



Modelado de un aislador sísmico de baja carga axial en un software de elementos finitos

Modeling a low axial load seismic isolator in finite element software

Modelação de um isolador sísmico de baixa carga axial em software de elementos finitos

Bryan Alejandro Ordoñez-Córdova ^I
bordonez9115@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-5827-028X>

Jose David Andrade-Grijalva ^{II}
jandrade9041@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-1701-8585>

Marcos Geovanny Zevallos-Loor ^{III}
marcos.zevallos@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7979-8363>

Correspondencia: bordonez9115@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 11 de mayo de 2025 * **Aceptado:** 28 de junio de 2025 * **Publicado:** 31 de julio de 2025

- I. Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Estructura, Docente en Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento dinámico de un aislador sísmico elastomérico de base, diseñado para bajas cargas axiales y reforzado con placas de acero, con el propósito de evaluar su capacidad de reducir los daños estructurales en edificaciones durante eventos sísmicos, para ello, se realizó la modelación del aislador utilizando el software ETABS, que permite la ejecución de análisis estructurales dinámicos y estáticos, tanto lineales como no lineales, con un enfoque detallado en la representación del comportamiento compuesto del elastómero y el acero, se aplicaron dos registros sísmicos para evaluar el desempeño del aislador bajo distintos escenarios: el del terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016 y el del sismo de Altadena, los resultados mostraron que con la ubicación de 4 aisladores de base para el edificio planteado se mejora la respuesta de la estructura, ya que, si bien aumentó los valores de las derivas de piso, la rigidez estructural también mostró un aumento, mismo que se evidenció en la comprobación del prediseño de los mismo, en donde se observó que el tipo de aislador escogido, así como la cantidad son las apropiadas para conseguir un resultado óptimo en una comparación fuerza-desplazamiento, lo que confirma la efectividad de este tipo de dispositivo en la mitigación de daños estructurales y destaca su importancia como tecnología de aislamiento sísmico para infraestructuras críticas y edificios de uso general.

Palabras clave: Aisladores sísmicos; Respuesta estructural; Derivas de piso; ETABS; Modelación estructural.

Abstract

The present investigation aims to analyze the dynamic behavior of an elastomeric base seismic isolator, designed for low axial loads and reinforced with steel plates, in order to evaluate its ability to reduce structural damage in buildings during seismic events, for this, the isolator was modeled using ETABS software, which allows the execution of dynamic and static structural analysis, both linear and nonlinear, with a detailed focus on the representation of the composite behavior of the elastomer and steel, two seismic records were applied to evaluate the performance of the isolator under different scenarios: that of the Ecuador earthquake of April 16, 2016 and the Altadena earthquake, the results showed that with the location of 4 base isolators for the proposed building, the response of the structure is improved, since, although the values of the floor drifts increased, the structural stiffness also showed an increase, which was evidenced in the verification of the pre-

design of the same, where it was observed that the type of The isolator chosen, as well as its quantity, are appropriate to achieve an optimal result in a force-displacement comparison, confirming the effectiveness of this type of device in mitigating structural damage and highlighting its importance as a seismic isolation technology for critical infrastructure and general-purpose buildings.

Keywords: Seismic isolators; Structural response; Story drift; ETABS; Structural modeling.

Resumo

A presente investigação tem como objetivo analisar o comportamento dinâmico de um isolador sísmico de base elastomérica, projetado para baixas cargas axiais e reforçado com placas de aço, de forma a avaliar a sua capacidade de reduzir os danos estruturais em edifícios durante eventos sísmicos, para tal, o isolador foi modelado através do software ETABS, que permite a execução de análises estruturais dinâmicas e estáticas, tanto lineares como não lineares, com um foco detalhado na representação do comportamento composto do elastómero e do aço, foram aplicados dois registos sísmicos para avaliar o desempenho do isolador em diferentes cenários: o do sismo do Equador de 16 de abril de 2016 e o sismo de Altadena, os resultados mostraram que com a localização de 4 isoladores de base para o edifício proposto, a resposta da estrutura é melhorada, pois, embora os valores dos desvios do piso tenham aumentado, a rigidez estrutural também apresentou um aumento, o que foi evidenciado na verificação do pré-projeto do mesmo, onde se observou que o tipo de isolador escolhido, bem como a sua quantidade, são adequados para atingir um resultado ótimo em um Comparação força-deslocamento, confirmando a eficácia deste tipo de dispositivos na mitigação de danos estruturais e destacando a sua importância como tecnologia de isolamento sísmico para infraestruturas críticas e edifícios de uso geral.

Palavras-chave: Isoladores sísmicos; Resposta estrutural; Desvio de pavimentos; ETABS; Modelação estrutural.

Introducción

La actividad sísmica es una realidad inevitable en diversas partes del mundo, por ende, existe un significativo riesgo para todos sus habitantes y estructuras que ellos ocupan. La región de América Latina y el Caribe es particularmente vulnerable a los desastres causados por amenazas de origen

natural. (Alvear y otros, 2023), esta vulnerabilidad da lugar a que los edificios puedan colapsar de manera inmediata sin dar oportunidad a los ocupantes de salvaguardar sus vidas cuando son construidos con un diseño frágil o sin ductilidad, la ductilidad representa la cantidad de daño a nivel global que se acepta las estructuras desarrollen con el fin de disipar la energía de deformación que les induce el movimiento del terreno causado por el evento sísmico. (Gutiérrez & Ayala, 2022) Frente a esto, el desarrollo de estrategias y tecnologías que mitiguen el riesgo sísmico se vuelve indispensable, una de las más efectivas ha sido la incorporación de sistemas que mejoran el comportamiento sísmico de las estructuras, reduciendo las fuerzas transmitidas y protegiendo tanto a los ocupantes como a las edificaciones, entre estas estrategias destaca la aplicación de aisladores sísmicos.

