

CARACTERIZACIÓN DE AISLADOR SÍSMICO DE BAJO COSTO BASADO EN GRÁNULOS DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICO

S. Jara Ramírez¹, C. Oyarzo Vera², N. Maureira Carsalade³

RESUMEN

El aumento de sismos de media y gran magnitud percibida a nivel mundial ha evidenciado la falta de cultura de protección sísmica que existe en países de alta actividad sísmica como Chile. Ante esto, durante los años se ha avanzado en el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en la aislación y disipación sísmica logrando una reducción del daño en edificaciones afectadas por un sismo de gran intensidad, tanto en sus elementos estructurales como en sus elementos no estructurales y contenidos. La utilización actual de estos dispositivos se ve limitada por el costo económico del mismo. Es decir, por lo general la decisión de incorporar este tipo de dispositivos pasa por la proporción del costo total del proyecto que estos sistemas tengan. Por consiguiente, rara vez se utilizan en edificaciones de viviendas unifamiliares o conjuntos de viviendas sociales. Dicho lo anterior el presente estudio propone el desarrollo de un dispositivo de aislación sísmica de bajo costo utilizando gránulos de caucho reciclado. Se realiza la caracterización de este dispositivo mediante ensayos experimentales a fin de determinar su rigidez y amortiguamiento característico.

Los resultados más relevantes de este estudio demuestran que a medida que aumentan los desplazamientos la rigidez disminuye y el coeficiente de amortiguamiento equivalente aumenta, presentando mejores comportamientos en mezclas con gránulos más pequeños de caucho.

Palabras clave: Aislación sísmica, caucho reciclado

ABSTRACT

The increase in medium and large magnitude earthquakes perceived worldwide has evidenced the lack of a seismic protection culture that exists in countries with high seismic activity such as Chile. Over the years, progress has been made in the development of new technologies based on seismic isolation and dissipation, achieving a reduction in damage in buildings affected by a high intensity earthquake, both in structural, non-structural and contained elements. Currently, the use of these devices is limited by the economic cost of it. That is, in general the decision to incorporate this type of device depends on the proportion of the total cost of the project that these systems have. Therefore, they are rarely used in buildings of single-family homes or social housing units. Our study proposes the development of a low-cost seismic isolation device using recycled rubber granules. The characterization of this device is carried out through experimental tests in order to determine its characteristic stiffness and damping.

The most relevant results of this study show that as the displacements increase, the stiffness decreases and the equivalent damping coefficient increases, presenting better behavior in mixtures with smaller rubber granules.

Keywords: Seismic Isolation, recycled rubber

¹ Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción. sjarar@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción. coyartzov@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción. nmaureira@ucsc.cl

INTRODUCCIÓN

Dentro de los países con mayor actividad sísmica se encuentra Chile, registrando terremotos de magnitudes históricas superiores a Mw 8. Es por esto que en los últimos años se ha observado un aumento en las construcciones que cuentan con dispositivos de protección sísmica con el objetivo de reducir el daño en edificaciones y su contenido. Un claro ejemplo de la efectividad de estos dispositivos en edificios aislados sísmicamente fue el evidenciado para el terremoto de Northridge en 1994 (Los Ángeles, USA), de magnitud Mw 6.7. El Hospital de la Universidad de South California, protegido por 149 aisladores elastoméricos, no sufrió daños estructurales ni de su contenido, por lo que pudo operar inmediatamente. En cambio, el Hospital Olive View (sin aislación) si bien no presentó daños estructurales, su contenido fue afectado severamente percibiendo pérdidas de US\$ 6.000.000, además de estar fuera de operación durante 4 semanas. Este caso es conocido debido a que ambas instalaciones se encontraban a una distancia aproximada de 36 km. del epicentro [1].

El objetivo de los sistemas de protección sísmicas es obtener beneficios reduciendo el daño estructural, como también la utilidad de la misma mediante la protección del contenido, continuidad operacional y reducir la sensación de inseguridad de los ocupantes. Es por esto, que durante años se han generado soluciones que pueden ser clasificadas como sistemas de protección activos, semi activos y pasivos.

Los sistemas de protección activos son los compuestos por una variedad de dispositivos trabajando en conjunto a tiempo real. Es decir, la protección de estos sistemas es activados a medida que se inician las solicitaciones sísmicas mediante sensores (acelerómetros). La información recogida es procesada por sistemas automatizados que controlan dispositivos mecánicos (actuadores) que actúan sobre masas, elementos de arriostre o tendones activos cuya función es contrarrestar una respuesta no deseada del edificio. Estos tipos de sistemas de protección son en teoría los sistemas que mejor cumplen la función de disipar la energía de un sismo, sin embargo, su uso es limitado debido a su alto costo [2].

Los sistemas de protección semi activos son de conceptos parecidos a los sistemas de protección activos. Esto es debido a que se lleva un control en tiempo real de los inputs percibidos por la estructura, pero su funcionamiento se basa en modificar las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación sísmica y no así la aplicación de fuerzas que contrarrestan la acción sísmica. Los dispositivos utilizados comúnmente en estos sistemas son los amortiguadores de masa semi activa, disipadores con fluidos electro-reológicos [3].

Los sistemas de protección pasivos son los sistemas más usados en la actualidad debido a su bajo costo en comparación con los sistemas activos y semi activos, pudiendo ser subclasificados los sistemas de aislación sísmica y los sistemas de disipación sísmica.

Los sistemas de aislación sísmica son dispositivos ubicados en la interacción subestructura y superestructura con el fin de desacoplar la respuesta de la edificación con respecto a la excitación proveniente del suelo. El desacoplamiento permite la reducción de deformaciones entre pisos, pero aumenta el desplazamiento global de la estructura. Dentro del grupo de aisladores sísmicos se encuentran los aisladores elastoméricos, aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, deslizadores, aisladores de péndulo friccional simple, aisladores de péndulo friccional doble, entre otros.

Por otro lado, los sistemas de aislación sísmicas también buscan evitar la transferencia de energía del sismo hacia la estructura, para esto se reduce la rigidez basal de la estructura producto del desacoplamiento de la misma con el fin de aumentar el periodo fundamental del sistema. Al apartar el periodo de la zona de mayor afectación se logra que el edificio ante un sismo no alcance la resonancia debido a la poca probabilidad de experimental sismo de periodos largos.

En Chile los sistemas de aislación sísmica más utilizados son los aisladores elastoméricos con y sin núcleo de plomo, péndulos de fricción simple y doble, siendo utilizado en edificaciones como el Hospital Militar (Santiago) diseñado con 163 aisladores elastoméricos, y el edificio “Neruda” (Santiago) diseñado con 14 aisladores elastoméricos, 6 aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y dos deslizadores. Cabe destacar la disposición de este sistema no siempre busca aislar la estructura completa. Es decir, existen aisladores sísmicos posicionados entre pisos como también para secciones de la edificación; pero la utilización de este método no es recurrente.

El registro más reciente indica que las edificaciones con protección sísmica en Chile ascienden a 110, la mayoría construidas después del terremoto de febrero del 2010. Estas son clasificadas como 19 hospitales, 37 proyectos residenciales, 32 proyectos de oficina, 13 construcciones industriales, 7 complejos educacionales y 3 templos [4].

Los sistemas de disipación sísmica están basados en dispositivos de amortiguamiento, comúnmente proyectados en la superestructura como amortiguadores viscosos y amortiguadores de fluencia fabricados en acero. Estos dispositivos son comúnmente utilizados en edificaciones de gran altura para no solo disipar cargas dinámicas producidas por un sismo, sino que también las producidas por el viento que en edificaciones de gran altura toma una gran importancia para las cargas de diseño, como también en puentes debido a las dilataciones que sufre el mismo. Los disipadores sísmicos más utilizados en Chile son los amortiguadores viscosos, amortiguadores de acero y amortiguadores de masa sintonizada. Estos dispositivos fueron implementados por ejemplo en la construcción residencial “Geocentro Moneda” (Santiago), edificación de 34 pisos de altura, utilizando dos amortiguadores de masa sintonizada (AMS). Edificio “Parque Araucano” (Santiago) diseñado con dos amortiguadores viscosos de gran tamaño y dos amortiguadores de masa sintonizada [5].

El caucho ha sido un material particularmente estudiado debido a sus propiedades mecánicas como su capacidad de resistencia ante diversos escenarios o ambientes. Por otro lado, se tiene a disposición una gran cantidad de material de caucho debido al reciclado de ruedas de vehículos principalmente.

La literatura actual presenta distintos usos al caucho como lo es el uso de cojinetes formados por caucho reciclado de neumático y fibras de acero comprimida en conjunto a alta presión sin platos de metal tanto interno como externo con el fin de obtener aisladores basales [6]. También se ha innovado utilizando ruedas del tipo karting rellena con material elastomérico reciclado, SBR (Styrene Butadiene Rubber) el cual tiene un mejor comportamiento abrasivo y resistencia térmica comparado con el caucho natural; y arena [7]. También se han realizado estudios en que la aislación se genera mediante la superposición de tiras de caucho de neumático [8].

Por otro lado, existen estudios enfocados en la aislación sísmica mediante la incorporación de cojines de neumático reciclado arena con caucho en la interface entre la sub estructura y la superestructura [9] y otros que abordan el problema de la protección sísmica mediante la modificación del suelo de fundación incorporando capaz de mezclas de arena y caucho [10].

Dentro del grupo de habitantes más vulnerables al efecto de los terremotos se encuentran las familias con niveles de ingresos bajos, debido a su restringida capacidad de sobreponerse luego de un desastre. Este estudio propone un sistema de aislación sísmica de bajo costo en base a gránulos de caucho reciclado para viviendas sociales que permita reducir en gran medida los costos que implican reparaciones y reposición del edificio y su contenido. El fin principal del desarrollo de este dispositivo es cubrir la demanda que no se satisface para el rango de obras de bajo costo como lo son las viviendas privadas o sociales y edificaciones de cinco pisos o menor a 20 metros de altura.

