S.E.A. De forma general

podemos decir que la potencia sonora radiada por una superficie es directamente proporcional al contenido de energía vibratoria que lo hace excitar y a sus dimensiones superficiales. De esta manera podemos saber la relación entre la vibración generada y el nivel de ruido inducido con la finalidad de determinar el aislamiento mínimo del sistema antivibratorio a diseñar. Los resultados obtenidos demuestran que esta relación responde a la siguiente ley definida.

$$L_p(f) = -k(f) + L_v(f)$$

Es decir, que el nivel de presión sonora  $L_p$  es igual al nivel de vibración a pie de máquina ( $L_v$ ) más una constante, que depende de la frecuencia. Ahora bien, no olvidemos que estamos limitados por los valores máximos de inmisión sonora en viviendas que es de 30dB(A) por tanto de esta forma podemos inducir los niveles vibratorios máximos objetivo.

Una vez volcado los datos, se observa que la banda de frecuencia de interés se centra entre los 125 Hz y 315 Hz. Por tanto se obtiene así una tabla 4.3 donde figura el nivel de vibración máxima para que el nivel. El modo en cómo se ha llegado a estos por su extensión no lo indicamos.

Freq.	$L_v$ máx	D $L_v$ (dB)
125	71,6	-7,6
150	63,1	-10,8
200	61,3	-11,1
250	58,6	-13,4
315	57,2	-7,8

Tabla 4.3. Nivel máximo de vibración a pie de máquina en función de la frecuencia, considerando las peores condiciones constructivas por lo que hace referencia al comportamiento vibroacústico.

## 5.- DISEÑO DE UN AISLADOR TIPO

De los resultados iniciales obtenidos de la monitorización y simulación mediante SEA se extraen las siguientes conclusiones:

- El principal problema de ruido estructural es ocasionado por los transitorios
- Es necesario un valor objetivo de vibraciones a pie de máquina descrito en la tabla 4.3
- Se requiere un sistema con muy baja transmisibilidad y cierto amortiguamiento en la fase final de la carrera.

La experiencia de Vibcon en este campo y tras los valores arrojados, se obtuvo por diseñar un sistema antivibratorio basado es un sistema lineal basado en resortes helicoidales de acero. Ya que se pueden conseguir unas deformaciones elásticas importantes cuando está sometido a carga dinámica. Estas grandes deformaciones en este tipo de aisladores son directamente proporcionales a obtener una baja frecuencia propia del sistema antivibratorio, es decir a mayor deformación más baja será la frecuencia natural del sistema. Por otro lado puesto que su rigidez estática es prácticamente igual a la dinámica, debido a su comportamiento lineal, se pueden realizar estimaciones teóricas del transmisibilidad con un margen muy estrecho respecto a los resultados empíricos. De forma que para un aislamiento determinado por una frecuencia perturbadora de interés, es preciso calcular la transmisibilidad del sistema.

Como último problema, hacía falta solucionar la oscilación libre del sistema (y en consecuencia la cabina) una vez que el ascensor se ha parado o se ha puesto en marcha (justo después de un transitorio). El sistema de muelles en paralelo tiene una buena absorción de la energía de impacto y además su frecuencia natural para el ascensor tipo está dentro de los valores requeridos y con una baja amortiguación. Para resolver esto Vibcon adopta una solución intermedia: incorporar en paralelo un elemento viscoelástico, con un diseño que le

otorga una baja constante elástica, pero mantiene las características propias del material, que son un amortiguamiento no lineal con la deformación. Con este montaje se optimiza el rendimiento del aislador tanto para la fase de impacto, facilitando la deformación, como a la de régimen continuo.

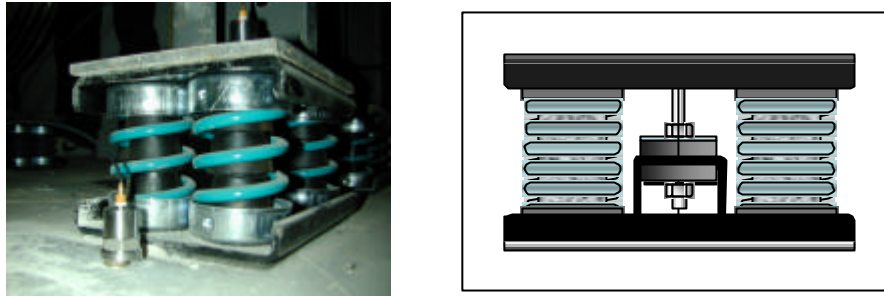


Fig 5.1: Aislador actuando en el grupo motor-tractor de un ascensor con acelerómetros para medir la transmisibilidad (izquierda). Esquema del aislador prototipo (derecha)

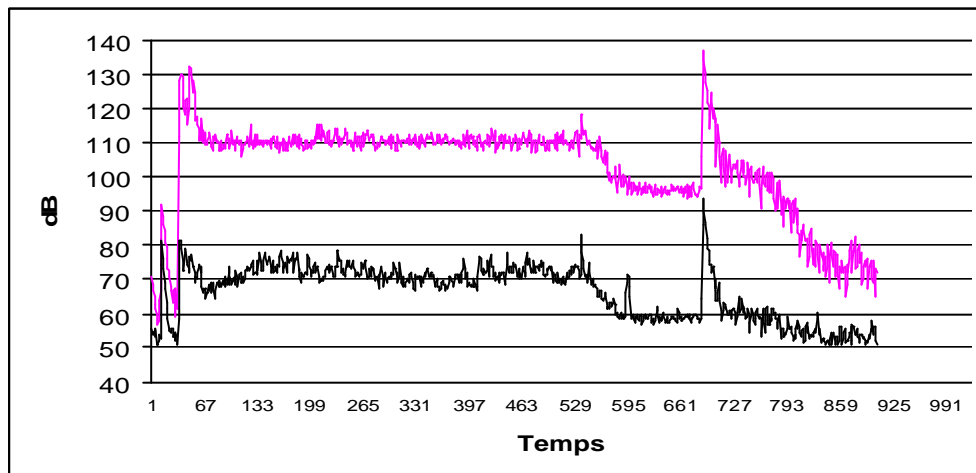


Fig 5.2: Gráfico comparativo del temporal de vibración en máquina (azul) y forjado con el aislador prototipo (rojo)

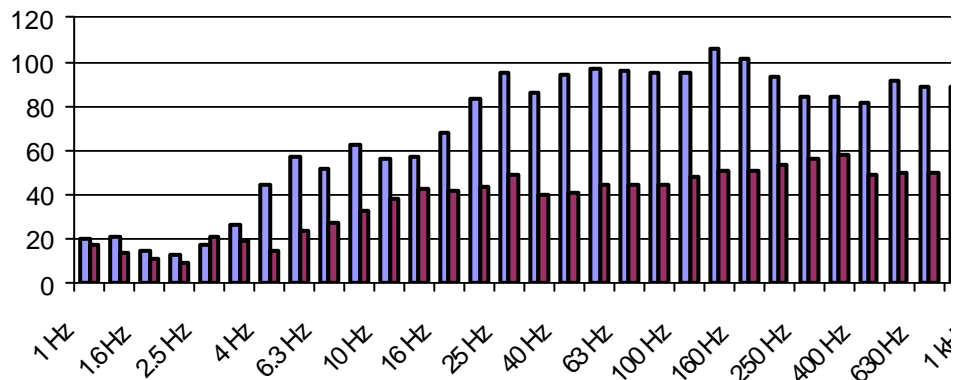


Fig 5.3: Gráfico comparativo del espectro de nivel de aceleración en máquina (azul) y forjado con el aislador prototipo (rojo)

Como se aprecia en el gráfico 5.2 los resultados son muy optimos ya que el aislamiento en el arranque es de unos 40 dB de aceleración de vibración, en régimen el aislamiento va de 35 a 40 dB de aceleración al igual que el transitorio de frenado aunque se requiere mayor aislamiento puesto que es perceptible de forma leve en el interior de la vivienda.

## **6.- CONCLUSIONES**

- Como sistemas antivibratorios eficaces para el aislamiento vibroacústico en ascensores se requieren sistemas muy aislantes para generar muy baja transmisibilidad vibratoria. Ya que el objetivo no es solamente reducir la vibración generada si no reducirla a niveles lo suficientemente bajos para evitar ruido estructural.

- Por tanto se deben realizar mediante sistemas compuestos por elementos elásticos lineales con muy baja amortiguación y dotados de un sistema específico que limite las amplitudes generadas por los transitorios. Los tacos de caucho o sistemas similares adoptados en la actualidad por los fabricantes son totalmente ineficaces para el aislamiento vibroacústico de los ascensores.

- Se han aplicado técnicas de SEA con éxito, mediante las cuales permite determinar los niveles de vibración máximos a cada frecuencia para conseguir un nivel sonoro global dentro de los límites indicados por el futuro *Código de la Edificación*.