Los sistemas de aislamiento base son de las tecnologías de mayor uso e implementación en el mundo, contribuyendo a la protección de vidas humanas y mitigando los perjuicios estructurales que se producen en las edificaciones durante los terremotos. (Sierra & Páez, 2020), de acuerdo a (E&M. Productos Técnicos, 2023), los aisladores han demostrado su eficacia en la reducción de los daños provocados por un movimiento telúrico, brindando mayor rigidez a las estructuras, asegurando el correcto y resiliente funcionamiento de los edificios ante y posterior a un evento sísmico, existen diversos tipos de aisladores sísmicos, cada uno con características que los hacen adecuados para distintas condiciones estructurales y requerimientos de desempeño, entre ellos destacan los aisladores de péndulo de fricción, de rodillos y elastoméricos. Los aisladores elastoméricos, emplean un elastómero de caucho natural o neopreno reforzado con láminas de acero, “la notable flexibilidad lateral en el elastómero permite el desplazamiento lateral de los extremos del aislador, mientras que las láminas de refuerzo evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una gran rigidez vertical” (Castilla & Montes , 2011), esta combinación de características resulta ventajosa para estructuras con requisitos de estabilidad, por esta razón, se optó por trabajar con aisladores elastoméricos en esta investigación, dado que ofrecen una solución efectiva y versátil para la reducción de daños en infraestructuras durante eventos sísmicos.

La presente investigación se enfoca en la modelación de un aislador sísmico elastoméricos de base diseñado para bajas cargas axiales, reforzado con placas de acero, empleando un software de elementos finitos, a través de esta modelación, se simula la aplicación de cargas con el objetivo de analizar su comportamiento y comprender cómo contribuye a mitigar los daños en estructuras, la modelación de elementos estructurales, como los aisladores sísmicos, es un componente esencial

en el desarrollo de soluciones que mejoren la resistencia de las infraestructuras frente a eventos sísmicos, por ello, en esta investigación se recurre a la modelación como base para evaluar el desempeño del aislador elastoméricos, integrando tanto aspectos materiales como condiciones dinámicas reales.

Para la simulación del aislador sísmico elastoméricos de base se utilizó el software ETABS, el cual permite realizar análisis estructurales dinámicos y estáticos, lineales y no lineales; el modelo del aislador fue sometido a dos registros sísmicos: uno correspondiente al terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016 y otro del sismo de Altadena en Estados Unidos, lo que permitió evaluar su desempeño frente a diferentes escenarios sísmicos, un desafío clave en la modelación fue la representación del comportamiento compuesto de los materiales que conforman el aislador, especialmente el acoplamiento entre las capas de elastómero y acero.

Metodología

Se utilizará un enfoque cuantitativo para un diseño experimental, con finalidad aplicada y alcance exploratorio y correlacional, para el propósito planteado se definió como variable independiente al aislador sísmico, mientras que la variable dependiente será el desempeño de la estructura, como material se utilizará la información estructural del edificio analizado, así como el modelo realizado en el software ETABS, siendo el método análisis matemático no lineal, y el instrumento el software de modelación junto con las hojas de cálculo pertinentes.

Características generales de la estructura a analizar

La estructura tema de estudio consiste de un edificio conformado por dos niveles, que cuenta con una altura de 6.40 metros, en donde las alturas de entrepiso son constantes de 3.2 metros, tiene un área considerada en análisis de 206.87 metros cuadrados, con un sistema estructural de pórticos de hormigón armado, sus columnas son cuadradas de 40 centímetros en cada lado para todos los ejes, las vigas utilizadas en el interior tienen un ancho de 25 centímetros y una altura de 35 centímetros, las vigas utilizadas en los bordes de la estructura son cuadradas de 20 centímetros, todos estos elementos cuentan con hormigón de resistencia a la compresión ($f'c$) de 27 MPa, adicional se cuenta con columnas cuadradas de 25 centímetros ubicadas en la escalera en las que se ha considerado un hormigón de resistencia a la compresión de 24 MPa, en todos los elementos se presenta acero con resistencia a la fluencia (f_y) de 420 MPa.

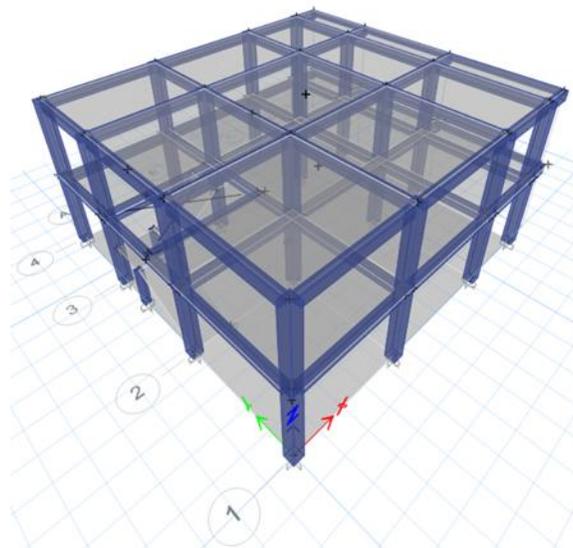


Figura 1: Vista en 3D de la estructura

En la tabla 1 se presenta la distribución de las dimensiones utilizadas en planta, tanto para el sentido horizontal (ejes en el plano X) como para el sentido vertical (ejes en plano Y), mientras que, en la tabla 2 se presentan las alturas por piso consideradas para el diseño de la estructura.

<i>Sentido horizontal</i>		
EJES		Longitud (m)
A	B	4.50
B	C	4.80
C	D	3.00
D	V*	1.20
<i>Sentido vertical</i>		
EJES		Longitud (m)
1	2	4.70
2	3	4.50
3	4	3.30

Tabla 1: Dimensiones en planta.

<i>Alturas de piso</i>		
Piso	Altura (m)	Elevación (m)
2	3.20	6.40
1	3.20	3.20
Base		0.00

Tabla 2: Alturas de piso.

En la figura 2 y figura 3 se puede observar una vista en planta y una vista en elevación de esta estructura, siendo considerada la estructura base, se puede observar que en planta presenta 4 ejes de columna en sentido y en sentido vertical presenta 4 ejes de columnas enumerados por medio de números (1, 2, 3 y 4), sin presentar volados.

