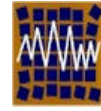




Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e
Ingeniería Antisísmica

N° A15-01 PROPIEDADES MECANICAS DE GOMA DE ALTO AMORTIGUAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

A. Escandar¹, M. O. Moroni¹ y M. Sarrazin¹

*1.- Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile
Blanco Encalada 2002, 4° piso, Santiago, Chile
e-mail: mmoroni@ing.uchile.cl*

RESUMEN

La goma de alto amortiguamiento se emplea extensamente en la actualidad como apoyos aislantes de las vibraciones sísmicas en edificios públicos, privados, industriales y puentes. Este material tiene muchos atributos que lo hacen adecuado para su uso en elementos de aislación en la base, tales como un módulo de Poisson cercano a 0,5 (casi incompresible), una relación tensión-deformación rígida para pequeñas deformaciones pero que se torna flexible a medida que éstas aumentan, propiedades mecánicas estables en el tiempo y bajo costo. Una de sus posibles limitaciones es la dependencia de las propiedades mecánicas con la temperatura. En este trabajo se presenta un estudio experimental sobre la variación del módulo de corte G y el amortiguamiento β con la temperatura. Para ello se construyó una máquina que permite medir estas propiedades en probetas de goma para diferentes niveles de deformación y diferentes frecuencias de ensayo. A esta máquina se agregó un sistema de control de temperatura que permiten variar ésta entre -10° C y $+60^{\circ}$ C, lo cual cubre prácticamente todos los casos de interés práctico. Los resultados indican que tanto el módulo de corte como el amortiguamiento aumentan al disminuir la temperatura. En el caso del módulo de corte, su dependencia con la temperatura es mayor para deformaciones pequeñas; en cambio para el amortiguamiento, la mayor influencia se produce para deformaciones intermedias, entre 50 y 75 %.

Palabras Claves: elastómero, amortiguamiento, módulo de corte

1. INTRODUCCION

La goma de alto amortiguamiento se ha usado profusamente en los últimos tiempos para la aislación de estructuras en la base, tales como edificios públicos y privados, edificios industriales y puentes. Este material elastomérico tiene muchos atributos que lo hacen conveniente para la fabricación de apoyos aislantes, tales como un módulo de elasticidad al corte bajo, razón de Poisson cercana a 0,5 (gran rigidez volumétrica), y una relación tensión-deformación que es bastante rígida para deformaciones pequeñas y que se ablanda al aumentar la deformación. Más aún, sufre pocos cambios en sus propiedades mecánicas con el tiempo, tiene un precio razonable y prácticamente no requiere mantenimiento. Es bien sabido, sin embargo, que las propiedades mecánicas de la goma (módulo de corte, G , y amortiguamiento, β) dependen de la temperatura (Roschke, 1990; Chang and Soong, 1992, Yakut, 2002). Este es un punto importante para su uso en apoyos aislantes. En general, las propiedades de la goma dependen de varios parámetros, tales como su composición, nivel de deformación, frecuencia del ensayo, número de ciclos, temperatura e historia de la deformación previa al ensayo. La influencia de algunos de estos parámetros fue investigada experimentalmente en la Universidad de Chile para una goma de alto amortiguamiento que se usa normalmente para apoyos aislantes. El objetivo principal de la investigación ha sido determinar la influencia de la temperatura ambiente entre -10° a $+60^{\circ}\text{C}$ en el módulo de corte y el amortiguamiento de probetas de goma.

2. DISPOSITIVO DE ENSAYO

Se diseñó y construyó una máquina especial para medir las propiedades de la goma mediante corte directo cíclico, con capacidad de producir deformaciones en un rango entre 2% y 150% y temperaturas entre -10° y $+60^{\circ}$. Los ciclos de deformación tienen forma sinusoidal con frecuencias de 0.5 y 1.0 Hz. La probeta consiste en dos muestras de goma de 30 x 30 x 6 mm vulcanizadas a tres bloques de acero. El desplazamiento sinusoidal se obtiene mediante la rotación de un eje excéntrico y dos guías deslizantes, como se muestra en las figuras 1 y 2. La amplitud del movimiento se controla mediante cambios en la excentricidad del eje, los cuales son fijos e iguales a 2, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100 y 150% de deformación de corte. El eje excéntrico se mueve bajo la acción de un motor de corriente continua a través de una caja reductora. En general, se obtiene un movimiento sinusoidal preciso, excepto en el caso de 150% de deformación de corte en que se presenta una pequeña distorsión debida a la poca capacidad del motor.

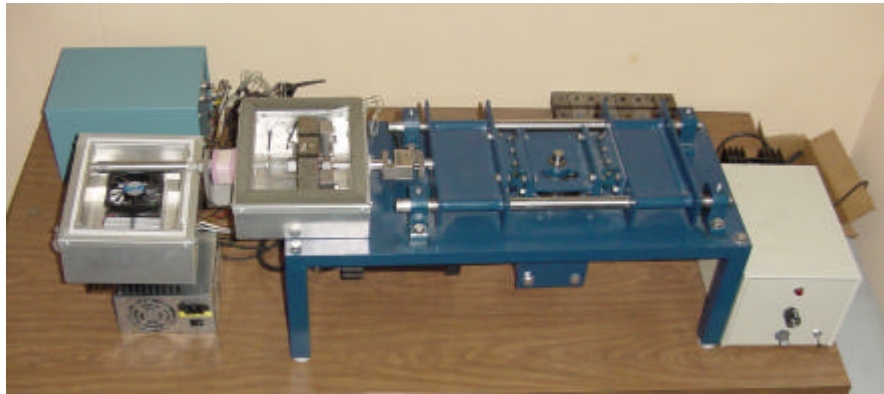


Figura 1. Vista general de la máquina de ensayo.

