

**Propuesta para la eliminación de las vibraciones en las mediciones del Laboratorio de Densidad del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología.**  
*Proposal for the elimination of vibrations in density laboratory measurements of the National Research Institute on Metrology.*

Ing. Nayara La Rosa-Yero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Densidad del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) —NC-ONN-CITMA. Cuba. Consulado no. 206 e/ Trocadero y Ánimas, Centro Habana, La Habana. E mail: [nayara@inimet.cu](mailto:nayara@inimet.cu)

## **RESUMEN**

En el Laboratorio de Densidad del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) se necesita eliminar las vibraciones producidas por los ruidos externos. Con esto se tendrían mejores condiciones para la utilización del Patrón de Densidad de Líquidos. Por tal motivo en el presente trabajo se exponen los resultados del estudio que serviría de base para solucionar el problema anteriormente planteado.

**PALABRAS CLAVES:** Vibraciones, amortiguamiento, aislamiento.

## **ABSTRACT**

In the Density Laboratory of the National Research Institute on Metrology (INIMET) it is necessary to eliminate the vibrations produced by external noises. With this, there would be better conditions for the use of the Liquid Density Standard. For this reason, in the present work, the results of the study that would serve as a basis for solving the previously mentioned problem are presented.

**KEY WORDS:** Vibrations, damping, insulation.

## **INTRODUCCION**

La deriva de las balanzas es un fenómeno en el cual al colocar una masa sobre el plato de pesada la lectura de esta no se mantiene constante, sino que el valor aumenta o disminuye dependiendo básicamente del calentamiento o enfriamiento del aire, lo que por consecuencia cambia la densidad del aire. Por tal motivo para los laboratorios de masa y densidad, como en nuestro caso, lo preferible es que estén aislados térmicamente y conserven una temperatura constante, que no tengan ventanas, además de que las mesas deben estar aisladas de las vibraciones que se pueden generar tanto interna como externamente. [1]

Las vibraciones se producen cuando un sistema es desplazado desde una posición de equilibrio estable, y este tiende a retornar a dicha posición bajo la acción de fuerzas de restitución elásticas o gravitacionales, moviéndose de un lado a otro hasta alcanzar su posición de equilibrio. El intervalo de tiempo necesario para que el sistema efectúe un ciclo completo se llama período de vibración, el número de ciclos por unidad de tiempo define la frecuencia y el desplazamiento máximo del sistema desde su posición de equilibrio se denomina amplitud de vibración. [2]

En la determinación de la densidad también se debe tener en cuenta el control de las condiciones ambientales, ya que variaciones en estas, provocan cambios en las observaciones de la balanza lo que trae consigo que se cambie la densidad del aire, la densidad de los líquidos y el volumen de los cuerpos.

En el presente trabajo se muestran los resultados del estudio que serviría de base para eliminar las vibraciones producidas por los ruidos externos en las mediciones.

## DESARROLLO

### CONTROL DE VIBRACIONES

En muchas situaciones prácticas, es posible reducir mas no eliminar las fuerzas dinámicas que provocan vibraciones. Se pueden utilizar varios métodos para controlar las vibraciones. Entre ellos, son importantes los siguientes:

1. Controlar las frecuencias naturales del sistema y evitar la resonancia bajo excitaciones.
2. Impedir la respuesta excesiva del sistema, incluso en resonancia, con la introducción de amortiguamiento o un mecanismo disipador de energía.
3. Reducir la transmisión de las fuerzas de excitación de una parte de la máquina a otra por medio de aisladores de vibración.
4. Reducir la respuesta del sistema con la adición de un neutralizador de masa auxiliar o absorbente de vibración.

### CONTROL DE FRECUENCIAS NATURALES

Se sabe muy bien que siempre que la frecuencia de excitación coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, ocurre resonancia. La característica más prominente de la resonancia es un desplazamiento grande. En la mayoría de los sistemas mecánicos y estructurales, los grandes desplazamientos indican esfuerzos y deformaciones indeseablemente grandes, las cuales pueden provocar la falla del sistema. De ahí que en cualquier sistema se deben evitar las condiciones de resonancia. En la mayoría de los casos, la frecuencia de excitación se puede controlar, porque es impuesta por requerimientos funcionales del sistema o máquina. Debemos concentrarnos en controlar las frecuencias naturales del sistema para evitar la resonancia.

