



¿Está preparado el Insurgente para un terremoto?

Un análisis basado en los sismos de septiembre de 2017

Is Insurgent prepared for an earthquake? An analysis based on the September 2017 earthquakes

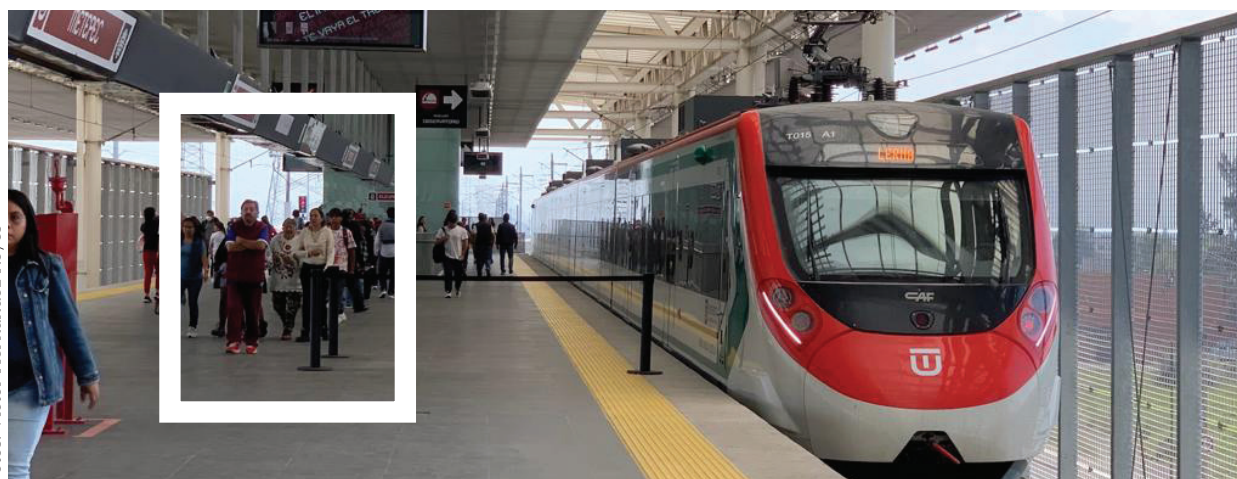
Por José Ángel Romero Ríos, José Juan García Romero, Rosa María Valdovinos Rosas y David Joaquín Delgado Hernández

Resumen: Después de la tragedia de la Línea 12, diversos estudios fueron realizados en estructuras ferroviarias del metro de la Ciudad de México para verificar su seguridad. Algunas hipótesis apuntan a que las posibles causas del derrumbe fueron los daños estructurales que debilitaron la unión de las vigas horizontales (trabes), consecuencia de los sismos de 2017. Ante la reciente inauguración del Tren Interurbano México-Toluca, el Insurgente, es de suma importancia estar alertas y evaluar la seguridad de este medio de transporte. Utilizar las nuevas herramientas digitales con las que contamos podría ser una forma rápida, segura y efectiva de lograr proyecciones en la prevención y acción en caso de que un fenómeno natural de este tipo ocurra nuevamente.

Palabras clave: tren interurbano, riesgo, sismos, seguridad.

Abstract: After the Line 12 tragedy, several studies were carried out in railway structures of the Mexico City subway to verify their safety. Some hypotheses point to the fact that the possible causes of the collapse were structural damages that weakened the union of the horizontal beams, a consequence of the 2017 earthquakes. In view of the recent inauguration of the Mexico-Toluca Intercity Train, the Insurgente, it is of utmost importance to be alert and evaluate the safety of this means of transportation. Using the new digital tools we have could be a fast, safe and effective way to achieve projections in prevention and action in case a natural phenomenon of this type occurs again.

Keywords: intercity train, risk, earthquakes, safety.



Fotos: Víctor Hernández Reyes

Los sismos son fenómenos naturales en los que se libera energía acumulada mediante ondas que se propagan a través de la corteza terrestre, causando vibraciones y estragos en el suelo. La magnitud de los sismos es medida en la escala de Richter con el fin de estimar la energía liberada durante el evento (Comisión..., 2023). Estos movimientos han revelado la importancia de evaluar y fortalecer las estructuras civiles para garantizar la seguridad y reducir los daños en edificios, carreteras y monumentos.

El 7 y el 19 de septiembre de 2017, dos fuertes sismos sacudieron diferentes regiones de la República Mexicana, provocando una gran cantidad de daños materiales y pérdida de vidas humanas. En el sistema ferroviario y en el metro se registraron averías menores en algunas estaciones y vías. El primer sismo, con epicentro en Chiapas, tuvo una magnitud de 8.2 grados, aunque su impacto directo en el sistema ferroviario y en el metro fue limitado, se reportaron pequeños incidentes en algunas estaciones y vías (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

En tanto, el segundo tuvo una magnitud de 7.1 grados con epicentro en Puebla, que afectó principalmente a la Ciudad de México y sus alrededores. En este caso, los sistemas de trenes y del metro sufrieron daños significativos. Varios tramos de las líneas se derrumbaron en algunas estaciones y estructuras colapsadas. Se reportaron múltiples víctimas, incluidos trabajadores y pasajeros.