En este estudio se busca caracterizar el dispositivo mediante ensayos experimental con el cual se determinará si el mecanismo propuesto tiene propiedades adecuadas para proteger sísmicamente una estructura, además de determinar sus variables características de rigidez y coeficiente de amortiguamiento equivalente.

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

El aislador sísmico propuesto se compone por un cofre cilíndrico de PVC, en su interior se ubica una barra de acero doblemente rotulada apoyada en la base del cofre en su extremo inferior y por el extremo superior se contempla que la barra tiene un largo libre para ser apoyada a la losa base de la superestructura. La barra se encuentra embebida en una mezcla de gránulos de caucho confinada a presión dentro del cofre cilíndrico (Figura 1).

El funcionamiento mecánico de este aislador consiste en que la barra vertical recibe las deformaciones horizontales de la superestructura y las transforma en un empuje que ejerce sobre las partículas de caucho

circundante induciendo el desplazamiento horizontal de la mezcla la cual esta confinada por la pared periférica del dispositivo.

Se asume como hipótesis que la compresión genera deformaciones en el material que se transforman energía la que luego se libera como calor.

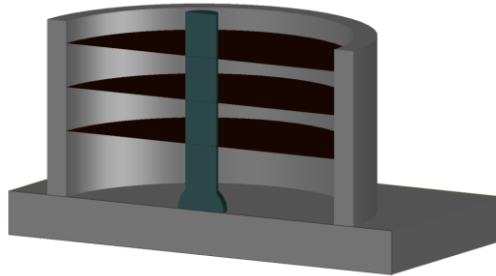


Figura 1. Esquema general del dispositivo. Fuente: Elaboración Propia



Figura 2. Probeta ensayada, Fuente: Elaboración Propia.

METODOLOGÍA

Conforme al objetivo de este estudio la rigidez equivalente del dispositivo se cuantifica mediante la definición de la recta entre el desplazamiento máximo y mínimo observado en un ciclo histérico con respecto al origen. Los resultados esperados para cada ciclo de histérico es una dispersión baja entre rigideces para cada polo de la curva.

Por otra parte, de acuerdo a la ley de Hooke se tiene que una fuerza aplicada puede ser interpretada como la sumatoria de una componente elástica y una componente inelástica. De acuerdo a la misma teoría una deformación en rango elástico no disipa energía y todo ello se disipa cuando el material incurre en el rango inelástico. Si bien, esta disipación de energía ocurre a través de los ciclos de histéresis, es una práctica usual convertir el amortiguamiento histérico en un amortiguamiento viscoso equivalente.

Esto es:

$$\oint F(t) * du = \oint c * \dot{u} * du \quad \dots 1$$

Por interpretación matemática la integral cerrada puede ser definida en función del tiempo mediante el cambio de variable $u = \frac{du}{dt} * dt$ siendo $\frac{du}{dt}$ la velocidad del ciclo de carga descarga recarga.

$$c_{eq} = \frac{\int_0^T F(t) * \dot{u} * dt}{\int_0^T \dot{u}^2 * dt} \quad \dots 2$$

Por lo tanto, el coeficiente de amortiguación equivalente, c , se obtiene de la división entre la energía disipada de un sistema calculada como el área interna de un ciclo histerético y el área bajo la curva de la velocidad cuadrática en función del tiempo de una un ciclo medido.

Para desarrollar el experimento se creó una probeta de pequeñas dimensiones utilizando materiales de fácil adquisición emulando un futuro prototipo que para temas prácticos y de estudio se ajusta a lo requerido. Esta probeta es ensayada cíclicamente mediante un sistema de manivela manual que genera ciclos de desplazamiento similar a los de la Figura 2. Esto es, desplazamientos laterales limitados a los 5, 10, 15 y 20mm. La fuerza vertical para analizar la rigidez lateral del dispositivo a distintas cargas es producida por un brazo palanca el cual se encuentra rotulado al sistema rígido de la mesa a 70 cm y la fuerza es aplicada a 200cm en dirección horizontal.



Figura 3. Esquema de aplicación de carga vertical. Fuente: Elaboración Propia.

Los sensores de carga son posicionados en la parte superior de la barra de acero, en donde, la celda de carga vertical se apoya entre el brazo palanca y atornilla a la punta de la barra. A su vez, el sensor lateral se apoya rotulado en la barra y rígidamente en el marco estático del sistema. El sensor de desplazamiento es conectado entre la parte móvil de la mesa y el marco estático del sistema.

Por convención de signos y según lo presentado en Figura 4, se tiene que el desplazamiento positivo es registrado hacía la derecha de la imagen. Por otro lado, la tracción o signo positivo del registro correspondiente al registro del sensor horizontal sucede hacía la izquierda de la imagen. Por último, el registro vertical es interpretado positivo hacía debajo de la imagen.

Se realizaron ensayos a una probeta con diferentes contenidos de mezcla entre caucho y arena las probetas son identificadas como P1 y P2 que contienen solo mezcla de caucho granulado teniendo una granulometría de 3-4 mm y 1-2 mm; y densidades de 0.499 [gr/cm³] y 0.6736 [gr/cm³] respectivamente. Además de P3 con una mezcla de caucho de 3-4 mm con arena y densidad de 0.6836 [gr/cm³].

Los ensayos en su mayoría contienen doce ciclos histeréticos agrupadas en serie de tres ciclos de igual desplazamiento. Se realizan ensayos para cargas verticales de 97.88, 124.41 y 150.33 kg.

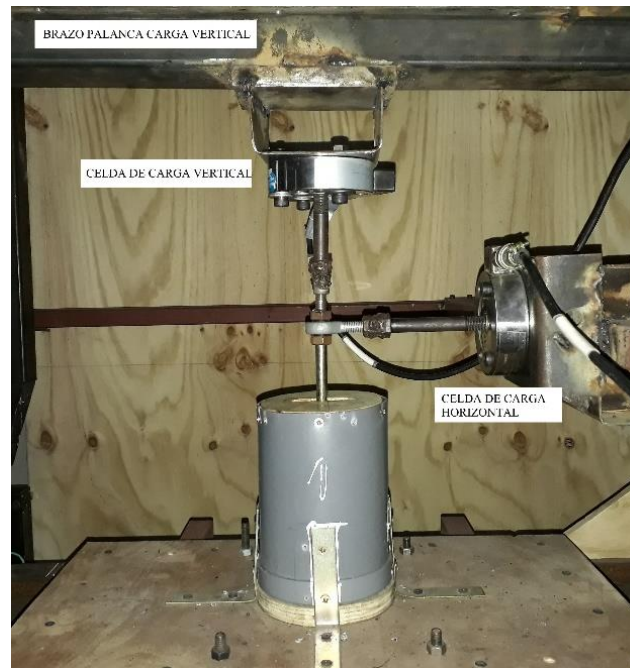


Figura 4. Esquema de ensayo realizado a probetas estudiadas. Fuente: Elaboración Propia.

Calibración instrumental

Para la medición de desplazamiento lateral se utilizó el medidor de desplazamiento LVDT (Linear Voltage Displacement Traducer) (Figura 5), el cual mediante la medición de voltaje convertido a desplazamiento de acuerdo a la pendiente de la regresión lineal de los puntos obtenidos para la calibración del instrumento se obtiene el valor de conversión. Al analizar la gráfica de la Figura 6 se observa que la variación en extensión como en acortamiento del instrumento es semejante y su variación se adjudica a un error aceptable de la toma de datos.



Figura 5. LVDT, Omega 5.6 cm de rango. Fuente: Elaboración Propia.

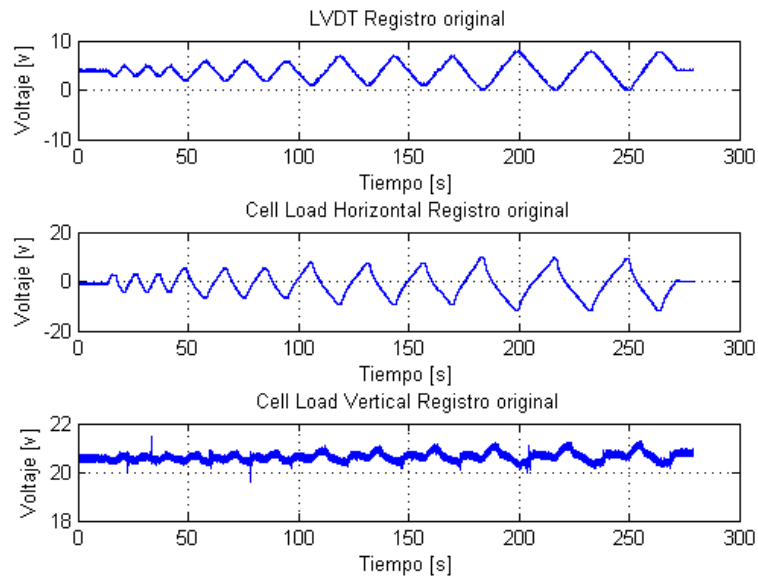


Figura 6. Registro original P2 124.41 kg. Fuente: Elaboración Propia.

Conforme a lo observado en Figura 7 se tiene un factor de conversión de 0.503 [cm/volt], cabe mencionar que la variación producida al primer centímetro provoca una dispersión considerable a la linealidad alcanzada con valores mayores, por lo que, la colocación del sensor es centrado utilizando el primer centímetro como punto de origen.

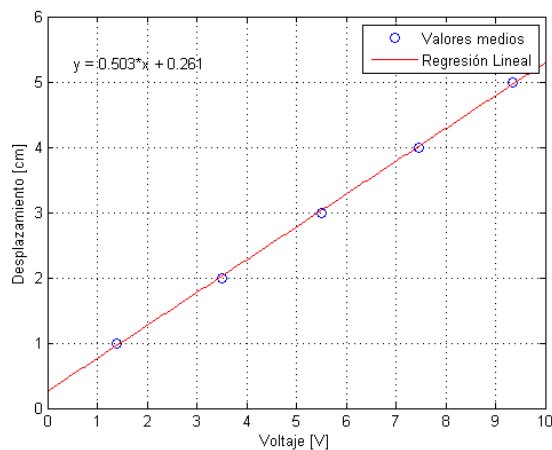


Figura 7. Gráfica de Voltaje vs Desplazamiento LVDT de calibración. Fuente: Elaboración Propia.