Como indica la ecuación

$$w_n = \left(\frac{k}{m}\right)^{1/2} \quad (1)$$

La frecuencia natural de un sistema  $w_n$  se puede cambiar variando ya sea la masa  $m$  o la rigidez  $k$ . En muchos casos prácticos, sin embargo, la masa no se puede cambiar con facilidad, puesto que su valor está determinado por los requerimientos funcionales del sistema. Por consiguiente, la rigidez es el factor que con más frecuencia se cambia para modificar sus frecuencias naturales.

### INTRODUCCION DE AMORTIGUAMIENTO

Si el sistema experimenta vibración forzada, su respuesta o amplitud de vibración tiende a incrementarse cerca de la resonancia si no hay amortiguamiento. La presencia de amortiguamiento siempre limita la amplitud de vibración. Si se conoce la frecuencia forzada, puede ser posible evitar la resonancia cambiando la frecuencia natural del sistema. Sin embargo, quizá no se puede cambiar la frecuencia natural del sistema. En tales casos, podemos introducir amortiguamiento en el sistema para controlar su respuesta, utilizando materiales estructurales de alto amortiguamiento interno, como hierro colado o materiales laminados o emparedados.

## USO DE LOS MATERIALES VISCOELASTICOS

La ecuación de movimiento de un sistema de un solo grado de libertad con amortiguamiento interno, sometido a excitación armónica  $F(t) = F_0 e^{i\omega t}$ , se expresa como

$$m\ddot{x} + k(1 + i\eta)x = F_0 e^{i\omega t} \quad (2)$$

Donde  $\eta$  se conoce como factor de pérdida, el cual se define como

$$\eta = \frac{\Delta W / 2\pi}{W} \quad (3)$$

*energía disipada durante un ciclo de desplazamiento armónico / energía de deformación máxima en el ciclo*

*/radian*

La amplitud de la respuesta del sistema en resonancia ( $\omega = \omega_n$ ) está dado por

$$\frac{F_0}{k\eta} = \frac{F_0}{aE\eta} \quad (4)$$

Puesto que la rigidez es proporcional al módulo de Young ( $k = aE$ ;  $a = const$ ).

Estos materiales viscoelásticos tienen factores de pérdida más grandes y por consiguiente se utilizan para proporcionar amortiguamiento interno. Cuando se utilizan materiales viscoelásticos para controlar la vibración se someten a deformación por cortante o directas. En la configuración más simple, una capa de material viscoelástico se adjunta a una elástica. En otro arreglo, una capa viscoelástica se coloca entre capas elásticas. Una desventaja de los materiales viscoelásticos es que sus propiedades cambian con la temperatura, frecuencia y tensión. La ecuación (4) muestra que un material con valor más alto de ( $E\eta$ ) proporciona la amplitud resonante mínima. Dado que la deformación es proporcional al desplazamiento  $x$  y el esfuerzo es proporcional a  $E\eta x$ , el material con el valor más grande del factor de pérdida se someterá a los esfuerzos mínimos.

A continuación, en la tabla 1, se enuncian los valores del coeficiente de pérdida de algunos materiales viscoelásticos.

Tabla 1. Coeficiente de pérdida de algunos materiales viscoelásticos utilizados para amortiguar

<b>Materiales</b>	<b><math>\eta</math></b>
Poliestireno	2.0
Caucho duro	1.0
Tapete de fibra con matriz	0.1
Corcho	0.13 a 0.17
Aluminio	$1 \times 10^{-4}$
Hierro y acero	$2.6 \times 10^{-4}$

Las relaciones de amortiguamiento que se pueden obtener con diferentes tipos de construcción / configuración se indican en la tabla 2, que aparece a continuación.

