

Diseño y desarrollo de suministros para la implementación en un simulador de sismos a escala

Design and development of supplies for implementation in a scale earthquake simulator

Eduardo. Palacios-Talavera^a, Tomás E. Higareda-Pliego^b, Julia Y. Arana-Llanes^c, Emmanuel Palacios-Talavera^d

Abstract:

This study focuses on designing and developing specific supplies to improve a scale earthquake simulator. The goal is to better understand seismic effects on structures and apply these advances in seismic engineering. Current supplies are analyzed and improvements are proposed to increase the effectiveness of the simulator. This work contributes to the advancement of knowledge in earthquake engineering, providing improved tools for assessing seismic risks and planning mitigation measures.

Keywords:

Implementation, development, design, scale, seismic simulator, construction materials.

Resumen:

Este estudio se enfoca en diseñar y desarrollar suministros específicos para mejorar un simulador de sismos a escala. El objetivo es comprender mejor los efectos sísmicos en estructuras y aplicar estos avances en ingeniería sísmica. Se analizan los suministros actuales y se proponen mejoras para aumentar la efectividad del simulador. Este trabajo contribuye al avance del conocimiento en ingeniería sísmica, proporcionando herramientas mejoradas para evaluar riesgos sísmicos y planificar medidas de mitigación.

Palabras Clave:

Implementación, desarrollo, diseño, escala, simulador de sismos, materiales de construcción.

Introducción

De acuerdo con [1] con estudios recientes, los sismos representan una amenaza global para la seguridad y la vida de las poblaciones. Los eventos sísmicos son un desafío constante para las infraestructuras y la seguridad de las personas. La ingeniería sísmica y la investigación

de materiales de construcción juegan un papel clave en la mitigación de riesgos ante estos fenómenos.

Los simuladores de sismos a escala son herramientas esenciales para comprender el comportamiento de las estructuras frente a estos eventos. Este trabajo se enfoca en el diseño y desarrollo de suministros especializados para simuladores de sismos a escala, con el fin de evaluar

^a Eduardo. Palacios -Talavera, TECNM/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Maestría en Ingeniería Profesionalizante, Zacatepec, Morelos, México, <https://orcid.org/0009-0009-9639-7455>, Email: eduardopala859@gmail.com

^b Autor de correspondencia: Tomás E. Higareda-Pliego, TECNM/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Sistemas y Computación, Zacatepec, Morelos, México, <https://orcid.org/0000-0003-4015-519X>, Email: tomas.hp@zacatepec.tecnm.mx

^c Julia Y. Arana-Llanes Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tlahuelilpan, Hidalgo, México <https://orcid.org/0000-0002-4986-9765>, Email: julia_arana@uaeh.edu.mx

^d Emmanuel. Palacios-Talavera, TECNM/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Maestría en Ingeniería Profesionalizante, Zacatepec, Morelos, México, <https://orcid.org/0009-0005-1419-2167>, Email: palaciostalavera8@gmail.com

Fecha de recepción: 30/09/2024, Fecha de aceptación: 18/10/2024, Fecha de publicación: 05/01/2025

el comportamiento de los materiales de construcción en condiciones controladas y a menor escala.

El problema subyacente es la falta de suministros adecuados para simular con precisión las condiciones sísmicas en estos simuladores. En este contexto, se identifican limitaciones en el acceso a componentes y equipos específicos que permitan la simulación fiel de los movimientos sísmicos.

El objetivo principal es mejorar el diseño y desarrollo de estos suministros, centrándose en la selección y comportamiento de los materiales a escala, incluyendo la reproducción de movimientos sísmicos y la evaluación de materiales en una escala reducida. Con esta investigación, se espera optimizar los recursos técnicos disponibles para que los simuladores de sismos sean más precisos y accesibles.

Se espera que este trabajo contribuya al avance en ingeniería sísmica y a la mejora de la seguridad estructural, proporcionando herramientas efectivas para evaluar materiales de construcción. Además, se busca beneficiar tanto a la comunidad académica como a la sociedad en general, especialmente en regiones vulnerables a sismos. Esto permitirá que los profesionales del sector puedan desarrollar infraestructuras más seguras y resistentes ante futuros eventos sísmicos.