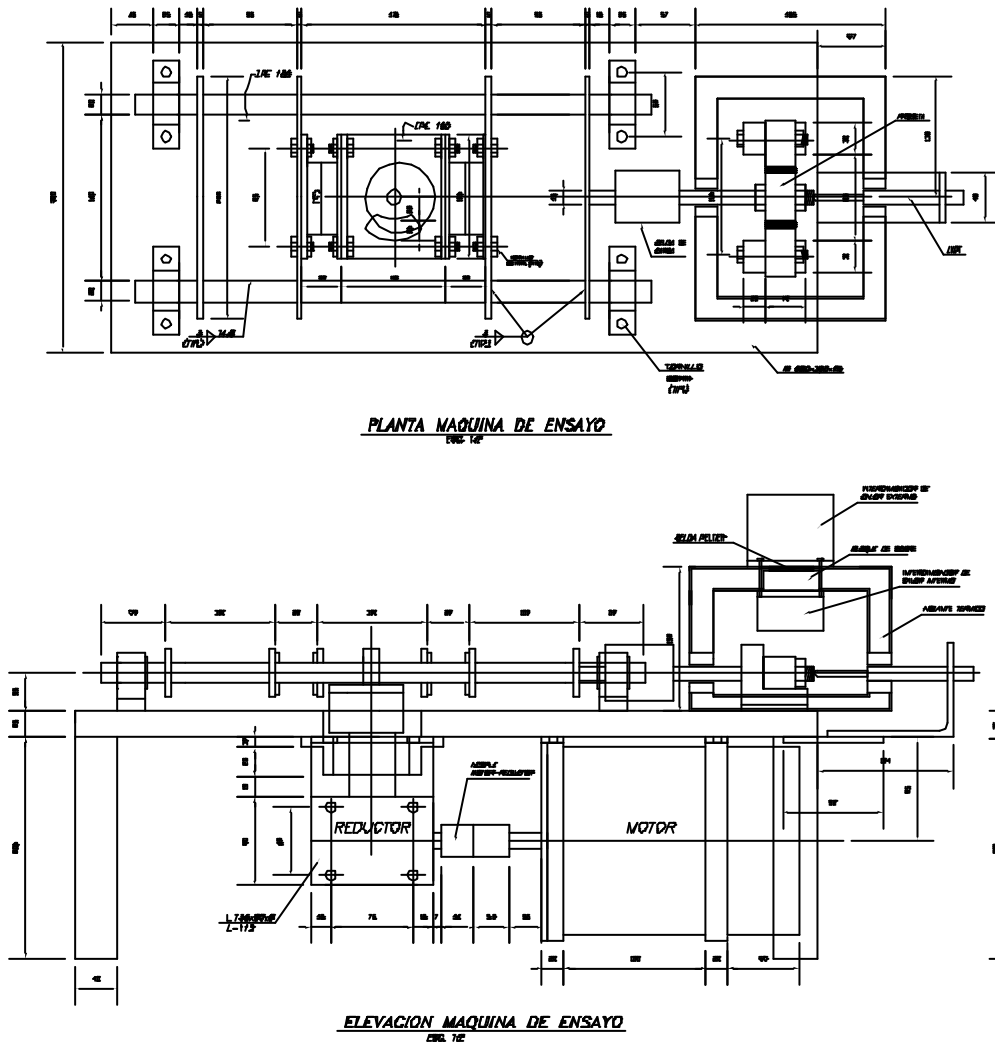


Figura 2. Planta y elevación de la máquina de ensayo.

Como elementos activos del sistema de calentamiento y enfriamiento se usaron dos celdas termo-eléctricas de efecto Peltier de 80 W cada una. Estas celdas producen un diferencial de temperatura entre dos caras cuando se conecta a una fuente de corriente continua. Cuando se invierte la polaridad, la temperatura también cambia de signo, de manera que el dispositivo se puede emplear tanto para calentar como para enfriar la probeta. Ésta se ubica dentro de una caja de espuma plástica aislante con sólo dos perforaciones, una para la barra de carga y la otra para un sensor de desplazamiento del tipo LVDT. El dispositivo cuenta también con dos intercambiadores de calor, uno interno y otro externo, conectados a las celdas termo-eléctricas. Por último, ventiladores internos y externos ayudan en el proceso de calentamiento o enfriamiento y además homogenizan la temperatura interior de la caja. El nivel de temperatura es controlado por medio de un termostato electrónico. El sistema completo de control se muestra en la figura 3. La precisión obtenida para la temperatura es de 1°C y está controlado por tres termo-cuplas puestas en la probeta (ver figura 4). Las pruebas realizadas en el dispositivo muestran que el rango de temperaturas -10 a $+60^{\circ}\text{C}$ se puede obtener con facilidad controlando la tensión en la fuente eléctrica.

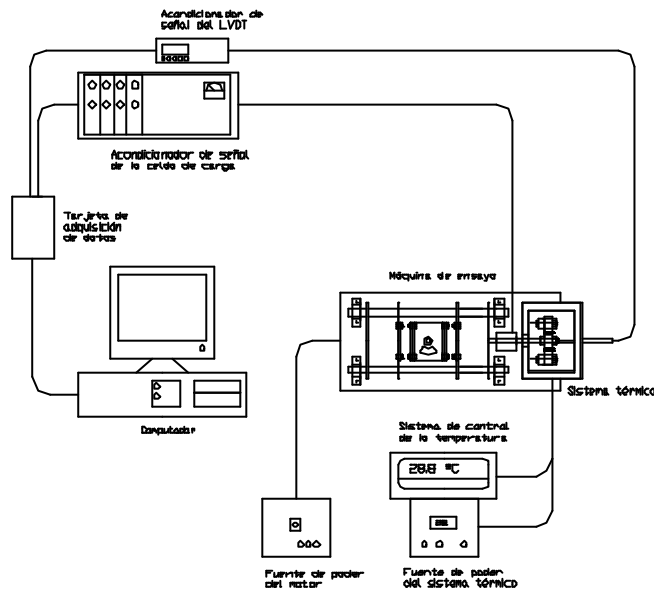


Figura 3. Sistema de control del ensayo.

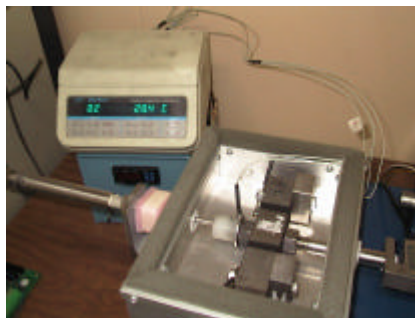


Figura 4. Sistema de control de temperatura.

3. COMPOSICIÓN DE LA GOMA

Las probetas de goma ensayadas tenían dos composiciones diferentes, correspondientes a goma especialmente diseñada para dispositivos de aislación sísmica. Una de las composiciones era igual a la empleada para los aisladores de un edificio de la Comunidad Andaluía, construido en Santiago en el año 1992. La tabla 1 presenta una descripción aproximada de la composición de la goma, (Araya, 1994).

TABLA 1. Composición de la goma.