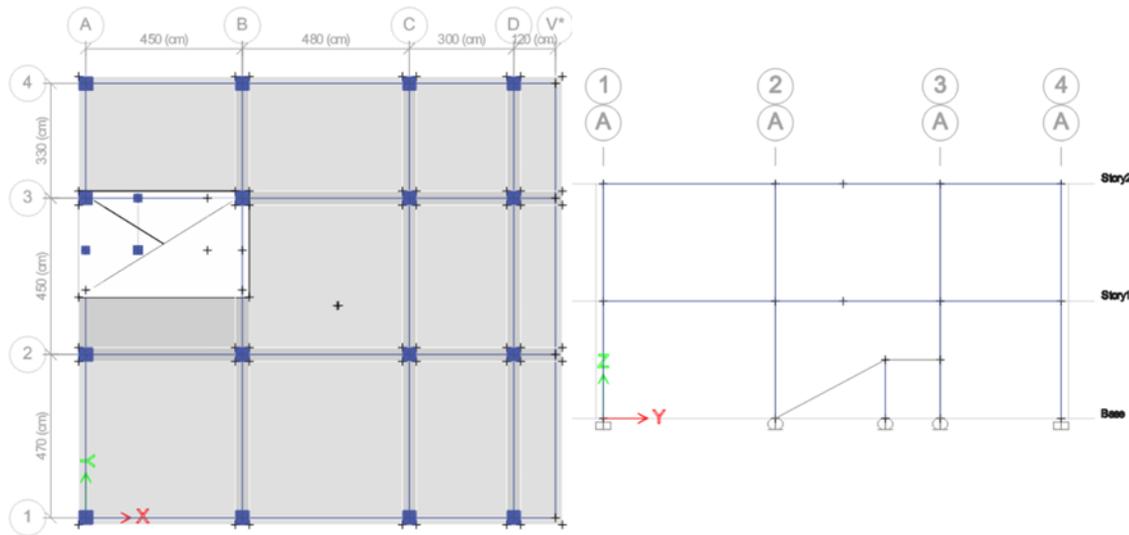


Figura 2: Vista en planta de la modelación. Figura 3: Vista en elevación de la modelación

Para el análisis de la estructura se definieron las características de la zona sísmica en la que se encuentra planteada, es decir, se analiza para el suelo tipo D, de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, sin irregularidades en planta ni elevación, y considerando un sistema de porticos especiales sismo resistente de hormigón armado con vigas descolgadas.

Análisis no lineal

Se realizará el análisis no lineal de tiempo-historia para evaluar con mayor precisión el comportamiento estructural bajo cargas sísmicas severas, este método permite simular la respuesta dinámica de la estructura considerando efectos de no linealidad en los materiales, plastificación, daños y acumulaciones de energía, aspecto que resulta fundamental en la evaluación de edificios con y sin aisladores de base, a diferencia del análisis estático lineal o espectral, que asume el comportamiento en elasticidad y simplifica la respuesta a movimientos sísmicos mediante espectros estándar, el análisis de tiempo-historia reproduce de manera realista registros sísmicos específicos, capturando fenómenos como resonancia, multimodalidad y efectos de

amortiguamiento, esta metodología proporciona datos más detallados sobre desplazamientos, fuerzas internas y daños potenciales, permitiendo una evaluación más confiable de la vulnerabilidad estructural, así como la eficacia de dispositivos aisladores, en comparación, el análisis estático es más rápido y menos costoso, pero puede subestimar o sobrestimar las demandas reales en escenarios extremos, por lo que el análisis no lineal de tiempo-historia resulta esencial para un diseño sismorresistente más preciso y seguro.

Registros sísmicos

Para el análisis se utilizarán dos registros sísmicos relevantes: uno correspondiente al sismo ocurrido en Ecuador el 16 de abril y otro registrado en Altadena, California, el sismo de Ecuador presentó una magnitud estimada en 7.8 en la escala de Richter, con un mecanismo de ruptura en la interfaz de las placas de Nazca y Sudamericana, caracterizado por un desplazamiento horizontal y vertical, y focalizado en profundidades superficiales, los registros acelerógrafos muestran picos de aceleración máxima del orden de 0.45g, con una respuesta espectral que predomina en frecuencias de 0.2 a 5 Hz, lo cual indica un potencial impacto significativo en estructuras vulnerables en la región, especialmente en el análisis de comportamiento estructural de edificios con y sin aisladores de base, por otro lado, el sismo de Altadena tuvo una magnitud de 4.5 en la escala de Richter, asociado a fallas del sistema de fallas de San Gabriel, con una profundidad estimada de 8 a 12 km. Los registros muestran una aceleración máxima cercana a 0.12g y una respuesta espectral predominante en torno a 1-3 Hz.

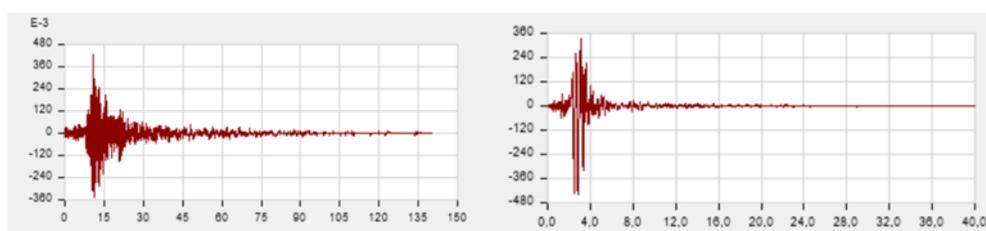


Figura 4: Espectro sísmico, 16 de abril en Ecuador. Figura 5: Espectro sísmico, Altadena.

Aislador elastoméricos

Para el análisis comparativo, se incluirán aisladores de base elastoméricos, que son dispositivos de disipación de energía utilizados en la base de las estructuras para reducir la transferencia de fuerzas sísmicas al resto del edificio, estos aisladores están compuestos por capas de elastómero de caucho reforzado con acero, dispuestas en configuraciones que permiten una deformación lateral

significativa bajo carga, actuando como un colchón de amortiguamiento sísmico, la principal función de estos dispositivos es aumentar el periodo natural de vibración de la estructura, desplazándola a frecuencias menos perjudiciales durante un evento sísmico, además de absorber parte de la energía generada por las aceleraciones sísmicas. Los aisladores elastoméricos proporcionan una respuesta en desplazamiento en lugar de fuerza, lo que los hace efectivos en reducir las fuerzas internas y mejorar la ductilidad de la estructura durante un sismo, su uso en los modelos permitirá evaluar cómo la incorporación de estos dispositivos influye en la respuesta dinámica y en la capacidad de disipación de energía del edificio, facilitando una comparación entre la estructura con y sin aisladores en escenarios de cargas sísmicas severas, esto será clave para determinar su eficacia en la protección estructural y en la mitigación de daños.