Marco Referencial

De acuerdo a [1] el diseño y desarrollo de suministros para implementar simuladores de sismos a escala desempeña un papel crucial en la comprensión de cómo las estructuras reales responderían ante eventos sísmicos. Este enfoque implica el análisis minucioso de materiales y la implementación de mejoras en los simuladores para aumentar su eficacia en la reproducción de condiciones sísmicas realistas.

Este estudio se ha centrado en tres aspectos principales: diseño, desarrollo e implementación de suministros. El diseño se enfoca en la creación de suministros específicos que se adapten a las necesidades del simulador y permitan una representación precisa de los efectos sísmicos. Luego, el desarrollo implica el proceso de mejora continua de estos suministros para optimizar su desempeño. Finalmente, la implementación se refiere a la introducción práctica de estos suministros en los simuladores. Como se muestra en la siguiente **Figura 1**.

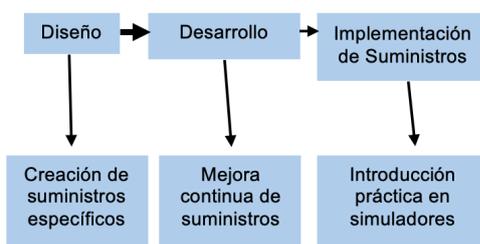


Figura 1. Se presenta el Diagrama de Flujo que ilustra el proceso estándar seguido en este estudio.

Nota: En caso de que alguna de estas fases funcione de manera independiente o no sigan este orden, se explicará más adelante.

Para evaluar la eficacia de estos suministros, son llevados a cabo diversas pruebas experimentales. Estas incluyen la construcción de estructuras a escala, que son sometidas a pruebas en una mesa vibratoria para simular movimientos sísmicos. Además, se realizan ensayos de compresión y resistencia de los bloques o tabiques utilizados en la construcción de estas estructuras. Estos ensayos tienen el fin de proporcionar información valiosa sobre la capacidad de estos materiales para soportar las fuerzas sísmicas y su comportamiento bajo condiciones extremas.

El diseño y desarrollo de suministros para implementar simuladores de sismos a escala es esencial para avanzar en el campo de la ingeniería sísmica. Al comprender mejor cómo las estructuras se comportan durante los sismos y al mejorar la capacidad de los simuladores para reproducir estas condiciones, podemos contribuir significativamente a la seguridad estructural y a la reducción de riesgos ante desastres naturales.

Metodología

Objetivo de la Metodología

De acuerdo con [2] el objetivo de esta metodología es diseñar y desarrollar suministros que permitan la simulación efectiva de sismos a escala. Esta simulación se propone como una herramienta educativa y de investigación que facilite la comprensión del comportamiento de estructuras ante diferentes condiciones sísmicas.

Diseño del Estudio

El enfoque de este estudio es experimental, dado que se busca validar y evaluar el desempeño de los suministros diseñados en un entorno controlado. Este enfoque permitirá realizar pruebas bajo condiciones que simulan distintos tipos de sismos, proporcionando datos valiosos para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

Materiales y Equipos

Los materiales seleccionados para el desarrollo de los suministros incluyen:

- Estructura Base de Tubulares: Se utilizarán tubos metálicos para la construcción de la estructura base del simulador, proporcionando resistencia y estabilidad.
- Elementos de metal: Que proporcionarán rigidez y soporte estructural.
- Sistemas de amortiguación: Para simular diferentes condiciones de respuesta de las estructuras ante sismos.
- Sensores de movimiento: Que medirán la respuesta de los materiales y estructuras durante las pruebas.
- Mesa vibratoria: Este equipo se incorporará en fases posteriores, y será fundamental para la simulación efectiva de los sismos.

