

Aspectos de la socavación en puentes mexicanos

María de la Consolación Trinidad Juana Gómez Soberón

Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco
sls@azc.uam.mx

José Giovanni Cruz Vargas

Universidad Nacional Autónoma de México
yovannovic@gmail.com

Resumen

El daño en puentes puede ocasionar grandes pérdidas económicas por la reparación o reposición de la estructura o porque ésta deje de funcionar. En este sentido, uno de los problemas que ocasiona mayores afectaciones en puentes es la socavación. En este texto se comenta brevemente este fenómeno, sus causas y principales consecuencias. También se describen algunos daños en puentes de México, se comentan cifras de las consecuencias de estas afectaciones y estadísticas recientes. Finalmente, se proponen acciones que, particularmente en nuestro país, se podrían desarrollar para mitigar estos eventos.

Palabras clave

Puentes, socavación y daño.

Abstract

Bridge damage could cause huge economic losses due to the repair or replacement of the structure or because it stops function. One of the problems that cause the greatest damage to bridges is scour. This paper briefly discusses the phenomenon of bridge scour, its causes and main consequences. Some damage to bridges in Mexico are also discussed, as well as some statistics of the consequences of this damage. Finally, some actions that could be developed specifically in our country to mitigate the problem are commented.

Keywords

Bridge, scour, damage.

Introducción

Una población necesita establecer comunicación con otros centros urbanos, generar intercambios, transportar personas, salvar obstáculos y contar con vías de comunicación eficientes en caso de emergencias. Esto se logra con las llamadas líneas vitales, las cuales potencian el desarrollo de los centros urbanos. Entre las líneas vitales se encuentran los sistemas eléctricos, sistemas de agua y las carreteras. Dentro de estas últimas los puentes son elementos clave porque controlan la capacidad de las carreteras y su costo de construcción por kilómetro es mucho mayor que el de éstas.

Los puentes son estructuras con larga vida útil, en general, son irregulares y poco redundantes. Es muy importante cuidar su análisis y diseño, además de los procesos de inspección, mantenimiento y rehabilitación que cada vez son más relevantes.

Para evitar daños por diversas condiciones en los puentes es fundamental entender los fenómenos que los afectan, para así determinar los elementos y los procesos que reduzcan esos daños y optar por sistemas cuya posibilidad de falla sea mínima.

En México se han reportado daños en puentes por diversas eventualidades, como sismos, viento, corrosión, socavación (pérdida de sustento en elementos de apoyo debido al desplazamiento del suelo por la acción del agua), inadecuados procesos de diseño o construcción, cargas vehiculares diferentes a las previstas, entre otras. Aunque no hay una evaluación precisa de qué porcentaje representa cada una de estas problemáticas en los puentes nacionales, sí se sabe que la corrosión y la socavación son los principales causantes de fallas.

Concepto de socavación

La socavación en puentes afecta su estabilidad y durabilidad. Específicamente, este fenómeno se refiere a la remoción progresiva, por la acción del agua, de partículas del suelo que rodean la cimentación de los elementos de apoyo, como columnas y estribos (estructuras de sostén en los extremos del puente que soportan la carga y el empuje de tierra). Cuando se ha removido una gran

cantidad de suelo se presenta la pérdida de apoyo y colapso de la estructura.

La socavación se debe a varios factores, tanto naturales como humanos, y sus principales causas son:

1. Aumento del caudal de los ríos en época de lluvias intensas, provocando una mayor presión en el lecho de los mismos, lo que provoca un arrastre de mayor sedimento.
2. Acumulación de escombros, sedimentos o vegetación en los cauces de los ríos (muchas veces por tala de árboles), lo cual puede desviar el flujo natural del agua hacia los cimientos de los puentes.
3. Errores de diseño o construcción en los puentes por falta de conocimiento sobre los efectos del agua en estas estructuras; el hecho de no protegerlos contra la erosión o por el escaso enterramiento de sus elementos.
4. Modificación humana del cauce del río que puede incrementar su velocidad y fuerza en ciertas zonas, lo que deriva en un aceleramiento de la socavación.
5. Estimación no adecuada de los efectos de socavación o de los resultados de estudios hidráulicos o hidrológicos.