De igual manera, se calibra el sensor de carga correspondiente a celdas de carga de marca Honeywell con una capacidad máxima de 2000 lbs. Se tiene consideración que los inputs máximos aplicados en los ensayos no tienen cargas mayores a los 200 kg. Por lo que la capacidad solicitada es menor al 15%.



Figura 8. Celdas de cargas utilizadas para el ensayo de probetas. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 9 se presentan las gráficas analizadas en función del promedio del voltaje a un estado estable de la medición con respecto a la carga aplicada previamente cuantificada. Valores positivos corresponden a la tracción y los valores negativos corresponden a la compresión.

De acuerdo a lo observado en los gráficos de voltaje versus deformación para tracción y compresión de la celda de carga presentan una media de pendiente de 6.0985 [kg/volt] con una desviación estándar de 0.0207. De igual manera, la celda de carga encargada de registrar datos horizontales del experimento tiene una media estadística de 5.33 [kg/volt] y una desviación estándar de 0.009.

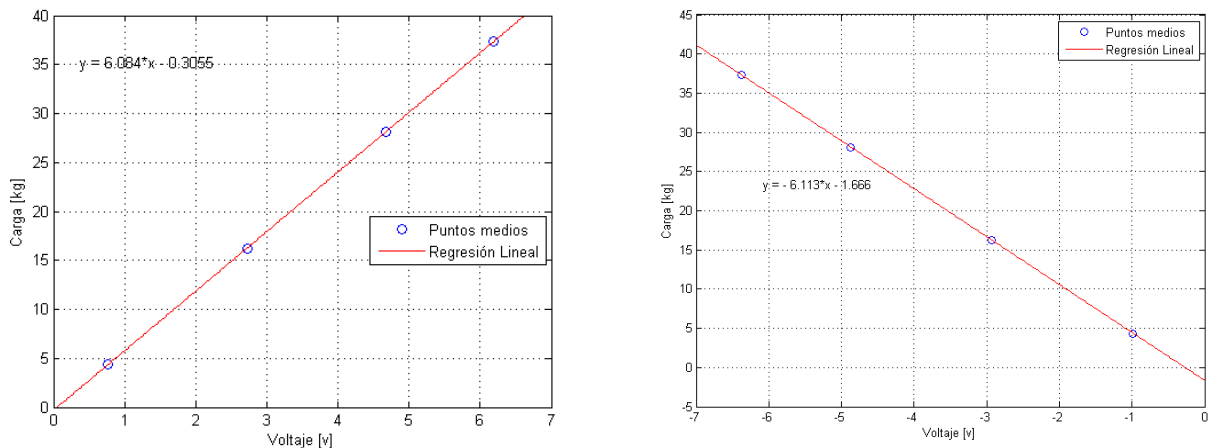


Figura 9. Gráfica de Voltaje medio vs Carga aplicada, sensor vertical en tracción (izquierda), sensor vertical en compresión (derecha). Fuente: Elaboración Propia.

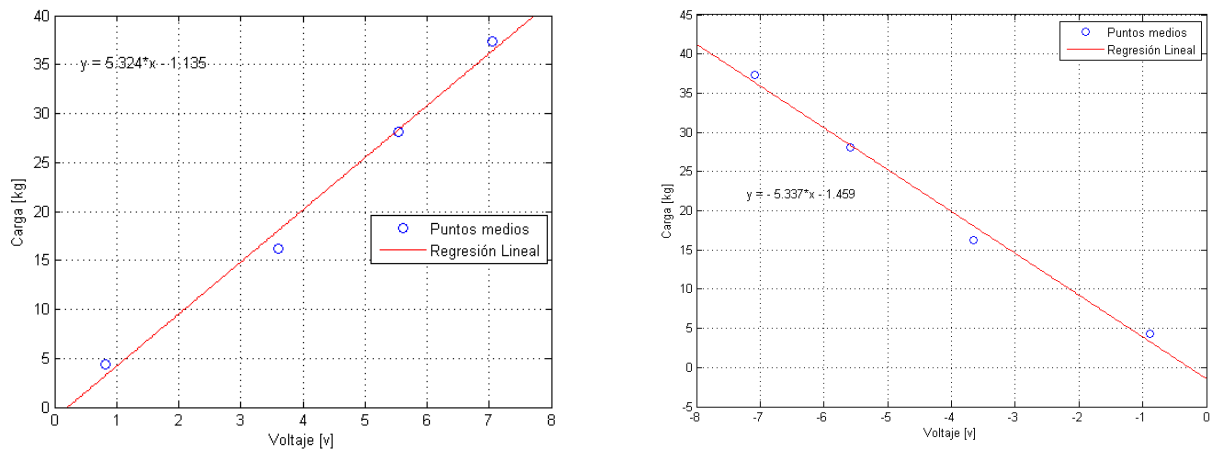


Figura 10. Gráfica de Voltaje medio vs Carga aplicada, sensor horizontal en tracción (izquierda), sensor horizontal en compresión (derecha). Fuente: Matlab.

RESULTADOS

Las curvas histeréticas permiten analizar si el dispositivo tiene una componente de disipación adecuada, así como si su comportamiento es semejante para ambos sentidos de ensayo. Según se observa en las curvas histeréticas en Figura 11, el comportamiento de la probeta presenta curvas diferentes según su dirección de carga. Es decir, cuando la fuerza es aplicada en sentido positivo o negativo, se alcanzan fuerzas horizontales que pueden variar hasta en un 43 %. Sin embargo, se aprecia una semejanza cuando se analiza cada cuadrante (positivo o negativo) por separado, constatándose un comportamiento similar para direcciones de carga iguales.

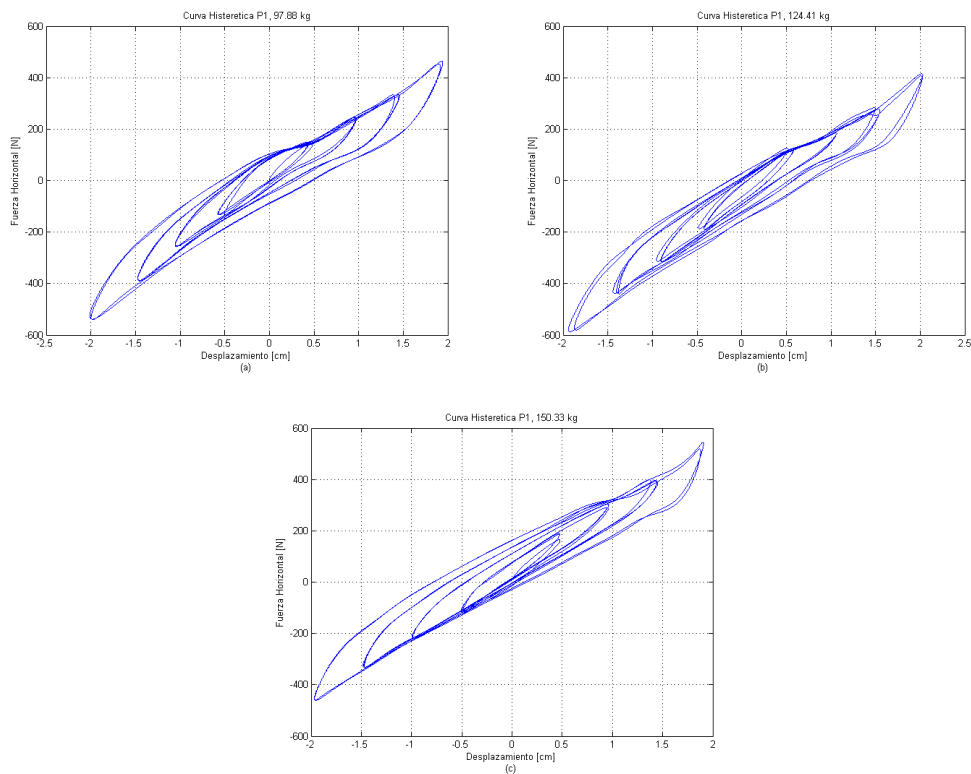


Figura 11. (a) Curva histerética P1, 97.88 [kg]. (b) Curva histerética P1, 124.41 [kg]. (c) Curva Histerética P1, 150.33 [kg]. Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, en la Figura 12 la curva (a) presenta una discordancia comparada con las curvas (b) y (c). Esto es porque las fuerzas horizontales en (a) tiene una diferencia en sus máximos por dirección igual a un 79%, muy por sobre el 1% y 4 % que se observan en (b) y (c), respectivamente. Además, se observa que el peak del lado positivo de la curva no logra desarrollarse de forma cónica vertical. En curva (b) se observa curva histerética muy cercana a la ideal teniendo pendientes semejantes en ambos cuadrantes, presentando una esbeltez menor en comparación con la curva (c), y mayor inclinación que la observada en la curva, es decir, presenta mayor disipación de energía y rigidez por ciclo.

En la Figura 13, las curvas tienen un comportamiento semejante en ambos cuadrantes (positivo y negativo). Sin embargo, los valores de fuerza horizontal máximos experimentados varían en (b) y (c) a diferencia de (a) donde son similares para ambos sentidos del ensayo. Cabe considerar que el análisis de esta probeta la cual contiene una mezcla de caucho y arena, es deducir el comportamiento del dispositivo al aumentar la rigidez de la mezcla interna.