Componente	Cantidad (gr)
SMR CV	100
Oxido de Zinc	5
Ácido esteárico	2
Negro de Humo ISAF	60
Dutrex 729	25
Vulcano x 4010	3
Vulcanox HS	2
Antilux 500	2
PVI	0.2
CBS	1.1
Azufre	1.5

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS Y RESULTADOS

Primeramente se realizó una serie de ensayos para definir el procedimiento óptimo a usar en la rutina de ensayos definitivos. Se concluyó que las propiedades mecánicas dependen no sólo de la amplitud y frecuencia de la deformación, sino también de la historia previa a que fue sometida la goma y al tiempo transcurrido entre el ensayo actual y el anterior. La goma ensayada sin deformación previa tiene una rigidez aproximadamente un 7% mayor y un amortiguamiento un 3% menor que aquélla ensayada luego de un proceso de ablandamiento por deformación. Se observó que casi el 100% de las propiedades de la goma no perturbada se recuperaron luego de un descanso de 24 horas.

La figura 5 muestra los ciclos carga/descarga para 50% de deformación, a una temperatura de 10°C, en los casos de goma inalterada y ablandada. Las figuras 6 y 7 corresponden a los cambios que sufren las curvas carga/descarga con la temperatura. La variación de G y β en función de la deformación para goma inalterada y goma ablandada, para diferentes temperaturas y una frecuencia de 0.5 Hz, se encuentran en las figuras 8 a 15. Las figuras 16 y 17 muestran un resumen de las propiedades de la goma (módulo de corte G y amortiguamiento β) en función de la deformación para diferentes temperaturas y una frecuencia de 0.5 Hz. En este caso la goma fue ablandada previamente. Lo mismo se muestra en las figuras 18 y 19 para el caso sin ablandamiento y en las figuras 20 y 21 se repite esta última información pero normalizada al caso de temperatura igual a -10°C.

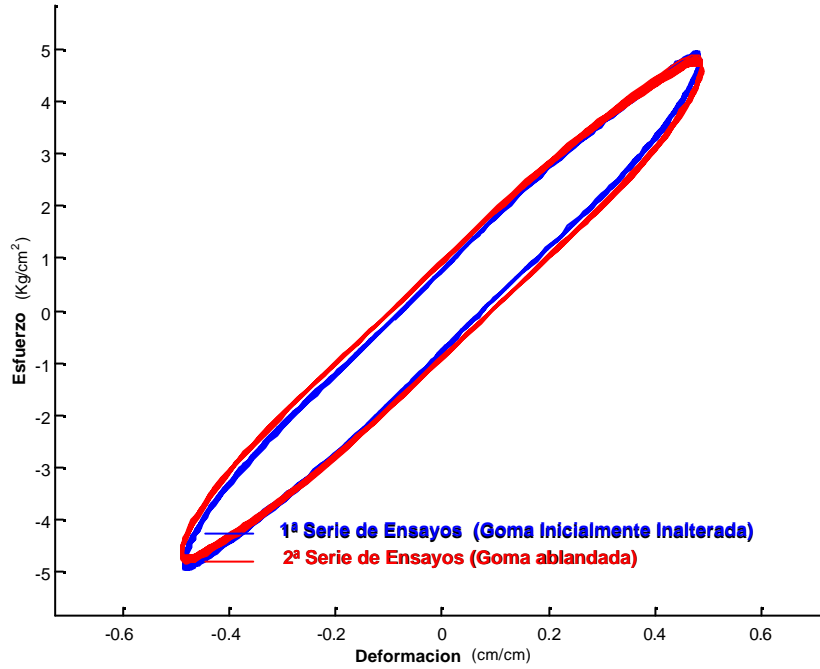
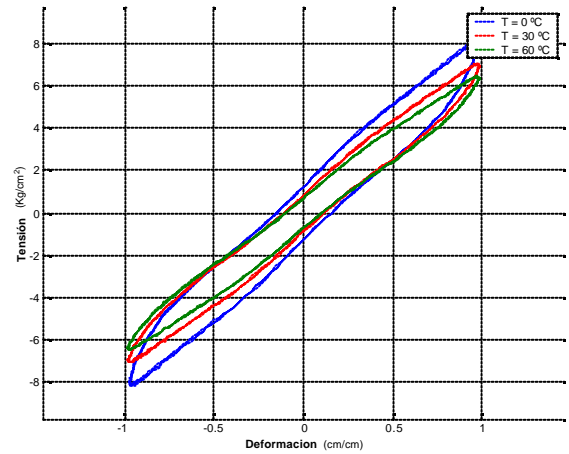
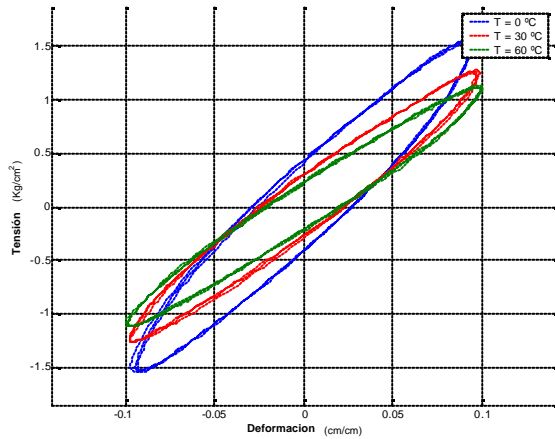


Figura 5. Ciclos carga/descarga para 50% deformación, a 10°C. Frecuencia, 0.5 Hz.



Figuras 6 y 7. Ciclos carga/descarga para 10% y 100% de deformación y diferentes temperaturas. Probeta A, con proceso de ablandamiento y frecuencia de 0.5 Hz.

