

# BOLETÍN TÉCNICO

PITRA-LanammeUCR

Volumen 13, N.º 3, Mayo 2022

## Alternativas de mitigación y prevención de la socavación en puentes cantonales

Ing. Josué Quesada Campos, M.Eng.

✉ [josue.quesadacampos@ucr.ac.cr](mailto:josue.quesadacampos@ucr.ac.cr)

Unidad de Gestión Municipal (UGM), PITRA

## 1. Introducción

Los puentes son componentes fundamentales del patrimonio vial del país por el rol que desempeñan en facilitar la comunicación entre comunidades, zonas de producción, centros educativos, puestos de salud y demás sitios de interés. Su ausencia o deficiencias de funcionamiento generan problemas de conectividad y competitividad a regiones enteras, propiciando el rezago del desarrollo y afectando el bienestar público. En el caso de Costa Rica, las municipalidades tienen a su cargo el mayor número de puentes de la red vial de caminos y los mismos presentan condiciones variadas de antigüedad, configuración y condición de estado.

A partir de las inspecciones que ha realizado el LanammeUCR, en conjunto con las municipalidades, se han encontrado tres causas principales de deterioro en los puentes administrados por los gobiernos locales: problemas con las barandas, corrosión de elementos metálicos y socavación de elementos de subestructura. Se presenta a continuación una serie de alternativas de mitigación y prevención para el efecto de la socavación de bastiones en el ámbito municipal.

## 2. Conceptos generales sobre la socavación en puentes

La socavación se define como la remoción de materiales del fondo y de las márgenes del cauce debido a la acción erosiva del caudal al momento de entrar en contacto con una estructura hidráulica. En el caso de la socavación del fondo la misma se produce por el desequilibrio entre el aporte sólido que trae consigo el agua en una cierta sección y la mayor cantidad de material que es removido por el agua en esa misma sección.

La extensión de la socavación y la velocidad a la que ocurre dependen de la velocidad del flujo, el material del lecho, la alineación y geometría del puente. El efecto de la socavación en un puente puede ser gradual a lo largo del tiempo u ocurrir de forma acelerada durante un evento de avenida máxima en el cauce, por lo que la identificación de las condiciones que favorecen este fenómeno es fundamental para anticiparse a la ocurrencia de un daño grave que inhabilite la estructura.

La naturaleza de los materiales determina en gran medida la velocidad y extensión de la socavación; los suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente, mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Sin embargo, en el largo plazo la socavación total en suelos cohesivos y en suelos arenosos puede ser igual de profunda. En el caso de materiales con características rocosas, el avance de la socavación será mucho más lento e incluso puede que no se presente en la vida útil del puente.

Podemos definir tres tipos principales de socavación: la degradación o agradación del cauce, la socavación general y la socavación local. La denominada socavación total en un punto se obtiene como la suma de los tres tipos de socavación. Dependiendo de las condiciones de sitio cada tipo de socavación tendrá una mayor o menor influencia en la socavación total, por lo que la identificación de estas condiciones será fundamental para seleccionar la alternativa de mitigación o prevención. A continuación, se detalla cada tipo de socavación:

### Degradación o agradación del cauce

La socavación por degradación del cauce se define como la pérdida general y progresiva del material de fondo a causa del arrastre de las partículas por efecto del flujo. Esto ocurre generalmente en el largo plazo y en una extensión considerable del cauce (ver figura 1). Este tipo de socavación puede ocurrir de forma natural ante cambios en la cuenca producto de deslizamientos, erupciones, sismos y eventos climáticos extremos; también es posible que este tipo de socavación sea causada por intervenciones humanas en el cauce (por ejemplo: explotaciones de materiales granulares, construcción de represas, rectificaciones del cauce).



**Figura 1: Degradación de cauce en Río Zapote de Upala**  
**Fuente: LanammeUCR, 2020.**



La agradación del cauce es el efecto contrario al de la degradación, en este caso se presenta una acumulación de material en el fondo del lecho generando una reducción de la sección hidráulica en el puente (ver figura 2), esta condición ha sido identificada con menor frecuencia en los puentes cantonales, sin embargo, puede causar serios problemas durante eventos de lluvias extremas facilitando el impacto de materiales arrastrados con el puente.