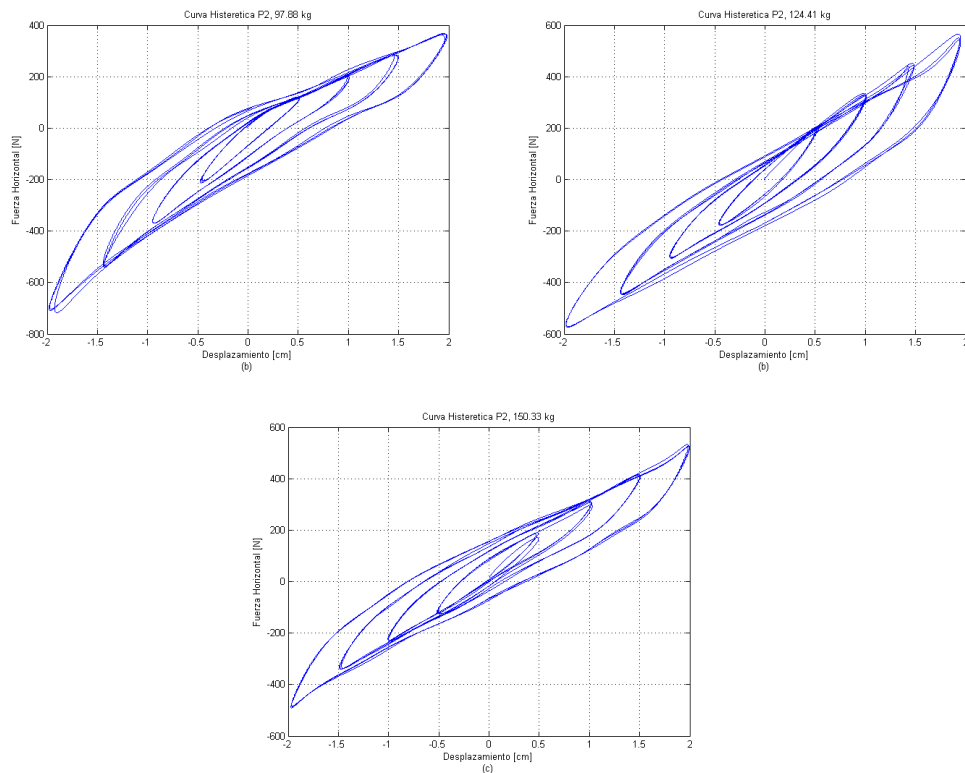


Figura 12. (a) Curva histerética P2, 97.88 [kg]. (b) Curva histerética P2, 124.41 [kg]. (c) Curva Histerética P2,150.33 [kg]. Fuente: Elaboración Propia.

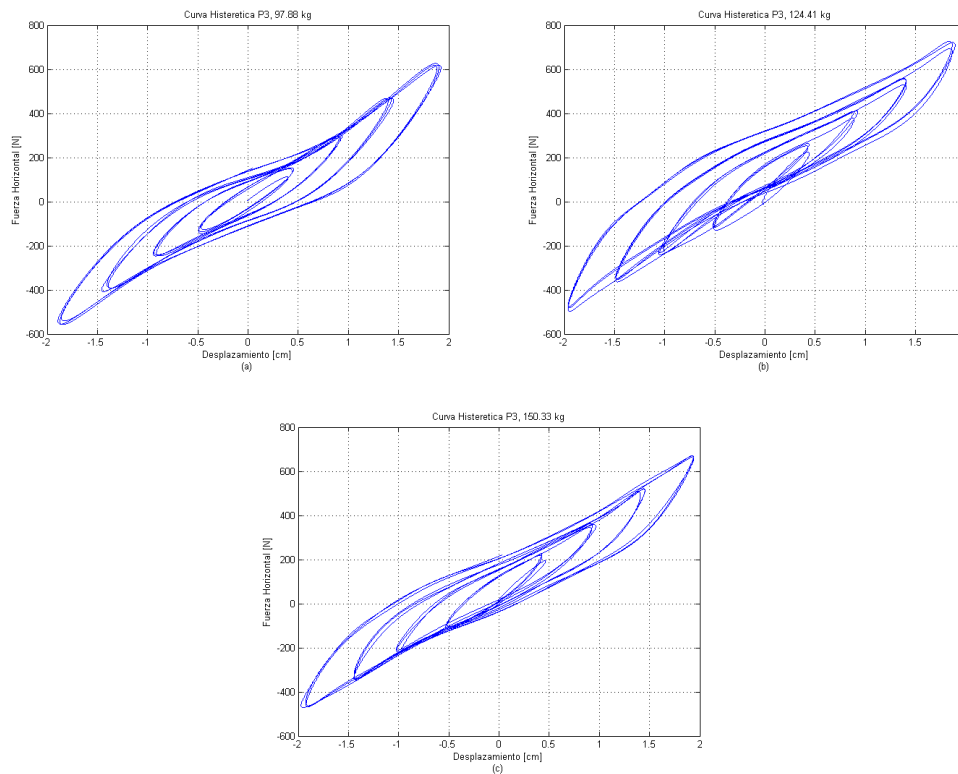


Figura 13. (a) Curva histerética P3, 97.88 [kg]. (b) Curva histerética P3, 124.41 [kg].
 (c) Curva Histerética P3,150.33 [kg]. Fuente: Elaboración Propia.

Rigidez Equivalente Experimental

Como se puede observar en la Figura 14 y en concordancia con lo observado en la Figura 11, la probeta P1 que contiene la mezcla de caucho con grano grueso presenta en su cuadrante positivo (Figura 14a) un decrecimiento inicial de la rigidez que luego se estabiliza una vez que se superan los 10 o 15 mm de deformación. Por otra parte, en el sentido negativo de la curva P1 (Figura 14b) presenta una rigidez media decreciente la cual se estabiliza a los 20 mm. Sin embargo, se observa que en algunos casos la pendiente puede descender más antes estabilizarse. En el caso de la rigidez promedio considerando el tramo positivo y negativo (Figura 14c) se tiene que, aunque existan diferencias de comportamiento, ya sea en el sentido positivo como el negativo la muestra tiende a estabilizarse en un rango entre los 249 y 255[N/cm]. Por otra parte, se debe mencionar que de acuerdo a la estadística obtenida (Anexo A), la dispersión entre ciclos para la misma deformación tiene un coeficiente de variación menor al 2% para desplazamiento mayores a 10 mm. Sin embargo, la muestra presenta una alta dispersión cuando se analiza el set de ciclos correspondiente al desplazamiento del orden de los 5 mm.

Al realizar el análisis de comportamiento con respecto a la rigidez media obtenida para cada dirección de desplazamiento de la probeta P2 (Figura 15), se observa que tanto la curva positiva (Figura 15a) y negativa (Figura 15b) tienden a tener un descenso sin poder estabilizarse o visualizar un cambio de pendiente que nos indique la conservación de la rigidez media. Según lo observado en la Figura 15c que representa la rigidez promedio considerando ambas direcciones de carga, las curvas tienen un comportamiento descendente sin visualizar un cambio de pendiente, indicando una tendencia a disminuir la rigidez a medida que aumentan las deformaciones. A diferencia de las curvas de menor carga, la curva de mayor carga sufre un cambio de pendiente (15 mm) para luego tender al aumento.

De acuerdo con lo observado en la Figura 16a, la rigidez media de P3 presenta un descenso sostenido para los casos de P3 (124.41 kg) y P3 (150.33 kg) que tiende a estabilizarse una vez que se superan los 15 mm de desplazamiento. Sin embargo, la curva P1 (97.88 kg) presenta un comportamiento distinto, aumentando su rigidez a lo largo de toda su historia. En el caso del sentido negativo (Figura 16b) se observa una tendencia al aumento de rigidez media para todos los casos de P3. En el caso de la rigidez promedio considerando ambas direcciones de análisis (Figura 16c), se observa una clara tendencia a estabilizarse entre el rango 288 y 308 [N/cm] para el conjunto de ensayos a distintas cargas. Esta estabilización es más evidente para deformaciones superiores a los 15 mm.

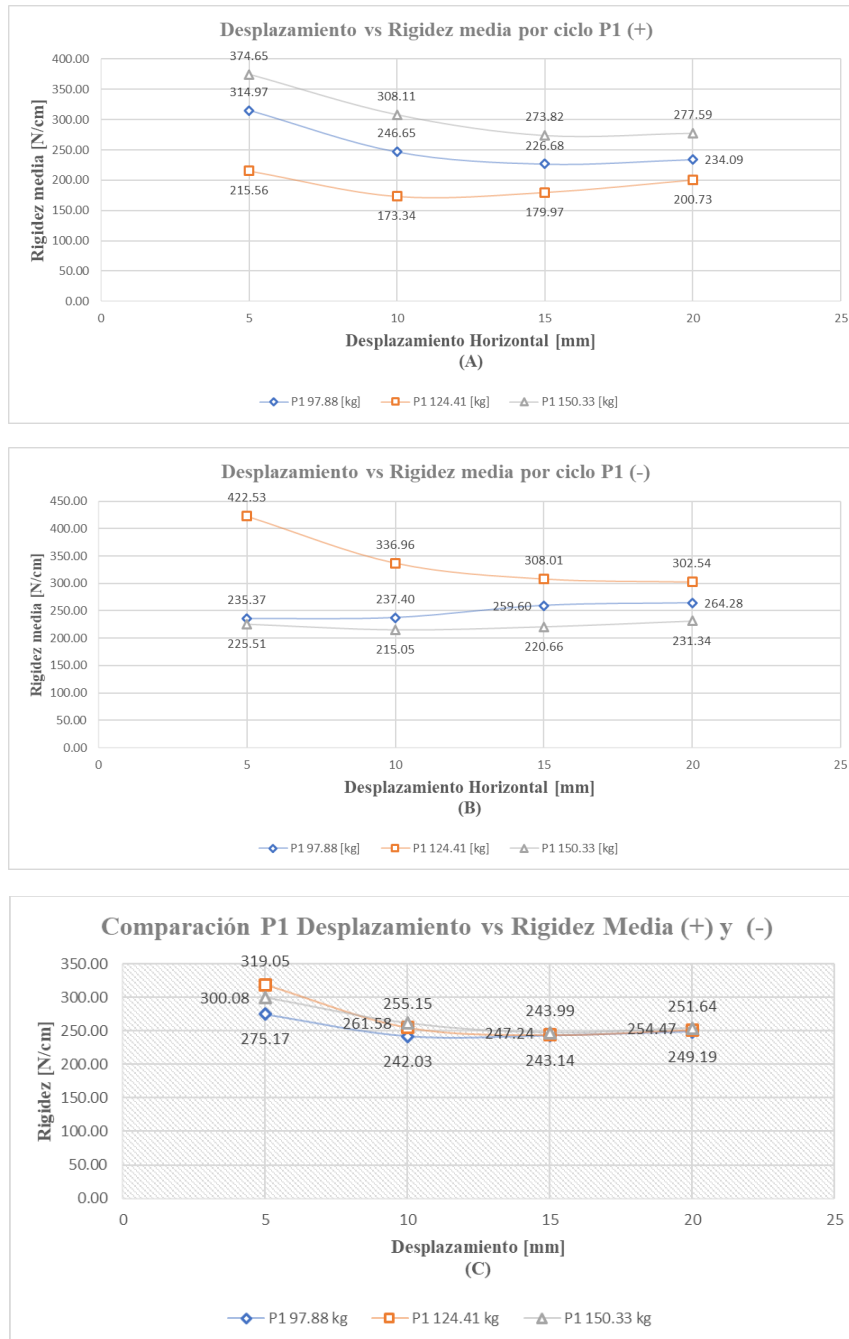


Figura 14. Gráfica de rigidez secante en P1 con respecto a (a) cuadrante I, (b) cuadrante III, (c) promedio de ambas direcciones.
 Fuente: Elaboración Propia.