De acuerdo con *Animal Político* (Angel, 2017), en el sismo del 7 de septiembre se registraron 76 personas fallecidas en Oaxaca, 15 en Chiapas y 4 en Tabasco, pero no existe mayor información sobre las características y la localización geográfica de las víctimas para ahondar en el estudio (Gobierno de México, 2017a).

Teniendo en cuenta estos acontecimientos y la reciente inauguración del Tren Interurbano México-Toluca en el Estado de México, es necesario analizar la estructura de este medio de trans-



porte y anticipar cómo puede afectarlo un sismo, además de diseñar medidas preventivas para fortalecer y mejorar la seguridad de los pasajeros.

En julio de 2014 surgió este proyecto por parte del Gobierno federal; su objetivo era conectar la zona metropolitana de Toluca con el sector poniente de la Ciudad de México. Al inicio, se destinaron 93,143 millones de pesos; posteriormente, 1,300 (ADNoticias, 2023). El Gobierno del Estado de México (2023) estimó que diariamente podría dar servicio a 230 mil personas, es decir, cerca de 10 millones al año. La estructura abarca una distancia total de 57.7 kilómetros y contará con 7 estaciones, 2 terminales y 5 paradas intermedias.

La sección que atraviesa la Ciudad de México cubre una distancia de 17 kilómetros, con salida del portal oriente del túnel de la autopista federal México-Toluca, ubicado en Cuajimalpa, y finaliza en la estación del metro Observatorio, situada en la alcaldía Álvaro Obregón. Las tres estaciones



Tecnología



que se encuentran en la ciudad son Santa Fe, Vasco de Quiroga y la terminal Observatorio (Gobierno del Estado de México, 2023).

El tramo de Zinacantepec a Lerma inició operaciones el 15 de septiembre y, aunque debe existir un protocolo de prevención y atención frente a un desastre natural, resulta pertinente analizar las condiciones de la infraestructura ferroviaria y el impacto que podría tener en caso de que ocurriera un sismo.

Pese a tratarse de una obra de alta ingeniería, las condiciones del suelo, tanto de la Ciudad de México (CDMX) como del Valle de Toluca, son un factor determinante para la integridad de las estructuras al ser sometidas a eventos sísmicos, y se han realizado diversos estudios que relacionan el impacto de los movimientos telúricos en las armazones ferroviarias. En el estudio de impacto urbano realizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017) se encontró una

vulnerabilidad en el coeficiente de seguridad de estabilidad global, tanto estático ($FS \geq 1.5$) como a los sismos de servicio y de colapso ($FS \geq 1.0$) en los tramos de Santa Fe y Tacubaya, pues no cumplen con el mínimo debido a la zona. En la investigación se utilizaron métodos de estudio geológico, litoestratigráfico, hidrológico, mecánica de suelo, análisis geotécnico y técnicas de ingeniería de cimentación, entre otros.

En este caso, las nuevas tecnologías son de gran ayuda en la simulación de situaciones y prevención de accidentes. Se pueden crear diversos escenarios donde las estructuras de las vías de trenes muestran un desgaste o agrietamiento, lo que implica riesgos en la seguridad, así como un costo elevado en el mantenimiento (Oh et al., 2022). Para ello se utilizaron algoritmos de *machine learning* (ML) como las redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales recurrentes (LSTM), *random forest* (RF), entre otros, con el propósito de identificar estos defectos antes de que causen un problema mayor. Otra propuesta se centra en el uso de algoritmos de aprendizaje automático para el diagnóstico y pronóstico de defectos en vías férreas (Chenariyan et al., 2019).

Asimismo, se estudia la importancia del mantenimiento de las estructuras ferroviarias para la optimización de los caminos de tren de línea cruzada en ferrocarriles de alta velocidad en China, a través de un modelo combinado de aprendizaje profundo (CNN-GRU), con el fin de predecir la velocidad del tráfico logístico ferroviario (Cao, 2022). Otra propuesta presenta una revisión ambiciosa y exhaustiva de las

aplicaciones del ML en la ingeniería estructural, donde abarcan diversos aspectos y áreas de aplicación ferroviaria (Thai, 2022).