**Figura 2: Agradación de cauce en Rio Claro RN2**

**Fuente: Curso inspección de puentes, LanammeUCR Programa Ingeniería Estructural, 2014.**

## Socavación general

La socavación general se define como el descenso generalizado del fondo del lecho a consecuencia de una mayor capacidad del flujo para arrastrar y transportar sedimentos en suspensión durante crecientes. En el caso de los puentes, la socavación general ocurre por la contracción del flujo, lo que aumenta la velocidad de la corriente al paso por debajo del puente, viéndose incrementada en aquellos casos donde existen pilas intermedias, en cauces meándricos y en puentes ubicados en las cercanías a zonas de confluencia de ríos. Este tipo de socavación suele concentrarse en la zona de influencia hidráulica del puente, generando en muchos casos problemas de estabilidad de taludes en las márgenes tanto en la entrada como en la salida del cauce (ver figura 3).



**Figura 3: Socavación general por contracción en Quebrada Latina**

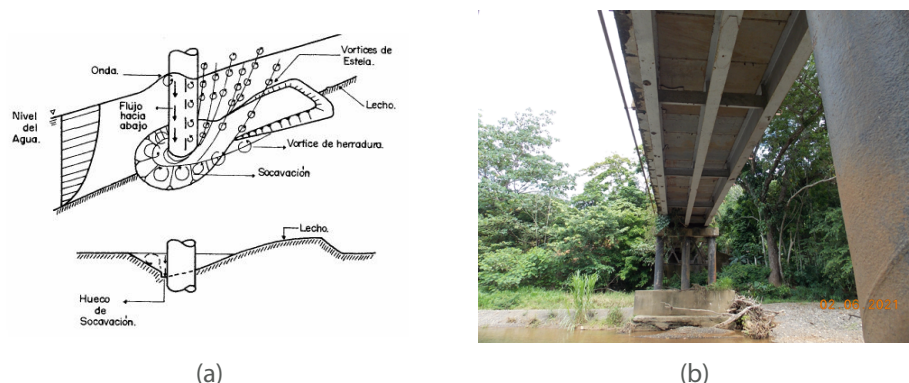
**Fuente: LanammeUCR, 2020.**

## Socavación local

La socavación local se define como la remoción de material que ocurre en las cercanías de pilas, bastiones, diques y terraplenes de acceso a un puente. Su causa es el cambio de dirección de las líneas de corriente de flujo que a su vez generan turbulencia, aceleración del flujo y vórtices inducidos por el obstáculo que se encuentra en el cauce.

En el caso de puentes cantonales se presentan dos casos de socavación local con mayor frecuencia: la generada alrededor de pilas y la generada por la presencia de bastiones dentro del cauce. En el caso de las pilas, el efecto de socavación local se produce por la separación tridimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice periódico al pie de ella. La acumulación de agua hacia aguas arriba de la obstrucción produce una especie de onda en la superficie y un flujo vertical hacia abajo que crea un fuerte gradiente de presiones lo que ocasiona separación del flujo, como consecuencia de lo cual se origina un sistema de vórtices al pie de la pila llamados vórtices de herraduras que son los principales causantes de la socavación (ver figura 4).

Por su parte, en el caso de los bastiones se presenta una condición similar a la que causa la socavación local en pilas como son separación del flujo y vórtices de herradura que remueven partículas localmente. La socavación local se produce en los bastiones que obstruyen el paso del agua. Esta obstrucción forma un vórtice de eje horizontal que empieza en la parte aguas arriba y corre a lo largo del pie de la estructura y un vórtice de eje vertical al final de la misma. El vórtice al pie del estribo es muy similar al vórtice de herradura de las pilas y el vórtice al final es similar a los vórtices de estela más débiles que se forman aguas abajo (ver figura 5).



**Figura 4: Esquema y socavación local en pila de puente Mata de Plátano**  
**Fuente: (a) Universidad del Cauca (2016). (b) LanammeUCR, 2021.**



**Figura 5: Socavación local en bastión de puente Quebrada Huacas**  
**Fuente: LanammeUCR, 2020.**



Adicionalmente a los efectos de socavación, en los ríos se presenta el fenómeno de migración lateral del cauce, el cual puede definirse como el realineamiento horizontal que sufren los márgenes del río debido a procesos de erosión que se dan cuando el flujo de agua principal se desplaza hacia un costado del cauce. Esto genera daños en las márgenes, desprendimientos de taludes y erosión avanzada de las márgenes; cuando este efecto se presenta en las cercanías de los puentes, es posible que se den efectos de socavación en aletones y bastiones que pueden ser tan severos que incluso pueden amenazar con remover los accesos de aproximación. En la figura 6 se muestra un ejemplo de daños causados por migración lateral de cauce en un puente.