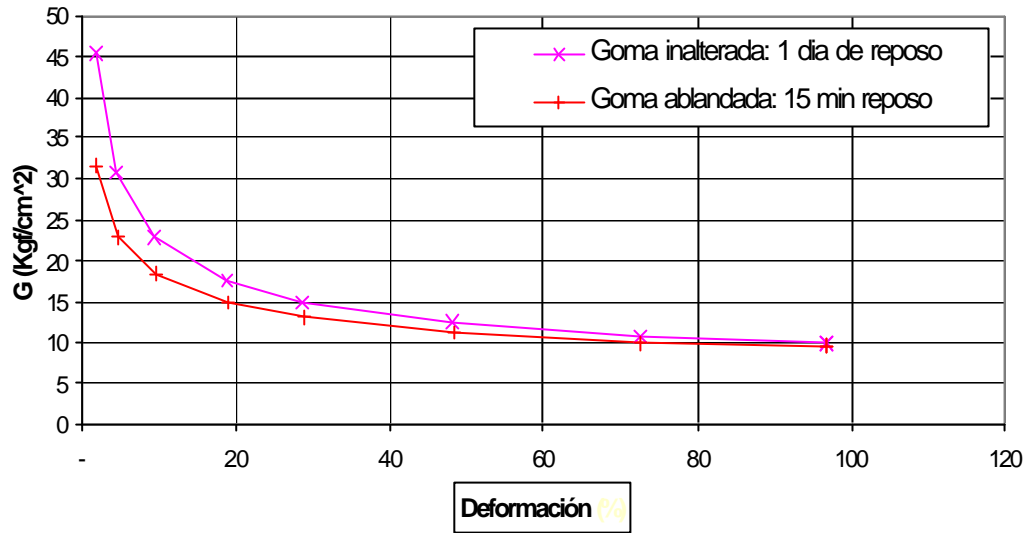


Figura 8. G vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = -10 °C

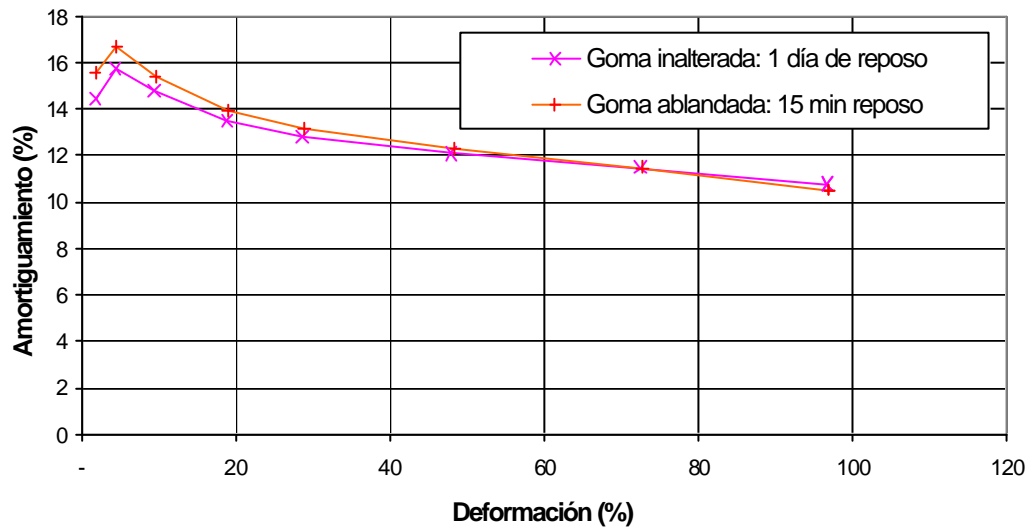


Figura 9. Amortiguamiento vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = -10 °C

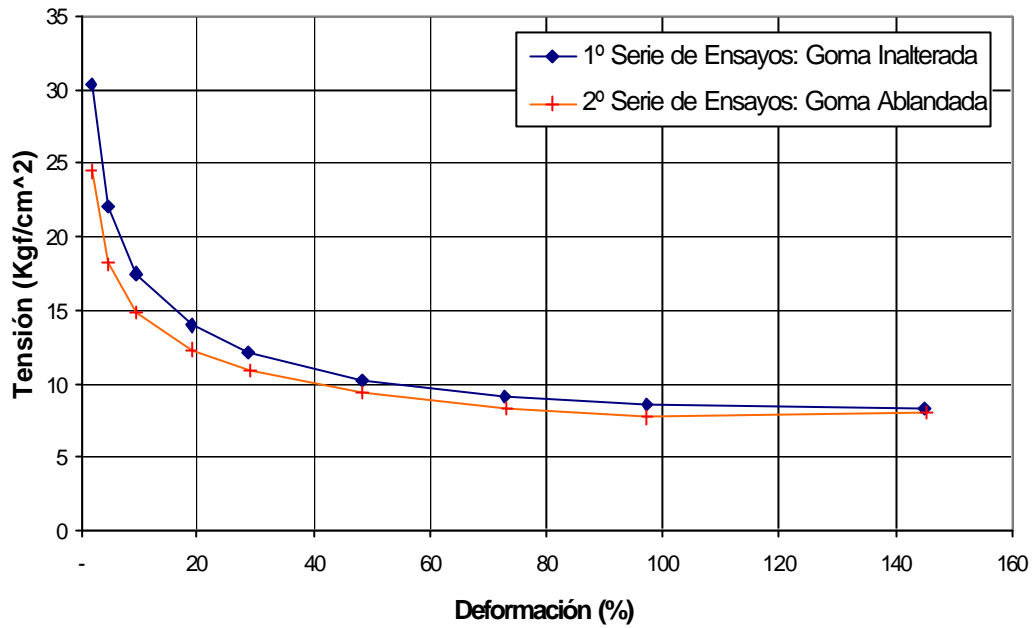


Figura 10. Módulo de Corte vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = 10°C

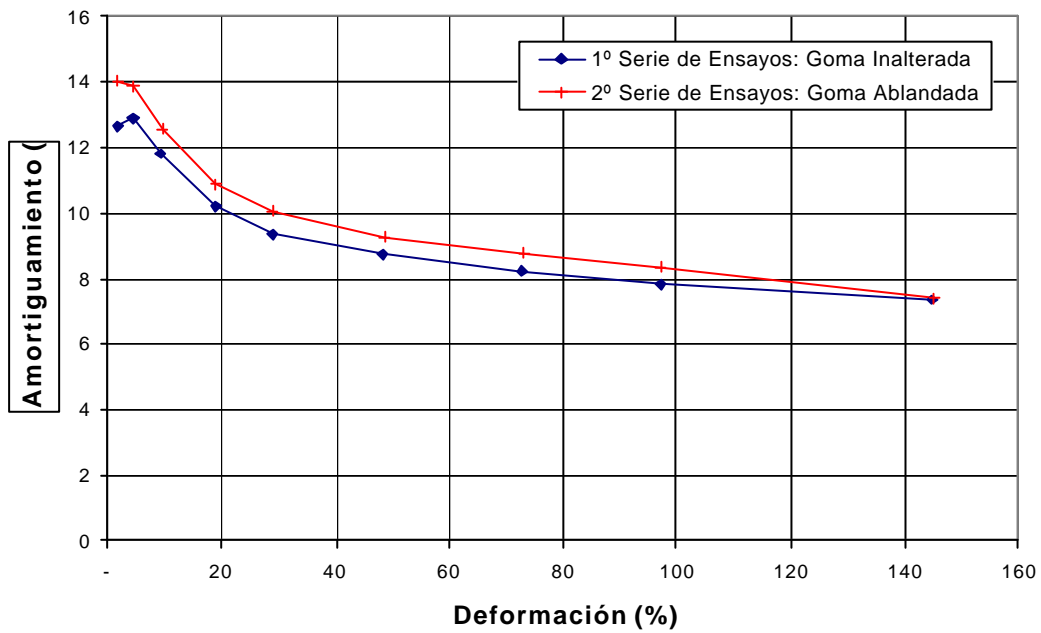


Figura 11. Amortiguamiento vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = 10°C