Proceso de Desarrollo

El proceso de desarrollo se llevará a cabo en las siguientes etapas:

1. Análisis de Requisitos: Se realizará una identificación detallada de las especificaciones necesarias para simular diversos tipos de sismos, considerando factores como la magnitud, la frecuencia y la duración.
2. Diseño Conceptual: Se desarrollarán diseños preliminares que cumplan con los requisitos establecidos. Este diseño incluirá diagramas y esquemas que ilustren la disposición de los suministros.
3. Selección de Materiales: Se llevará a cabo una investigación sobre los materiales más adecuados para la construcción de los suministros, considerando su costo, disponibilidad y propiedades mecánicas.
4. Prototipado: Se fabricará un prototipo inicial de los suministros, el cual será construido utilizando los materiales seleccionados en la etapa anterior.
5. Pruebas Iniciales: Se realizarán pruebas para evaluar el desempeño del prototipo. Estas pruebas incluirán simulaciones de sismos de distintas magnitudes, utilizando métodos manuales o mecánicos hasta la incorporación de la mesa vibratoria.

Métodos de Evaluación

Para evaluar la efectividad de los suministros y la simulación, se utilizarán sensores de movimiento que medirán la aceleración y desplazamiento de las estructuras durante las pruebas.

Además, se llevarán a cabo comparaciones con datos de sismos históricos para validar la precisión de los resultados obtenidos.

Cronograma

El cronograma estimado para la implementación de la metodología es el siguiente:

- Fase de Diseño: 1 mes
- Fase de Desarrollo: 2 meses
- Fase de Pruebas y Ajustes: 1 mes

Conclusiones de la Metodología

Esta metodología proporciona un marco estructurado para el diseño y desarrollo de suministros para un simulador de sismos a escala. A través de un enfoque experimental, se busca validar la efectividad de los suministros en la simulación de diversas condiciones sísmicas, contribuyendo así al avance del conocimiento en la respuesta de estructuras ante sismos.

Desarrollo

De acuerdo a [3] [4] la seguridad estructural ante eventos sísmicos es un aspecto crucial en la ingeniería civil. En este contexto, el diseño y desarrollo de suministros para simuladores de sismos a escala desempeñan un papel esencial. Este estudio se enfoca en los avances en este campo, centrándose en los aspectos de desarrollo y diseño de suministros, así como en la evaluación de sus efectos en pruebas experimentales.

1.- Desarrollo de Suministros: implica un proceso continuo de mejora para optimizar su desempeño. Esto incluye la investigación de nuevos materiales, técnicas de calibración y la integración de componentes como actuadores sísmicos, sensores de movimiento y sistemas de control. Estos elementos trabajan en conjunto para reproducir fielmente los movimientos sísmicos en modelos estructurales a escala.

2.- Suministros Específicos y Necesidades de los Simuladores:

Entre los suministros específicos se encuentran modelos de estructuras, sistemas de amortiguación y dispositivos de sujeción. Las necesidades de los simuladores varían según la escala y el tipo de estudio, pero se busca siempre alta precisión en la reproducción de movimientos sísmicos y la capacidad de realizar pruebas repetibles.

3.- Evaluación de Efectos Sísmicos:

La evaluación de efectos sísmicos se realiza mediante pruebas experimentales que simulan movimientos sísmicos en estructuras a escala. Esto incluye pruebas de resistencia, análisis de vibraciones y mediciones de deformación para comprender el comportamiento estructural ante diferentes condiciones sísmicas. También se incluyen pruebas de compresión para evaluar la capacidad de los materiales utilizados en la construcción de las estructuras para soportar cargas verticales.

4.- Pruebas y resultados de compresión de bloques y cilindros:

La dosificación de los bloques de concreto y del cilindro como se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Dosificación del bloque y cilindro.

Resistencia F'c (Bloque)	Cemento	Arena	Grava	Agua		
Kg/Cm ²	Kg	Kg	Kg	Kg		
210	368.71	695.48	1100.11	239.36		
Dimensión del Cilindro	Volumen de Cilindro	Cemento	Arena	Grava	Agua	
	M ³	Kg	Kg	Kg	Kg	
10 x 20 cm	0.008	2.95	5.56	8.8	1.91	

En la gráfica de barras se destaca que la mayor proporción corresponde a la grava, seguida de la arena y el cemento. El volumen del cilindro y el agua presentan las cantidades más reducidas como se muestra en la **Figura 2**.



Figura 2. Gráfica de barras de la dosificación del bloque y cilindro.