Para la elección del aislador se ha tomado en consideración las mezclas disponibles para aislamiento HDRB o apoyo de caucho de alto amortiguamiento, estas opciones se muestran en la tabla 3, junto con la figura 7, en la que se muestra el modelo de estos tipos de aisladores, para poder escoger el aislador óptimo se deben considerar todos los parámetros descritos en la tabla 4, algunos de estos parámetros se pueden visualizar en la figura 7 del tipo de aislador.

Modelo	Módulo G	Amortiguamiento
HDRB 0,4-10	0,4 MPa	10%
HDRB 0,8-10:	0,8 MPa	10%
HDRB 1,4-16	1,4 MPa	16%

Tabla 3: Mezclas disponibles para diversos valores de amortiguamiento y del módulo.

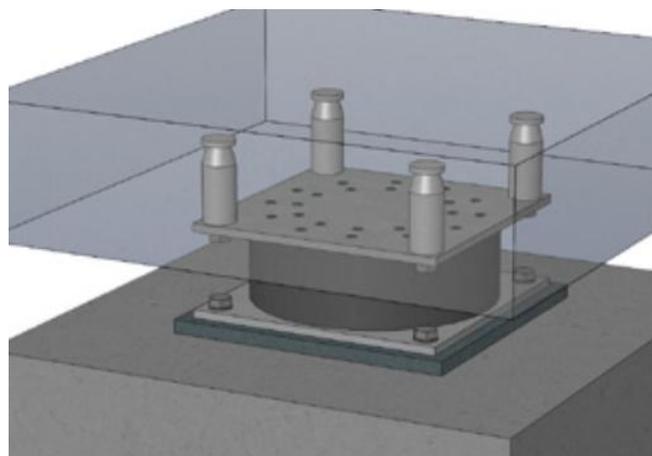


Figura 6: Modelo de aislador.

Parámetros:	
\emptyset	Diámetro
T	Altura total del elastómero
H	Altura total del aislador
$\Delta_{m\acute{a}x}$	Desplazamiento horizontal máximo
$V_{m\acute{a}x}$	Carga vertical máxima con cero desplazamientos
V_{sismo}	Carga vertical máxima con desplazamiento máximo
K_r	Rigidez horizontal

Tabla 4: Parámetros considerados en la elección del tipo de aislador.

En la vida real, los aisladores de base elastoméricos se colocan en la superficie de apoyo de la estructura, generalmente en la base del edificio, asegurados con pernos, anclajes o dispositivos de fijación diseñados para soportar cargas y movimientos sísmicos, en el análisis en ETABS utilizado en la presente investigación, estos aisladores se incluyen mediante la definición de elementos de amortiguamiento o dispositivos de aislamiento, ajustando sus propiedades mecánicas en el modelo estructural, obteniendo resultados adecuados y que nos permiten hacer la comparación de la estructura con la inclusión de estos sistemas sin la necesidad de hacer modelos costosos.

Resultados Y Discusión

Elección de aislador

Para la elección de un aislador adecuado se debe primero conocer los datos sobre la estructura en la que se va a aplicar, es decir los requerimientos con los que se debe elegir el adecuado, es por esto, que luego de modelar la estructura se obtuvo los datos principales con los que se inicia el proceso de selección, estos se describen en la tabla 5, en la que se muestran primordialmente dos parámetros, estos son el peso de la estructura y los periodos de vibración en ambas direcciones.

Peso de la estructura				
Peso (W)	559,59	ton	559590	kgf
Periodos				
t_x	0,401		m_x	0,7042
t_y	0,514		m_y	0,6726
t.obj	2,5			

Tabla 5: Peso y periodos de la estructura analizada.

Con estos datos y como paso previo al prediseño se deben definir las limitantes de ordenadas y abscisas en el gráfico de fuerza-desplazamiento, este proceso se describe en las ecuaciones 1 a 5.

$$F_{max} = 1.008 * W$$

$$V_{Di} = 0.126 * W$$

$$F_{max_aislado} = 0.16 * W$$

$$K_{eff} = \frac{W}{(T_{objetivo})^2 * g}$$

$$d_{max} = \frac{F_{max_aislado}}{K_{eff}}$$

Luego de obtener estos datos se empieza con el proceso de prediseño, siguiendo el proceso descrito en las fórmulas 6 a 12.

$$Q_d = 0.05 * W$$

$$F_Y = 0.084 * W$$

$$K_u = \frac{F_Y}{d_y}$$

$$d_{ine} = d_{max} - d_y$$

$$K_D = \frac{(F_{max_aislado} - F_Y)}{d_{ine}}$$

$$F_{sedencia} = \frac{F_Y}{N_{aisladores}}$$

$$ratio = \frac{K_D}{K_u}$$

Posteriormente, se continúa con la elección del aislador y la comprobación del diseño del mismo, considerando el proceso detallado en las fórmulas 13 a 17.

$$F_{Y_d} = \#aisladores * V_{sismo}$$

$$F_Y = 0.084 * W$$

$$K_{u_d} = \frac{F_{Y_d}}{d_y}$$

$$K_{D_d} = \frac{(F_{max_aislado} - F_{Y_d})}{d_{ine}}$$

$$ratio = \frac{K_{D_d}}{K_{u_d}}$$

Con las consideraciones descritas se procedió a obtener los valores para el edificio sin el uso de aisladores, en la tabla 5 se me muestran los valores obtenidos para el análisis no lineal, estos fueron usados para poder escoger un aislador, la figura 8 muestra una vista transversal del tipo de aislador, en la misma se muestran los parámetros que se tomaron en cuenta que son la altura y diámetro, en la tabla 7 se tienen los datos obtenidos por medio del catálogo para el aislador tipo HDRB 1.4-1.6 de 658 mm de altura ubicando un total de 4 de los mismos distribuidos de manera simétrica en la estructura, en la tabla 7 se muestran también los resultados obtenidos para las fórmulas 13 a 17.

NO LINEAL				
Qd	27979,5	ton	dmax	24,849
dy	2,5	cm		
Fy	47005,56	kgf		
Ku	18802,224	kg/cm	1175,139	kg/cm
Keff	3,60	kN/mm	Din	22,349
Kd	1902,941519	kg/m	118,9338449	kg/cm
Vsismo	2937,8475	kgf	28,82028398	kN
Ratio	0,101			

Tabla 6: Valores obtenidos para el prediseño de los aisladores.