Por otra parte, existen diversos tipos de socavación según el origen y localización del fenómeno (Melville y Coleman, 2000). La *socavación general* afecta a grandes áreas del río, provocando el aumento del caudal en toda una sección. La socavación producida puede afectar a varias columnas de un puente.

La *socavación local* se produce por la erosión del suelo en torno a algunos elementos de apoyo, por lo que es más peligrosa, ya que genera huecos en el terreno de soporte. En muchos casos, los remolinos de agua alrededor de los elementos de la estructura intensifican este proceso. La selección geométrica de las columnas puede reducir estos remolinos, produciendo menor interrupción al flujo del agua. La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos utiliza un método para obtener

la profundidad de socavación local, basado en un proceso independiente del tiempo que considera la geometría de la cimentación, la condición del lecho del río y el tipo de suelo, este método se realiza mediante coeficientes de corrección (United States Department of Transportation, 2012).

La *socavación por contracción* ocurre cuando el flujo del agua se ve forzado a pasar por una sección más estrecha del río, lo que aumenta la velocidad del agua y la erosión del suelo.

Las principales consecuencias de la socavación en puentes son:

1. Colapso parcial o total del puente. Cuando los cimientos pierden suelo de sustento, se inclinan o desploman.
2. Interrupción de las vías de comunicación, lo que genera falta de flujo, retrasos, incremento en los costos de transporte e inaccesibilidad a los servicios de emergencia. El costo por reemplazo de una estructura se define como costo directo y el que se genera por dejar de funcionar como costo indirecto. Los costos indirectos pueden ser mucho mayores que los directos y generar un impacto económico considerable a nivel local o regional.

Estadísticas del problema en México

Históricamente se han producido muchos fallos de puentes por socavación, por ejemplo, se sabe que el 60 % de los daños en puentes en el mundo son por la acción del agua, principalmente por socavación (IDVIA Ingeniería, 2020). En México no se tienen disponibles estadísticas completas similares, aunque se considera que son valores similares.

Durante eventos extremos se produce el mayor número de fallos, como los 18 puentes de la red federal de carreteras dañados durante el huracán Ingrid y la tormenta Manuel en 2013: 7 con colapso total y 11 dañados. En esta red se han reportado 44 puentes con colapso y 109 dañados de 1997 a 2023 (Frías, 2024).

Entre los ejemplos más notables de colapso total o parcial por socavación en México se encuentran el puen-

te de Ixtapan de la Sal, en 2013; un puente en la Autopista del Sol que afectó a la industria turística; el puente Tonala en Tabasco, en 2015; y el puente Coyuca de Benítez en 2013, que dejó sin comunicación a más de 30 comunidades rurales (Aguado y Hernández, 2013).

El costo por daño en puentes es muy variable y depende de las características de la estructura, su ubicación e importancia. Por ejemplo, Gómez (2021) indica que el costo promedio de la reparación de 39 puentes en 2021 fue de 211 millones de pesos. El costo porque la estructura deje de funcionar se estima que es cinco veces mayor al costo por reparación (Ayres, 2023).

Estudios recientes muestran un promedio de 2.5 puentes anuales con colapso parcial o total por problemas de socavación (Cruz *et al.*, 2021; Cruz, 2022). Esta información se desprende de la revisión de páginas de periódicos, reportes y demás información en la red de 1997 a 2017, contabilizando 47 estructuras. Para considerar un reporte es necesaria alguna evidencia, como una fotografía, por ello, la ubicación geográfica de los puentes contabilizados se muestra en la Figura 1.

Los puentes en esta base de datos son mayormente estructuras de longitud corta, con columnas tipo muro de mampostería y ubicados cerca de la costa del Pacífico. En la Figura 2 se presentan diagramas con las estadísticas de influencia de algunos parámetros en puentes con problemas de socavación. Como se observa en esta figura, hay mayores colapsos parciales y más daño en un solo tipo de apoyo, por igual para estribos o pilas (40 % cada uno). Parece que no importa mucho el tipo de estribo o columna, aunque se registraron más afectaciones en columnas rectangulares y estribos derramados o con alas. Por último, hay más daños en puentes de claros menores a 50 m y con ángulos entre la orientación del puente y de la carretera (ángulo de esviaje) menores al 10 %, lo cual no es raro porque el número de puentes existentes son principalmente de claros cortos y rectos. Quitando estos elementos, los puentes con longitudes entre 100 y 150 m han sufrido más daño y al parecer no importa el ángulo de esviaje.