**Figura 6: Migración lateral de cauce y daños en bastión en puente Río Seco**

**Fuente: LanammeUCR, 2021**

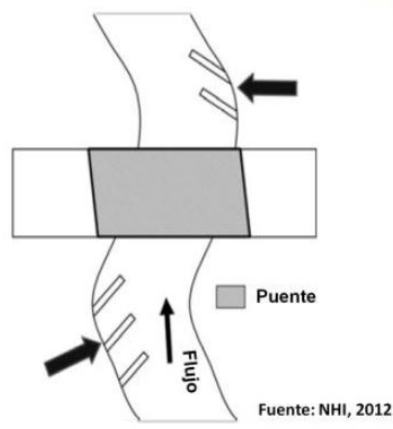
### 3. Medidas de mitigación y prevención de la socavación

Entre las causas de falla de puentes en el país, la principal la constituye la socavación que es una condición recurrente en los resultados de las inspecciones rutinarias; su efecto sobre el funcionamiento de las estructuras es significativo y las actividades de mitigación y prevención de la socavación constituyen uno de los principales rubros de inversión en los esquemas de gestión de puentes. En términos generales, estas medidas se pueden subdividir en tres grupos: las medidas para corregir el flujo, las medidas de blindaje del lecho y las medidas de protección de las cimentaciones.

#### Medidas para corregir el flujo

El objetivo de estas medidas es generar desvíos en el cauce que reduzcan el efecto de socavación general y mitiguen el efecto de migración lateral del cauce. Las alternativas que se utilizan con mayor frecuencia son:

- **Espolones:** consisten en estructuras de tipo lineal construidas generalmente a partir de rocas con dimensiones y peso según diseño hidráulico. Su función es proteger las márgenes del río induciendo al depósito de sedimentos de menor tamaño, con lo que se logra redireccionar el flujo y evitar un mayor daño en las márgenes, aletones y bastiones. Este tipo de medida ha mostrado buenos resultados en curvas de ríos que presentan patrones meándricos. Estos elementos pueden ser construidos utilizando roca extraída del mismo río, o bien utilizar configuraciones con mayor resistencia al arrastre como gaviones, bolsas de concreto, entre otros.



(a)

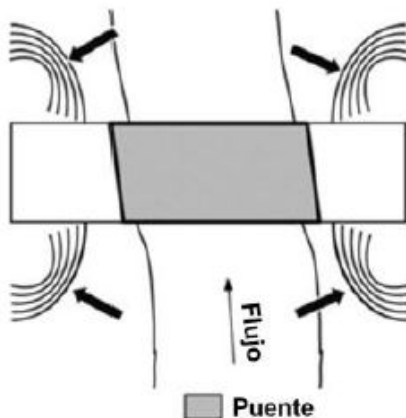


(b)

**Figura 7: Uso de espolones para redireccionar el flujo**

**Fuente: (a) National Highway Institute (NHI), 2012. (b) Curso de inspección de puentes, LanammeUCR Programa Ingeniería Estructural, 2014.**

- **Diques:** consisten en estructuras de tipo terraplén formadas usualmente en capas de rocas y arena (en ocasiones con concreto o geotextiles de protección en sus caras) formando un obstáculo en el cauce que tiene por objetivo orientar el flujo dentro del área hidráulica disponible en puente. Su función entonces es la de proteger los bastiones y las márgenes en las cercanías del puente, generando el efecto de contracción antes del ingreso al puente. Estos diques pueden igualmente utilizarse aguas abajo del puente para regular las velocidades de flujo y evitar socavación en la salida. Al absorber el efecto erosivo del cauce, estos diques deben contar con protecciones para asegurar su durabilidad.



(a)



(b)

**Figura 8: Uso de diques para la protección de bastiones**

**Fuente: (a) Curso de inspección de puentes, LanammeUCR Programa Ingeniería Estructural, 2014. (b) American Society of Civil Engineers (ASCE), 2015.**



## Elementos de blindaje de lecho

Las medidas de blindaje tienen por objetivo reducir el efecto erosivo del cauce al incrementar la rugosidad del fondo y/o márgenes a través de la incorporación de elementos que protegen el material natural evitando el arrastre del terreno, a la vez este tipo de medidas son efectivas para reducir la velocidad de flujo al aumentar la fricción sin desviar la dirección del cuerpo de agua. Algunas alternativas usadas para el blindaje del lecho son:

- **Enrocados:** consisten en conjuntos de roca que se colocan en las caras de los taludes de las márgenes del río, para aumentar su resistencia al desplazamiento se suele amalgamar el conjunto de rocas mediante la colocación de concreto, creando así lo que se conoce como un Rip-Rap. Su utilización está limitada por la pendiente de las márgenes, por lo que su uso se recomienda para pendientes de hasta un 50%.



