

## CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES DE VIBRACIONES EN EJEMPLARES DE MUSEO EXPUESTOS EN VITRINA

PACS:43.40At

**Autores:** Torres, Rafael<sup>1</sup>; Cardona, Joan<sup>1</sup>; Garcia, Eulàlia<sup>2</sup>, Vila, Maria<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AV Ingenieros, c/ Abat Marçet 41 baixos. 08173 Sant Cugat.del Vallés (Barcelona)  
Tel: +34 935836108. E-mail: [rtc@avingenieros.com](mailto:rtc@avingenieros.com)

<sup>2</sup> Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Passeig Picasso s/n. 08003 Barcelona  
Tel: 93 256 22 00, E-mail: [museuciencies@bcn.cat](mailto:museuciencies@bcn.cat)

### ABSTRACT

Induced vibrations in museum spaces may have undesirable effects on works or samples displayed in them. The goal of this paper is to present the study of the effect of vibrations in skeletons of vertebrates exposed in the Museu Blau (Natural Science Museum of Barcelona) and the design of effective solutions to reduce them. To this end, two main sources of vibration were considered: impacts of visitors on the showcases when they observe the samples and vibration generated by the movement of these visitors walking around the museum. Finally a relationship is established according to the "visual criteria" between vibration level and movement of exposed skeletons. This work is included within the framework of collaboration with the Collections Department of the Natural Science Museum of Barcelona.

### RESUMEN

Las vibraciones inducidas en espacios museísticos pueden tener efectos no deseados sobre las obras o ejemplares expuestos en ellos. El objetivo de este artículo es presentar el estudio realizado sobre el efecto de las vibraciones en esqueletos de vertebrados expuestos en el *Museu Blau* (*Museu de Ciències Naturals* de Barcelona) así como el diseño de soluciones factibles para reducirlas. Para ello, se consideraron dos fuentes principales de vibración, como son los impactos de los visitantes sobre las vitrinas cuando observan las muestras así como la vibración generada por la circulación de dichos visitantes por el museo, y se estableció una relación según el criterio "de visu" entre nivel de vibración y movimiento de los esqueletos expuestos. Este trabajo se engloba dentro del marco de colaboración con el *Departament de Col·leccions del Museu de Ciències Naturals* de Barcelona.

## INTRODUCCIÓN

A solicitud del *Departament de Col·leccions del Museu de Ciències Naturals* de Barcelona se realizó un estudio de vibraciones sobre muestras expuestas en vitrina en la sede científica más moderna de esta entidad: el *Museu Blau*. Este museo está emplazado desde el año 2011 en el Edificio Fòrum, y en él se exponen más de 4.500 piezas del fondo patrimonial del museo. Anteriormente las muestras museísticas se exponían en el *Laboratori de Natura*, situado en el antiguo *Castell dels Tres Dragons* ubicado en el parque de la *Ciutadella*.

El Departamento de Conservación observó desde la inauguración de este museo que ciertas muestras de animales eran especialmente sensibles a las vibraciones originadas por varias fuentes, siendo una de ellas el paso de visitantes en determinadas circunstancias. Por ello, la necesidad de realizar un proyecto para determinar las fuentes principales de vibración, cuantificar los niveles generados y finalmente buscar una batería de acciones correctoras para minimizar los niveles de vibración con el fin de evitar en un largo plazo el posible deterioro de las piezas. Dicho estudio de vibraciones se desarrolló en dos fases diferenciadas:

1. La primera fase del estudio consistió en identificar las principales fuentes de vibración así como identificar las muestras museísticas más sensibles a las vibraciones. Seguidamente, ante la carencia de normativa de niveles de vibraciones en museos y mucho menos criterios específicos para muestras de un museo de Ciencias Naturales, se realizó una batería de medidas experimentales comparativas entre el actual *Museu Blau* con el *Laboratori de Natura* (antiguo emplazamiento del museo) tomado como referencia. El *Laboratori de Natura* se toma como referencia porque en él no se detectó de manera clara la afectación por vibraciones mecánicas de las muestras museísticas dispuestas en vitrina cuando estaban expuestas al público.
2. La segunda fase del estudio y partiendo de los resultados de la primera fase, consistió en una nueva campaña de medidas experimentales de vibraciones en el *Museu Blau* concentrada en las vitrinas para ayudar a la caracterización de las muestras expuestas, con la finalidad de diseñar soluciones pertinentes para disminuir la dosis a la exposición de vibraciones y así reducir posibles patologías a lo largo del tiempo.