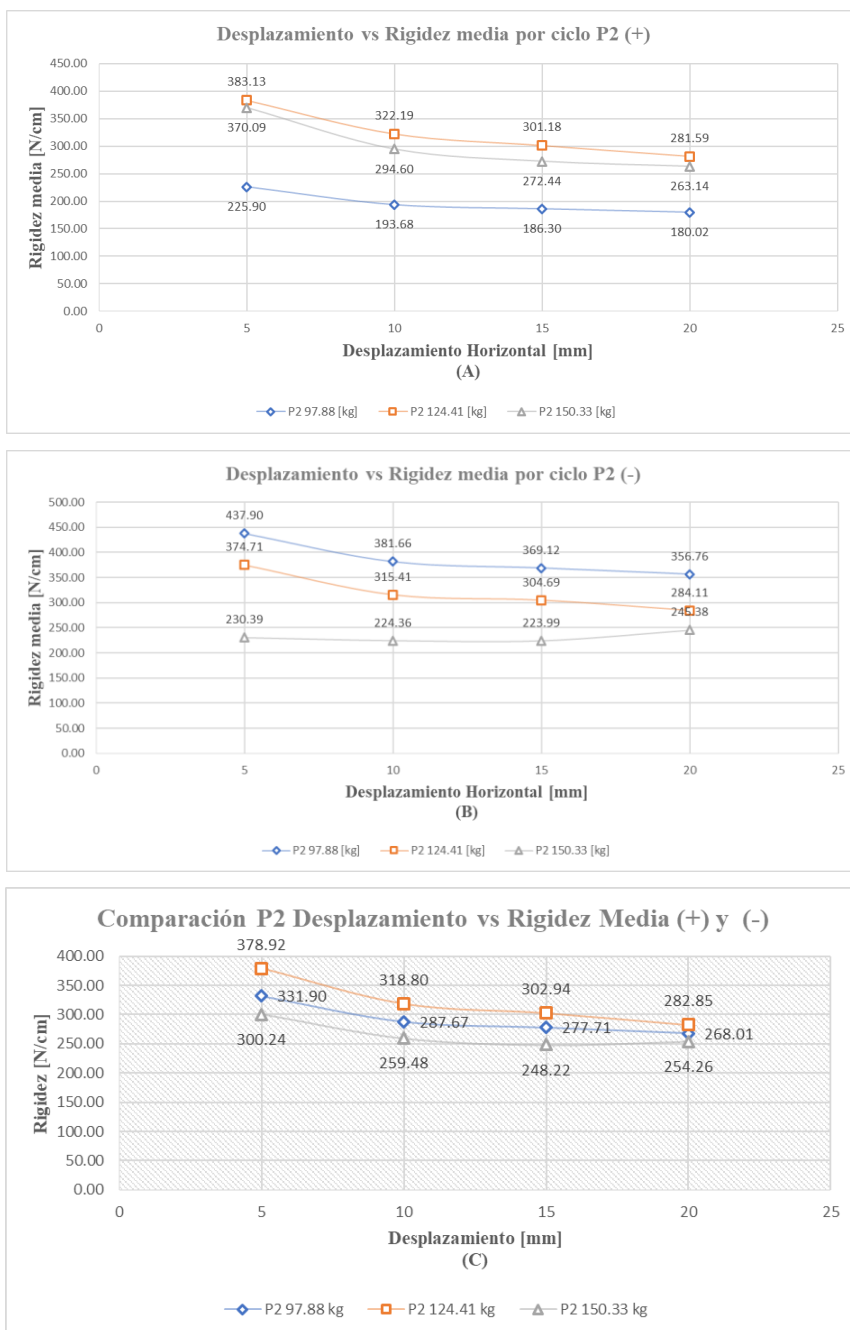


Figura 15. Gráfica de rigidez secante en P2 con respecto a (a) cuadrante I, (b) cuadrante III, (c) promedio de ambas direcciones.
 Fuente: Elaboración Propia.

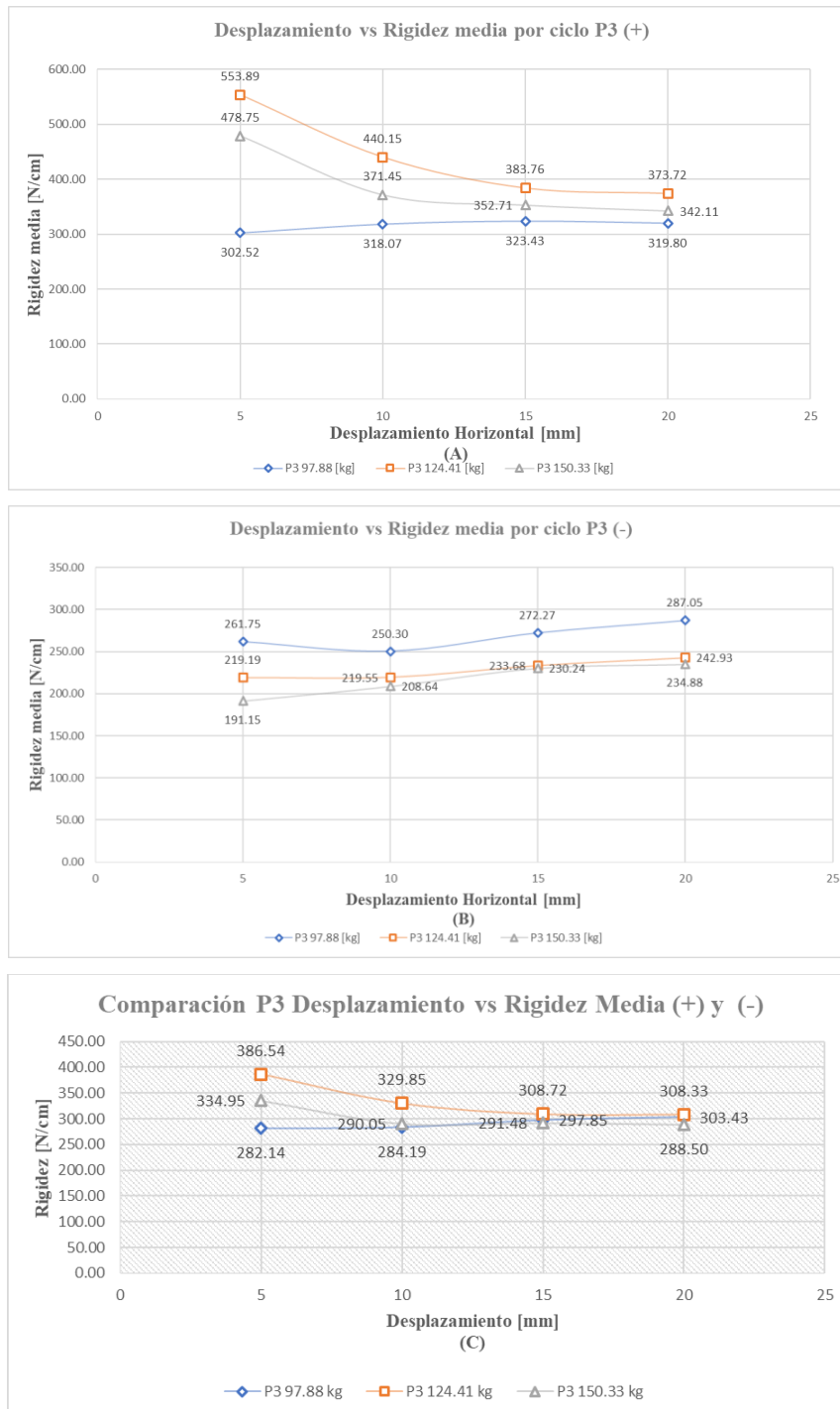


Figura 16. Gráfica de rigidez secante en P3 con respecto a (a) cuadrante I, (b) cuadrante III, (c) promedio de ambas direcciones.
 Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, Como se puede observar en la gráfica de la Figura 17, se identifica que el mejor comportamiento se obtiene con una carga de 124.41 kg. También se aprecia que la probeta P1 de granulometría mayor tiene una dispersión de 3.1% con respecto a la rigidez a distintas cargas, por lo que no se ve afectada de gran manera por la carga vertical.