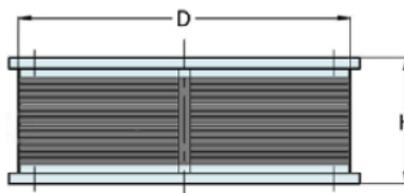


Figura 7: Vista transversal del aislador.

Aislador HDRB 1,4 - 16 (Apoyo de caucho)				
Kr = Keffd	5,33	kn/mm	1,3325	x aislador
Vsismo	28,87	kn	#aisladores	4
Vmax	36,5	kn		
Fyd	115,48	kN		
Kud	46,19	kN/cm	11,55	kN/cm
KDd	34,13	kN/cm	8,53	kN/cm
RatioD	0,739			

Tabla 7: Valores propuestos con la ubicación de aisladores.

Como se puede observar en la figura 9 y en los valores obtenidos en la tabla 6, se obtiene un radio de 0.739, lo que se considera adecuado, ya que se encuentra bajo el límite de 1, y no ocasiona un sobredimensionamiento que podría incurrir en un gasto excesivo de dinero con su instalación

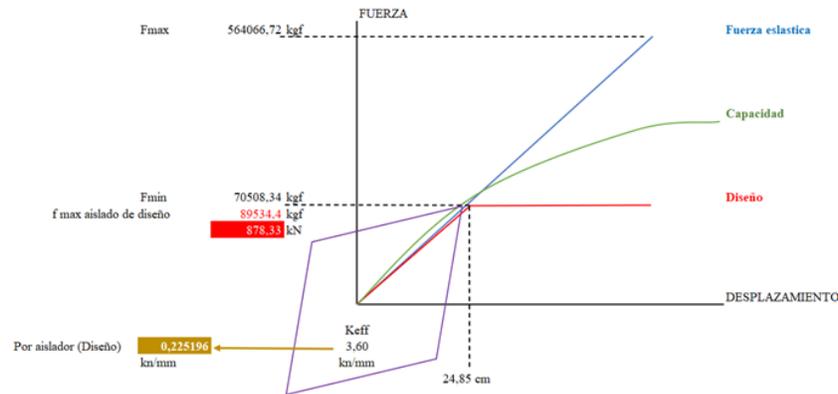


Figura 8: Diagrama fuerza-desplazamiento obtenido para el aislador.

Resultados para estructura sin aisladores

Derivas de piso

La figura 9, muestra los valores de derivas de piso obtenidos para el modelo estructural al que no se le colocaron aisladores, en la antes referida figura se juntan los valores obtenidos considerando los dos espectros analizados en ambas direcciones, obteniendo como mayor valor de deriva un porcentaje de 1.13%, este valor es menor al 2% que propone la Normativa Ecuatoriana de la Construcción como máximo permitido, por lo que no se presentan problemas en este apartado

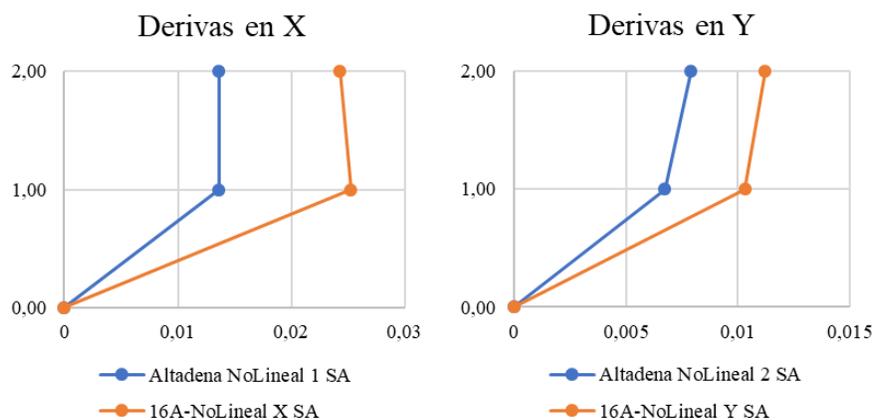


Figura 9: Derivas de piso para estructura sin aisladores.

Cortante basal

Para tomar los valores del cortante basal en la estructura sin aisladores se analizó el modelo de la estructura realizado en ETABS, el mismo brindó los resultados mostrados en la figura 10, de estos se puede observar que se obtienen como mayores valores -13868.2 kgf en la dirección X, y 467682 kgf en dirección Y.

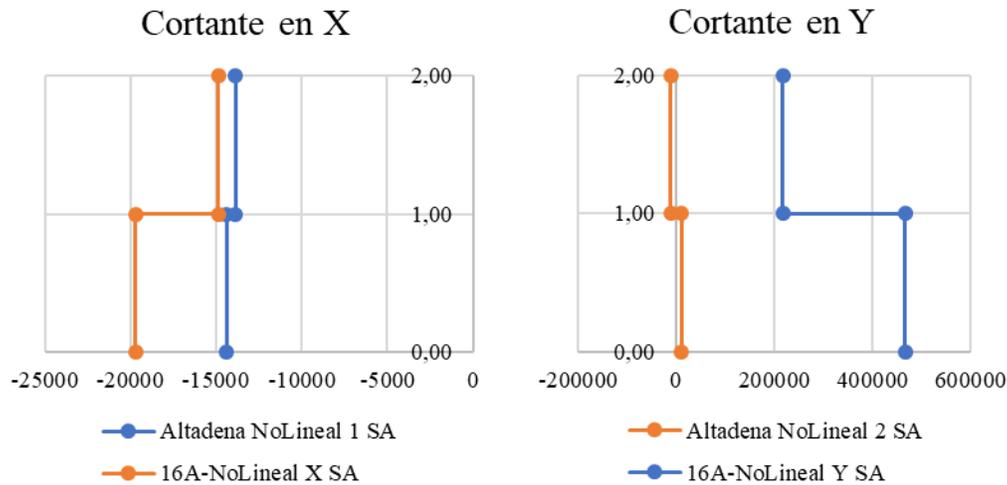


Figura 10: Cortantes en base para estructura sin aisladores.

Periodos de vibración

En los casos de vibración para el análisis y considerar el mayor porcentaje de aporte se consideraron veinte casos modales, en la tabla 8 se describen los primeros tres modos.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	0,503	0,0001	0,6788	0,266
Modal	2	0,458	0,7805	0,0281	0,0886
Modal	3	0,324	0,1078	0,1708	0,5216

Tabla 8: Periodos y participación modal para estructura sin aisladores.