Las pruebas experimentales abarcan desde la construcción de modelos a escala sometidos a movimientos sísmicos en una mesa vibratoria, hasta ensayos de compresión y resistencia de materiales. Durante las pruebas de compresión, se sometieron los bloques utilizados en la construcción de las estructuras a

cargas verticales controladas para evaluar su resistencia y capacidad para soportar fuerzas sísmicas. Primero se pesó el material tanto arena, grava, cemento y agua como se muestra en la **Figura 3**.



Figura 3. Peso de los materiales.

Luego, se realizó la mezcla del material, la arena, el cemento y el agua, como se muestra en la **Figura 4**.



Figura 4. Mezcla del material.

A continuación, aplicamos aceite quemado en los moldes antes de vaciar el concreto en el molde del cilindro y en los moldes para los bloques macizos de concreto. Luego, dejamos secar de 5 a 7 días para asegurar que el proceso finalice completamente, como se muestra en la **Figura 5**.



Figura 5. Engrase de moldes y vaciado de concreto.

Los bloques de concreto y el cilindro después de 7 días de secado se muestran en la **Figura 6**.



Figura 6. Dos bloques macizos y un cilindro.

se observa el comportamiento del bloque bajo carga durante la prueba de compresión, permitiendo visualizar cómo responde este elemento estructural como se muestra en la **Figura 7**.



Figura 7. Prueba de compresión del bloque macizo.

El comportamiento del cilindro durante la prueba de compresión destaca por las diferencias en su respuesta bajo carga en comparación con el bloque, como se muestra en la **Figura 8**.



Figura 8. Prueba de compresión del cilindro.

De acuerdo a [4] se sumergió un bloque de concreto en agua durante 24 horas, siguiendo las normas, antes de realizar la prueba de compresión.

Los resultados indicaron que puede soportar una carga máxima de aproximadamente 35 MPa antes de romperse, cumpliendo así con las normas de construcción.

Este resultado es crucial para los ingenieros y constructores, ya que les permite evaluar si el bloque de concreto satisface los requisitos de resistencia necesarios para su aplicación específica, como la construcción de estructuras. Lo anterior se muestra en la **Figura 9**.



Figura 9. Curado del bloque macizo en agua durante 24 horas y prueba de compresión.

A continuación, se detalla la resistencia de diferentes tipos de bloques de concreto según las normativas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012. La tabla incluye información sobre la configuración de las piezas, las resistencias medias expresadas en megapascuales (MPa) y kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), así como la absorción de agua del concreto en un periodo de 24 horas, como se presenta en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resistencia de bloques mostrada en la tabla.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media Mpa (kg/cm ²) NMX-C-441-ONNCCE-2013	Resistencia media Mpa (kg/cm ²) NMX-C-404-ONNCCE-2012	Absorción de agua del concreto (en 24 h)
Bloque	Macizo o hueco	3.5 Mpa (35 kg/cm ²)	9 Mpa (90 kg/cm ²)	12% (bloques estructurales)
Piezas para celosías	Cara rectangular	2.5 Mpa (25 kg/cm ²)	-	25% (bloques no estructurales)
Piezas para celosías	Cara no rectangular	2.5 Mpa (25 kg/cm ²)	-	25% (bloques no estructurales)

De acuerdo a [5] los resultados cumplen con las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 para bloques de concreto macizo y muestran una resistencia cilíndrica de:

$$35 \text{ MPa} = 35 * 10 \text{ kg/cm}^2 = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$35 \text{ MPa} = 35 * 0.1 \text{ t/cm}^2 = 3.5 \text{ t/cm}^2$$

5.- Contribuciones a la Ingeniería Sísmica:

De acuerdo a [6] en esta investigación, se ha puesto el enfoque en la resistencia de los materiales mediante pruebas de compresión, que son cruciales para evaluar la capacidad de los bloques en soportar cargas estáticas. Sin embargo, es cierto que factores como los cimientos, la altura de las estructuras, y los movimientos oscilatorios (sismos) también son fundamentales para el comportamiento general de los edificios.

