

VALIDACIÓN DE UN MODELO NUMERICO PARA UN NUEVO DISPOSITIVO DE AISLAMIENTO SÍSMICO

Gustavo Gioacchini^a, Miguel E. Tornello^a, Carlos D. Frau^a

^a*CEREDETEC, Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina,
ggioacchni@frm.utn.edu.ar, mtornell@frm.utn.edu.ar, cdfrau@frm.utn.edu.ar*

Palabras Claves: aislador sísmico, modelo numérico.

Resumen. En los últimos años la ingeniería estructural sismorresistente ha desarrollado nuevas estrategias para proteger las construcciones de los terremotos destructivos. Una de las más utilizadas son los dispositivos de aislamiento sísmico. Los antecedentes estudiados indican que las técnicas de aislamiento sísmico han sido orientadas fundamentalmente a grandes emprendimientos, aspecto que se considera altamente positivo. Sin embargo, se piensa que se ha descuidado un gran número de obras, ampliamente difundidas y de construcción masiva (viviendas de uno o dos niveles, edificios comerciales y edificios de departamentos de baja altura, estructuras y equipos industriales de bajo peso, etc.). Es por ello que se han fabricado prototipos de aisladores del tipo elastómeros para baja carga axial con características diferentes. Se estudió un modelo numérico utilizando para el material elastomérico el modelo constitutivo basado en la función de energía propuesta por Ogden. Se compararon los resultados numéricos con los ensayos experimentales de los aisladores fabricados. Para sollicitaciones axiales de compresión se validó el modelo numérico con los resultados experimentales.

1 INTRODUCCIÓN

Los terremotos son fenómenos naturales que ocasionan cuantiosos daños materiales y un número significativo de pérdidas de vidas. En muchas regiones del planeta se producen terremotos severos capaces de colapsar estructuras e interrumpir la actividad económica, las líneas de comunicación y los servicios públicos. Una de las principales causas de las grandes pérdidas es la falta de conocimiento sobre la respuesta de las construcciones frente a terremotos severos, sumado a la incertidumbre del comportamiento de los materiales, tipo de suelos, fundaciones, características de las fuentes generadoras de terremotos, etc., lo cual se traduce en diseños, en parte, no adecuados para afrontar la acción de terremotos destructivos.

Una de las estrategias no tradicionales para controlar el daño en las construcciones es el aislamiento sísmico. El objetivo fundamental de la estrategia es desacoplar la estructura del suelo de fundación con el objeto de que el movimiento del terreno, durante un sismo no sea transmitido a la superestructura y que ella permanezca esencialmente detenida en un marco de referencia inercial, Figura 1. Por cierto, un desacople perfecto entre suelo y estructura es impracticable actualmente, sin embargo, cualquier sistema de aislamiento busca concentrar en él la deformación impuesta por el suelo, filtrando el movimiento que se trasmite hacia la superestructura.

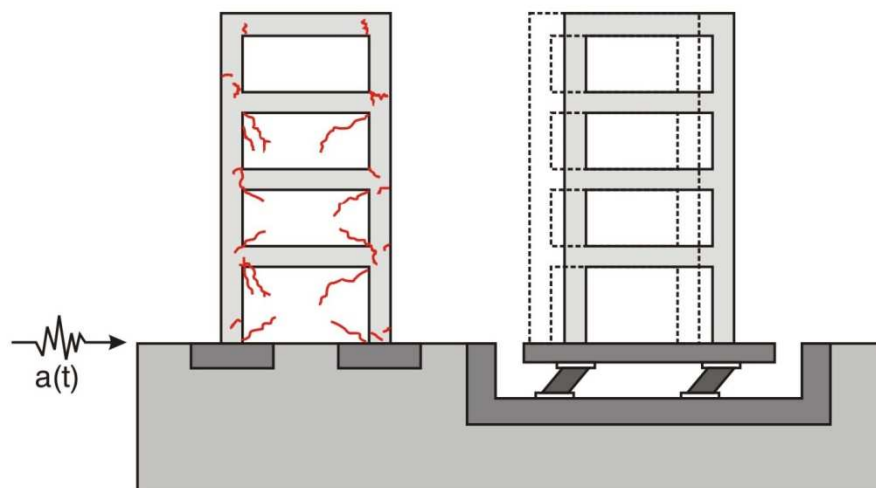


Figura 1: Respuesta de una estructura convencional y una aislada

La implementación de dispositivos de aislamiento sísmico permite reducir la demanda sísmica sobre las estructuras y asegurar su capacidad de resistencia frente a terremotos destructivos, por lo tanto dichas estructuras muestran un comportamiento elástico ante la ocurrencia de importantes terremotos, situación que garantiza la estabilidad de la estructura aislada, la supervivencia de sus ocupantes y contenidos.

El concepto de aislamiento sísmico es ampliamente aceptado en regiones sísmicas para proteger edificios importantes o que deban cumplir funciones esenciales después de ocurrido el terremoto, de hecho hay muchos ejemplos en Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Italia y Nueva Zelanda. También existen proyectos de menor costo para viviendas económicas de los cuales hay casos realmente construidos en Chile, China y Armenia.