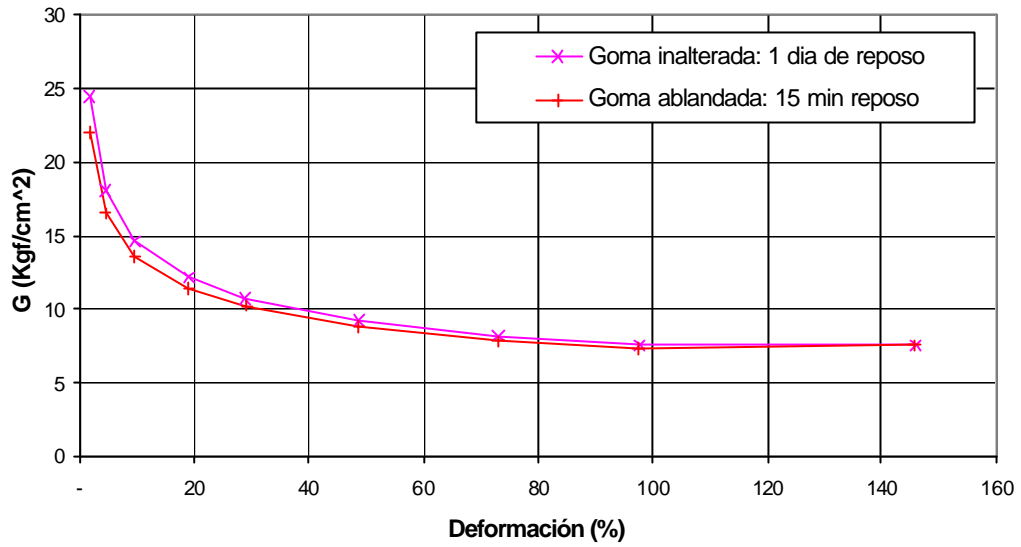


Figura 12. G vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = 20 °C.

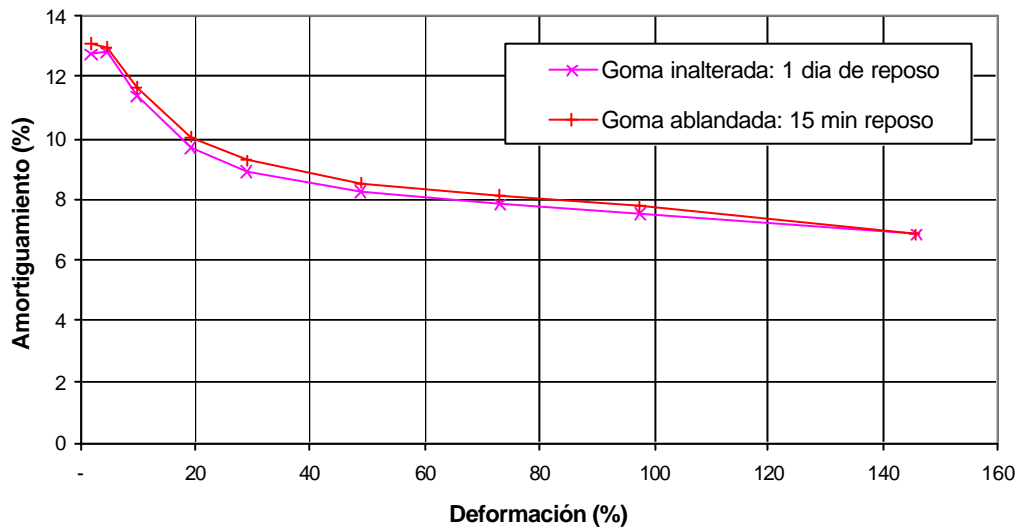


Figura 13. Amortiguamiento vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = 20 °C.

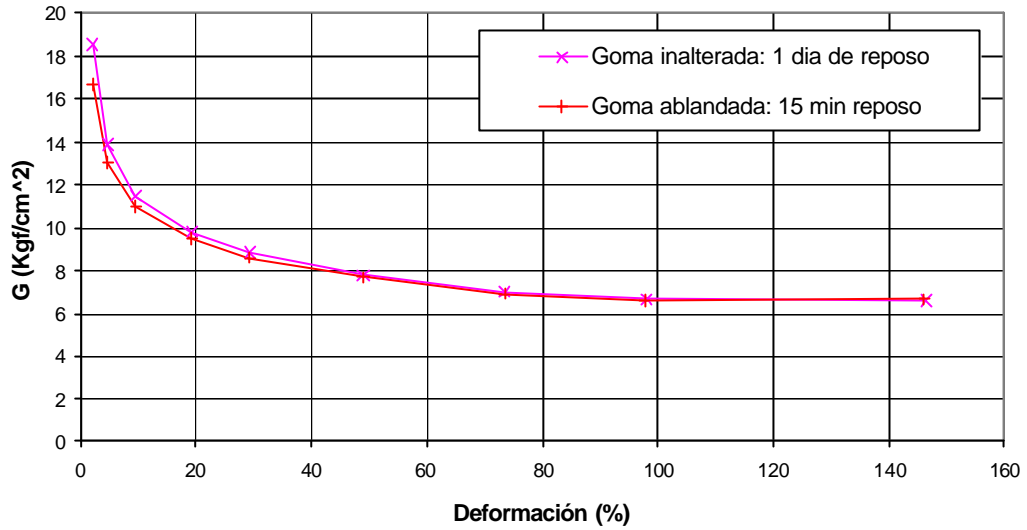


Figura 14. G vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = 60 °C.