Tabla 2. Relación de amortiguamiento viscoso equivalente en función del tipo de construcción

Tipo de construcción/configuración	Relación de amortiguamiento viscoso equivalente
Construcción soldada	1 a 4
Construcción empernada	3 a 0
Marco de acero	5 a 6
Capa viscoelástica no restringida sobre una viga de acero y concreto	4 a 5
Capa viscoelástica restringida sobre una viga de acero y concreto	5 a 4

## AISLAMIENTO DE LA VIBRACION

El aislamiento de la vibración es un procedimiento mediante el cual se reducen los efectos indeseables de vibración. Básicamente, implica la inserción de un miembro elástico (o aislador) entre la masa vibratoria (equipo o carga útil) y la fuente de vibración de modo que se logre una reducción de la respuesta dinámica del sistema sometido a condiciones específicas de excitación por vibración. Se dice que un sistema de aislamiento es activo o pasivo según si se requiere o no potencia externa para que el aislador realice su función. Un aislador pasivo se compone de un miembro elástico (rigidez) y un disipador de energía (amortiguamiento). Algunos ejemplos de aisladores pasivos comprenden resortes metálicos, corcho, fieltro, resortes neumáticos y resortes elastómeros (caucho).

Un aislador activo se compone de un servomecanismo con un sensor, un procesador de señales y un actuador. El aislamiento de vibración se puede utilizar en dos tipos de situaciones. En el primer tipo, el cimiento o base de una máquina vibratoria se protege contra grandes fuerzas desbalanceadas. En el segundo tipo, el sistema se protege contra el movimiento de su cimiento.

El primer tipo de aislamiento se utiliza cuando una masa se somete a una fuerza o excitación. Por ejemplo, en presas de forja y estampado, grandes fuerzas impulsoras actúan en el objeto que se está formando o estampando. Estos impactos se transmiten a la base o cimiento, pero también a las estructuras o máquinas circundantes o cercanas. También pueden provocar incomodidad a los operarios de estas máquinas. Asimismo, en el caso de máquinas recíprocas y rotatorias, las fuerzas desbalanceadas inherentes se transmiten a la base de la máquina. En tales casos, la fuerza transmitida a la base,  $F_t(t)$  varía armónicamente y los esfuerzos resultantes en los pernos también varían armónicamente, lo que podría provocar fallas de fatiga. Incluso si la fuerza no es armónica, su magnitud se tiene que limitar a valores permisibles seguros. En estas aplicaciones podemos insertar un aislador (en la forma de rigidez y/o amortiguamiento) entre la masa sometida a una fuerza o excitación y la base o cimiento para reducir la fuerza transmitida a la base. Esto se llama aislamiento de fuerza. En muchas aplicaciones, el aislador también está previsto para que reduzca el movimiento vibratorio de la masa sometida a la fuerza aplicada. Por consiguiente, la transmisibilidad tanto de fuerza como de desplazamiento de los aisladores llega a ser importantes para estos.

El segundo tipo de aislamiento se utiliza cuando se tiene que proteger una masa contra el movimiento o excitación de su base o cimiento. Cuando la base se somete a vibración, la masa  $m$  experimentará no solo desplazamiento  $x(t)$  sino también una fuerza  $F_t(t)$ . Se espera que el desplazamiento de la masa sea menor que el desplazamiento de la base  $y(t)$ . La fuerza experimentada por el instrumento o masa  $m$  es

$$F_t(t) = m\ddot{x}(t) = k\{x(t) - y(t)\} + c\{\dot{x}(t) - \dot{y}(t)\} \quad (5)$$

Donde  $y(t)$  es el desplazamiento de la base.

$x(t) - y(t)$  es el desplazamiento relativo del resorte.

$\dot{x}(t) - \dot{y}(t)$  es la velocidad relativa del amortiguador.

$k$  es la constante de rigidez del aislamiento seleccionado

$c$  es la constante de amortiguamiento del aislamiento seleccionado

En tales casos, podemos insertar un aislador (que proporcione rigidez y/o amortiguamiento) entre la base sometida a una fuerza o excitación y la masa, para aminorar el movimiento y/o la fuerza transmitida a la masa. Por lo tanto, el aislamiento de fuerza como el aislamiento de movimiento también llegan a ser importantes. Es significativo notar que la eficacia de un aislador depende de la naturaleza de la fuerza o excitación.