### **1. FASE 1: MEDIDAS DE VIBRACIONES EN EL MUSEU BLAU Y EN EL LABORATORI DE NATURA.**

Las principales fuentes de vibración inducida en el interior de las vitrinas del *Museu Blau* son la circulación de visitantes a su alrededor, los impactos producidos en sus vidrios provocado por niños y finalmente el funcionamiento de los motores de apertura y cierre de las vitrinas. Se descartó la vibración proveniente del tráfico rodado como se comprobó en las diferentes campañas de mediciones efectuadas.

Existen tres grandes grupos de piezas museísticas que son más sensibles a las vibraciones causadas por los tres orígenes comentados anteriormente: taxidermias, esqueletos de vertebrados e insectos (Imagen 1). Las vitrinas que contienen estos grupos más sensibles son las vitrinas 9 y 5 del *Museu Blau*, que son las seleccionadas para realizar las campañas comparativas en esta fase, con otras análogas en el *Laboratori de Natura*.



Imagen 1: Taxidermias, esqueletos e insectos

La batería de mediciones experimentales de vibración se desarrolló en ambos museos durante varias sesiones bajo las siguientes condiciones de excitación: medidas controladas mediante máquina normalizada de impactos (B&K 3207), medidas durante el paseo controlado de dos personas así como con la realización de saltos. Todas estas medidas se realizaron fuera de horario de visita a excepción de otras medidas efectuadas en condiciones reales, concretamente en visitas de colegios.

En todos los casos se registra el nivel eficaz de vibración continua durante un periodo de tiempo que sea representativo del funcionamiento de la fuente de excitación. Posteriormente se analiza el contenido frecuencial mediante el análisis del espectro en banda estrecha o FFT.

Tanto en la vitrina 5 como en la vitrina 9 se colocaron dos puntos de medida de vibración triaxial (x,y,z) respectivamente. Para cada vitrina uno de los dos puntos de medida se localizaba en su interior mientras que el otro se situó en el suelo, a los pies de la vitrina. Así pues, se registraron en tiempo real y de forma simultánea 12 puntos de medida. Para llevar a cabo las medidas simultáneas se utilizó un equipo de adquisición de datos multicanal (24 ch) tipo LMS Pimento P103 y 12 acelerómetros sísmicos de sensibilidad 1V/g y 10V/g tipo PCB393B12.

### 1.1. Procedimiento y resultados obtenidos

Se estableció el criterio de utilizar los niveles de vibración en el *Laboratori de Natura* como los de referencia, fundamentado en que no se detectó de forma clara transmisión de vibración alguna en las muestras en vitrina mientras estuvieron expuestas al público originariamente. Las vibraciones en cambio, aparecieron con el cambio de ubicación del Museo. Ante esta circunstancia, conociendo los niveles de vibración en el *Laboratori de Natura* se pueden establecer los límites que indiquen la potencial ausencia de problemas por transmisión de vibraciones en el *Museu Blau*.

De los resultados obtenidos, se muestran los gráficos más representativos en las Tablas 1 y 2, que corresponden a las medidas controladas paseando y las realizadas con máquina de impactos respectivamente. Todos los espectros de vibración mostrados son la suma vectorial de los registros obtenidos en cada una de las tres direcciones ortogonales (x,y,z).

Como se puede apreciar en los gráficos de las tablas 1 y 2 y contrariamente a lo esperado, los niveles de vibración en el interior de las vitrinas del *Museu Blau* (*MB-vitrina05* y *MB-vitrina09*) son inferiores a los espectros de vibración de las vitrinas análogas en el antiguo emplazamiento del museo (*LB-vitrina08*, *LB-vitrina20* y *LB-vitrinaH*). Tal afirmación se constata cuando se

calcula el nivel global de vibración en el rango de 0 a 90 Hz., tal como se muestra en la parte derecha de las tablas antes citadas.