El análisis del impacto de los cimientos y la altura involucra estudios estructurales más completos que consideran el diseño de la cimentación, la distribución de cargas, y cómo esas cargas varían en función de la altura. En cuanto al movimiento oscilatorio, esto se relaciona con las fuerzas dinámicas que se ejercen sobre la estructura durante eventos sísmicos. Estas pruebas dinámicas a escala, que simulan movimientos oscilatorios, son complementarias a las pruebas de compresión y permiten evaluar la respuesta de la estructura a diferentes tipos de movimientos.

Una propuesta para sumarse a lo encontrado en este estudio sería complementar las pruebas de compresión con simulaciones sísmicas o ensayos dinámicos, que permitan estudiar cómo las vibraciones y oscilaciones afectan a la estructura de los bloques y del edificio en su conjunto.

Resultados:

De acuerdo a [7] [8] El diseño y desarrollo de suministros para la implementación en simuladores de sismos a escala ha generado hallazgos significativos que prometen avanzar en la comprensión y mitigación de los riesgos sísmicos. Destacan los siguientes resultados:

1.- Comprensión ampliada de los efectos sísmicos: La creación de suministros especializados ha permitido una mejor comprensión de cómo las estructuras responden ante eventos sísmicos. Estas mejoras en los simuladores han facilitado la reproducción de condiciones sísmicas realistas, lo que constituye un avance crucial en la evaluación de riesgos y la planificación de medidas de mitigación.

2.- Optimización de materiales y técnicas: El proceso de desarrollo de suministros ha involucrado la investigación exhaustiva de nuevos materiales y técnicas de calibración. Esto ha llevado a la identificación de materiales más adecuados para simular movimientos sísmicos y mejorar la capacidad de los simuladores para reproducir estas condiciones con precisión.

3.- Validación a través de pruebas experimentales: Diversas pruebas experimentales, que incluyen la construcción de modelos a escala y ensayos de resistencia de materiales, han proporcionado evidencia sólida sobre el comportamiento estructural ante diferentes condiciones sísmicas. Estas pruebas han confirmado la capacidad de los suministros desarrollados para soportar fuerzas sísmicas y su relevancia en la evaluación de riesgos.

4.- Cumplimiento de estándares de resistencia: Los resultados de las pruebas de compresión han demostrado que los bloques de concreto diseñados cumplen con las normas de resistencia establecidas. Este hallazgo es crucial, ya que garantiza la idoneidad de estos materiales para su implementación en la construcción de estructuras sujetas a sismos.

Conclusiones

De acuerdo a [9] en conclusión, el diseño y desarrollo de suministros para simuladores de sismos a escala representan un avance significativo en el campo de la ingeniería sísmica. Esta investigación no solo valida la eficacia de los materiales de construcción bajo condiciones sísmicas, sino que también proporciona un enfoque integral para evaluar la resistencia estructural. Los resultados obtenidos permiten hacer recomendaciones clave para las casas de materiales y los ingenieros involucrados en la construcción de edificaciones en zonas de riesgo sísmico.

Uno de los hallazgos más importantes es la confirmación de que los bloques de concreto, cuando se someten a pruebas de compresión controladas en simuladores a escala, cumplen con los estándares de resistencia establecidos. Esto refuerza la recomendación de utilizar bloques con propiedades similares en proyectos de construcción en áreas propensas a terremotos. A las casas de materiales, se les sugiere seguir optimizando los procesos de fabricación para garantizar que los bloques mantengan una resistencia constante y minimizar las variaciones que puedan afectar su desempeño en situaciones reales.

Este estudio complementa investigaciones previas sobre la resistencia estructural de materiales bajo estrés sísmico. Otros estudios han evaluado diversos enfoques

para mejorar la capacidad de los materiales, como el uso de aditivos o refuerzos internos, mientras que nuestra investigación aporta un enfoque experimental que demuestra la eficiencia de los bloques de concreto bajo condiciones simuladas realistas. Al combinar simulaciones con pruebas experimentales, se refuerza la importancia de validar los materiales antes de su implementación en el mundo real, lo cual proporciona un enfoque más completo para la prevención de fallas estructurales.