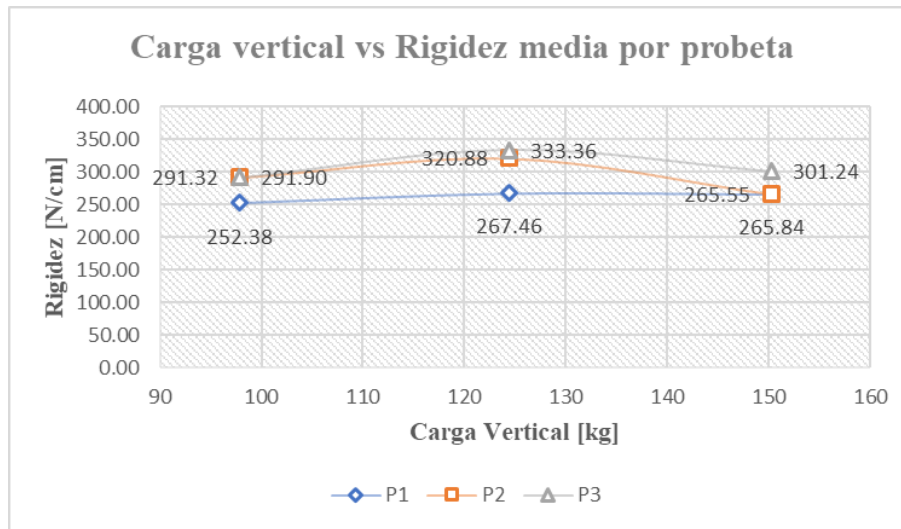


Figura 17. Gráfica de Carga vertical vs Rigidez promedio entre ambas direcciones por probeta. Fuente: Excel.

Amortiguamiento Equivalente

Al analizar la Figura 18, se observa una clara tendencia lineal en el aumento del coeficiente de amortiguamiento equivalente de la probeta P1. Además, se aprecia un comportamiento casi idéntico entre las curvas P1 (97.88 kg) y P1 (150.33 kg), a diferencia de la curva P1 (124.41 kg) en la cual, si bien la tendencia es al aumento lineal, los valores del coeficiente c son menores.

En las Figuras 19 y 20 también se observa un comportamiento lineal en el aumento del amortiguamiento identificando además que no necesariamente se obtienen mayores coeficientes de amortiguación cuando se aumenta la carga.

En la Figura 21, el mayor coeficiente de amortiguamiento equivalente se obtiene para la probeta es ensayada con una carga de 124.41 kg encontrando un comportamiento similar con la carga de 150.33 kg a excepción de la probeta P1 la cual presenta una disminución en la carga de 124.41 kg.

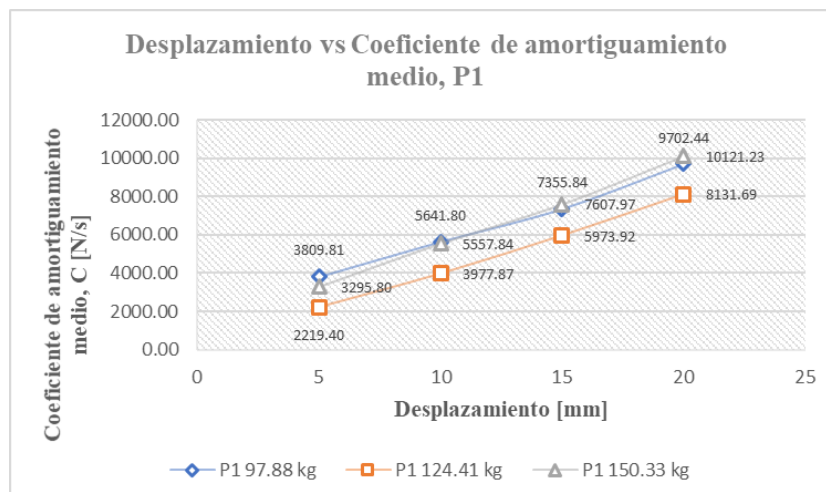


Figura 18. Gráfica comparativa P1 de coeficiente de amortiguamiento equivalente del dispositivo. Fuente: Elaboración Propia.

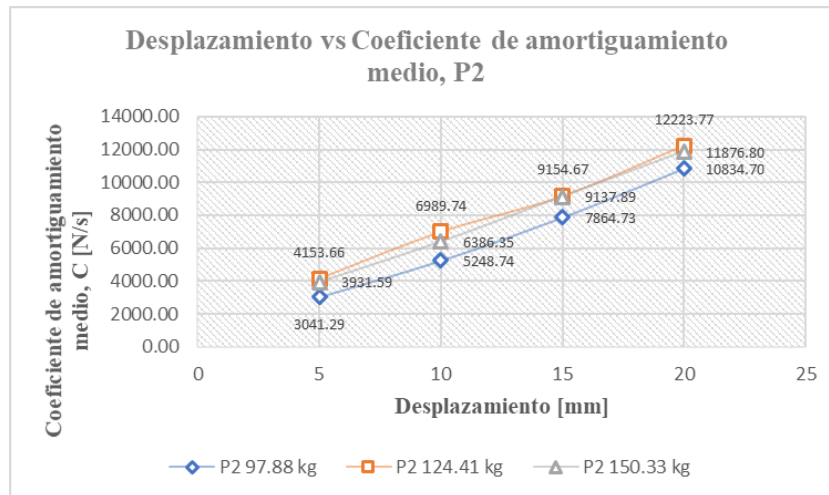


Figura 19. Gráfica comparativa P2 de coeficiente de amortiguamiento equivalente del dispositivo.
 Fuente: Elaboración Propia.

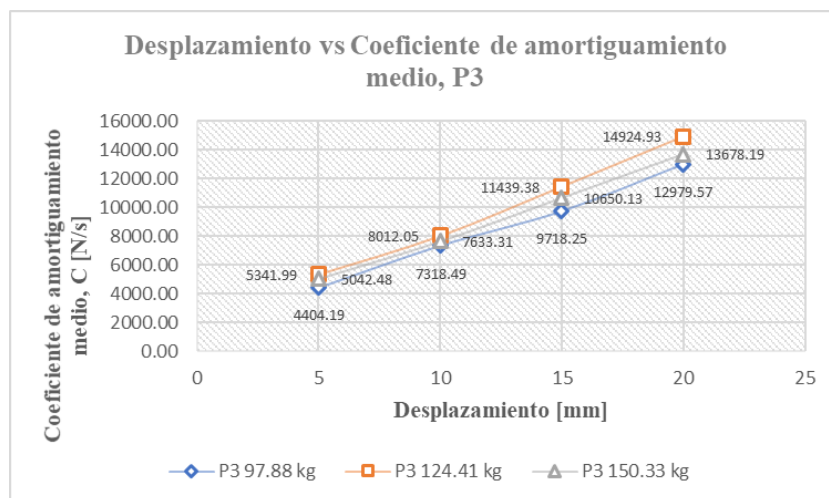


Figura 20. Gráfica comparativa P3 de coeficiente de amortiguamiento equivalente del dispositivo.
 Fuente: Elaboración Propia.

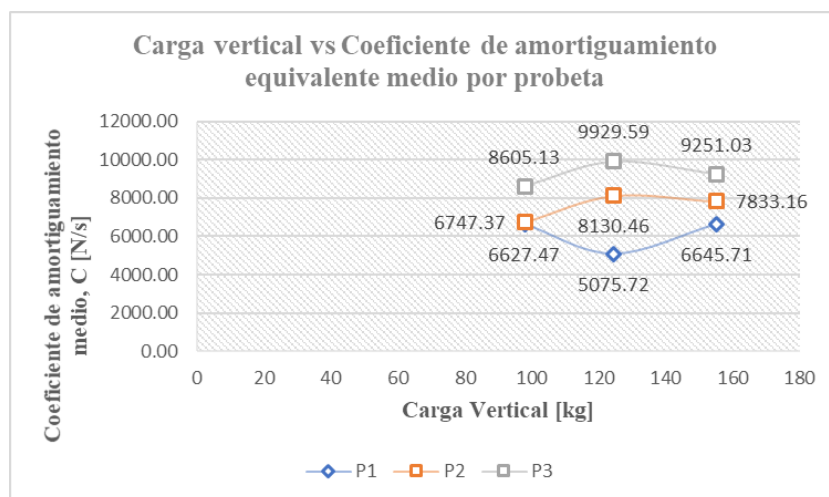


Figura 21. Gráfica carga vertical vs coeficiente de amortiguamiento equivalente del dispositivo.
 Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la finalidad del estudio, la cual es la caracterización de un nuevo sistema de aislación sísmica de bajo costo basado en caucho de neumático reciclado, se tiene que la rigidez de las probetas presenta una variación relativamente importante de hasta un 60% (Ver Anexo B) entre las rigideces medias obtenidas al momento de comparar ambos sentidos del ensayo. Esto indica un comportamiento diferenciado, por lo que la geometría de la estructura y disposición de los dispositivos deben ser analizados según su capacidad para cada dirección.

Las diferencias observadas en este ensayo se pueden deber a las siguientes condiciones:

1) La toma de datos se encuentra alterada debido a que la barra de acero de la probeta tiene una conexión rígida en ambos extremos de apoyo del sensor vertical, lo cual produce momentos registrados como carga por el sensor. A sí mismo, el sensor encargado de la toma de datos de fuerzas horizontales si bien se encuentra rotulado en la conexión barra-sensor, en su otro extremo tiene un apoyo rígido el cual al igual que el sensor vertical produce un momento el cual afecta la lectura y por ende distorsiona la toma de datos para la idealización de esfuerzos completamente horizontales.

2) Por otro lado, la diferencia presentada se puede deber al mecanismo interno de la probeta el cual al desplazarse lateralmente permite la redistribución de las partículas internas de caucho o mezcla según sea el caso. Es por lo anterior que, si bien los ensayos presentados en este estudio solo se realizaron a probetas de solo una capa de mezcla, la idea propuesta es que el dispositivo debe ir con una mezcla confinada en tres compartimientos en el cual se puedan aplicar distintas rigideces según lo obtenido en este estudio con el fin de disminuir la rigidez en función de la altura con respecto al ángulo de inclinación de la barra.

3) También debe ser considerada como variable influyente en la diferencia de rigideces, la flexibilidad que presenta las paredes de la probeta que para fines de ensayo se utilizó un tubo de PVC de 110 mm con un espesor 1 mm la que permite una deformación debido a su rigidez y el método de fijación a la mesa de ensayo.