Estadísticas como éstas ayudan a entender qué elementos o sistemas son más susceptibles y pueden requere-



Figura 1. Ubicación de los puentes colapsados.

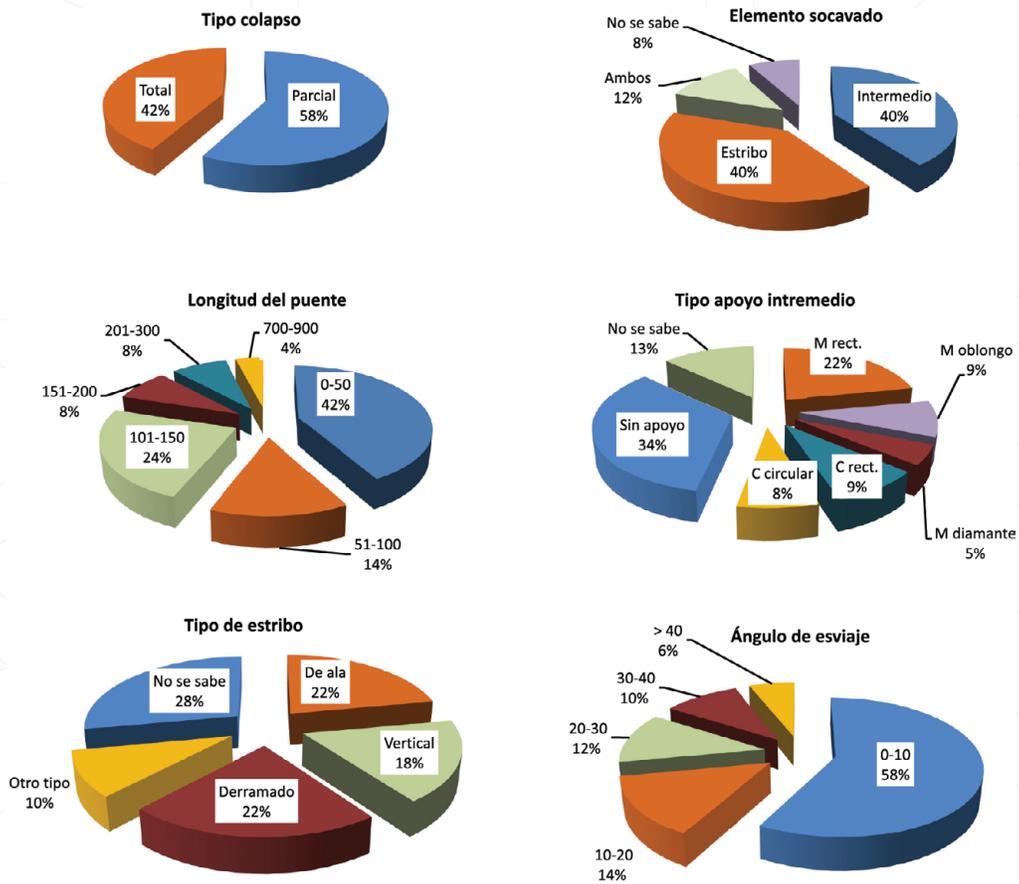


Figura 2. Diagramas de estadísticas de diferentes parámetros en puentes.

rir mayores estudios o procesos de diseño más detallados. Lamentablemente, este tipo de estadísticas completas para los puentes de nuestro país no se realizan o no están disponibles para estudio.