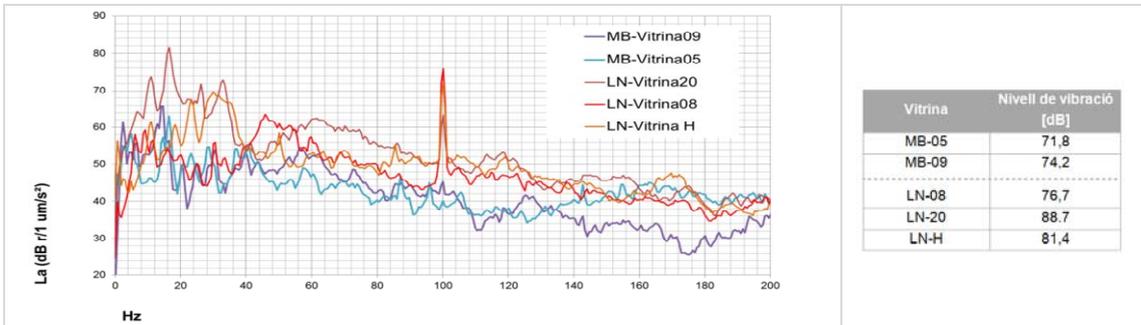


Tabla 1: Niveles de vibración controladas paseando

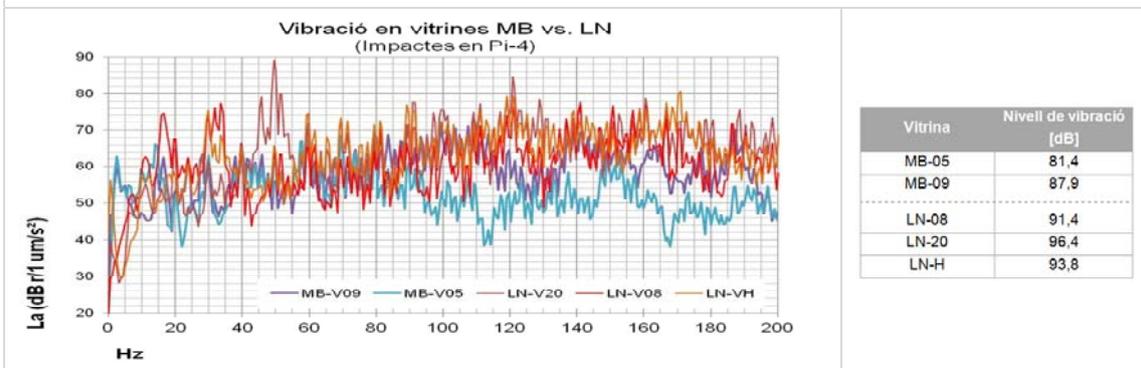
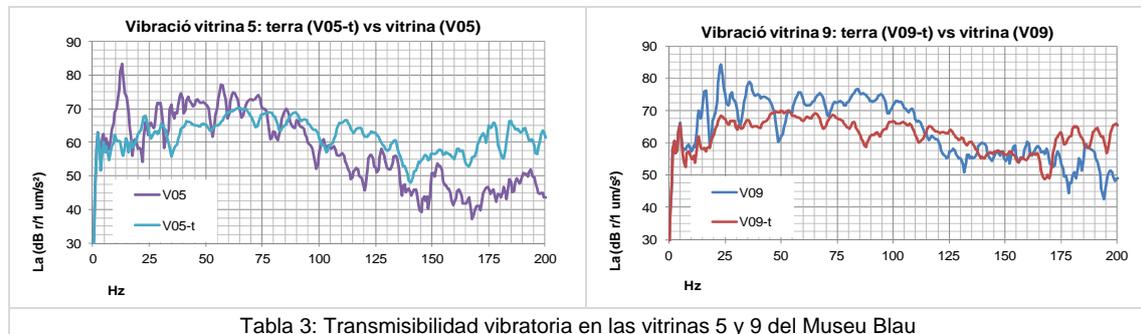


Tabla 2: Niveles de vibración controladas mediante máquina de impactos

### 1.1.1. Transmisibilidad suelo interior vitrina en el *Museu Blau*

Analizando los niveles de vibración entre el punto de medida situado en el suelo y el situado en el interior de cada una de las dos vitrinas, se puede medir la transmisibilidad vibratoria desde el suelo hasta el interior de las vitrinas.



Como se aprecia en estos dos gráficos existe una amplificación notable del nivel de vibración en ambas vitrinas, en concreto en los 13 Hz y 16 Hz correspondiente a las vitrinas 5 y 9

respectivamente. Este hecho coincidía con que las dimensiones de la vitrina 5 eran mayores que las de la vitrina 9, especialmente en su largo.

## 1.2. Conclusiones de la primera fase

Los niveles de vibración que llegan a las vitrinas del *Museu Blau* debido a la excitación del forjado causado por las fuentes estudiadas son inferiores a los registrados en el *Laboratori de Natura*. Por tanto, si en el *Laboratori de Natura* no existían problemas de vibraciones, en el *Museu Blau* tampoco debería haber. Por lo cual los problemas de vibración de las piezas expuestas se encuentran en las propias vitrinas por diferentes motivos analizados en la segunda fase del proyecto.