Otros de los beneficios importantes de los sistemas de aislamiento es la protección de los contenidos de los edificios (por ejemplo en el caso de hospitales el equipamiento tiene un costo muchas veces mayores que el edificio mismo). Suministrar una mayor resistencia al edificio, en muchos casos, no garantiza valores aceptables de distorsiones de piso o de

aceleraciones en altura. Cantidades elevadas de distorsiones de piso causan daños en los componentes no estructurales y en sus contenidos. Aumentar la rigidez del edificio permitiría disminuir la distorsión de piso, sin embargo ello no garantiza una reducción de las aceleraciones, por otro lado reducir la rigidez del mismo permitiría reducir las aceleraciones pero no las distorsiones de piso. Los sistemas de aislamiento sísmico permiten controlar simultáneamente los dos parámetros porque el mismo posee la flexibilidad necesaria como para concentrar toda la deformación a nivel de los dispositivos de aislamiento. (Tornello M., 2007)

Los sistemas de aislamiento sísmico no sólo se han utilizado en obras nuevas sino también en proyectos de edificios existentes. El problema que enfrentan las regiones de países desarrollados y no desarrollados emplazados en zonas de peligro sísmico, no es solamente la amenaza permanente de un terremoto destructivo sino, además, que muchos de sus construcciones (civiles, comerciales, industriales y de infraestructura) fueron construidas con códigos de edificación hoy obsoletos y en muchos otros casos con pocas prescripciones sísmicas. En alguna ocasión el edificio podrá ser demolido y reconstruido, en otros no, ya sea por razones económicas, sociales o históricas. Por lo tanto, hoy, los sistemas de aislamiento sísmico resultan ser técnicas no tradicionales para recuperar dichas construcciones con un grado de seguridad aceptable.

Los antecedentes indican que las técnicas de aislamiento han sido orientada fundamentalmente a grandes emprendimientos o bien a obras de infraestructura, aspecto que se considera altamente positivo, sin embargo, en países en vías de desarrollo se ha descuidado un gran número de obras, ampliamente difundidas y de construcción masiva (viviendas de uno o dos niveles, edificios comerciales, hoteles y edificios de departamentos de baja altura, estructuras y equipos industriales de bajo peso, equipos de estaciones transformadoras, etc.) que al igual que las grandes obras, sufren el impacto de un terremoto destructivo (pérdidas económicas y de vidas humanas, retraso socio económico de la región).

Si bien los dispositivos que hoy existen comercialmente pueden también utilizarse para el tipo de construcción mencionada en párrafo precedente, los mismos tienen, en general, para los países en vías de desarrollo, los siguientes inconvenientes: i) los dispositivos tienen sus propias patentes, ii) no se fabrican en el país y por lo tanto hay que importarlos con el consecuente incremento de los costos, iii) para amortizar su costo es necesario fabricar un número importante de dispositivos de tal manera que no tenga incidencia importante en el costo de la construcción; iv) no permite generar desarrollos con tecnología local.

Basado en tales necesidades, se ha diseñado y fabricado un dispositivo de aislamiento sísmico elastomérico para bajo nivel de carga axial, con el objeto de ser empleado en las construcciones previamente mencionadas. En el presente trabajo se presenta un estado de avance del proyecto de investigación el cual consiste en la modelación numérica del dispositivo de aislamiento y en el estudio de la respuesta numérica y experimental de los aisladores bajo carga axial controlada.

2 ANTECEDENTES SOBRE EL AISLAMIENTO SÍSMICO DE CONSTRUCCIONES CON BAJO PESO

A nivel mundial existen escasos antecedentes sobre el uso de dispositivos de aislamiento para estructuras de bajo peso. Existen numerosas aplicaciones para aislar equipos industriales y máquinas en general de las vibraciones de otros equipos o para controlar los efectos de los terremotos.

Las primeras investigaciones sobre un edificio realmente construido sobre un sistema de aislamiento sísmico se atribuyen a John Milne quien fuera profesor de la carrera de ingeniería en minería en Tokio entre 1876 y 1895. La estructura fue construida sobre “bolas” contenidas en cajas de acero. Por encima de las mismas existía una placa de acero tomada al edificio cuya superficie de contacto con las bolas era de forma cóncava, otra placa de idénticas características se ubicaba por debajo de las placas de acero. El edificio fue instrumentado y aparentemente ensayado a movimientos sísmicos, las experiencias obtenidas fueron publicadas en 1885 en el informe de la Asociación Británica para el avance de la ciencia. El primer informe contemplaba un diámetro de bolas de 10 pulgadas, al año siguiente, en 1886, el trabajo fue actualizado y se publicaron los resultados para diámetros de bolas de 8, 1 y ¼ de pulgadas (Naeim F., Kelly J., 1999).

Los proyectos más recientes hoy utilizan casi exclusivamente aisladores conformados por planchas de goma vulcanizadas a láminas de acero y en muchos países (Estados Unidos de Norteamérica y Nueva Zelanda) con núcleo de plomo para mejorar el amortiguamiento de los dispositivos. Dichas planchas proveen una importante rigidez vertical pero conservan su flexibilidad horizontal parámetro importante para el proceso de disipación de energía.