Aunque sabemos que los sismos son eventos naturales impredecibles, el estudio de su comportamiento e impacto en las estructuras civiles demuestra el interés de la comunidad científica por advertir y anticipar tragedias y pérdida de vidas. La importancia del Insurgente como medio de transporte para la región es indiscutible, pero aún surgen varias interrogantes en cuanto a seguridad y funcionamiento en condiciones de sismicidad. Por tal motivo, se pueden considerar algunas estrategias que minimizan el riesgo, como la reducción del aforo de pasajeros en horas pico (evitar exceso de carga viva), asegurar el reforzamiento de los elementos estructurales mediante encamisados de concreto, acero o fibra de carbono y la instalación de topes sísmicos para amortiguar los efectos de los movimientos telúricos. 📌

PESE A TRATARSE DE UNA OBRA DE ALTA INGENIERÍA, EL INSURGENTE SE ENCUENTRA EN UNA ZONA DE ALTA ACTIVIDAD SÍSMICA QUE PUEDE AFECTAR LA ESTRUCTURA FERROVIARIA

Referencias

- ADNoticias (2023). "¿Cuánto costará el viaje en el Tren México-Toluca?". <<https://adnoticias.mx/costo-tren-mexico-toluca/>>.
- Angel, Arturo (2017). "Los sismos de septiembre son los desastres con más víctimas en lo que va del siglo en México", en *Animal Político*. <<https://animalpolitico.com/2017/11/sismos-septiembre-desastres-letales-siglo>>.
- Cao, Ke (2022). "A Machine Learning-Based Approach to Railway Logistics Transport path Optimization", en *Mathematical Problems in Engineering*, pp. 1-11. <https://www.researchgate.net/publication/360143465_A_Machine_Learning-Based_Approach_to_Railway_Logistics_Transport_Path_Optimization>.
- Chenariyan Nakhaee, Muhammad et al. (2019). "The Recent Applications of Machine Learning in Rail Track Maintenance: A Survey", en *Lecture Notes in Computer Science*, núm. 1, pp. 91-105. <https://www.researchgate.net/publication/333225729_The_Recent_Applications_of_Machine_Learning_in_Rail_Track_Maintenance_A_Survey>.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, Costa Rica (2023). ¿Qué es un sismo? <https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_consejos/sismo.aspx>.
- Edificios de México (2023). "Tren Interurbano México-Toluca". <<https://www.edemx.com/site/tren-interurbano-mexico-toluca/>>.
- Infobae (2023). "Tren interurbano México-Toluca: inauguración, costos y estaciones". <<https://www.infobae.com/mexico/2023/08/09/tren-interurbano-mexico-toluca-inauguracion-costos-y-estaciones/>>.
- Gobierno de México (2017a). "El sismo de mayor magnitud en casi cien años en México. Sismo de Tehuantepec, 7 de septiembre de 2017". <<https://www.gob.mx/cenapred/articulos/el-sismo-de-mayor-magnitud-en-casi-cien-anos-en-mexico-sismo-de-tehuantepec-7-de-septiembre-de-2017>>.
- (2017b). Sismos: Causas, características e impactos. <<https://www.gob.mx/sgm/es/articulos/sismos-causas-caracteristicas-e-impactos?idiom=es>>.
- Oh, Kyuetaek et al. (2022). "A review of deep learning applications for railway safety", en *Applied Sciences*, vol. 12, núm. 20, p. 105. <<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/20/10572>>.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017). "Estudio de impacto urbano. Tramo 3. Adecuaciones, actualizaciones y modificaciones al proyecto ejecutivo del Tren Interurbano México-Toluca que se requieran durante la etapa constructiva". <https://obras.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Tren%20Interurbano/Estudio%20de%20Impacto%20Urbano_compressed_compressed_compressed.pdf>.
- Servicio Geológico Mexicano (2017). "SISMOS: Causas, características e impactos". Gobierno de México. <<https://www.gob.mx/sgm/es/articulos/sismos-causas-caracteristicas-e-impactos?idiom=es>>.
- Thai, Huu-Tai. (2022) "Machine learning for structural engineering: A state-of-the-art review", en *Structures*, vol. 38, pp. 448-491. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012422000947>>.



José Ángel Romero Ríos es estudiante de Ingeniería en Computación en la UAEMéx, participa en proyectos de investigación relacionados con el tratamiento de imágenes digitales, ciencia y analítica de datos aplicada.



José Juan García Romero es estudiante de Ingeniería en Computación en la UAEMéx, colabora en investigaciones sobre el tratamiento de imágenes digitales, ciencia y analítica de datos aplicada.



Rosa María Valdovinos Rosas es doctora en Ciencias Computacionales, miembro del SNI, nivel II, con productos que inciden en varios PRONACES: proyectos de investigación. Ha formado estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. Colabora en la organización de actividades académicas para la divulgación de la ciencia, acciones orientadas a niñas en la computación y vocaciones tempranas.



David Joaquín Delgado Hernández es ingeniero civil y maestro en Ingeniería de Sistemas por la UNAM. Doctor en Ingeniería por la Universidad de Birmingham, Inglaterra. Autor de 4 libros, más de 100 artículos técnicos y líder de 15 proyectos de investigación científica sobre ingeniería. Ha brindado más de 50 conferencias internacionales. Actualmente, es profesor de licenciatura, maestría y doctorado en las facultades de Ingeniería y Arquitectura y Diseño de la UAEMéx.