Qué se aprendió: Esta investigación demostró que los simuladores a escala permiten medir de manera precisa el comportamiento de los materiales de construcción bajo condiciones sísmicas. Se aprendió que los bloques de concreto reforzado cumplen con los estándares de resistencia necesarios y pueden utilizarse con seguridad en zonas sísmicas. Además, se confirmó que el diseño y control de calidad de los bloques juegan un papel esencial en la durabilidad de las estructuras.

Qué se probó: Se validó la resistencia de los bloques de concreto bajo pruebas de compresión en simuladores de sismos, con resultados que demostraron que estos bloques son una opción viable para la construcción en áreas de riesgo sísmico. El estudio probó además que los métodos experimentales usados en las simulaciones a escala ofrecen resultados consistentes y útiles para la planificación estructural.

Qué aporta al mundo esta investigación: Este estudio aporta una herramienta crítica para ingenieros y constructores al ofrecer un marco de referencia sólido para evaluar la resistencia de los materiales de construcción antes de su implementación en proyectos. Además, refuerza la importancia del uso de simulaciones realistas para prever el comportamiento de las estructuras bajo estrés sísmico. Contribuye a la creación de estrategias más efectivas para mitigar riesgos y fortalecer la resiliencia de las comunidades ante desastres naturales, brindando a la industria de la construcción un enfoque más confiable para garantizar la seguridad de sus proyectos.

Recomendaciones para trabajos futuros:

Basado en los resultados obtenidos, se formulan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas:

1.- Continuar la investigación: Se recomienda continuar investigando y desarrollando nuevos suministros y técnicas para mejorar aún más la capacidad de los simuladores de sismos a escala. Esto podría incluir la exploración de materiales innovadores y el refinamiento de métodos de calibración.

2.- Aplicación práctica: Los resultados obtenidos deben aplicarse en la práctica, especialmente en la construcción y mejora de infraestructuras en regiones vulnerables a sismos. Esto contribuirá significativamente a la seguridad estructural y a la reducción de riesgos sísmicos en estas áreas.

3.- Colaboración interdisciplinaria: Se insta a promover la colaboración interdisciplinaria entre ingenieros, arquitectos, geólogos y otros profesionales relacionados con la ingeniería sísmica. Esta colaboración puede enriquecer el proceso de diseño y desarrollo de suministros para simuladores de sismos a escala y catalizar avances significativos en el campo.

Referencias

- [1] Ingeniería y Competitividad. (s/f). Redalyc.org. Recuperado el 26 de marzo de 2024, <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323528007.pdf>
- [2] Soto Poblete, M. L., & Alsina Corvalán, M. A. (profesor G. (2022). Construcción de una plataforma de simulación sísmica. Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería en Construcción.
- [3] Cemex México: Líderes en Construcción. (s/f). Cemexmexico.com. Recuperado el 17 de octubre de 2024, de <https://www.cemexmexico.com/>
- [4] Franco Escamiroso Montalvo, L. (s/f). [Revista Digital Espacio I+D]. Recuperado el 30 de abril de 2024, de <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/287/1156>
- [5] NMX C 404 ONNCCE 2012 Block Uso Estructural. (s/f). Scribd. Recuperado el 30 de abril de 2024, de <https://es.scribd.com/document/409462779/NMX-C-404-ONNCCE-2012-Block-Uso-Estructural>
- [6] Camargo Sánchez, D. (s/f). Mesa vibratoria para probar configuraciones estructurales. Edu.ve. Recuperado el 23 de mayo de 2024, de <http://www.unet.edu.ve/noticia-unet/2785-mesa-vibratoria-para-probar-configuraciones-estructurales.html>
- [7] (S/f-h). Imcyc.com. Recuperado el 22 de abril de 2024, de <https://www.imcyc.com/ct2006/junio06/Problemas.pdf>
- [8] García Soto, A. D., Pozos-Estrada, A., Hong, H., & Gómez Martínez, R. (2012). Estimación del peligro sísmico debido a sismos interplaca e inslab y sus implicaciones en el diseño sísmico. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 86, 27-54. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2012000100002
- [9] Rodríguez, M. E. (2016). Una revisión crítica de la práctica de diseño por sismo de estructuras en México. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 94, 27-48. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100027