Muchos proyectos de aislamiento sísmico, particularmente en Nueva Zelanda y Japón, combinan aisladores de goma natural de alto amortiguamiento con amortiguadores hidráulicos, barras de acero retorcidos o núcleo de plomo dentro del aislador elastomérico. Dichos elementos introducen una no linealidad de la respuesta que en parte complican el análisis teórico y por otro lado reducen el grado de aislamiento para los modos superiores de la excitación sísmica (Naeim F. et al., 1999). Sin embargo, la presencia de los amortiguadores hidráulicos funcionando en paralelo con aisladores, conduce a respuestas eficientes del sistema de aislamiento cuando se está en presencia de terremotos asociados a falla cercana. (Jangid R., Kelly J., 2001)

Por otro lado, desde hace más de 15 años, los dispositivos de aislamiento sísmico en Japón ya se han extendido a viviendas. Este hecho caracteriza a Japón en relación a otros países sísmicos del mundo.

También se han realizado análisis teóricos del pandeo de dispositivos de aislamientos elastoméricos para viviendas, los cuales son fabricados con placas de refuerzo de fibras en vez de placas de acero, con la intención de reducir los costos del aislador. (Kelly J. et al., 2012).

Otros trabajos han estudiado el comportamiento de un sistema de aislamiento (PPP), desarrollado como una alternativa para ser usado en construcciones de peso ligero y de bajo costo (Besa, J., et al., 2010). También se ha construido una vivienda aislada sísmicamente, la misma está apoyada con elementos tipo bielas y con dos aisladores elastoméricos (Revista BIT, 2010). El sistema de aislamiento utiliza aisladores elastoméricos para concretar la fuerza restitutiva.

3 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO ESTUDIADO

Para predecir el comportamiento del dispositivo de aislamiento sísmico diseñado y fabricado, se estudia numéricamente la respuesta mecánica, considerando el comportamiento no lineal de los materiales componentes y la interacción entre ellos a partir de una combinación de cargas ficticias. El modelo hiperelástico utilizado para describir el comportamiento del material elastomérico es el Ogden (Ogden R., 1984). Para el acero se utiliza un modelo elástico basado en la Ley de Hooke.

Para evaluar el análisis numérico del aislador se utiliza el código comercial ABAQUS como programa de elementos finitos. (Abaqus, 2003)

Las características geométricas del modelo que se ha estudiado se indican en la Figura 2. El aislador está conformado por dos pletinas de acero de conexión, inferior y superior, y por un taco de goma de 200 mm de altura. Los resultados que se presentan en el trabajo corresponden a los aisladores sin núcleo confinado, sin embargo existen otro grupo de aisladores donde el núcleo del mismo ha sido confinado con distintas técnicas, en algunos casos se ha utilizado una lámina de fibra y en otros casos un tubo de acero de distintos diámetros y espesores.

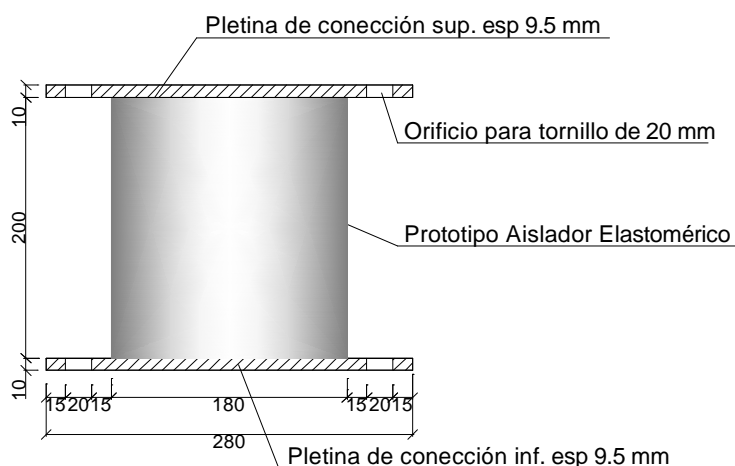


Figura 2: Características del aislador estudiado (Dimensiones en “mm”)

Los dispositivos de aislamiento estudiados en el presente trabajo presentan dos diferencias significativas con relación a los que habitualmente se utilizan a nivel mundial. La primera es que no poseen las planchas de acero vulcanizadas a las capas de goma situación que le confiere las siguientes características, i) se reducen notablemente los costos de fabricación, ii) se reduce su capacidad a carga axial y iii) se reduce la rigidez efectiva de los dispositivos. La segunda diferencia está centrada en el núcleo del dispositivo de aislamiento, mientras los más frecuentemente utilizados a nivel mundial utilizan en algunos casos núcleos de plomo y en otros casos no poseen núcleo, los aisladores estudiados en el presente trabajo posee un núcleo de elastómero confinado con un tubo de acero o bien con láminas de fibras de vidrio o de carbono. Dicha característica también permite una reducción de los costos de fabricación y además plantea un desarrollo tecnológico diferente al conocido en la actualidad. Si bien aún no se tiene resultados experimentales y numéricos sobre la respuesta de los dispositivos con tales características, el confinamiento del núcleo de los aisladores busca incrementar el valor del amortiguamiento de los nuevos dispositivos.

3.1 Modelo de elementos finitos del aislador utilizando el código ABAQUS

Para la modelación se utilizaron elementos sólidos deformables en tres dimensiones. Los contactos entre superficies de las placas de acero y taco de goma se definieron con la opción de ABAQUS “surface-surface”, especificando superficies maestras (master) y esclavas (slave), las cuales tienen la característica de que la superficie maestra no puede ser penetrada por la superficie esclava. La interacción de las superficies fue definida para un comportamiento longitudinal y transversal, para el primero se especificó un comportamiento de contacto rígido o duro (Hard Contact), y para el segundo se definió un contacto de fricción. En la Figura 3 se observa el modelo de elementos finitos generado para el aislador estudiado.