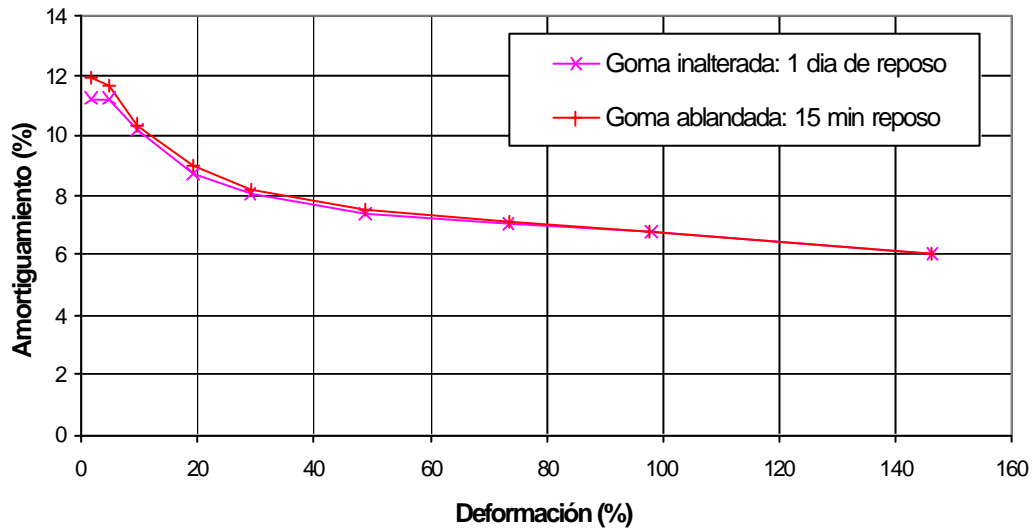


Figura 15. Amortiguamiento vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, T = 60 °C.

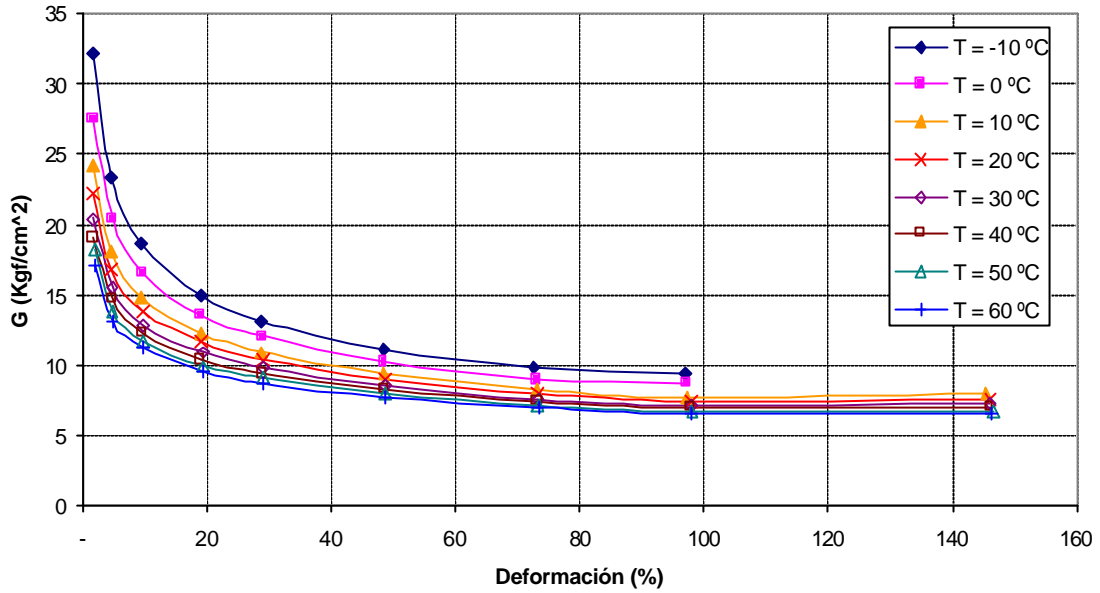


Figura 16. G vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, con Ablandamiento.

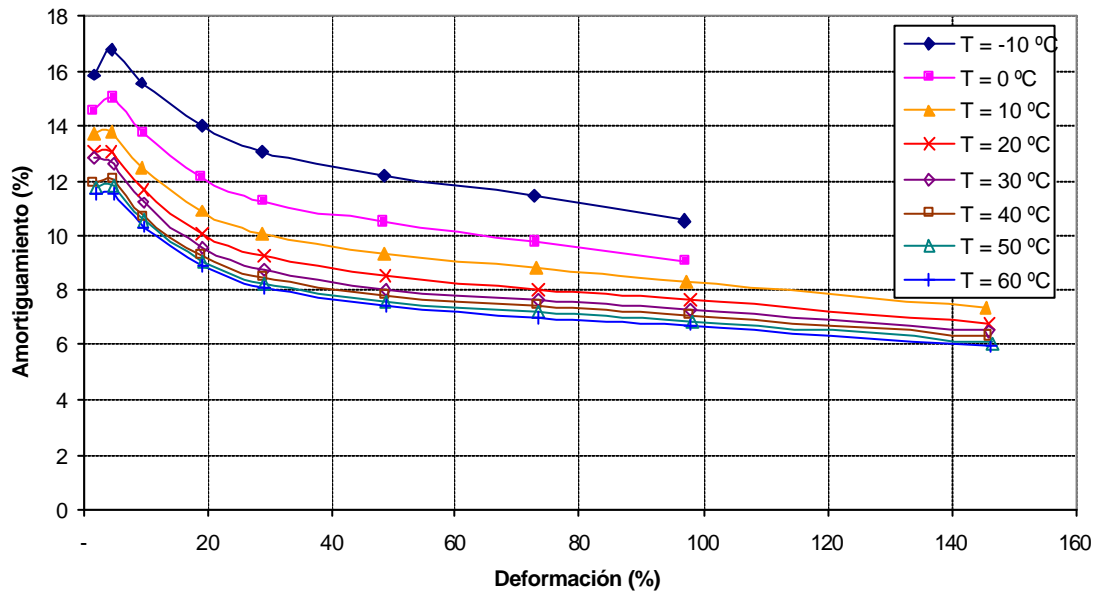


Figura 17. Amort. vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, con Ablandamiento.