## 2. FASE 2: DISEÑO DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS

Partiendo de las conclusiones de la primera fase del estudio, se necesitó en consecuencia una segunda campaña de medidas experimentales de vibraciones concentradas en una de las dos vitrinas analizadas en la fase anterior: la vitrina 5 (ver Imagen 2).

El objeto de aquella nueva campaña de medidas experimentales fue determinar la relación entre el nivel de vibración y el movimiento de las piezas más sensibles que, dentro de los tres grupos de piezas más sensibles a las vibraciones, se concretó en los esqueletos de aves. Las muestras de la vitrina 5, objeto de las mediciones, fueron el águila culebrera (*águila marcenca*) y el calamón común (*polla blava*) (ver Imagen 2).



Imagen 2: izquierda y centro esqueleto de calamón común y águila culebrera; derecha la Vitrina 5

### 2.1. Criterio de visu: Relación entre el movimiento de los ejemplares y la vibración recibida

A día de hoy no existe normativa alguna que regule los niveles de vibración máximos a los que las piezas museísticas pueden estar sometidas con tal que estas no padezcan desgaste o patología alguna a corto y largo plazo. Debido a ello, la segunda fase siguió el criterio propuesto por W. Wei, N. Krumperman y N. Delissen presentado en el working group 15 en la ICOM-CC 16Th Triennial Conference en Lisboa [1]. En este artículo, los autores estudian la afectación de una pieza de arte expuesta a las vibraciones de una obra pública próxima al museo donde se exponía, así como el diseño de una medida correctora para minimizar la afectación de las piezas de arte.

El protocolo que sigue W.Weí *et al*, es estudiar una pieza a fatiga y posteriormente, establecer un nivel de vibración máximo admisible en función de un criterio denominado “estético”. Es decir, determinar aquel nivel de vibración límite que no provoque movimientos perjudiciales en la pieza de arte. El criterio estético de W.Weí *et al* es el aplicado en la segunda fase y adecuado al tipo de muestras del museo para determinar el límite de vibración admisible que pasará a denominarse “criterio de visu” por ser un término más adecuado en estos casos. Por tanto, durante las mediciones experimentales además de registrar los niveles de vibración, también se identificaba simultáneamente el grado de movimiento que presentaban las piezas estudiadas (Imagen 3 izquierda). Como resultado de medidas de vibración y movimiento de las muestras, se confeccionó una tabla que relaciona ambas variables adaptada específicamente a las muestras más sensibles que contiene el *Museu Blau* (Imagen 3 derecha).