Resultados para estructura con aisladores elastoméricos

Derivas de piso

En la figura 11 se muestran los valores obtenidos para las derivas de piso de la estructura con aisladores, en esta se muestra que el mayor porcentaje obtenido en la estructura para este parámetro fue de 1.45%, que se encuentra por debajo del 2% permitido por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción, por lo que para derivas de piso no existen problemáticas luego de ubicado el aislador.

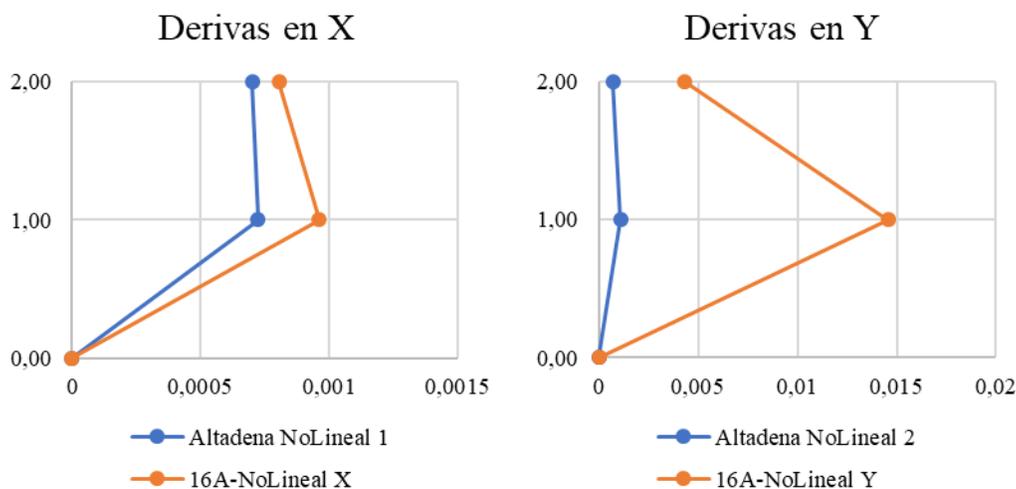


Figura 11: Derivas de piso para estructura con aisladores elastoméricos.

Cortante basal

En la estructura con aisladores elastoméricos se analizó el modelo de la estructura realizado en ETABS, el mismo brindó los resultados mostrados en la figura 12, de estos se puede observar que los cortantes obtenidos en ambas direcciones para los espectros ingresados, es decir el registro del 16 de abril de 2016 en Ecuador, y el de Altadena fueron menores a los obtenidos en la estructura sin sistema de aislamiento sísmico, también se muestra que el cortante disminuyó de menor manera.

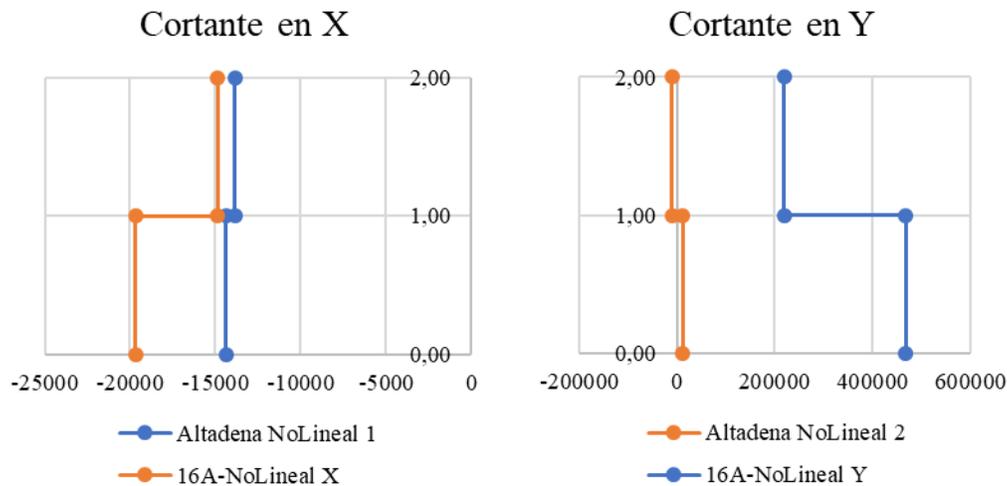


Figura 12: Cortantes en base para estructura con aisladores elastoméricos.

Periodos de vibración

Para los periodos de vibración se muestran los primeros tres modos de vibración en la tabla 9, se puede observar que el primer modo continúa siendo traslacional en la misma dirección, aunque aumentó su periodo y su participación modal ahora de del 91%, el segundo modo de igual manera continua siendo traslacional en la misma dirección con un aporte de 98%, en tanto que, el tercer modo es torsional con una participación de 89%.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	1,022	0,0002	0,9082	0,0753
Modal	2	0,975	0,9777	0,0003	0,0107
Modal	3	0,69	0,0122	0,0804	0,8816

Tabla 9: Periodos y participación modal para estructura con aisladores elastoméricos.

Comparación de resultados

Derivas de piso

Revisando las figuras 13 y 14, y considerando las derivas de piso para ambos modelos analizados se puede observar que se presentó un aumento de las derivas en el modelo con aislador, pasando de obtener una deriva máxima de 1.13% a una de 1.45%, pero es importante recalcar que estos valores se encuentran dentro del límite permitido, y no representan un indicador de vulnerabilidad

estructural, por lo que el uso de aisladores podría resultar beneficioso sin aumentar las probabilidades de problemas de derivas a posterior.