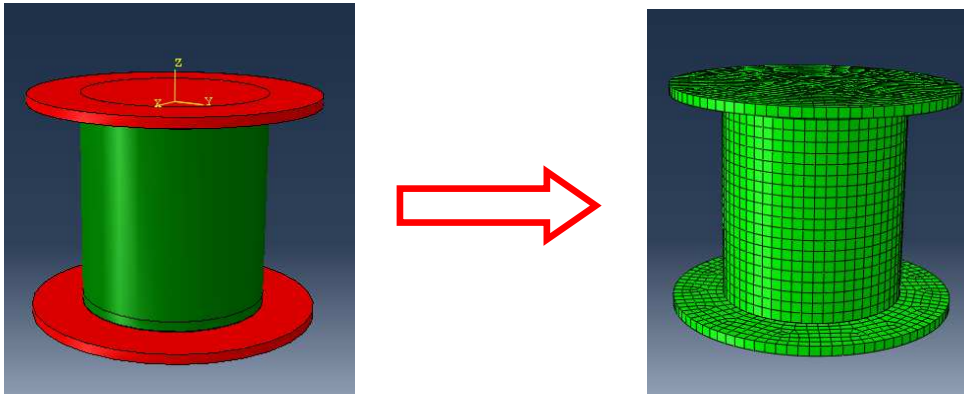


Figura 3: Modelo de elementos finitos utilizado en la plataforma ABAQUS

3.2 Especificaciones de los materiales utilizados

Los materiales utilizados para la modelación fueron goma y acero. Para el acero se utilizó un modelo elástico isotrópico con un módulo de elasticidad $E=210000$ MPa. Para el elastómero se utilizó el modelo hiperelástico de Ogden (Ogden R., 1984). Los parámetros correspondientes al modelo de Ogden se obtuvieron experimentalmente y en forma simultánea mediante ensayos de tracción, compresión y corte, los mismos se resumen en la Tabla 1 (Weinberg K., 2010). Se utilizó para el módulo volumétrico un valor de $k = 10000$ MPa, se observa que con dicho parámetro los resultados numéricos describen una respuesta prácticamente incompresible.

Constantes (MPa)						
Compuesto	μ_1	μ_2	μ_3	α_1	α_2	α_3
Goma	1	0.0012	-0.01	1.3	5	-2

Tabla 1: Parámetros correspondientes al modelo de Ogden

3.3 Descripción del modelo hiperelástico utilizado para el elastómero

El modelo constitutivo utilizado para simular el comportamiento del elastómero está basado en la función de energía propuesta por Ogden (Ogden R., 1984; Núñez C. A. y Celentano D. J., 2005; Bellomo F. et al., 2008).

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) \quad (1)$$

Donde N es un número entero positivo y μ_i , α_i son parámetros del material que se determinan en base a una serie de ensayos experimentales. Las deformaciones están parametrizadas por los estiramientos principales λ_A dados por:

$$\lambda_A = (\text{eig}_A(C))^{1/2} = (\text{eig}_A(B))^{1/2} \quad (2)$$

Donde los autovalores se obtienen a partir del tensor derecho de Cauchy-Green C ó del tensor izquierdo de Cauchy-Green B . Debido a la cuasi-incompresibilidad que presentan los elastómeros se realiza una descomposición multiplicativa del tensor gradiente de deformación en sus partes volumétrica (F_{vol}) y desviadora (\bar{F}).

$$F = F_{vol} \bar{F}, \quad F_{vol} = J^{1/3} I, \quad \bar{F} = J^{-1/3} F \quad (3)$$

Donde $J = \det[F] = \det[F_{vol}]$, $\det[\bar{F}] = 1$. En adelante, una variable sobre-lineada ($\bar{\cdot}$) indica que se trata de la parte desviadora de la misma.

Mediante esta descomposición, la energía de deformación se puede expresar a través de una descomposición aditiva de sus partes volumétrica y desviadora:

$$W = W(J) + \bar{W}(\bar{C}) \quad (4)$$

Donde C es la parte desviadora del tensor derecho de Cauchy-Green, $C = FTF$. Asociada con la deformación volumétrica se tiene, en la configuración actualizada, una presión hidrostática p , dada por:

$$p = W'(J) \quad (5)$$

Aplicando la descomposición indicada en la ec. (3) el equivalente de la ec. (4), en estiramientos principales, resulta:

$$W(\lambda_i) = W(J) + W^*(\lambda_i^*) \quad (6)$$

Donde $W(J)$ describe la energía libre asociada al cambio de volumen del sólido y $W^*(\lambda_i^*)$ la asociada a las deformaciones isocóricas (a volumen constante).