### REDUCCION DE LA FUERZA TRASMITIDA AL CIMIENTO

Cuando una máquina se atornilla directamente en un cimiento o piso rígido, el cimiento se verá sometido a una carga armónica debido al desbalance en la máquina, además de la carga estática originada por el peso de la máquina. De ahí que se coloque un miembro elástico entre la máquina y el cimiento rígido para reducir la fuerza transmitida al cimiento.

### AISLAMIENTO CONTRA CHOQUES

El aislamiento contra choques se puede definir como un procedimiento mediante el cual los efectos indeseables de un choque se reducen. Observamos que el aislamiento contra vibraciones producidas por una perturbación armónica (impacto) ocurre con la relación de frecuencia  $r > \sqrt{2}$  y un valor pequeño de la relación de amortiguamiento ( $\zeta$ ) que conduce a un mejor aislamiento. Por otra parte, el aislamiento contra choques debe ocurrir dentro un amplio rango de frecuencia, en general con valores grandes de  $\zeta$ . A pesar de las diferencias, los principios básicos implicados en el aislamiento contra choques son semejantes a los del aislamiento contra vibración; sin embargo, las ecuaciones son diferentes debido a la naturaleza transitoria del choque.

Una carga de choque de corta duración  $F(t)$  aplicada durante un período  $T$ , se puede tratar como un impulso  $F$

$$F = \int_0^T F(T) dt \quad (6)$$

Como este impulso actúa en la masa  $m$ , se puede aplicar el principio de impulso-cantidad de movimiento para determinar la velocidad impartida a la masa ( $v$ ) como

$$v = \frac{F}{m} \quad (7)$$

Esta indica que la aplicación de una carga de choque de corta duración se puede considerar equivalente a impartir una velocidad inicial al sistema. Por lo tanto, la respuesta del sistema sometido a una carga de choque se puede determinar como la solución de vibración libre con una velocidad inicial especificada. [3-7]

### FENOMENOS PARA ELIMINAR LAS VIBRACIONES

Se conoce que existen diferentes fenómenos como la absorción sonora con los que se pueden controlar las vibraciones por sus características.

## ABSORCION SONORA

Las superficies de un recinto reflejan parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, esta podrá absorber más o menos el sonido, lo cual se ejemplifica en la figura 1. Esto lleva a definir el coeficiente de absorción sonora, que se identifica con la letra  $\alpha$ , como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente.

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}} \quad (8)$$

El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, y por esta razón se han medido y tabulado los coeficientes de absorción para varios materiales y objetivos. En general, los materiales duros, como el hormigón o el mármol, son muy reflectores y por tanto poco absorbentes del sonido, y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente muy absorbentes.



Fig. 1 Ejemplo de diferentes materiales que reflejan o absorben el sonido.

En la tabla 3 se dan los valores de  $\alpha$  para varios materiales típicos de construcción, objetos y personas (ya que las personas también absorben el sonido). Se proporcionan para varias frecuencias, ya que  $\alpha$  depende de la frecuencia. En general la absorción aumenta con la frecuencia, debido a que para frecuencias altas la longitud de onda es pequeña y entonces las irregularidades de la superficie o el propio espesor del material son más comparables con la longitud de onda. En algunos casos, sin embargo, algún fenómeno de resonancia entre el material y la pared puede mejorar la absorción en bajas frecuencias.

Tabla 3. Coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia, expresada en Hz [9, 10]

Material	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlack) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m <sup>2</sup>	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m <sup>2</sup>	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m <sup>2</sup> fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

## MATERIALES ABSORBENTES ACÚSTICOS

Los materiales de construcción y los revestimientos tienen propiedades absorbentes muy variables. A menudo es necesario, tanto en salas de espectáculo como en estudios de grabación y monitoreo realizar tratamientos específicos para optimizar las condiciones acústicas. Ello se logra con materiales absorbentes acústicos, es decir materiales especialmente formulados para tener una elevada absorción sonora.