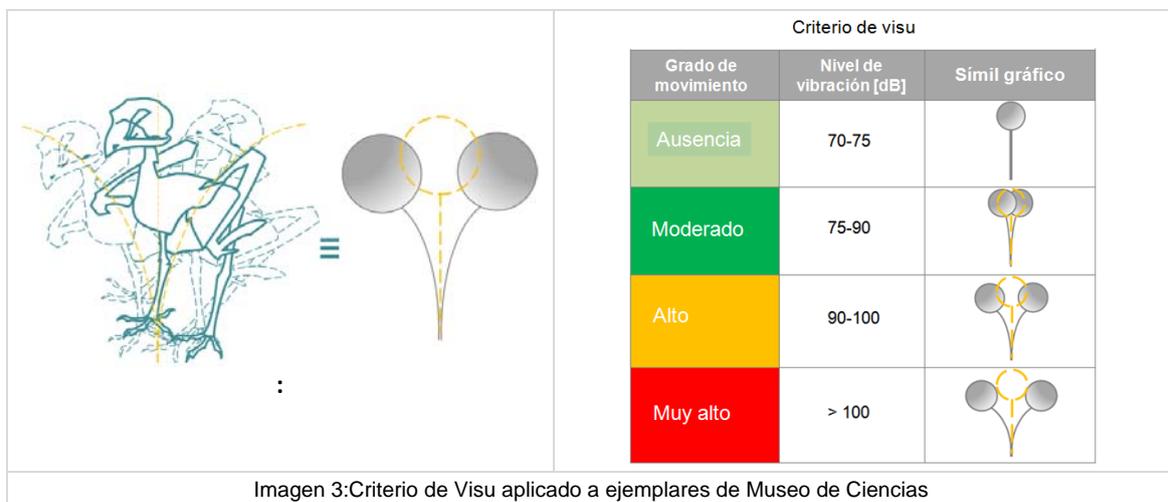


Imagen 3: Criterio de Visu aplicado a ejemplares de Museo de Ciencias

### 2.1. Diseño de las acciones correctoras

Para el diseño de las acciones correctoras aplicables a las vitrinas para minimizar así los niveles de inmisión de vibración en las muestras, se tuvo que tener en consideración el principio de funcionamiento mecánico de las vitrinas y las piezas expuestas en su interior para entender su comportamiento. De este modo, se transformó el sistema físico real en un modelo mecánico discreto formado por sistemas masa-muelle-amortiguador para poder entender su comportamiento. Así, transformando la realidad en un sistema mecánico simple, la vitrina y sus elementos se pueden considerar como subsistemas masa-muelle que interaccionan entre ellos, tal como se muestra en la Imagen 4 derecha.

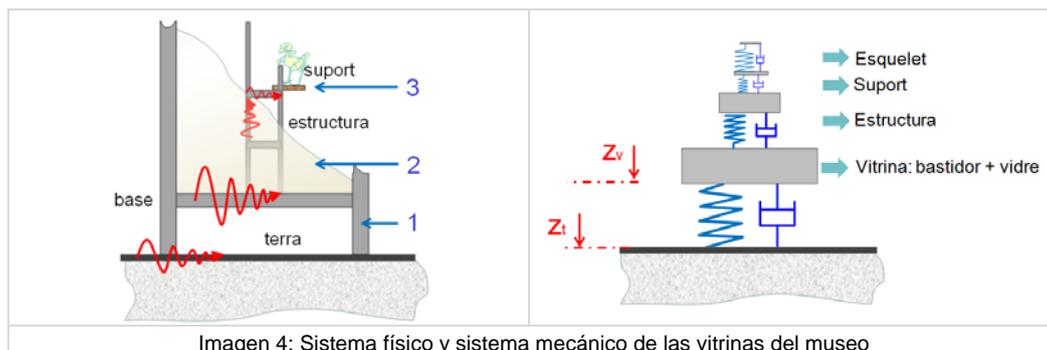
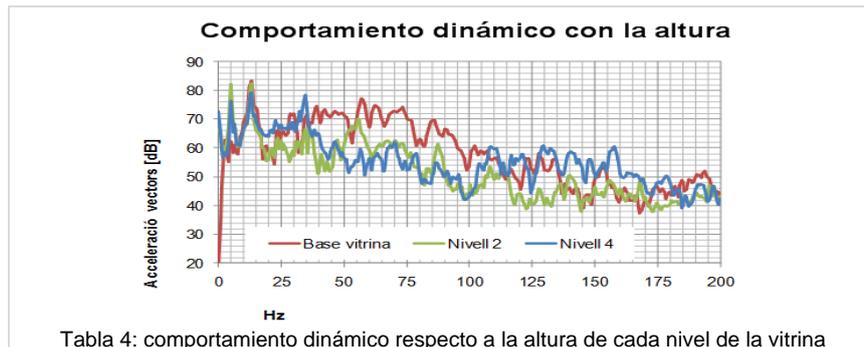


Imagen 4: Sistema físico y sistema mecánico de las vitrinas del museo

A tal efecto se realizaron medidas de vibraciones en los diferentes niveles en que se divide cada estantería. Asimismo se tuvo en consideración el tipo de soporte utilizado para fijar las muestras a los soportes en cada uno de los niveles dentro de las vitrinas. Las mediciones de vibraciones realizadas excitando las vitrinas arrojaron que no había amplificación por altura de las vitrinas en el rango de frecuencias inferior a los 90 Hz, tal como se observa en la Tabla 4.

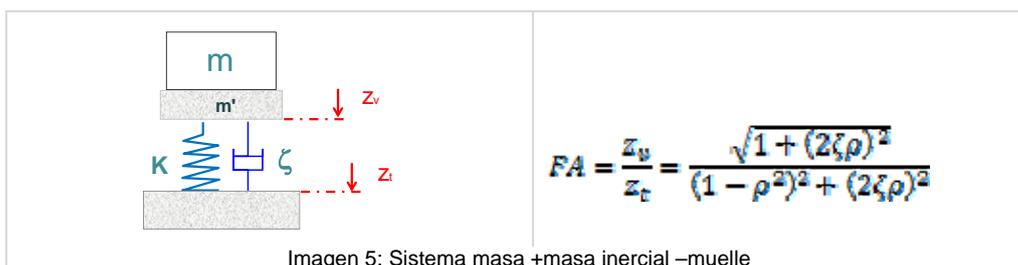


Las medidas correctoras para reducir los niveles de vibración existentes, se dividieron en base a dos escenarios posibles de las vitrinas más un despliegue de acciones preventivas. Los escenarios contemplados para aplicar las acciones correctoras fueron: a) considerando las actuales vitrinas y b) previendo nuevas estanterías con un diseño apropiado al caso. Las acciones preventivas se aplicarían tanto a acciones de control durante las exposiciones en horario abierto al público como en las tareas de mantenimiento.