El potencial en función de los estiramientos modificados se expresa como:

$$W^*(\lambda_i^*) = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) \quad \lambda_i^* = J^{-1/3} \lambda_i \quad (7)$$

Partiendo de la derivación de la función de energía dada por la ecuación (6) y aplicando la regla de la cadena se obtiene el segundo tensor de tensiones de Piola-Kirchhoff S :

$$S = 2 \sum_{A=1}^3 \frac{\partial W^*(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_A} \frac{\partial (\lambda_A)^2}{\partial C} \frac{1}{\lambda_A} + JW'(J)C^{-1} \quad (8)$$

En la ecuación (8) la tensión total S resulta desacoplada en sus partes desviadora \bar{S} y volumétrica S_v dadas, respectivamente, por:

$$\bar{S} = 2 \sum_{A=1}^3 \frac{\partial W^*(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_A} \frac{\partial (\lambda_A)^2}{\partial C} \frac{1}{\lambda_A} \quad S_v = JW'(J)C^{-1} \quad (9)$$

El tensor C puede escribirse aplicando descomposición polar, como:

$$C = \sum_{A=1}^3 \lambda_A N_A \otimes N_A \quad (10)$$

Donde λ_A son, como se expresó anteriormente, los estiramientos principales y N_A son los respectivos autovectores (Simo, J., 1993). De la ecuación (10) se obtiene:

$$\frac{\partial(\lambda_A)^2}{\partial C} = N_A \otimes N_A \quad (11)$$

Donde $\{N_1, N_2, N_3\}$ son ortogonales y definen un sistema rectangular de vectores unitarios. Finalmente resulta:

$$\frac{\partial W^*(\lambda_i^*)}{\partial \lambda_A} = \sum_{i=1}^N \mu_i J^{1/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i})) \quad (12)$$

Si se reemplazan las ecuaciones (11) y (12) en la ecuación (9), se obtiene para la parte desviadora del tensor de tensiones, la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \sum_{A=1}^3 \left(\sum_{i=1}^N \mu_i J^{-\alpha_i/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i})) \right) N_A \otimes N_A \frac{1}{\lambda_A} \quad (13)$$

Procediendo de forma análoga, se puede expresar la parte desviadora del tensor de tensiones de Cauchy σ en la forma:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{J} \sum_{A=1}^3 \left(\sum_{i=1}^N \mu_i J^{-\alpha_i/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i})) \right) \frac{1}{\lambda_A} F N_A \otimes N_A F^T \quad (14)$$

Se han propuesto varias expresiones para caracterizar la energía interna asociada al cambio de volumen (Crisfield, M., 1996). La expresión utilizada en los desarrollos de este trabajo está dada por:

$$W(J) = \frac{1}{2} k (J - 1)^2 \quad (15)$$

Donde k es el módulo volumétrico del material en la configuración de referencia. Teniendo en cuenta la ecuación (15) y considerando S_v positiva para compresión se obtiene:

$$S_v = -Jk(J-1)C^{-1} \quad (16)$$

Las expresiones finales de las tensiones, en las configuraciones de referencia y actualizada, resultan respectivamente dadas por:

$$S = \sum_{A=1}^3 \left(\sum_{i=1}^N \mu_i J^{-\alpha_i/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i})) \right) N_A \otimes N_A \frac{1}{\lambda_A} - Jk(J-1)C^{-1} \quad (17)$$

3.4 Condiciones de borde del modelo numérico

El modelo de elementos finitos fue restringido a los desplazamientos en las tres direcciones. La restricción se impuso en la parte inferior del aislador, en coincidencia con la platina de conexión inferior. El modelo fue analizado para tres desplazamientos verticales: 2; 3 y 5 cm. En la Figura 4 se observa el modelo del aislador elastomérico deformado bajo carga axial con deformación vertical controlada. Las respuestas obtenidas fueron comparadas con los resultados obtenidos experimentalmente. La misma Figura 4, muestra la similitud de respuesta entre el modelo y los ensayos.



Figura 4: Modelo del aislador elastomérico baja carga axial de compresión y respuesta de los ensayos experimentales

4 RESULTADOS OBTENIDOS

Para cada uno de los tres desplazamientos verticales mencionados (2, 3 y 5 cm), se trazaron para el modelo numérico del aislador, las curvas de fuerza-desplazamiento. Una de ellas se muestra en la Figura 5.