Medidas de prevención

Para mitigar la problemática de la socavación se brindan las siguientes recomendaciones:

- Mejorar los procesos de inspección. En México los puentes son inspeccionados usando el sistema Simumex, en principio cada dos años. Sin embargo, es necesario incluir en este proceso una evaluación de los tiempos óptimos de inspección en puentes susceptibles de socavación, ya que es difícil y de alto costo verificar las partes de los elementos de la subestructura bajo agua. Un proceso riguroso podría indicar erosiones tempranas para tomar acciones. La difusión y apertura de esta información produciría estudios de los problemas relacionados con la socavación.
- Mejorar el diseño y mantenimiento de los puentes existentes. Un registro completo de los daños podría indicar acciones para mejorar estos procesos; el análisis forense, por ejemplo, es una técnica que se ha usado poco en México.
- Proteger zonas verdes y reforestar. La deforestación en zonas cercanas a los ríos y lagos produce mayor escurrimiento y deslizamientos, lo que aumenta el caudal de los mismos e incrementa la posibilidad de daños en puentes. La reforestación contribuye a estabilizar el suelo y a reducir la erosión.
- Monitoreo. Es importante instalar sistemas de monitoreo por instrumentación para registrar deformaciones en columnas y estribos antes de llegar a niveles límite. Asimismo, se pueden registrar variaciones en las propiedades dinámicas que indiquen cambios en la subestructura. Algunos estudios ya han utilizado estas técnicas (Anaya *et al.*, 2021).

- Se debe ampliar el número de estaciones de registro de tirantes con mediciones constantes para conocer el gasto.
- Colocar elementos de protección, como pilotes hasta las capas profundas, rocas o elementos de concreto alrededor de pilas y estribos para disipar la energía y evitar la erosión, espigones río arriba del puente para reducir la velocidad del agua, etcétera (Gómez *et al.*, 2017).
- Ampliar los estudios para complementar el conocimiento sobre el tema, particularmente en el aspecto del multipeligro, ya que las estructuras son más sensibles bajo esta condición.

Comentarios finales

La pérdida de apoyo por socavación en puentes ha generado costos importantes en México y el mundo, tanto por la reparación y sustitución de las estructuras como por la pérdida de su función. Como se ha comentado en este artículo, es de vital importancia reconocer esta problemática e implementar medidas para evitarla, además de motivar estudios que generen una mejor comprensión del tema y así mitigar daños.

Referencias

- Anaya, M., Quintana, J., Carrión, F., Martínez, L., Hernández, J., Gasca, H., Guzmán, G., Machorro, J. y Hernández, A. (2021). *Monitoreo y evaluación de la integridad estructural del puente Mezcala*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Ayres (2023). ¿Qué es la socavación de puentes? ¿Por qué debería importarte? <https://www.ayresassociates.com/bridge-scour-care/>
- Cruz, G., Gómez, M. C. y de León, D. (2021) Bridge hydrological hazard characterization for purposes of analysis by local scour. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26, 61-87.
- Cruz, J. G. (2022). *Metodología para el análisis por socavación de puentes* [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma Metropolitana.

Frías, R. (18 de abril de 2024). *Situación de los puentes en México* [Sesión de conferencia]. VII Seminario Internacional de Puentes, Nayarit, México. <https://amictav.org/eventoviisip>

Gómez, J. (2021). *Los proyectos de infraestructura carretera más importantes de 2021*. IDM Infraestructura y Desarrollo en México. www.revistainfraestructura.com.mx

Gómez, R., Flores, D. y Primero, J. D. (2017) *Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de huracanes. Actividad 8.2. Propuesta de medidas de mitigación*. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www1.cenapred.unam.mx/SUBCUENTA/23a%20SESI%C3%93N%20ORDINARIA/PUNTO_Proyecto_Puentes/Actividades%208.1,%208.2%20y%208.3/02%20Propuesta%20

[de%20mitigaci%C3%B3n/Propuestas%20de%20mitigaci%C3%B3n.pdf](#)

IDVIA Ingeniería. (2020). *La socavación y su relación con el colapso de los puentes*. <https://www.idvia.es/lasocavacion-y-su-relacion-con-el-colapso-de-los-puentes>

Melville, B. W. y Coleman, S. E. (2000). *Bridge scour*. Water Resources Publications.

Rosio, S., Aguado, A. y Hernández, F. (2013). *Daños por socavación por los huracanes Ingrid y Manuel*. ERN. ern.com.mx/boletines/InformeDaos/130925-H.pdf

United States Department of Transportation (2012). *Evaluating Scour at Bridges* (5.ª ed.). Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12003.pdf>