Existen varios tipos de materiales de esta clase. El más económico es la lana de vidrio, que se presenta en dos formas: como fieltro, y como panel rígido. La absorción aumenta con el espesor, y también con la densidad. Esta permite absorciones sonoras muy altas. El inconveniente es que debe ser separada del ambiente acústico mediante paneles protectores cuya finalidad es doble: proteger la lana de vidrio de las personas, y a las personas de la lana de vidrio, ya que las partículas que se podrían desprender no sólo lastiman la piel, sino que al ser respiradas se acumulan irreversiblemente en los pulmones, con el consecuente peligro para la salud.

Otro tipo de material son las espumas de poliuretano o de melamina. Son materiales que se fabrican facetados en formas de cuñas anecoicas, figura 2.a. Esta estructura superficial se comporta como una trampa de sonido, ya que el sonido que incide sobre la superficie de una cuña se refleja varias veces en esa cuña y en la contigua. El resultado es un aumento de la superficie efectiva de tres veces o más, figura 2.b.

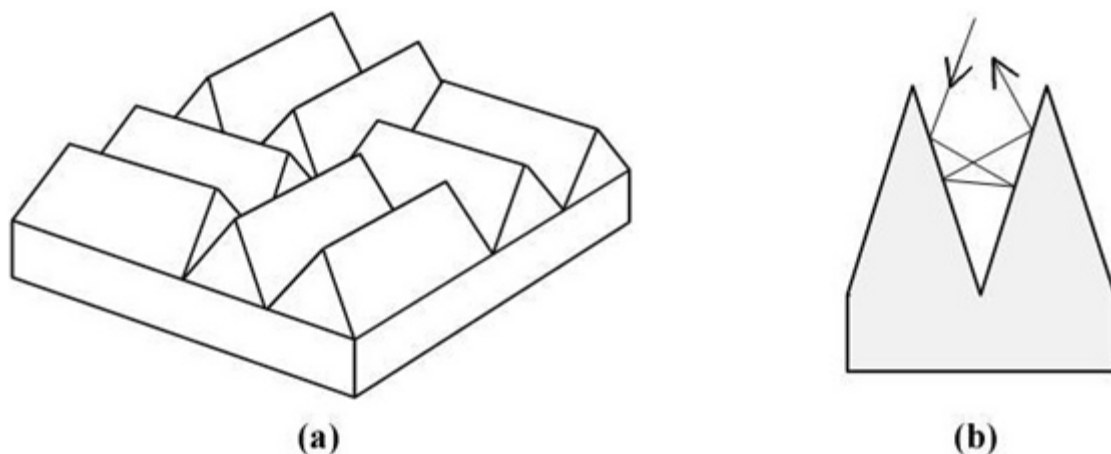


Fig. 2 **a)** Una muestra de material absorbente a base de espumas poliuretánicas con terminación superficial en cuñas anecoicas. **b)** Mecanismo por el cual las cuñas anecoicas logran absorción sonora.

## AISLAMIENTO ACÚSTICO

Aislar acústicamente un recinto significa impedir que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior y, recíprocamente, que los ruidos externos se perciban desde su interior.

En una primera aproximación al problema, podemos observar que el aislamiento sonoro se logra interponiendo una pared o un tabique entre la fuente sonora y el receptor. El aislamiento es tanto mayor cuanto mayor sea la densidad superficial del tabique y cuanto mayor sea la frecuencia del sonido. Esta es la razón por la cual las paredes gruesas (y por tanto pesadas) ofrecen mayor aislamiento que las delgadas. También explica por qué de la música del vecino se escucha mucho más la base rítmica de la percusión grave (baja frecuencia) que las melodías, por lo general más agudas (alta frecuencia).



## ELECCIÓN DE MATERIALES AISLANTES.

La elección de los materiales aislantes viene dada por diferentes factores como los siguientes:

1. Clima.
2. Facilidad de instalación; por ejemplo, algunos materiales no pueden ser readaptados debido a problemas de accesibilidad o de toxicidad.
3. Durabilidad; resistencia a la compresión, la humedad y la degradación.
4. Costo.
5. El modo de transferencia de calor.
6. La orientación de la superficie y la dirección de flujo de calor determinan, la eficacia de una barrera radiante. Será barrera radiante la que funciona mejor para detener la baja transferencia de calor desde o hacia las superficies horizontales.
7. Los efectos tóxicos.
8. Impacto ambiental y sostenibilidad.