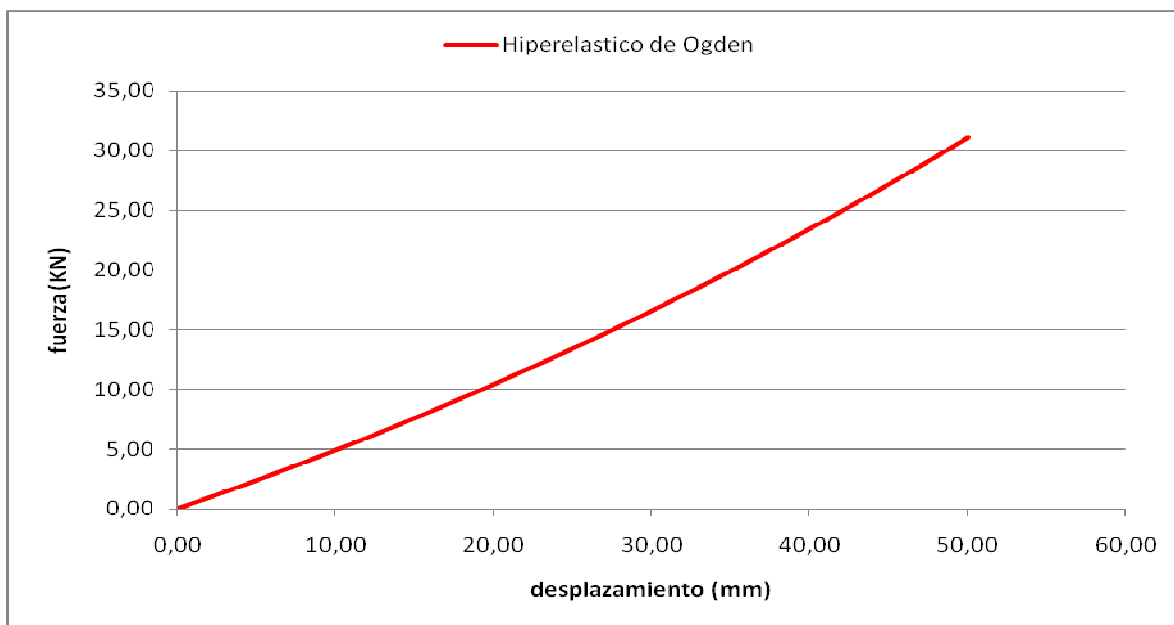


Figura 5: Curva fuerza – desplazamiento del modelo numérico para una deformación controlada de 50mm

En la Figuras 6 se grafican las curvas en las que se comparan los resultados obtenidos con el modelo hiperelástico de Ogden y los resultados obtenidos aplicando la Ley de Hooke. Para este último caso se ha considerado un módulo de elasticidad longitudinal de la goma $E = 0.0059 \text{ KN/mm}^2$.

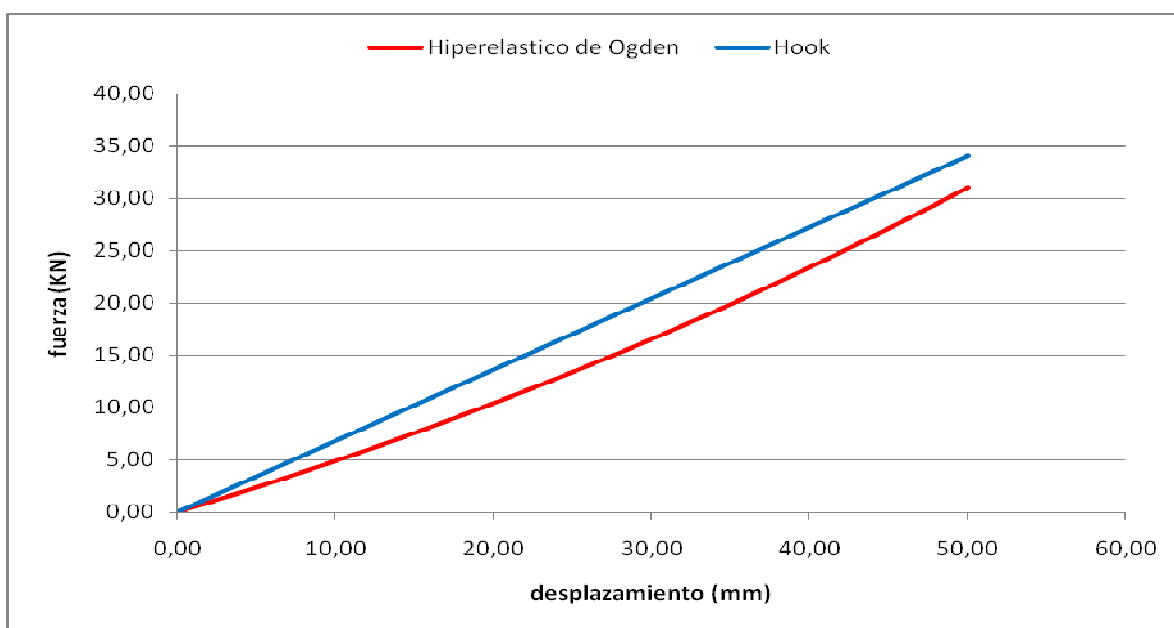


Figura 6: Curva fuerza – desplazamiento del modelo numérico para una deformación controlada de 50mm. Modelo de Ogden y Hooke

Se observan diferencias de capacidades entre los modelos hiperelástico de Ogden y el elástico de Hooke, siendo este último mayor que el primero. Esto se presenta para los tres desplazamientos verticales analizados en el modelo del aislador elastómero.

En la Figura 7, se muestran superpuestas las curvas fuerza-desplazamiento correspondiente a los resultados numéricos (Modelo de Ogden) y resultados experimentales. La gráfica muestra una buena correlación entre los resultados experimentales y numéricos,