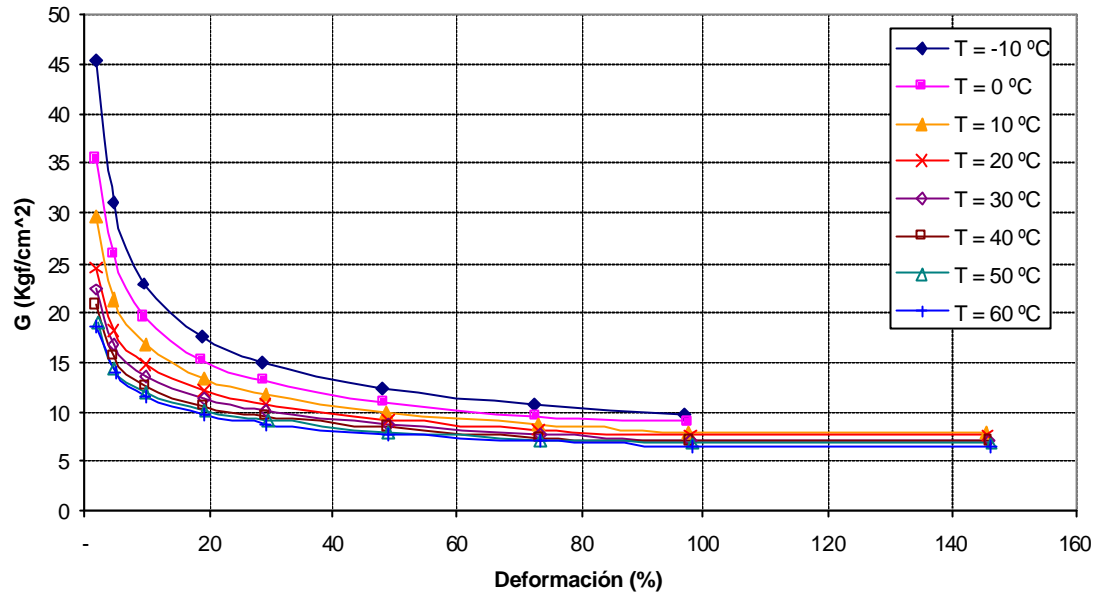


Figura 18. G vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, sin Ablandamiento

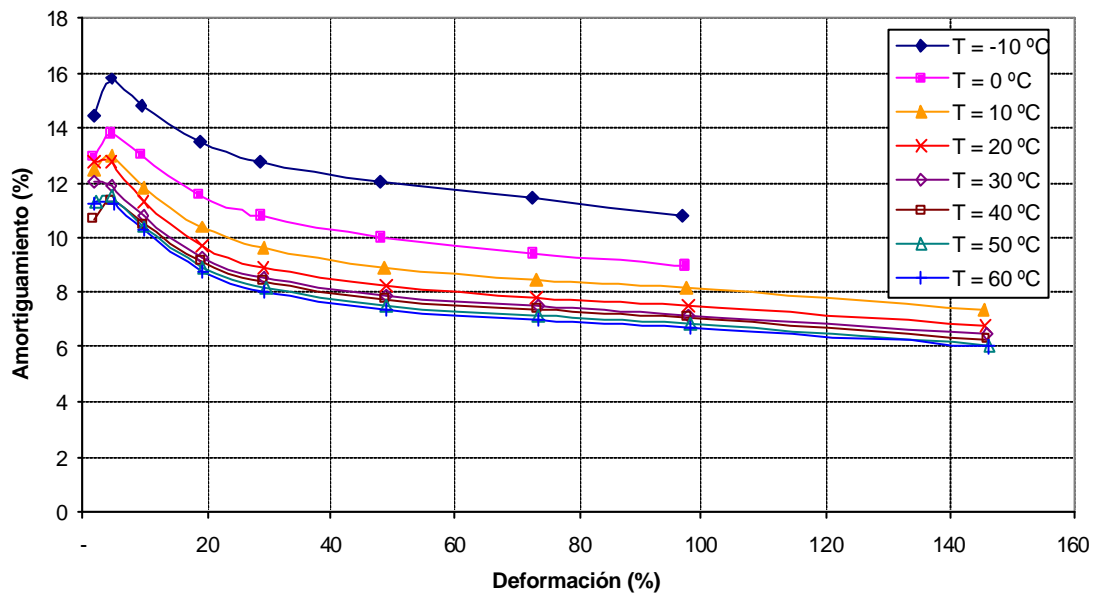


Figura 19. Amortiguamiento vs Deformación, Probeta A, 0.5 Hz, sin Ablandamiento.

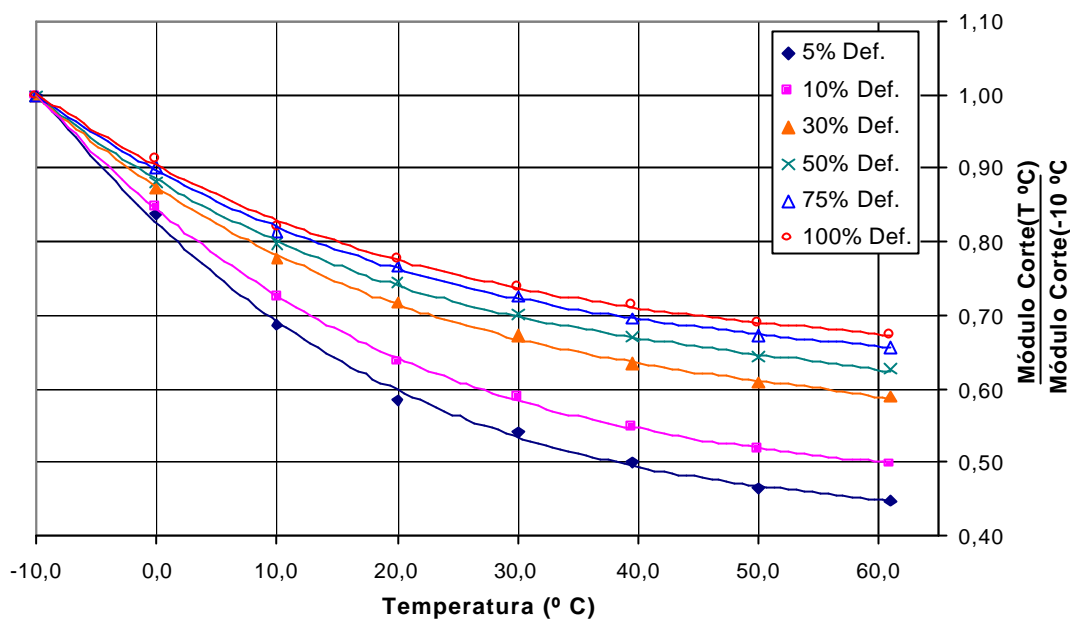


Figura 20. Dependencia del Módulo de Corte Normalizado con la Temperatura Probeta A, 0.5 Hz, sin Ablandamiento.