Por lo general, una combinación de materiales es necesario para lograr una solución óptima. La reducción en la transmisión de vibraciones se consigue mediante la aplicación de uno de los siguientes métodos:

1. Acoplamiento elástico.
2. Amortiguación.
3. Amortiguación ajustada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de haber realizado un estudio de los requerimientos que se necesitan para controlar las vibraciones en el laboratorio proponemos obtener una base aisladora que funcione para amortiguar las vibraciones de manera que las mediciones no se afecten. Los materiales que se proponen son el corcho y el caucho, ya que existen bases aisladoras construidas de estos materiales, por sus buenas propiedades de amortiguamiento y aislamiento (ver Fig. 3).

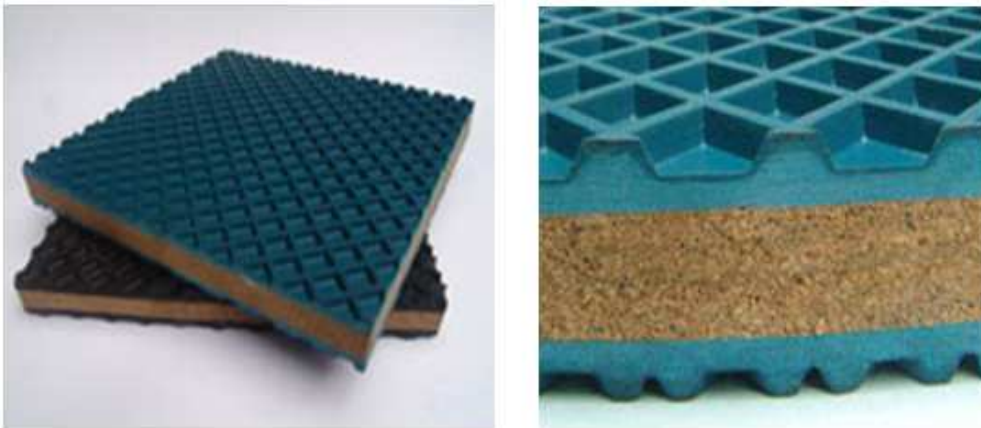


Fig. 3 Bases aisladoras de corcho y caucho.

## **MATERIALES PROPUESTOS PARA UTILIZAR EN LAS BASES AISLADORAS DE CORCHO Y CAUCHO**

### **CORCHO COMO AISLANTE**

El corcho reúne una gran cantidad de propiedades y ventajas que lo convierten en uno de los mejores aislantes. Es un producto natural, reutilizable y reciclable, cuya explotación ayuda a conservar los bosques de alcornoque, garantizando el empleo de materias primas disponibles. Su elaboración consiste en un sencillo proceso de fabricación mediante el cual se tritura la materia prima y se cuece en vapor de agua obteniendo de este modo un aglomerado de corcho. [11]

Destaca en el aislamiento térmico por su pequeña conductividad térmica a una temperatura media de 20 °C, y es considerado como el material más tradicional de los materiales aislantes. Gracias a su elasticidad, es un producto inigualable en campos tan específicos como el tapamiento y en todos aquellos en donde se necesite un material resistente, que tenga la capacidad potencial para recuperar la geometría primitiva una vez cesada la causa determinante de la deformación. Tiene, además, alta resistencia mecánica derivada de su relativo alto peso específico y natural constitución.

Es extraordinario el comportamiento de este material ante la humedad, que viene determinado por la existencia simultánea en el material de los macroporos (espacios entre los distintos granos de corcho que siempre se establecen en el proceso de aglutinación dada la forma irregular de los granos, cuando el peso específico no sea muy alto), y de los microporos (minúsculos canalillos que intercomunican el interior de las cavidades celulares). Los posibles movimientos de la humedad a través del material obedecen simultáneamente a procesos de difusión y termodifusión relativa, según los cuales dicho movimiento se puede establecer a favor o en contra del gradiente normal relativo a la tensión del vapor de agua.