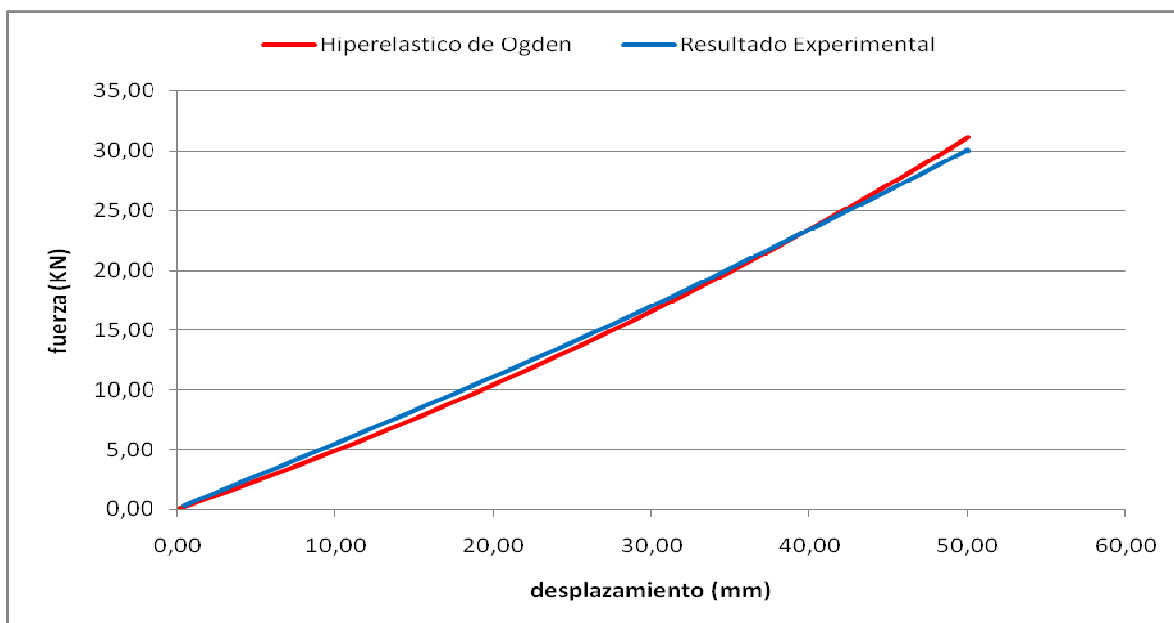


Fig. 7. Curva “Fuerza – desplazamiento” obtenida de resultados numérico y resultados experimentales para una deformación controlada de 50 mm

En las Figuras 8, 9 y 10 se muestra la distribución de tensiones de Mises, para el modelo hiperelástico de Ogden para un desplazamiento de 2, 3 y 5 cm. respectivamente.

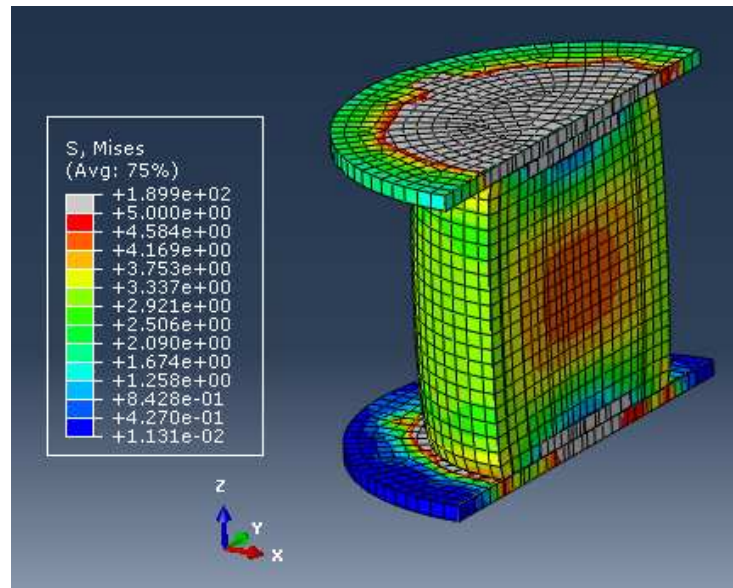


Figura 8: Estado de tensiones de Mises en [kg/cm²], para un desplazamiento vertical controlado de 2 cm

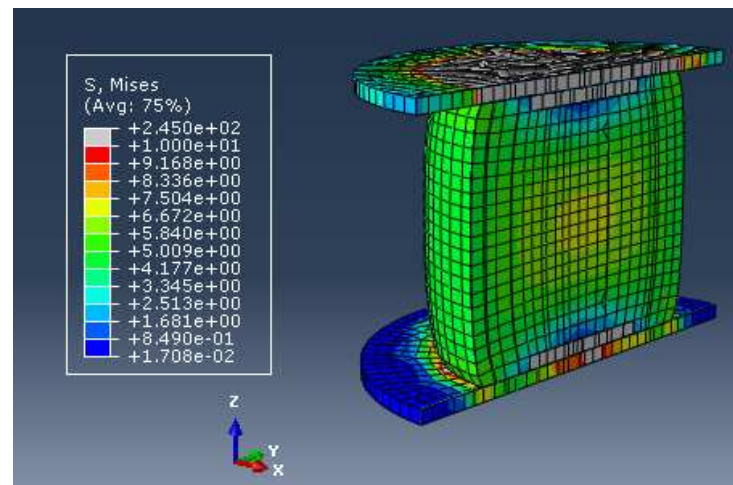


Figura 9: Estado de tensiones de Mises en [kg/cm²], para un desplazamiento vertical controlado de 3 cm