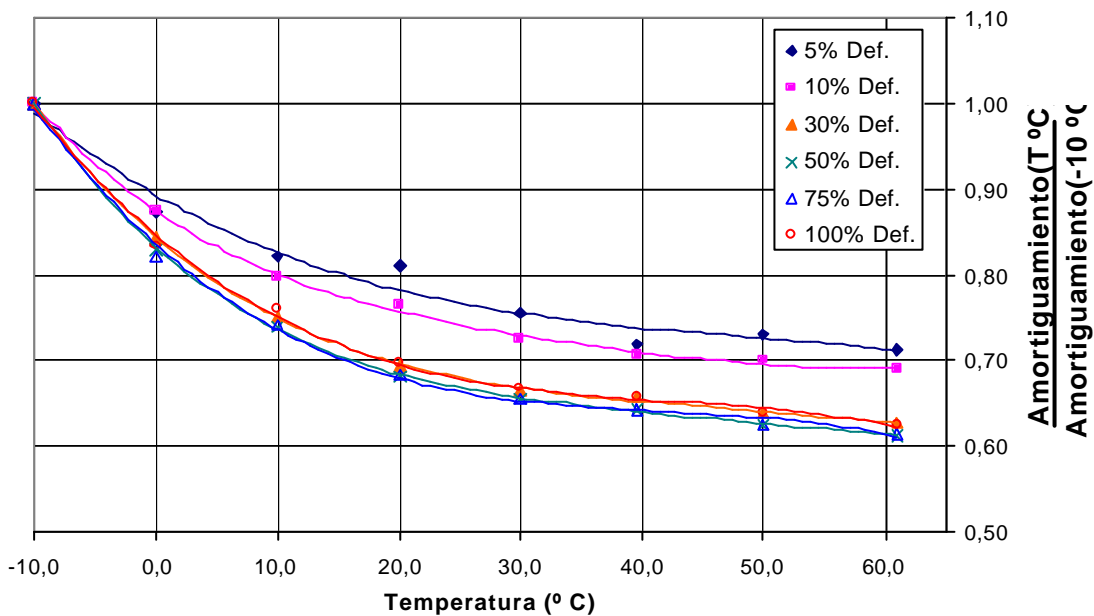


Figura 21. Dependencia del Amortiguamiento Normalizado con la Temperatura Probeta A, 0.5 Hz, sin Ablandamiento.

5. CONCLUSIONES

En este estudio se cuantificó el efecto de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de la goma de alto amortiguamiento que típicamente se utiliza en aisladores sísmicos de base de edificios. En particular, se evaluó la goma que se utilizó en los aisladores del edificio de la Comunidad Andaluía de Santiago. Para ello se construyó una máquina especial que permite ensayar gomas con variaciones de deformación de forma sinusoidal entre 2 y 150% y temperaturas en un rango entre -10 y +60 °C.

De los resultados experimentales se concluye que:

- La goma inalterada tiene un módulo de elasticidad al corte, G , aproximadamente un 7% mayor y un amortiguamiento un 3 % menor que la goma sometida previamente a un proceso de ablandamiento. Este efecto disminuye cuando la deformación aumenta.
- El tiempo de reposo que se da a la goma luego de un ensayo de deformación influye en las propiedades mecánicas de ésta. Luego de 2 a 3 días la recuperación es prácticamente total, retornando las propiedades al caso inalterado. En 24 horas la recuperación es del orden del 90%.
- Existe una importante dependencia de las propiedades mecánicas de la goma con la temperatura. El cambio máximo del módulo G en el rango de temperaturas estudiado (-10 a +60°C), se produjo para una deformación de 5%, alcanzando un 120% para la goma sin ablandamiento. La variación máxima del amortiguamiento, en el mismo rango de temperaturas, se produjo para una deformación de 50%, siendo del orden de 70%, tanto para la goma sin como con ablandamiento.
- Tanto la rigidez como el amortiguamiento crecen cuando aumenta la frecuencia de los ciclos del ensayo. Sin embargo, el efecto de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de la goma muestra ser independiente de la frecuencia: el efecto de la temperatura sobre las propiedades fue prácticamente igual para 0.5 Hz que para 1.0 Hz.
- La dependencia de la rigidez y el amortiguamiento con la temperatura es diferente para distintos niveles de deformación. La rigidez es afectada por la temperatura en mayor medida para pequeñas deformaciones. El amortiguamiento se ve afectado en mayor medida para deformaciones en el rango de 50 a 75%.
- La dependencia de las propiedades con la temperatura depende de si la goma está ablandada o no. Para pequeñas deformaciones la temperatura tiene mayor incidencia en la rigidez de la goma cuando ésta se encuentra en un estado inalterado. Para grandes deformaciones la incidencia de la temperatura en la rigidez es del mismo orden en ambos casos (inalterada o ablandada).
- Es importante señalar que para bajas temperaturas el comportamiento corresponde al caso de un enfriamiento rápido. Si el enfriamiento es prolongado en el tiempo, se puede producir el fenómeno denominado cristalización a baja temperatura, situación en la cual tanto la rigidez

como el amortiguamiento aumentan considerablemente. Este fenómeno no ocurre cuando las temperaturas son mayores que 5°C.

REFERENCIAS

Araya, M., (1994) Desarrollo y fabricación de aisladores sísmicos para edificios habitacionales. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Chang, K. C. and Soong, T. T., (1992) Effect of ambient temperature on a visco-elastically damped structure, *ASCE Journal of Structural Engineering*, **Vol. 118**, **Nº 7**, pp. 1955 – 1973.

Roschke, P. N., (1990) Selection of rubber materials and shapes for energy-absorbing elements, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **Vol. 2**, **Nº 4**, pp. 240-259.

Yakut, A., (2002) Parameters influencing performance of elastomeric bearings at low temperatures, *ASCE Journal of Civil Engineering*, **Vol. 128**, **Nº 8**, pp. 986-994.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo fue desarrollado en el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Se agradece el financiamiento parcial a través del proyecto FONDECYT Nº 1011025.