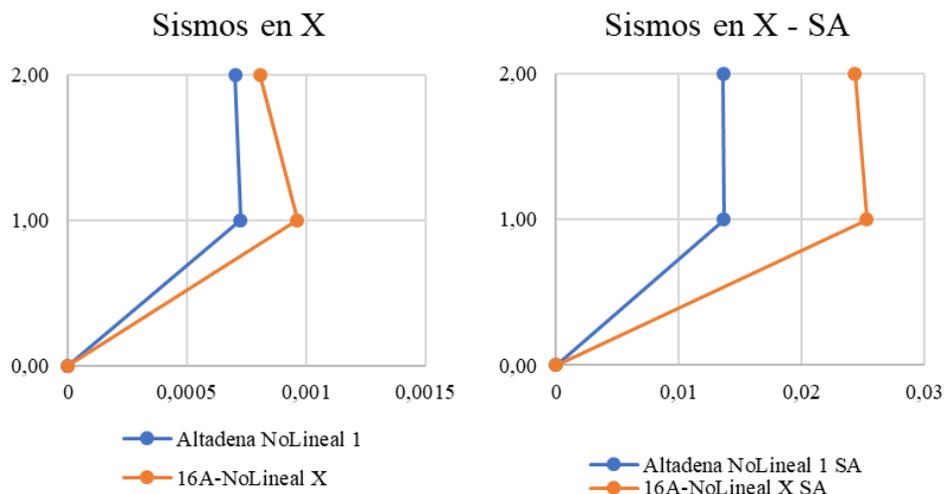


Figura 13: Valores de fuerzas por piso en sentido X.

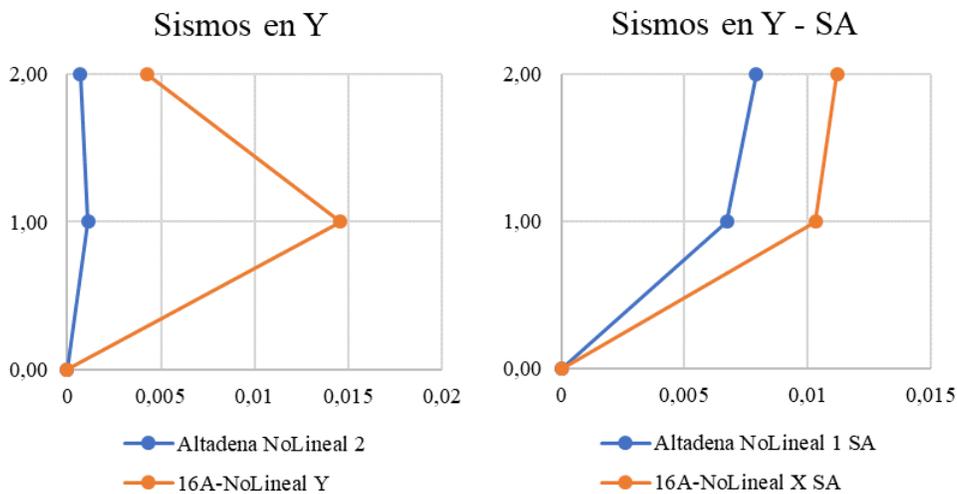


Figura 14: Valores de fuerzas por piso en sentido Y.

Cortante basal

De acuerdo a las figuras 15 y 16, que son comparativas de los valores obtenidos para ambos modelos y ambas direcciones, se puede observar que no se presenta una variación en los resultados obtenidos de los cortantes por piso.

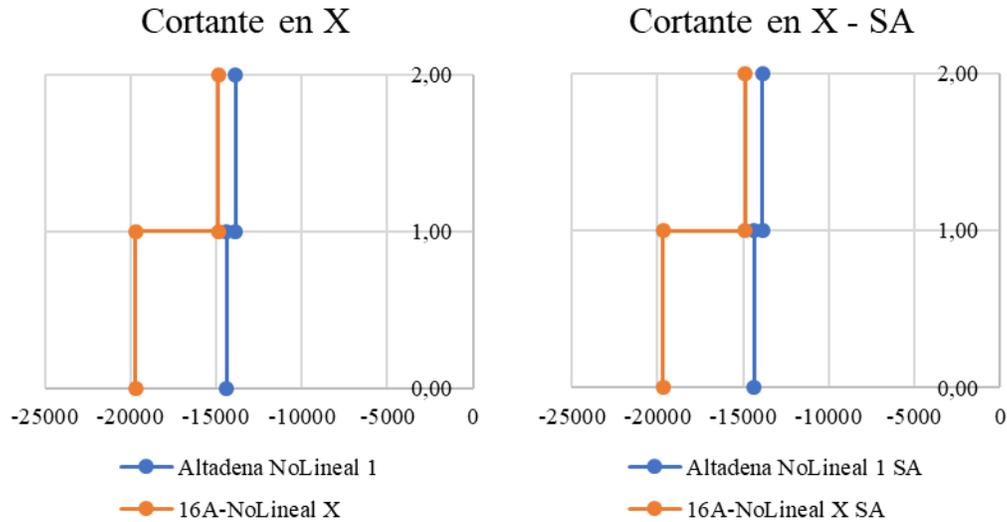


Figura 15: Comparación de cortantes en base para dirección en X.

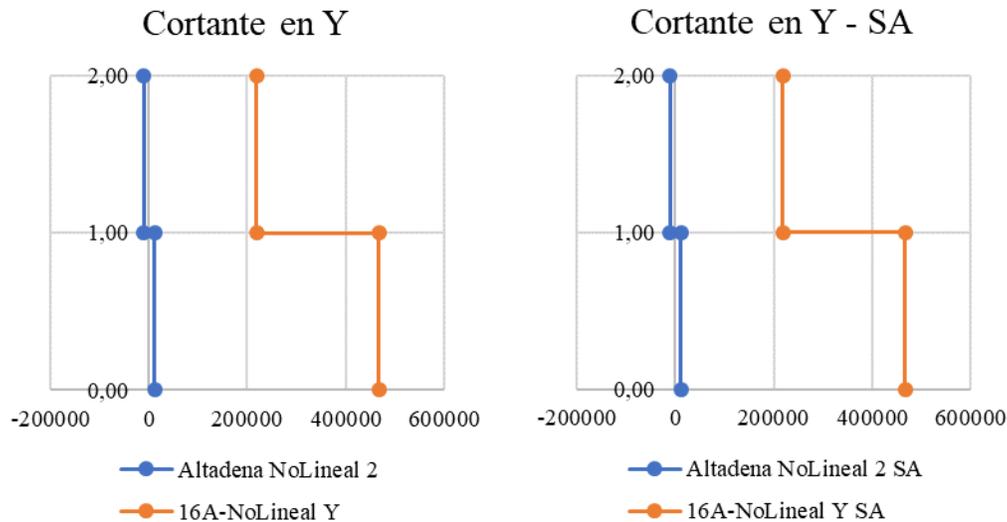


Figura 16: Comparación de cortantes en base para dirección en Y.