Figura 9: Uso de enrocados para protección en Rio Bijagua  
Fuente: LanammeUCR, 2020.

- **Camas de gaviones:** este tipo de protección se suele utilizar para la protección tanto de fondos de lecho como de márgenes de río. Al emplearse una malla que evita el desplazamiento de las rocas su durabilidad es mayor en comparación con el caso de los enrocados sin concreto. Adicionalmente presentan la ventaja de que las posibles deformaciones en las caras de apoyo pueden ser absorbidas por la malla sin perder funcionalidad. Como desventaja puede mencionarse que en este tipo de elementos se pueden dar acumulaciones de desechos, por lo cual requieren mantenimientos más frecuentes.



Figura 10: Uso de camas de gaviones para recubrimiento de lecho y márgenes  
Fuente: Geosolutions, 2020.

- **Revestimiento de cauce:** consiste en la colocación de materiales que pueden ser rígidos o flexibles para contrarrestar el efecto de la socavación general, proporcionando un fondo estable. Algunos materiales que se pueden utilizar para tal fin son: bloques de concretos prefabricados unidos con cables, geotextiles, concreto reforzado, capas de concreto compactado con rodillo, entre otras. Cada una de las opciones existentes requiere de un análisis de conveniencia y factibilidad técnico-económica para poder definir cuál de las opciones disponibles es la adecuada contemplando las condiciones del fondo, caudal y cercanía con otras estructuras.



Figura 11: Ejemplos de uso de revestimientos de cauce

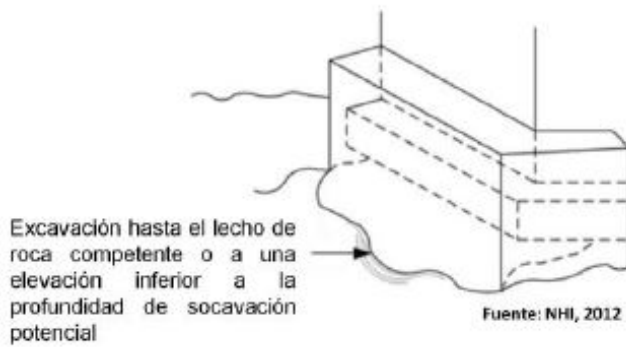
Fuente: (123RF, 2021)

## Protección de cimentaciones

Hasta ahora se han presentado medidas de mitigación y prevención de socavación que se pueden realizar directamente en el río, las cuales son consideradas medidas de tipo hidráulico. Sin embargo, existen otras alternativas que se pueden aplicar directamente sobre los elementos de las subestructuras que estarán en contacto con el agua y serán sujetas a posibles socavaciones, entre las más importantes se mencionan:

- **Reforzamiento de cimentaciones:** el objetivo de estas actividades es construir elementos de protección para las cimentaciones de bastiones y pilas. Usualmente los mismos se fabrican con concreto hidráulico en configuraciones de dados y rellenos de sustitución unidos a las cimentaciones. Es importante mencionar en este punto que antes de realizar intervenciones de este tipo se deben estimar los niveles de socavación total que se tienen en los elementos para asegurarse de que los reforzamientos se ubican por debajo de esos niveles, de tal manera que no se vuelvan a generar las condiciones de vulnerabilidad.





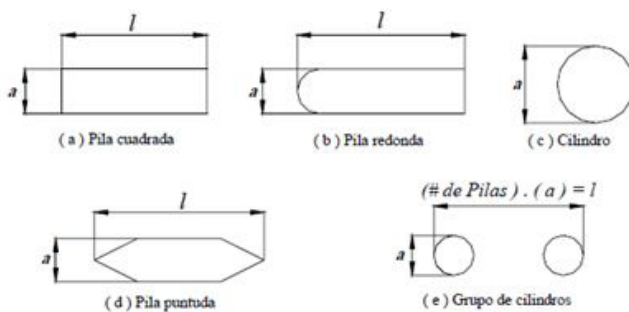
(a)



(b)

**Figura 12: Reforzamiento de cimentaciones en bastiones y pilas de puentes**  
**Fuente: (a) National Highway Institute (NHI), 2012. (b) LanammeUCR, 2019.**

- **Modificación de geometrías:** uno de los factores que participan en la ocurrencia de la socavación de bastiones y, principalmente, en pilas es la geometría del elemento que entra en contacto con el flujo de agua. Entre mayor sea la distorsión de flujo que genere el elemento mayor será la magnitud de los vórtices que finalmente causan la socavación; por esto, en general se prefieren las configuraciones que no interpongan una cara plana a la corriente de agua en el cauce, las figuras de tipo triangular y elíptico son las preferibles para el diseño de estos elementos. Por esta razón, una de las posibles actividades de naturaleza estructural para reducir la socavación local en un elemento es la modificación de la geometría del cuerpo que entra en contacto con el cauce.



(a)



(b)

Finalmente, existen medidas adicionales que pueden aplicarse para prevenir la socavación de puentes que son de naturaleza biológica como la utilización de geosintéticos que propicien el crecimiento de vegetación en taludes, siembra de vegetación cuyas raíces logren evitar el arrastre, entre otras.

## 4. Conclusiones

- La socavación de puentes en el ámbito municipal es uno de los principales daños que se han identificado a través de la inspección de más de 750 puentes en los últimos 10 años. La afectación generalmente se concentra en socavación de bastiones y pilas, donde la remoción de material por debajo de las cimentaciones compromete la estabilidad de estos elementos de subestructura.
- Se reconocen tres tipos de socavación principales: la degradación y agradación del cauce, la socavación general y la socavación local. La socavación total se entiende como la suma de estos tres efectos. Adicionalmente, se presentan efectos de erosión en las cercanías del puente causados por la migración lateral del cauce.
- Las medidas de mitigación y prevención están enfocadas en dos grandes áreas: las medidas de tipo hidráulico y las medidas de tipo estructural. En el caso de las de tipo hidráulico se presentan aquellas destinadas a corregir el flujo (espolones y diques) y las que buscan blindar el lecho (enrocados, camas de gaviones y revestimientos de cauce). Para las medidas de tipo estructural se presentan las medidas relacionadas con el reforzamiento de cimentaciones y modificación de la geometría de los cuerpos en contacto con el flujo

## 5. Referencias bibliográficas

- 123RF. (1 de Junio de 2021). [https://www.123rf.com/photo\\_70090238\\_bed-protection-worker-of-the-river.html](https://www.123rf.com/photo_70090238_bed-protection-worker-of-the-river.html). Obtenido de <https://www.123rf.com>: [www.123rf.com](https://www.123rf.com)/
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2015). *Failure of Spill-Through Bridge Abutments during Scour: Flume and Field Observations*. Reston, VA.: ASCE.
- Federal Highway Administration . (2005). *Handbook of scour countermeasures design*. New Jersey: FHWA.
- Geosolutions, Inc. (1 de Junio de 2021). <https://www.geosolutionsinc.com/products/erosion-control-gabions.html>. Obtenido de [www.geosolutionsinc.com](https://www.geosolutionsinc.com): [www.geosolutionsinc.com](https://www.geosolutionsinc.com)
- LanammeUCR - Programa Ingeniería Estructural. (2014). *Curso introducción a la inspección de puentes*. San José: UCR.
- Muñoz, E., & Valbuena, E. (2005). *Los problemas de la socavación en los puentes de Colombia*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana Bogotá.
- National Highway Institute. (2009). *Bridge scour and stream instability countermeasures*. Washington DC: NHI.
- Universidad del Cauca. (2016). *Socavación en puentes*. Popayán: Universidad del Cauca.





LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

**PITRA**

Programa de  
**Infraestructura del Transporte**

*Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.*

*Coordinadora General - Programa de Infraestructura del Transporte*

### **Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)**

Ing. Javier Zamora Rojas, M.Sc.

*Coordinador USVT*

### **Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)**

Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc.

*Coordinadora UNAT*

### **Unidad de Investigación en Infraestructura del Transporte (UIIT)**

Ing. Fabián Elizondo Arrieta

*Coordinador UIIT*

### **Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)**

Ing. Roy Barrantes Jiménez, M.Sc.

*Coordinador UGERVN*

### **Unidad de Gestión Municipal (UGM)**

Ing. Erick Acosta Hernández

*Coordinador UGM*

### **Comité Editorial 2022:**

- Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc., Coordinadora General PITRA
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc., Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA
- Rosa Isella Cordero Solano, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA

## **CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

**Diagramación:** Licda. Daniela Martínez Ortiz

**Control de calidad:** Óscar Rodríguez Quintana

*Alternativas de mitigación y prevención de la socavación en puentes cantonales*

**Palabras clave:** Puentes, Socavación, Mitigación, Municipal

(506) 2511- 2500

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr • 🌐 www.lanamme.ucr.ac.cr