Con respecto al coeficiente de amortiguamiento equivalente del dispositivo se tiene que la relación carga- c_{eq} es levemente variable con una clara tendencia a una carga óptima de 124.41 kg para mezclas con un contenido más denso de mezcla (P1 0.499 [gr/cm³], P2 0.6736 [gr/cm³], P3 0.6836 [gr/cm³]). También se observa a diferencia de las rigideces obtenidas una clara linealidad en los resultados esto se debe a que el amortiguamiento equivalente está en función de la energía disipada y la velocidad del ensayo.

A modo de análisis global del estudio se concluye que este nuevo sistema de aislación sísmica tiene características semejantes a un sistema de aislación convencional el cual busca desacoplar la estructura y mediante la liberación de energía producto de su mecanismo interno reducir la transferencia de energía producida por un sismo. Este punto toma real importancia al momento de analizar la factibilidad que podría tener el aislador en una estructura, por lo que los datos y el análisis obtenido de este estudio debe ser continuado mediante la implementación de un modelo matemático y ensayos de experimentales de laboratorio en el cual se analicen las probetas mediante ensayos cíclicos de baja y alta frecuencia para determinar experimentalmente el periodo fundamental de la estructura que debe ser contrastado con lo obtenido en el modelo matemático.

REFERENCIAS

- [1] Saavedra, A. (2013). Revista Bit: El poder de la aislación, BIT, 91. <http://www.resvitabit.cl>.
- [2] López, C., Retamales, R. y Kannegeisser, T. (2011). Protección sísmica de Estructuras, Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. Documentos Técnicos Corporación de Desarrollos Tecnológico, 29. Pag.15-39.
- [3] López, C., Retamales, R. y Kannegeisser, T. (2011). Protección sísmica de Estructuras, Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. Documentos Técnicos Corporación de Desarrollos Tecnológico, 29. Pag.13.
- [4] “Disipadores Sísmicos” (2014) Sustentabilidad e Innovación, <http://www.iaconcagua.com>.
- [5] de la Llera, J.C., Boroschek, R., Vial, I. y Retamal, R. (2017). Seismic Protection in Chile: 25 years of evolution. 16th World conference on earthquake engineering.
- [6] Spizzuoco, M., Calabrese, A. y Serino, G. (2014). Innovative low-cost recycled rubber-fiber reinforced isolator: Experimental test and Finite Element Analyses. Engineering Structures 76, 99-111.
- [7] Housner, A., Calabrese, A., Strano, S. y Serino, G. (2017). A base isolation system for developing countries using discarded tyres filled with elastomeric recycled materials. Journal of Earthquake Engineering, 21, 246-266.
- [8] Turer, A. y Özden, B. (2008). Seismic base isolation using low-cost Scrap Tire Pads (STP). Materials and Structures, 41 (5), 891-908.
- [9] Tsompanakis, Y., Psarropoulos, P.N. y Drosos, V. Academia: Low-cost seismic base isolation using recycled tires cushions, Recuperado de <http://www.academia.edu>.
- [10] Brunet, S., de la Llera, J.C. y Kausel E. (2016). Non-linear modeling of seismic isolation made of recycled tire-rubber. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 85, 134-145.

ANEXO A

Tabla 1. Datos estadísticos probeta P1 (97.88 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	291.41	223.82	314.97	235.37	21.07	19.72	6.69	8.38	3392.29	3809.81	383.63	10.07
2	331.99	258.14	314.97	235.37	21.07	19.72	6.69	8.38	4146.73	3809.81	383.63	10.07
3	321.52	224.15	314.97	235.37	21.07	19.72	6.69	8.38	3890.40	3809.81	383.63	10.07
4	246.63	236.33	246.65	237.40	1.00	1.36	0.40	0.57	5535.78	5641.80	189.51	3.36
5	247.65	236.96	246.65	237.40	1.00	1.36	0.40	0.57	5860.59	5641.80	189.51	3.36
6	245.66	238.93	246.65	237.40	1.00	1.36	0.40	0.57	5529.04	5641.80	189.51	3.36
7	225.68	259.06	226.68	259.60	4.49	0.48	1.98	0.18	7286.17	7355.84	108.27	1.47
8	222.78	259.78	226.68	259.60	4.49	0.48	1.98	0.18	7300.76	7355.84	108.27	1.47
9	231.59	259.96	226.68	259.60	4.49	0.48	1.98	0.18	7480.58	7355.84	108.27	1.47
10	236.93	261.76	234.09	264.28	4.01	3.56	1.71	1.35	9769.31	9702.44	94.57	0.97
11	231.26	266.80	234.09	264.28	4.01	3.56	1.71	1.35	9635.57	9702.44	94.57	0.97

Tabla 2. Datos estadísticos probeta P1 (124.41 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	234.31	381.15	215.56	422.53	16.24	35.85	7.53	8.49	2519.18	2219.40	359.04	16.18
2	205.93	442.29	215.56	422.53	16.24	35.85	7.53	8.49	2317.53	2219.40	359.04	16.18
3	206.44	444.16	215.56	422.53	16.24	35.85	7.53	8.49	1821.49	2219.40	359.04	16.18
4	173.48	324.22	173.34	336.96	0.26	11.05	0.15	3.28	3937.75	3977.87	101.19	2.54
5	173.49	344.01	173.34	336.96	0.26	11.05	0.15	3.28	4092.97	3977.87	101.19	2.54
6	173.04	342.65	173.34	336.96	0.26	11.05	0.15	3.28	3902.88	3977.87	101.19	2.54
7	187.58	309.78	179.97	308.01	6.60	7.29	3.66	2.37	6119.73	5973.92	238.93	4.00
8	175.96	299.99	179.97	308.01	6.60	7.29	3.66	2.37	5698.19	5973.92	238.93	4.00
9	176.37	314.26	179.97	308.01	6.60	7.29	3.66	2.37	6103.85	5973.92	238.93	4.00
10	203.03	306.06	200.73	302.54	3.25	4.98	1.62	1.65	7856.48	8131.69	389.21	4.79
11	198.43	299.01	200.73	302.54	3.25	4.98	1.62	1.65	8406.90	8131.69	389.21	4.79

Tabla 3. Datos estadísticos probeta P1 (150.33 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	340.58	239.13	374.65	225.51	29.59	12.59	7.90	5.58	3358.84	3295.80	64.40	1.95
2	389.46	223.10	374.65	225.51	29.59	12.59	7.90	5.58	3230.12	3295.80	64.40	1.95
3	393.92	214.30	374.65	225.51	29.59	12.59	7.90	5.58	3298.44	3295.80	64.40	1.95
4	299.01	215.42	308.11	215.05	7.91	0.45	2.57	0.21	5637.86	5557.84	112.67	2.03
5	311.98	214.55	308.11	215.05	7.91	0.45	2.57	0.21	5606.67	5557.84	112.67	2.03
6	313.34	215.17	308.11	215.05	7.91	0.45	2.57	0.21	5428.98	5557.84	112.67	2.03
7	267.68	220.53	273.82	220.66	7.92	1.04	2.89	0.47	7585.30	7607.97	20.26	0.27
8	271.03	221.75	273.82	220.66	7.92	1.04	2.89	0.47	7624.30	7607.97	20.26	0.27
9	282.76	219.68	273.82	220.66	7.92	1.04	2.89	0.47	7614.32	7607.97	20.26	0.27
10	283.76	230.19	277.59	231.34	8.72	1.63	3.14	0.70	10158.73	10121.23	53.03	0.52
11	271.42	232.49	277.59	231.34	8.72	1.63	3.14	0.70	10083.73	10121.23	53.03	0.52

Tabla 4. Datos estadísticos probeta P2 (97.88 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	228.64	436.34	225.90	437.90	2.68	1.35	1.19	0.31	3054.44	3041.29	33.92	1.12
2	223.28	438.80	225.90	437.90	2.68	1.35	1.19	0.31	3066.66	3041.29	33.92	1.12
3	225.77	438.55	225.90	437.90	2.68	1.35	1.19	0.31	3002.77	3041.29	33.92	1.12
4	189.59	381.97	193.68	381.66	4.07	0.74	2.10	0.19	5366.61	5248.74	121.35	2.31
5	197.74	382.21	193.68	381.66	4.07	0.74	2.10	0.19	5255.41	5248.74	121.35	2.31
6	193.70	380.81	193.68	381.66	4.07	0.74	2.10	0.19	5124.19	5248.74	121.35	2.31
7	182.48	371.92	186.30	369.12	5.14	4.68	2.76	1.27	7496.84	7864.73	384.98	4.90
8	184.27	363.72	186.30	369.12	5.14	4.68	2.76	1.27	8264.79	7864.73	384.98	4.90
9	192.15	371.73	186.30	369.12	5.14	4.68	2.76	1.27	7832.57	7864.73	384.98	4.90
10	177.26	363.95	180.02	356.76	2.58	6.39	1.43	1.79	10755.54	10834.70	72.63	0.67
11	180.42	354.59	180.02	356.76	2.58	6.39	1.43	1.79	10850.27	10834.70	72.63	0.67
12	182.37	351.74	180.02	356.76	2.58	6.39	1.43	1.79	10898.29	10834.70	72.63	0.67

Tabla 5. Datos estadísticos probeta P2 (124.41 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	375.74	370.80	383.13	374.71	6.40	3.70	1.67	0.99	3906.97	4153.66	214.41	5.16
2	386.80	375.18	383.13	374.71	6.40	3.70	1.67	0.99	4295.19	4153.66	214.41	5.16
3	386.84	378.15	383.13	374.71	6.40	3.70	1.67	0.99	4258.82	4153.66	214.41	5.16
4	326.19	312.79	322.19	315.41	3.59	2.92	1.11	0.93	7023.24	6989.74	36.90	0.53
5	321.13	314.89	322.19	315.41	3.59	2.92	1.11	0.93	6995.79	6989.74	36.90	0.53
6	319.25	318.57	322.19	315.41	3.59	2.92	1.11	0.93	6950.19	6989.74	36.90	0.53
7	298.28	303.03	301.18	304.69	5.14	1.54	1.71	0.50	9607.11	9154.67	421.57	4.60
8	298.14	305.00	301.18	304.69	5.14	1.54	1.71	0.50	9083.99	9154.67	421.57	4.60
9	307.11	306.05	301.18	304.69	5.14	1.54	1.71	0.50	8772.91	9154.67	421.57	4.60
10	283.94	283.66	281.59	284.11	3.32	0.64	1.18	0.22	12378.99	12223.77	219.52	1.80
11	279.24	284.56	281.59	284.11	3.32	0.64	1.18	0.22	12068.54	12223.77	219.52	1.80