Periodos de vibración

De acuerdo a la tabla 10, en el caso de los periodos de vibración, la forma en la que actúan traslacional y rotacional se mantienen, pero se muestra que con la estructura con aisladores se aumentó el periodo para cada uno de los modos, así como el porcentaje de participación modal, ya que en este alcanzó hasta un 98%, esto coincide con la manera de actuar de los aisladores sísmicos,

ya que estos aumentan el periodo natural de las edificaciones logrando de esta manera disminuir las aceleraciones que generan los sismos.

Case	Mode	Sin aisladores				Con aisladores			
		Period	UX	UY	RZ	Period	UX	UY	RZ
		sec				sec			
Modal	1	0,503	0,0001	0,6788	0,266	1,022	0,0002	0,9082	0,0753
Modal	2	0,458	0,7805	0,0281	0,0886	0,975	0,9777	0,0003	0,0107
Modal	3	0,324	0,1078	0,1708	0,5216	0,69	0,0122	0,0804	0,8816

Tabla 10: Comparación de periodos y participación modal.

Esto es mucho más fácil de observar en la figura 15, en la que se hace una comparación entre los periodos obtenidos para el modelo con aisladores y sin los mismos, ya que en esta se marcan los periodos máximos obtenidos para cada modelo y es importante recalcar que en las mismas se verifica que las aceleraciones pasan de un valor de 1.008 a uno de 0.654, lo que representa una reducción del 40%, lo que comprueba lo explicado en el párrafo anterior.

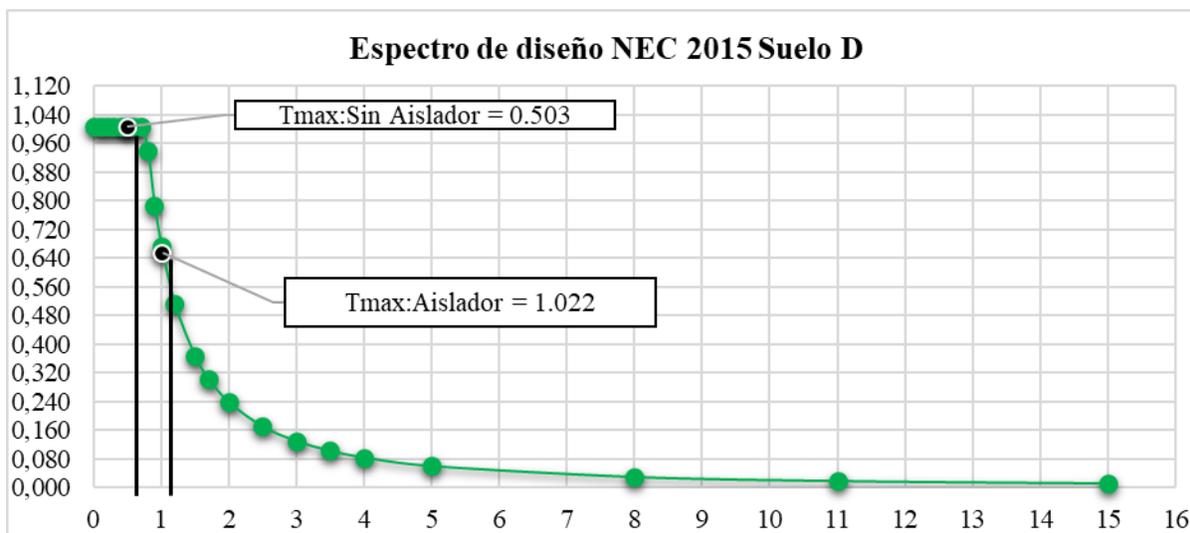


Figura 15: Comparación de los periodos obtenidos en modelo con aisladores y sin aisladores.

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del análisis dinámico permiten evidenciar cambios significativos en el comportamiento estructural tras la incorporación de aisladores sísmicos de base elastoméricos, en primer lugar, se observó un aumento en los periodos de vibración para los tres

primeros modos, lo cual es coherente con el funcionamiento esperado de estos dispositivos, ya que su principal objetivo es incrementar el periodo natural de la estructura para desplazarla fuera del rango de mayor energía sísmica, esta modificación del periodo se traduce en una reducción de las aceleraciones inducidas por los sismos, por otra parte, las formas modales se mantuvieron, siendo los dos primeros modos de carácter traslacional y el tercero torsional; sin embargo, la participación modal aumentó notablemente, alcanzando hasta un 98% en el segundo modo, lo que indica una mayor concentración de la energía del movimiento en modos específicos, facilitando su control y disipación.

Como último punto, la implementación de aisladores de base resultó beneficiosa, ya que no solo se logró modificar favorablemente la respuesta dinámica de la edificación, sino que también se observaron mejoras en términos de seguridad estructural, ya que la disminución de cortantes, el aumento de los periodos y la mayor participación modal son indicadores claros de una mejor capacidad de la estructura para absorber y disipar la energía sísmica, confirmando la efectividad de esta tecnología como medida de mitigación sísmica en edificaciones estratégicas o de uso general.

Referencias

1. Alvear, A., Campos, J., Ciancio, J., Dalaison, W., De Angelis, G., Escovar, M., . . . Zambrano , A. (Diciembre de 2023). Resiliencia y sostenibilidad en los códigos de construcción de America Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo, pp. 1-54. <https://doi.org/10.18235/0005377>
2. Castilla, J., y Montes , L. (2011). ANALISIS ESTRUCTURAL Y ECONOMICO DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA, MEDIANTE ANALISIS ESTATICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS. Universidad de Cartagena.
3. E&M. Productos Técnicos. (13 de Septiembre de 2023). E&M. Productos Técnicos. E&M. Productos Técnicos: <https://www.eymproductostecnicos.com>
4. Freyssinet Sustainable Technology. (2016). Dispositivos antisísmicos Gama ISOSISM. Soletanche Freyssinet.
5. Gutiérrez, J., y Ayala, G. (2022). Análisis de la resiliencia sísmica de edificios. Ingeniería sísmica(107), 47-73. <https://doi.org/10.18867/ris.107.603>

6. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (Diciembre de 2014). Normativa Ecuatoriana de la Construcción. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI): <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
7. Sierra, D., y Páez, D. (2020). Aisladores Sísmicos de Base: Un Compendio de Alternativas. Universidad Militar Nueva Granada.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).