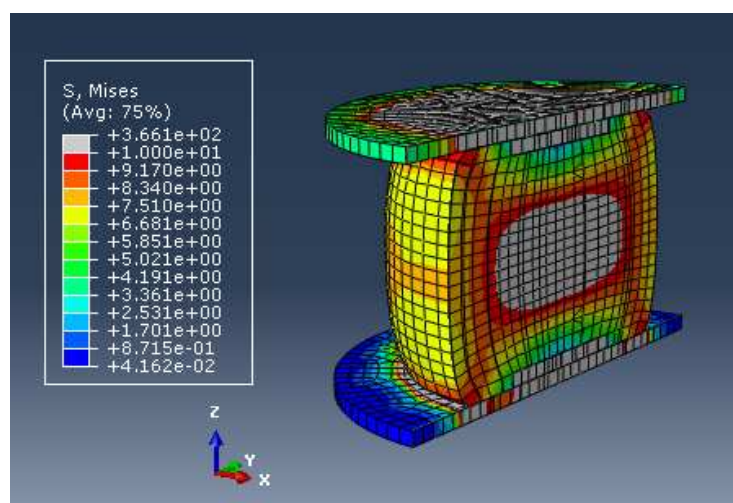


Figura 10: Estado de tensiones de Mises en [kg/cm²], para un desplazamiento vertical controlado de 5 cm

Las tensiones máximas se encuentran en la unión de las placas de conexión superior e inferior con el taco de goma del aislador. Se observa también un crecimiento de las tensiones desde el núcleo de la goma hacia el exterior. Dicha respuesta es más evidente para mayores desplazamientos verticales.

En el diseño de los aisladores se prevén desplazamientos máximos de 100 mm para un análisis de norma y para un espectro de respuesta correspondiente a un suelo de calidad intermedia. Se buscan amortiguamientos de los dispositivos de aislamiento próximos al 10% con el objeto de controlar el desplazamiento de las construcciones y reducir los cortes basales a nivel de los dispositivos de aislamiento. Las dimensiones de los mismos se definirán para lograr periodos de las construcciones aisladas cercanos a los 1.50 segundos. El modelo numérico de Ogden representa adecuadamente el comportamiento de los dispositivos a carga vertical para carga axial y para desplazamientos verticales controlados de 50 mm. Las próximas etapas del trabajo se centraran en evaluar, experimentalmente, la respuesta de los aisladores a cargas horizontales cíclicas y verificar si el modelo numérico de Ogden es adecuado para representar el comportamiento del aislador a cargas horizontales y verticales simultáneas.

5 CONCLUSIONES

Se compararon los resultados experimentales y numéricos de un aislador elastoméricos bajo carga axial y desplazamiento controlado hasta 50 mm. Los resultados numéricos fueron obtenidos utilizando el modelo hiperelástico de Ogden.

Las curvas fuerzas – desplazamientos obtenidos con el modelo numérico propuesto en el trabajo y las obtenidas con los ensayos experimentales presentan muy buenas correlaciones, situación que ha permitido validar el modelo numérico utilizado.

REFERENCIAS

- Abaqus 6.4-1. Theory Manual. Hibbit, Karlson and Sorenson, Inc.: Pawtucket, U.S.A., 2003.
- Bellomo F., Nallim G., Oller S., Modelo para el análisis del comportamiento mecánico de materiales compuestos de matriz elastomérica reforzada. *Mecánica Computacional*, Vol XXVII, págs. 593-613 Alberto Cardona, Mario Storti, Carlos Zuppa. (Eds.) San Luis, Argentina, 2008.
- Besa, J., de la Llera J. C., Jünemann R., Experimental behavior and design of a new kinematic

- isolator. *Engineering Structures*, Vol.32, 508-522, 2010.
- Crisfield, M.A., Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures. *John Wiley & Sons*, Volume II: Advanced Topics, 1996.
- Jangid R. S., Kelly J. M. Base Isolation for near-fault motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30:691-707. 16, 2001.
- Kelly J. M., Calabrese A. y Serino G., Design criteria for Fiber Reinforced Rubber Bearings. *15WCEE*, Lisboa, 2012.
- Naeim F., Kelly J. M., Design of seismic isolated structures. Editorial J. Wiley and Sons. INE, 1999.
- Núñez C. A. y Celentano D. J., Caracterización experimental y numérica de compuestos elastoméricos utilizados en disipadores de energía. *Mecánica Computacional Vol. XXIV A*. Larretegui (Editor) Buenos Aires, Argentina, 2005.
- Ogden R., Non-linear elastic deformations, Dover Publications, New York, 1984.
- Revista BIT, Especial terremoto Chile 2010. Aislación y disipación de energía. Mayo2010.(Disponible online www.fiic.la/.../DELALLERA%202.pdf), 2010.
- Simo, J. C., Topics on the Numerical Analysis and Simulation of Plasticity. *Handbook of Numerical Analysis, Elsevier Science Publishers*, Vol. III of, 1993.
- Tornello M., Aislamiento sísmico de base en construcciones civiles, emplazadas en zonas de alto riesgo sísmico. Director: Dr. Sarrazin A. M. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, 2007.
- Weinberg K., Lecture Notes for Zur Methode der finiten Elemente in der Mechanik II: Nichtlineare Probleme, TU Berlin [in English]. <http://mechanik.tu-berlin.de/weinberg/Lehre/fem2/Chapter4.pdf>, 2010.

AGRADECIMIENTOS

Programa de Becas Doctorales para Docentes UTN. Subsecretaría de Posgrado. Secretaría de Ciencia y Tecnología. Rectorado. UTN.
 Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
 CeReDeTeC. Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica.