

INFLUENCIA DE LA MASA SOBRE LA VIBRACIÓN INDUCIDA POR RUIDO EN PLACAS

PACS: 43.40 At

M^a José Fernández¹; Marcos Chimeno-Manguán²; Francisco Simón¹; Jesús López-Díez²; José Luis Riobóo³; Antonio Moreno¹; Julian Santiago Prowald⁴; Carlos de la Colina Tejada¹

¹Instituto de Acústica - CSIC
c/ Serrano 144, 28006 Madrid

² Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos - UPM
Plaza del Cardenal Cisneros 3, 28040 Madrid

³ EADS CASA ESPACIO
Avda. de Aragón 404, 28022 Madrid

⁴ European Space Agency
Keplerlaan 1, Postbus 299
2200 AG Noordwijk (Holada)

ABSTRACT

When an acoustic field excites a structure, a vibration is induced on it. This vibration is the origin of the structure-borne transmission. Usually the level of this vibration is not so important and can be neglected as a source of structural problems, especially at high frequencies. Nevertheless, in the Aerospace field, mainly during the spacecraft launching, the acoustic load can be so high that induced vibration can even change the mechanical properties of the specimen or even produce a break of the structure. Here we present a series of measurements of the vibration under acoustic random load of a plate. Different masses placed on different positions are considered and its influence on the system response is discussed.

RESUMEN

Cuando una estructura se ve sometida a un campo acústico, éste induce una vibración en aquella que es la causante de la transmisión estructural acústica. En condiciones ordinarias la magnitud de esta vibración no es importante y suele ser despreciada, especialmente en altas frecuencias. Sin embargo, en aplicaciones aeroespaciales, principalmente durante el lanzamiento de naves espaciales, el campo al que son sometidas las estructuras es tan alto que la vibración inducida en ellos puede producir cambios en su comportamiento mecánico - incluida su rotura-. En el presente trabajo se realiza un estudio experimental sobre la medición de la vibración que se induce en una placa ligera cuando es expuesta a un campo acústico aleatorio. El estudio se realiza en varias situaciones de carga másica de la placa y de ellas se determina su influencia en la respuesta del sistema.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando una estructura se ve sometida a un campo acústico se induce en ésta una vibración que es la causante de algunos de los fenómenos que estudian varias ramas de la ingeniería, como pueden ser la transmisión acústica o la fatiga de estructuras. En el campo aeroespacial este fenómeno tiene cada vez más importancia debido, a campos acústicos de gran intensidad por ejemplo los que se generan en el despegue de los cohetes, lo que unido a la poca masa que poseen algunos de los elementos que transportan hace que los niveles de vibración inducidos sean importantes.

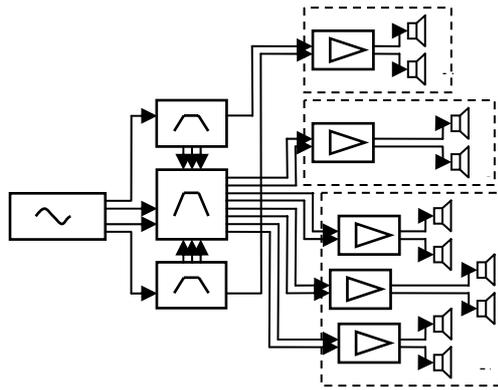


Figura 1. Diagrama de la cadena de emisión

Habitualmente la fase de diseño se abordaba combinando los métodos de elementos finitos con elementos de contorno, muy fiables, sobre todo en baja frecuencia. Pero es conocido que al aumentar la frecuencia este tipo de métodos empieza a plantear problemas, tanto de cálculo como de precisión, lo que hace necesaria la búsqueda de alternativas.

Una de estas alternativas es el uso del Análisis Estadístico de Energía, que permite caracterizar sistemas físicos con un menor esfuerzo analítico y computacional, cuyo rango de validez es el de las altas frecuencias y que por tanto podría servir para complementar a los anteriores en un rango en el que aquellos se muestran ineficientes. Sin embargo también plantea problemas tales como la imposibilidad de poder introducir detalles del diseño o la discriminación de zonas diferentes dentro de la definición de cada subsistema que forme parte del conjunto a analizar.

Parte del interés de este estudio se debe a la necesidad de obtener datos controlados sobre el comportamiento de este tipo de estructuras en las condiciones descritas que sirvan como referencia para valorar las herramientas de diseño que se utilizan o se quieren utilizar en este tipo de trabajos. Por otro lado el obtener datos experimentales fiables, también es útil para conocer mejor este tipo de sistemas desde el punto de vista físico. Por ello entre los años 2007 y 2009 se ha realizado el proyecto RANDEVIV de la Agencia Espacial Europea, ESA, en el que han participado la empresa EADS CASA ESPACIO, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (UPM) y el Instituto de Acústica (CSIC). Dicho proyecto ha estudiado el efecto que tiene -en el campo de vibraciones de un panel- la naturaleza de ese panel, sus dimensiones, la presencia o no de masas concentradas en su superficie, la posición de las masas y el efecto que pueda tener el que dicho panel, junto con otros paneles, formen una cavidad. Siempre bajo excitación acústica, que debe ser difusa, de alto nivel de presión sonora y de banda ancha -entre 31.5 Hz y 2000 Hz-. Por tanto se excluyen, por ejemplo, fenómenos de vibraciones de muy baja frecuencia, que sin duda también deben existir, aunque por otras causas.

En el presente trabajo se muestra el estudio experimental orientado a determinar los efectos que produce el situar una masa concentrada sobre un panel ligero homogéneo. Esta es una situación habitual en este campo en el que los diferentes equipos que deben ser puestos en órbita deben instalarse sobre paneles portantes amplios y lo mas ligeros posible. Se muestran los resultados y se discuten algunas consecuencias que se extraen de ellos.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

2.1. Muestras

Los ensayos se realizaron en la cámara reverberante del Instituto de Acústica del CSIC, que posee un volumen de 200 m³. El elemento a ensayar es una placa rectangular de 1400 x 700 mm tipo sándwich, formada por dos láminas exteriores de aluminio y un núcleo con una estructura de panal de abeja también de aluminio, siendo el espesor total de 36 mm y 5.244 kg de masa. El panel se suspendió en el interior de la cámara reverberante mediante elásticos para asegurar unas condiciones de contorno libre-libre. Se dispone, además de dos

masas de 0.5 y 1.4 Kg respectivamente de forma cilíndrica y mismo volumen, que se sitúan en diferentes posiciones hasta completar el estudio.



Figura 2. Montaje experimental en la cámara reverberante

2.2. Generación del campo acústico

Cada una de las configuraciones es sometida a un campo acústico difuso lo suficientemente elevado como para excitar la placa de forma apreciable. La cadena de emisión la forman un generador de ruido blanco, tres filtros -uno de ellos programable-, cinco amplificadores -dos de ellos para amplificar las frecuencias altas y bajas, y tres para las frecuencias medias- y por último 10 altavoces, véase Fig. 1. El ancho de banda de emisión se encuentra entre las bandas de tercio de octava con frecuencias centrales de 31.5 Hz y 2 kHz. Se persiguen niveles de presión acústica dentro de la cámara cercanos a 130 dB en condiciones de campo difuso.

2.3. Cadena de adquisición de datos

Durante la medición se deben registrar tanto las presiones acústicas dentro de la cámara y cerca de las muestras como la vibración inducida en las placas bajo estudio.

La caracterización del campo acústico generado en la cámara se realiza a través de 5 micrófonos situados a diferentes alturas y en distintas posiciones de la cámara. Además, se utilizaron otros dos micrófonos para la medida del campo acústico cercano a la muestra. Éstos se situaron a unos 2 cm de la placa; uno de ellos en la parte central y el otro a un cuarto del extremo inferior, Fig.2. Las señales captadas por los micrófonos son recogidas en un analizador multicanal, controlado por un ordenador, en el que se van calculando los niveles de presión sonora y la densidad espectral de potencia, PSD, ambos en banda estrecha y en tercios de octava entre las bandas de 31.5 Hz y 2 kHz.

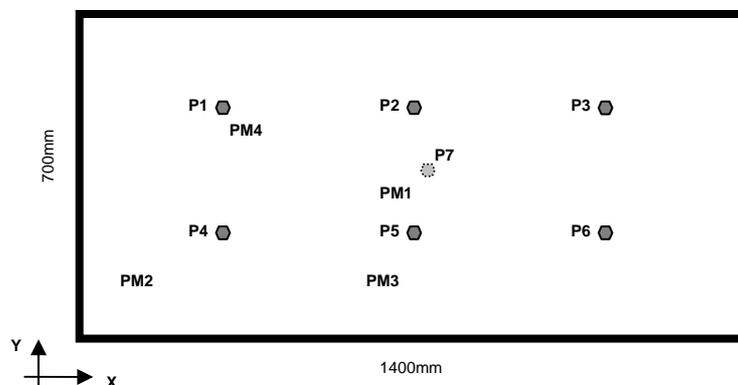


Figura 3 Posiciones de los acelerómetros (P) y masas (PM) en el panel

La vibración de la placa se registra mediante 7 acelerómetros situados según el esquema de la Fig. 3. 6 de ellos se situaron en una misma cara –aquella en la que se situarán las diferentes masas a lo largo de la serie de medidas- y un séptimo se situó en el centro de la placa pero por

el lado contrario a los demás. Esto permite monitorizar ese punto durante toda la serie de ensayos, incluidos los casos en que haya una masa situada en el centro de la muestra. Su número y distribución se fijó en función de la disponibilidad de transductores adecuados y los requisitos técnicos de todo el programa de ensayos realizados. Sus señales se recogen en otro analizador multicanal que calcula la PSD de la aceleración. A partir de ella se calcula, la aceleración y la velocidad de la vibración, tanto en banda estrecha como en tercios de octava.

Además, en la parte superior de cada masa se sitúa un acelerómetro triaxial con el objetivo de controlar el movimiento completo de este punto, dado que se encuentra fuera del eje. En el presente trabajo se prescindirá de su análisis.

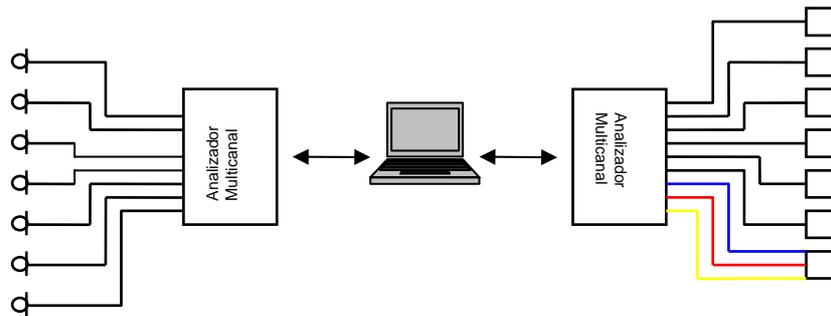


Figura 4 Diagrama de la cadena de recepción

Por último se señala que durante los ensayos también se registran los valores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica existentes. Un esquema del sistema de adquisición completo se muestra en la Fig. 4.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del campo acústico

Como se ha descrito antes la cámara acústica tiene un volumen de 200 m³. Como consecuencia, y a pesar de las medidas que se toman para evitarlo, en bajas frecuencias la difusión de la cámara es limitada. Una forma de ilustrar este hecho es a través de la variabilidad de los niveles de presión dentro de su volumen. La Fig. 5 izquierda muestra el rango de variación de la presión entre todos los puntos de medida dentro de la cámara reverberante. Se puede apreciar como la variación de presión en la cámara es de unos 10 dB prácticamente constante por debajo de 70 Hz y se reduce a unos 5 dB a partir de los 100 Hz. La frecuencia de corte de la cámara se ha estimado previamente en unos 200 Hz, lo que concuerda con esta observación, existiendo una zona de transición entre 100 Hz y 200 Hz.

La Fig. 5 derecha muestra el espectro de nivel de presión sonora medio medido durante los ensayos. En consonancia con en el párrafo anterior la variabilidad de estos niveles es mayor en bajas frecuencias que en altas. El nivel global emitido es de 129 dB. Y la variación máxima de nivel dentro del rango de medida (20-2000 Hz) es de 11 dB lo que le hace bastante uniforme dentro del rango de medida, teniendo en cuenta el sistema de generación utilizado.

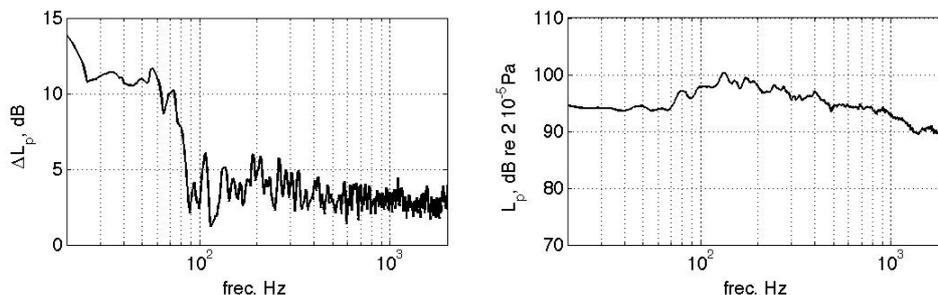


Figura 5. Izquierda, Variación del nivel de presión sonora en el volumen útil de medida. Derecha, Nivel de presión sonora emitido durante los ensayos.

3.2. Vibración de la placa

La serie de pruebas realizadas se muestra en la Tabla 1, en la que se indica tanto la masa instalada en la placa como su posición, así como la posición de sensor más cercana. Se realizan 7 ensayos. En la configuración A no hay ninguna masa instalada, y en las demás una masa de 0.5 kg se va desplazando por la placa. En los dos últimos ensayos se investiga el efecto de aumentar la masa y aumentar el número de masas utilizadas, respectivamente.

Configuración	Masa, kg	Relación		Posición de masa	Posición de medida próxima
		M. Instalada / M. placa, %			
1-A	--	--		--	--
2-B	0.5	9.53		PM1	7
3-C	0.5	9.53		PM2	(4)
4-D	0.5	9.53		PM3	5
5-E	0.5	9.53		PM4	1
6-F	1.4	26.70		PM1	7
7-G	0.5	19.07		PM1	7
	0.5			PM2	(4)

Tabla1. Configuraciones de medida utilizados durante la serie de ensayos

En la Fig. 6 se puede observar la velocidad de vibración obtenida en cada uno de los puntos de medida para cada una de las configuraciones en estudio. En ella se aprecia cómo en toda la placa la vibración es parecida si se exceptúan los picos producidos por su respuesta modal que pueden presentar cierto comportamiento local. Otro aspecto destacable es la que la vibración en altas frecuencias es menor en los puntos de medida cercanos a la masa. Este fenómeno es esperable y muy conocido. Sin embargo en el caso bajo estudio se aprecia que está muy localizado. Si se comparan las gráficas correspondientes a las configuraciones C y G se puede observar que en la primera no se produce ese descenso en la velocidad de vibración en el punto de medida cercano –punto 4-, y lo mismo sucede en la segunda configuración referida. En estos casos la distancia entre el eje de la masa y el sensor es superior a 3/2 del diámetro de la propia masa.

Este fenómeno se puede apreciar mejor en la Fig 7, en la que se muestra la aceleración global de cada uno de los sensores para cada una de las configuraciones. Los valores son relativos, pero son suficientes para apreciar como la vibración de toda la placa es parecida cuando no existe ninguna masa extra -configuración A-, como la vibración desciende cerca de cada masa y cómo la configuración C tiene un perfil equivalente al A; es decir la respuesta captada en C no detectaría la masa extra situada sobre la placa. También se puede observar como en la configuración G la aceleración de vibración solo desciende en un punto y no en dos –otra vez solo se detecta una de las masas y no ambas.

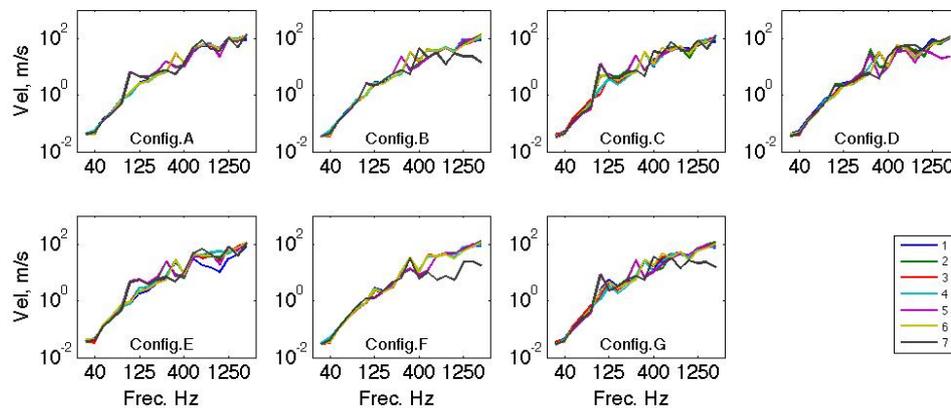


Figura 6. Velocidad de vibración captada por cada sensor en cada configuración de medida

Otra conclusión que relaciona ambos gráficos es que el valor global de la vibración -ya sea aceleración o velocidad- está dominado por las altas frecuencias. O dicho de otro modo la vibración inducida sobre la placa por una carga acústica aumenta con la frecuencia. De hecho

se puede observar en la Fig. 6 que el rango de amplitudes de la velocidad de vibración es de 4 órdenes de magnitud. Una consecuencia es que el control de este tipo de vibración debe centrarse en el control de las altas frecuencias.

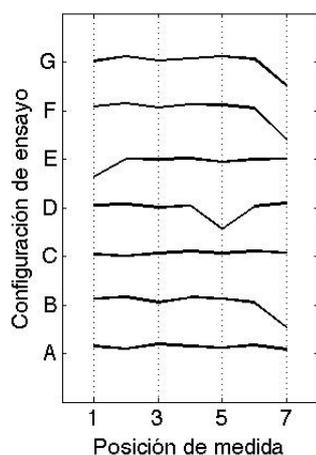


Figura 7. Aceleración en cada punto de medida para cada configuración de ensayo

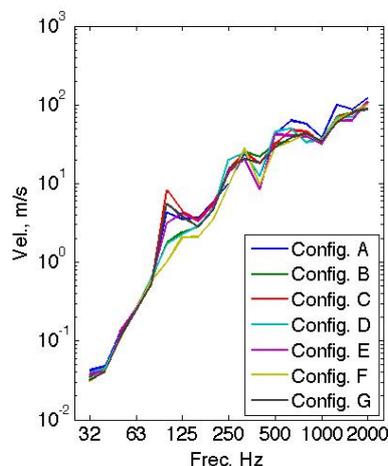


Figura 8. Velocidad de vibración media del panel para cada configuración de medida

Además, el efecto de la masa en la vibración no es apreciable por debajo de la primera frecuencia propia del panel –localizada alrededor de los 100 Hz-. Sin embargo el valor de la vibración en esta resonancia sí se muestra sensible a la posición de la masa. De la Fig. 8 se puede observar que el pico a dicha frecuencia disminuye cuando la masa se sitúa en la parte central del panel, configuraciones B, D y F. De ellas F tiene un valor menor al ser la de mayor masa. A este respecto llama la atención la configuración G en la que la presencia de otra masa equivalente en un extremo de la placa anula el fenómeno descrito, es decir lo que lo produce es un desequilibrio grave en la distribución de la masa dentro de la placa.

Por último, otro fenómeno destacable es que la vibración de la placa sin masa alguna puede considerarse una cota superior de todas las demás en el rango de altas frecuencias –véase Fig 8-. Incluso en la configuración B, la velocidad de vibración es algo inferior a ésta, a pesar de que el perfil de la vibración en todos los puntos es análogo a la configuración A.

4. CONCLUSIONES

De lo expuesto en la discusión anterior se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- Se observa que cuando se incorpora una masa puntual a un panel homogéneo, la vibración sólo varía en las cercanías de la masa añadida: el efecto es local.
- En baja frecuencia –por debajo de la primera frecuencia de resonancia- el situar una masa de estas características apenas es perceptible en la aceleración media del panel.
- La vibración del caso en el que no hay ninguna masa situada sobre la placa se puede considerar una cota superior a los valores que se obtendrán al instalar una masa sobre la placa.
- Las masas situadas en las zonas centrales afectan a las amplitudes de la vibración en la banda de la primera frecuencia de resonancia.
- Los valores globales están determinados por la energía a alta frecuencia.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado como parte del proyecto *Random Vibration Environment by Vibro-Acoustic Simulation (RANDERIV)* financiado, bajo contrato, por el *Centro Europeo para la Investigación y la Tecnología Espacial, ESTEC*.