Presenta gran resistencia a los agentes químicos, insectos y microorganismos, debido a los componentes naturales de la constitución de este, entre los que destaca la suberina, sustancia muy específica y de difícil reacción, solubilidad y degradación. Los aglomerados de corcho son materiales de extraordinaria durabilidad, conservando intactas sus propiedades originales a lo largo del tiempo. [12]

### **BASES AISLADORAS ANTIVIBRATORIAS DE CORCHO Y CAUCHO SINTETICO**

Las bases aisladoras antivibratorias de corcho y caucho sintético son el más eficiente tipo de almohadilla de material aislante disponible, detiene la vibración, sacudidas y sonido, utilizando las propiedades elásticas y amortiguadoras de la unión científicamente estudiada del corcho y el caucho nitrílico. El gran coeficiente de fricción de la base aisladora hace que esta no se escape de debajo de la máquina de manera que esta se pueda colocar sin necesidad de sujetar con pernos. Las celdas cuadradas a cada lado de la placa aseguran un mejor agarre entre la pata, la placa y el piso. Las placas de goma sintética resisten el uso permanente, los aceites, los compuestos limpiadores y los efectos de la luz solar o el aire. No absorben aceite, polvo ni agua.

## **CONCLUSION**

Luego de haber hecho un estudio teórico, de cómo se pueden controlar o eliminar las vibraciones producidas por los ruidos externos, que inciden sobre las mediciones con el Patrón de Densidad de Líquidos, se determinó que las bases aisladoras antivibratorias de corcho y caucho sintético, pueden servir para aislar el sistema de medición de las vibraciones en el Laboratorio de Densidad del INIMET, siendo esta una solución más

ventajosa que interponer un material amortiguador en las paredes, que sería una opción más costosa.

## RECOMENDACIONES

1. Profundizar en el tema explorando otras opciones
2. Ejecutar mediciones de vibraciones en el Laboratorio de Densidad del INIMET, que permitan valorar el impacto real de las bases aisladoras antivibratorias de corcho y caucho sintético que se proponen en el control de las vibraciones provocadas por los ruidos externos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Becerra-Santiago, LO.; Pezet-Sandoval, F. Determinación de la densidad en sólidos y líquidos. Publicación técnica CNM-MMM-PT-002. Centro Nacional de Metrología, México, 1996. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1044/1/012036>
- [2] Bishop, RED. Vibration (2a. ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1979. ISBN-13: 978-0521296397; ISBN-10: 0521296390
- [3] Singiresu, RS. Vibraciones mecánicas (5a. ed.), Pearson Educación, 2012.
- [4] Mercer, CA. y Rus, PL. An optimum shock isolator, Journal of Sound and Vibration, Vol.18, 1971, p. 511-520.
- [5] Munjal, ML. A rational synthesis of vibration isolators, Journal of Sound and Vibration, Vol. 39, 1975, p. 247-263.
- [6] Hati, SK. y Ras, SS. Cooperative solution in the synthesis of multidegree of freedom shock isolation systems, Journal of vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, Vol. 105, 1983 p. 101-103.
- [7] Ras, SS. y Hati, SK., Optimum design of shock and vibration isolation systems using game theory, Journal of Engineering Optimization, Vol.4, 1980, p. 1-8.
- [8] Tablas de coeficientes de absorción. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Acoustic/revmod.html> . Consultado en Junio 2019.
- [9] Flores, MD; Ferreyra, SP; Cravero, GA; Budde, L; Longoni, HC; Ramos, OA; Tommasini, FC. Base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales. Mecánica Computacional Vol XXXII, pp 2901-2908. Noviembre 2013 <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4527/4456>; Consultado en Junio 2019.
- [10] Henao-Robledo, F. Riesgos físicos I. Ruido, vibraciones y presiones anormales (2a. ed.), Ediciones Ecoe, 2014. ISBN 978-958-771-100-4; e-ISBN 978-958-771-101-1
- [11] Abajo-Toledo, A. El corcho como producto impermeabilizante, Congreso Forestal Español, Ponencias y comunicaciones. Tomo IV. Lourizán 1993. Disponible en: [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/download/15196/15039/](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/download/15196/15039/) Consultado en Junio 2019.

**Fecha de recepción del artículo:** 2019-11-25

**Fecha de aceptación del artículo:** 2019-12-26