

VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE PUENTES EN ZONAS DE GRAN INFLUENCIA DE HURACANES

(Actividad 8.2 Propuesta de medidas de mitigación)

Informe técnico, elaborado por:

Roberto Gómez Martínez*
David Flores Vidriales**
Juan Carlos Primero Venegas***

Para:

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Agosto de 2017

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM.

** Estudiante de Posgrado, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN.

*** Estudiante, Facultad de Ingeniería, UNAM.

1. INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de fallas en puentes en México se deben al efecto de la socavación. De los 15 principales corredores carreteros del país, principalmente seis de los corredores longitudinales “corren” a lo largo de las costas del golfo de México y del océano Pacífico en zonas de influencia de tormentas tropicales y lluvias extremas. En los seis corredores mencionados se localizan una gran cantidad de puentes, muchos de ellos sobre ríos. La falla de un puente, cualquiera que sea la causa, tiene un alto costo directo e indirecto para la sociedad.

En este proyecto se desarrolló una metodología para la evaluación de riesgos por socavación en puentes, mediante la identificación de su ubicación y condiciones físicas actuales, en zonas de gran influencia de tormentas tropicales. La evaluación de las condiciones físicas se hizo con base en una inspección visual y en la recopilación de planos de proyectos ejecutivos de los puentes. Posteriormente, se hizo una clasificación del nivel de riesgo por socavación de todos los puentes ubicados sobre ríos en cuatro de los corredores carreteros longitudinales, tomando en cuenta la probabilidad de generación de tormentas tropicales y el cauce de los ríos que cruzan las carreteras. Con base en esta clasificación, además de tomar en cuenta factores tales como la estabilidad de la corriente, años de servicio del puente, tipo de terreno, tipo de cimentación y tipo de subestructura del puente, se elaboraron modelos matemáticos de aquéllos puentes con mayor riesgo de socavación.

En primer término se intentó recabar la mayor información posible sobre las carreteras y puentes de los cuatro corredores seleccionados, tanto federales como de cuota; buscando el apoyo de la SCT, CAPUFE y BANOBRAS, además de búsquedas en internet; la búsqueda fue infructuosa. Sin embargo, sí se recabó información de todas las estaciones meteorológicas del país, además de consultar mapas existentes de fenómenos hidrometeorológicos (SEMARNAT, CONAGUA que hayan incidido en las zonas costeras de las carreteras por estudiar (ver mapa 1). En una segunda etapa de trabajo se realizaron recorridos carreteros con ingenieros especialistas en estructuras de puentes y sus respectivos ayudantes, por las diferentes zonas (carreteras principales) costeras del país. Esta actividad junto con la información recabada, y una evaluación del estado físico real de los puentes, permitió identificar las estructuras de puentes más vulnerables, ante el posible aumento del gasto de los ríos que cruzan como consecuencia de la posible ocurrencia de huracanes.

Por otro lado, también se definieron los cauces más peligrosos, desde el punto de vista hidrológico.

Una vez realizado lo anterior se procedió a realizar los estudios topohidráulicos y de mecánica de suelos en al menos 20 sitios representativos de la problemática de este estudio. En paralelo se procesó la información meteorológica recabada y se procedió a hacer estimaciones probabilistas de las velocidades de viento y de los aumentos del flujo de agua en los cauces de los ríos, o en su caso en cuencas hidrográficas.

Una vez realizados los estudios de campo y procesada la información respectiva, se elaboraron modelos matemáticos, considerando la interacción con el agua, de diferentes tipos de pilas y con diferentes tipos de cimentaciones para estudiar su resistencia y estabilidad ante los posible empujes y niveles de agua, así como ante velocidades de viento asociadas a los huracanes, ya que las fuerzas de empuje por viento, a considerar en los diseños, son función de la velocidad. Los análisis de los modelos matemáticos consideraron los resultados de los estudios topohidráulicos y de mecánica de suelos, así como estimaciones de profundidades de socavación.

En la etapa final, la que se consigna en este informe, con base en lo realizado, se priorizarán los riesgos, en términos de la lista de estructuras de puentes seleccionados como los más vulnerables, y se propondrán medidas de mitigación del riesgo, y se entregará una propuesta para el monitoreo de algunas estructuras seleccionadas de la lista mencionada.

Los resultados del proyecto servirán para definir medidas de protección, así como de mantenimiento para los puentes estudiados. También se propondrán esquemas de monitoreo permanente en aquéllas estructuras que así se considere pertinente.

Para lograr los objetivos señalados, se realizaron los siguientes pasos:

- Definición de prioridades de riesgo/susceptibilidad de daño, por socavación en puentes ubicados en los principales corredores carreteros del país.
- Elaboración de propuestas medidas de protección contra socavación en aquéllos puentes identificados con mayor vulnerabilidad ante los efectos de la socavación.
- Diseño de un esquema de monitoreo para estructuras de puentes existentes que permita hacer un seguimiento de los efectos de la socavación.
- Evaluación eficiente del riesgo por socavación durante la ocurrencia de tormentas tropicales.

2. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO POR SOCAVACIÓN

Las medidas de protección contra socavación se usan para mitigar, controlar, retrasar, disminuir o monitorear problemas de estabilidad de cauces y puentes. La solución al problema de socavación de un puente se basa en el estudio de las causas que lo originan, incluyendo aspectos topográficos, hidrológicos, hidráulicos, estructurales y de geotecnia.

En general, las medidas de protección de puentes se clasifican en dos grandes tipos:

- Hidráulicas
- Estructurales

Las del tipo hidráulico generalmente son temporales y su objetivo es modificar las líneas de corriente o resistir las fuerzas erosivas del flujo en un cauce. Estas medidas consisten en la construcción de estructuras u obras adicionales al puente, aunque generalmente son destruidas total o parcialmente, o arrastradas por el flujo de agua; si llegaran a sufrir algún deterioro, estas estructuras u obras adicionales deben someterse a reparaciones posteriores, lo que siempre resulta más barato y fácil que reparar un puente. Se requiere verificar su comportamiento durante las crecientes.

Entre las medidas hidráulicas destacan:

-Estructuras longitudinales

- ✓ Protección del talud del dique



- ✓ Protección del talud de la orilla superior



- ✓ Protección de la orilla inferior



-Estructuras transversales

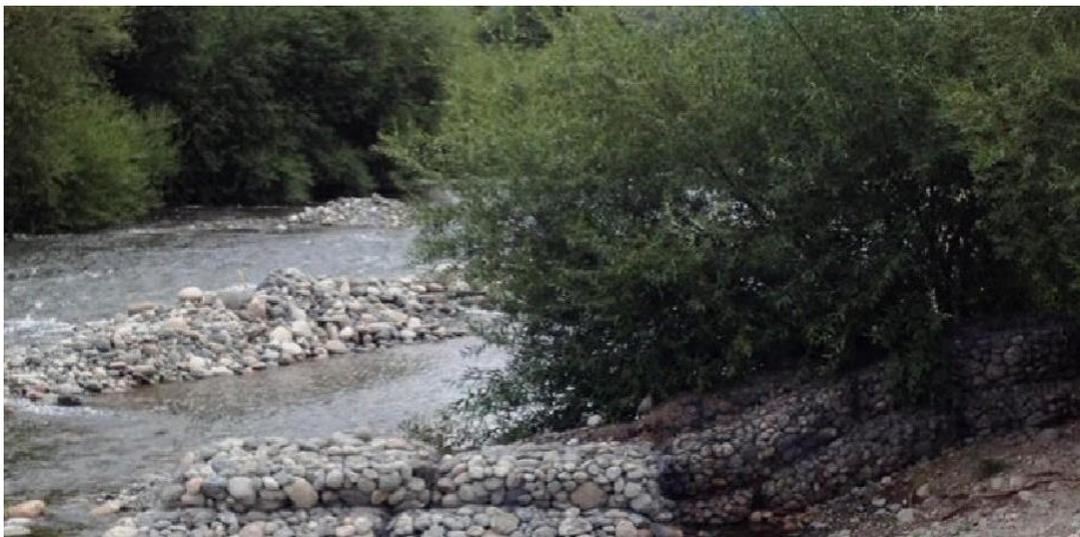
- ✓ Traviesas de fondo



✓ Espolones



✓ Protección con sistemas de puntos fijos



✓ Protección con sistemas de muros deflectores



-Protección local del puente

- ✓ Protección contra socavación por contracción



- ✓ Protección contra la socavación local al pie de pilas



- ✓ Protección contra la socavación local al pie de estribos



- ✓ Otras medidas de protección de pilas y estribos (pantallas)



- ✓ Otras medidas de protección de pilas y estribos (sacos rellenos)



✓ Otras medidas de protección de pilas y estribos (gaviones)



- ✓ Otras medidas de protección de pilas y estribos (colchacretos)



Las del tipo estructural generalmente están orientadas a mejorar las condiciones de la cimentación del puente. Se utilizan o aplican cuando ya la socavación ha dañado o expuesto al flujo las pilas o elementos de la cimentación dejándolos sin soporte lateral y en condiciones no contempladas en el diseño original. Se consideran medidas permanentes de protección, ya que restauran la integridad estructural del puente. Las medidas más utilizadas son: reforzar la cimentación y modificar la cimentación del puente. Sin embargo, hay casos en que es preferible no tomar ninguna acción particular y se sugiere reemplazar totalmente la estructura.

Entre las medidas estructurales destacan:

-Reparaciones en seco y bajo agua

- ✓ Reparaciones en seco (islas)



- ✓ Reparaciones en seco (ataguías)



- ✓ Reparaciones bajo agua (buceo especializado)



-Reforzamiento de la cimentación existente

- ✓ Recalce de la cimentación



- ✓ Encamisado de pilas o estribos



- ✓ Profundización de la cimentación (micropilotes)



- ✓ Extensiones de la cimentación

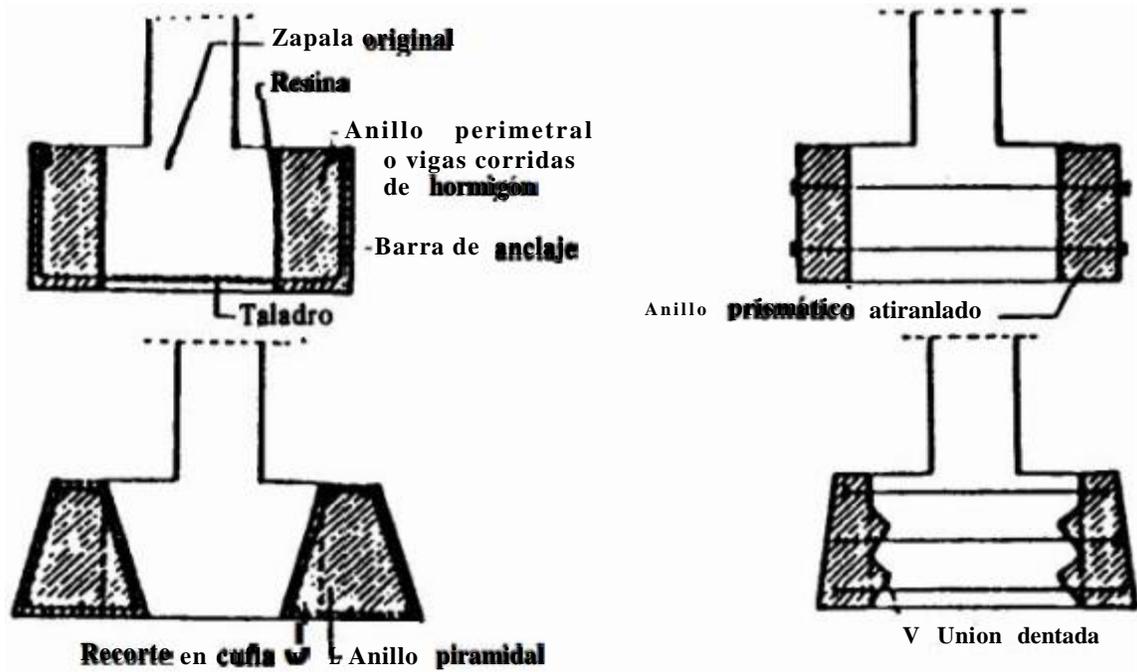


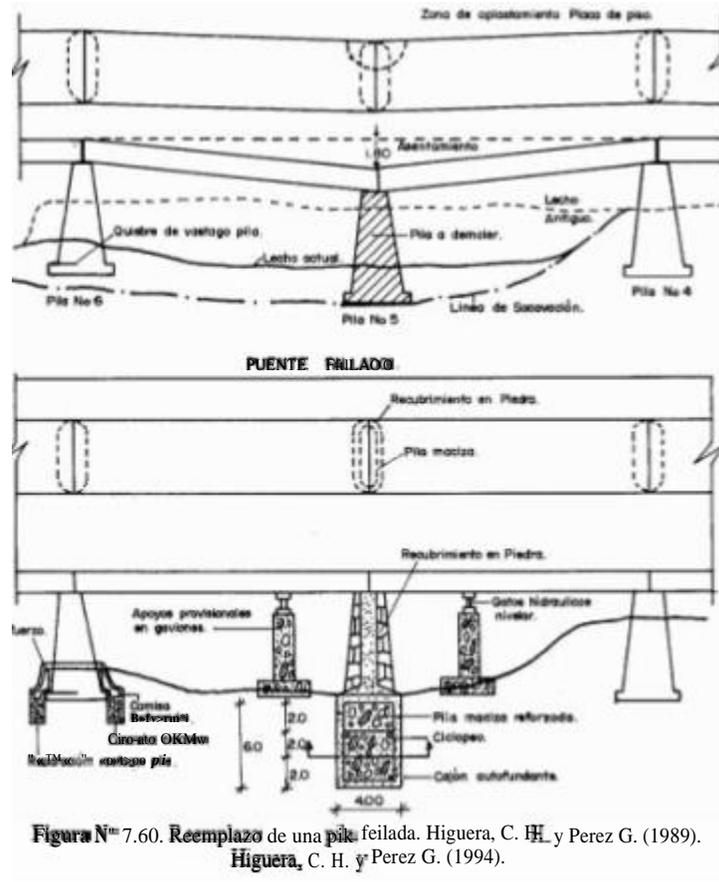
Figura 2 • *Ensanche de zapatas*

- ✓ Mejoramiento del suelo (jet grouting)



- ✓ Modificaciones en el puente

- ✓ Reemplazo de pilas o estribos



- ✓ Reemplazo del puente