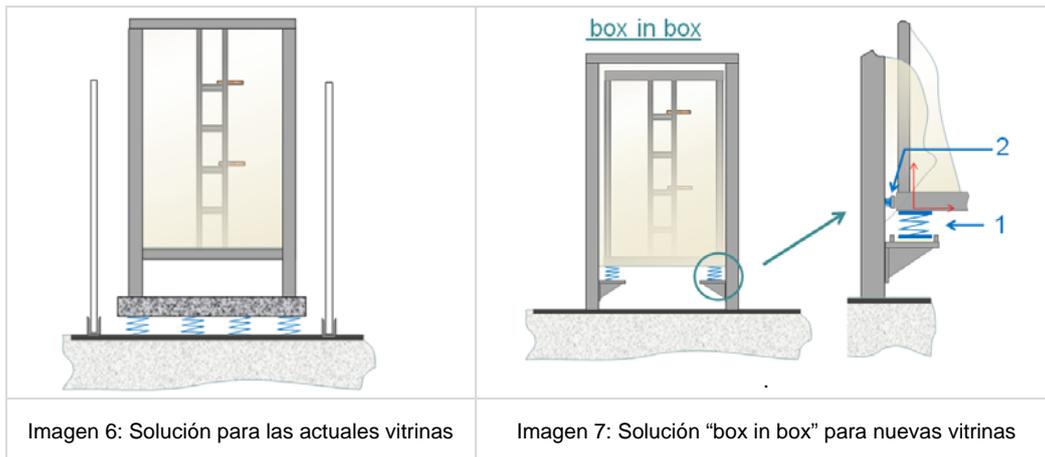
En las dos primeras actuaciones se tienen en cuenta todos los posibles escenarios generadores de vibración (personas caminando y niños golpeando las vitrinas) así como soluciones eléctricas para reducir el impacto del accionamiento del sistema de apertura y cierre de las vitrinas.

### 2.1. Diseño de solución para las vitrinas actuales y futuras.

Considerando que no había amplificación por altura en cada nivel de las vitrinas, conocidos los niveles de vibración límite según el “criterio de visu” y finalmente, conocidos también los factores de amplificación de las vitrinas a partir de las medidas experimentales entre el suelo y el interior de las vitrinas (Tabla 3), se definió una solución integral que independizase la vitrina del entorno (sistema box in box) en base al esquema general que se muestra en la Imagen 5.



Así, partiendo de este concepto teórico y teniendo en cuenta las principales fuentes de vibración se propusieron soluciones para las actuales vitrinas (Imagen 6.) y otras para futuras vitrinas que ya implementasen el sistema box in box (Imagen 7)



### 3. CONCLUSIONES

- Por iniciativa del *Departament de Col·leccions del Museo de Ciències Natulas de Barcelona*, se expone una metodología de trabajo para controlar una de las variables ambientales a considerar por parte de los Departamentos de Colecciones de obras museísticas.
- Se han realizado toda una batería de medidas experimentales para identificar y evaluar las diversas fuentes generadoras de vibración.
- Se ha relacionado el movimiento no deseado de las muestras que pueden en un largo plazo causar posibles patologías, con los niveles de vibración a través del "criterio de visu".
- Se han agrupado las muestras museística en función del grado de sensibilidad a las vibraciones.
- Se han diseñado soluciones concretas para las vitrinas que contengan las muestras más sensibles a las vibraciones, dando una solución tanto al diseño de las vitrinas existentes como para el caso de futuros diseños de vitrinas.
- Se han redactado procedimientos preventivos a considerar por el departamento de conservación con la finalidad de alargar la vida de las muestras ante un agente contaminante físico como son las vibraciones mecánicas.

### 4. REFERENCIAS

- [1] W. Wei, N. Krumperman i N. Delissen: "*Design of a vibration damping system for sculpture pedestals: an integral object-based approach*"; working group 15. *Preventive Conservation de la ICOM-CC 16th Triennial Conference - Lisbon 11*, ICOM (*International Council of Museums*).