Tabla 6. Datos estadísticos probeta P2 (150.33 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	337.76	229.62	370.09	230.39	28.21	2.85	7.62	1.24	4048.40	3931.59	105.53	2.68
2	389.68	233.55	370.09	230.39	28.21	2.85	7.62	1.24	3903.24	3931.59	105.53	2.68
3	382.83	228.01	370.09	230.39	28.21	2.85	7.62	1.24	3843.12	3931.59	105.53	2.68
4	285.62	226.02	294.60	224.36	7.91	1.76	2.69	0.79	6374.62	6386.35	35.66	0.56
5	297.64	222.51	294.60	224.36	7.91	1.76	2.69	0.79	6358.02	6386.35	35.66	0.56
6	300.54	224.56	294.60	224.36	7.91	1.76	2.69	0.79	6426.39	6386.35	35.66	0.56
7	271.17	224.55	272.44	223.99	1.11	0.49	0.41	0.22	9003.25	9137.89	117.24	1.28
8	272.95	223.62	272.44	223.99	1.11	0.49	0.41	0.22	9217.41	9137.89	117.24	1.28
9	273.19	223.81	272.44	223.99	1.11	0.49	0.41	0.22	9193.03	9137.89	117.24	1.28
10	266.12	243.40	263.14	245.38	2.74	1.95	1.04	0.79	11820.51	11876.80	55.40	0.47
11	262.58	245.45	263.14	245.38	2.74	1.95	1.04	0.79	11931.26	11876.80	55.40	0.47
12	260.72	247.30	263.14	245.38	2.74	1.95	1.04	0.79	11878.62	11876.80	55.40	0.47

Tabla 7. Datos estadísticos probeta P3 (97.88 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	272.93	274.73	302.52	261.75	25.77	11.64	8.52	4.45	3911.04	4404.19	459.83	10.44
2	314.56	258.28	302.52	261.75	25.77	11.64	8.52	4.45	4821.20	4404.19	459.83	10.44
3	320.07	252.24	302.52	261.75	25.77	11.64	8.52	4.45	4480.34	4404.19	459.83	10.44
4	320.77	244.45	318.07	250.30	3.28	5.51	1.03	2.20	7145.48	7318.49	168.68	2.30
5	314.43	251.06	318.07	250.30	3.28	5.51	1.03	2.20	7327.51	7318.49	168.68	2.30
6	319.03	255.38	318.07	250.30	3.28	5.51	1.03	2.20	7482.47	7318.49	168.68	2.30
7	328.11	275.05	323.43	272.27	5.39	3.63	1.67	1.33	9515.94	9718.25	310.40	3.19
8	324.65	268.16	323.43	272.27	5.39	3.63	1.67	1.33	10075.64	9718.25	310.40	3.19
9	317.53	273.61	323.43	272.27	5.39	3.63	1.67	1.33	9563.19	9718.25	310.40	3.19
10	321.08	290.18	319.80	287.05	2.60	3.16	0.81	1.10	12825.32	12979.57	134.23	1.03
11	321.51	287.12	319.80	287.05	2.60	3.16	0.81	1.10	13069.84	12979.57	134.23	1.03
12	316.81	283.87	319.80	287.05	2.60	3.16	0.81	1.10	13043.55	12979.57	134.23	1.03

Tabla 8. Datos estadísticos probeta P3 (124.41 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	496.33	234.44	553.89	219.19	50.48	15.03	9.11	6.86	5902.55	5341.99	509.87	9.54
2	574.68	218.75	553.89	219.19	50.48	15.03	9.11	6.86	5217.61	5341.99	509.87	9.54
3	590.65	204.39	553.89	219.19	50.48	15.03	9.11	6.86	4905.82	5341.99	509.87	9.54
4	420.46	223.84	440.15	219.55	19.18	3.82	4.36	1.74	8161.18	8012.05	446.99	5.58
5	458.78	218.31	440.15	219.55	19.18	3.82	4.36	1.74	8365.41	8012.05	446.99	5.58
6	441.21	216.51	440.15	219.55	19.18	3.82	4.36	1.74	7509.56	8012.05	446.99	5.58
7	371.23	239.26	383.76	233.68	11.16	4.89	2.91	2.09	11591.35	11439.38	146.15	1.28
8	387.43	231.56	383.76	233.68	11.16	4.89	2.91	2.09	11426.95	11439.38	146.15	1.28
9	392.62	230.20	383.76	233.68	11.16	4.89	2.91	2.09	11299.84	11439.38	146.15	1.28
10	364.10	247.79	373.72	242.93	8.72	4.84	2.33	1.99	15236.60	14924.93	272.02	1.82
11	375.95	242.88	373.72	242.93	8.72	4.84	2.33	1.99	14802.85	14924.93	272.02	1.82
12	381.11	238.12	373.72	242.93	8.72	4.84	2.33	1.99	14735.32	14924.93	272.02	1.82

Tabla 9. Datos estadísticos probeta P3 (150.33 kg) para rigidez equivalente y coeficiente de amortiguamiento equivalente. Fuente: Excel.

Ciclo	Rigidez (+) [N/cm]	Rigidez (-) [N/cm]	media (+) [N/cm]	media (-) [N/cm]	Des_ Estandar (+) [N/cm]	Des_ Estandar (-) [N/cm]	Dispersión (+) [%]	Dispersión (-) [%]	C [N/s]	media C [N/s]	D. Estandar [N/s]	Dispersión [%]
1	414.52	205.48	478.75	191.15	57.34	12.62	11.98	6.60	4076.11	5042.48	848.48	16.83
2	496.94	186.31	478.75	191.15	57.34	12.62	11.98	6.60	5665.35	5042.48	848.48	16.83
3	524.80	181.67	478.75	191.15	57.34	12.62	11.98	6.60	5385.97	5042.48	848.48	16.83
4	366.18	209.19	371.45	208.64	10.36	7.12	2.79	3.41	7647.30	7633.31	231.76	3.04
5	364.79	215.47	371.45	208.64	10.36	7.12	2.79	3.41	7857.76	7633.31	231.76	3.04
6	383.39	201.27	371.45	208.64	10.36	7.12	2.79	3.41	7394.88	7633.31	231.76	3.04
7	350.92	232.75	352.71	230.24	1.88	3.79	0.53	1.64	10685.52	10650.13	267.82	2.51
8	352.54	232.07	352.71	230.24	1.88	3.79	0.53	1.64	10366.38	10650.13	267.82	2.51
9	354.67	225.88	352.71	230.24	1.88	3.79	0.53	1.64	10898.50	10650.13	267.82	2.51
10	340.24	234.43	342.11	234.88	2.01	2.78	0.59	1.18	13174.28	13678.19	436.52	3.19
11	344.22	237.86	342.11	234.88	2.01	2.78	0.59	1.18	13940.38	13678.19	436.52	3.19
12	341.85	232.36	342.11	234.88	2.01	2.78	0.59	1.18	13919.93	13678.19	436.52	3.19

ANEXO B

Carga [kg]	PROBETA 1					PROBETA 2					PROBETA 3							
	Rigidez [N/cm]		[N/cm]	[N/cm]	Des. Estandar	Dispersión	Rigidez [N/cm]		[N/cm]	[N/cm]	Des. Estandar	Dispersión	Rigidez [N/cm]		[N/cm]	[N/cm]	Des. Estandar	Dispersión
	+	-	media				+	-	media				+	-	media			
97.88	314.97	235.37	275.17	56.29	20.45%	225.90	437.90	331.90	149.91	45.17%	302.52	261.75	282.14	28.83	10.22%			
	246.65	237.40	242.03	6.54	2.70%	193.68	381.66	287.67	132.92	46.21%	318.07	250.30	284.19	47.92	16.86%			
	226.68	259.60	243.14	23.28	9.57%	186.30	369.12	277.71	129.27	46.55%	323.43	272.27	297.85	36.18	12.15%			
	234.09	264.28	249.19	21.35	8.57%	180.02	356.00	268.01	124.44	46.43%	319.80	287.05	303.43	23.16	7.63%			
	Promedio		252.38				Promedio		291.32				Promedio		291.90			
124.41	215.56	422.53	319.05	146.35	45.87%	383.13	374.71	378.92	5.95	1.57%	553.89	219.19	386.54	236.67	61.23%			
	173.34	336.96	255.15	115.70	45.34%	322.19	315.41	318.80	4.79	1.50%	440.15	219.55	329.85	155.99	47.29%			
	179.97	308.01	243.99	90.54	37.11%	301.18	304.69	302.94	2.48	0.82%	383.76	233.68	308.72	106.12	34.38%			
	200.73	302.54	251.64	71.99	28.61%	281.59	284.11	282.85	1.78	0.63%	373.72	242.93	308.33	92.48	30.00%			
	Promedio		267.46				Promedio		320.88			Promedio		333.36				
150.33	374.65	225.51	300.08	105.46	35.14%	370.09	230.39	300.24	98.78	32.90%	478.75	191.15	334.95	203.36	60.71%			
	308.11	215.05	261.58	65.80	25.16%	294.60	224.36	259.48	49.67	19.14%	371.45	208.64	290.05	115.12	39.69%			
	273.82	220.66	247.24	37.59	15.20%	272.44	223.99	248.22	34.26	13.80%	352.71	230.24	291.48	86.60	29.71%			
	277.59	231.34	254.47	32.70	12.85%	263.14	245.38	254.26	12.56	4.94%	342.11	234.88	288.50	75.82	26.28%			
	Promedio		265.84				Promedio		265.55			Promedio		301.24				