

# III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI  
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



## Gestión



## EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE SOCAVACIÓN EN PUENTES SOBRE CURSOS DE AGUA

José M. **SIMÓN-TALERO MUÑOZ**<sup>1</sup>, Pedro P. **SÁNCHEZ MTEZ-FALERO**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, TORROJA INGENIERÍA

<sup>2</sup> Ingeniero Técnico de Obras Públicas, TORROJA INGENIERÍA

## **RESUMEN**

Una gran parte de los colapsos habidos en puentes en estos últimos tiempos han sido debidos a fallos en cimentaciones de puentes ubicados en cursos de agua producidos por erosiones locales o socavaciones. Por otra parte, es difícil conocer el estado de dichas cimentaciones ya que suelen ser inaccesibles o, cuando menos, difícilmente visibles.

Resulta, por tanto, imprescindible que las inspecciones de puentes sobre cauces se completan con un estudio de éstos tendentes a conocer el riesgo potencial de socavación existente. La cuantificación de este riesgo se debe hacer basándose en las observaciones del estado del propio puente y en las condiciones y características geométricas, físicas y evolutivas del propio cauce en la zona en que se ubica la obra de fábrica. Se presentan a continuación algunas consideraciones sobre la evaluación de este riesgo potencial, basadas en las inspecciones ya realizadas en un número representativo de puentes sobre cauces de agua.

## **PALABRAS CLAVE**

Gestión. Inspecciones. Socavación

### **1.- ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA PROBLEMÁTICA DE LOS PASOS SOBRE CAUCES**

La función primordial de un puente es la de dar continuidad a la carretera, salvando, para ello, los obstáculos naturales o artificiales que se encuentren en su trazado. Esta obviedad cobra especial relevancia si el obstáculo a salvar es un cauce fluvial. El equilibrio dinámico de los cursos de agua se ve afectado no sólo por la interacción del hombre con acciones directas, -construcción de presas, extracción de áridos, invasión del cauce, etc.-, sino también de manera indirecta por los cambios en el balance hidrológico de la cuenca de aportación, fundamentalmente debidos a la variación en los usos del suelo.

La respuesta del cauce para recobrar su equilibrio, gobernada bajo la ley de Simons o de la balanza, consiste en adquirir una pendiente de equilibrio que le

proporcione la energía mínima necesaria para transportar la carga. Este fenómeno natural se consigue mediante la erosión, el transporte y la sedimentación.

En el escenario de los puentes, el proceso de erosión es un aspecto relevante en tanto en cuanto el reestablecimiento del equilibrio dinámico del cauce, puede ser un factor de vulnerabilidad para el puente, asociado fundamentalmente a fenómenos de socavación de sus cimentaciones.

Como dato curioso, en una estadística de 1976 sobre las causas de colapso en 143 puentes de todo el mundo, se llegó a la siguiente conclusión:

- 1 colapso por corrosión 0,7%
- 4 colapsos por esfuerzos 2,8%
- 4 colapsos por acción del viento 2,8%
- 5 colapsos por infradimensionamiento en proyecto 3,5%
- 11 colapsos por acción sísmica 7,7%
- 12 colapsos por fallos en la ejecución 8,4%
- 14 colapsos por impactos en la subestructura 9,8%
- 22 colapsos por materiales defectuosos 15,3%
- **70 colapsos por avenidas 48,9%**
  - 66 por socavación 94,3%
  - 4 por otras causas 5,7%

Bajo estas consideraciones parece lógico pensar que la evaluación de la seguridad de un puente no sólo depende de sus condiciones estructurales sino que existe cierto grado de vulnerabilidad en el cauce que salva. La cuestión es ¿cómo se puede estimar el riesgo en la interacción cauce-puente?. La primera respuesta inmediata se traduce en realizar una inspección del cauce que permita registrar las variables que pueden hacer vulnerable el puente en relación al cauce. Para ello se hace necesario estimar objetivamente el riesgo potencial del puente, frente a una avenida extraordinaria, atendiendo a la

hidráulica fluvial, basándose en parámetros geomorfológicos del cauce y en la propia hidráulica del puente. Indudablemente los grados de libertad y las incertidumbres que pueden recogerse de estos parámetros son elevadas, por cuanto la propia dinámica del cauce no permite, como en el caso del puente, establecer criterios sistemáticos que otorguen exactitud en la inspección. Esto nos lleva a considerar, en la evaluación del cauce, un riesgo potencial y no un riesgo certero, gobernado por las relaciones cualitativas y cuantitativas entre estas variables.

Todo esto parece muy prometedor, pero, ¿es técnicamente fiable? Evidentemente en el problema de movilidad del lecho de un curso de agua, es de interés validar y contrastar los resultados de la inspección con un ajuste del análisis de resultados basado en un análisis estereoscópico del cauce, en que se tengan en cuenta las características del sistema fluvial desde una visión de conjunto en el tiempo y en el espacio (ver figura 1).

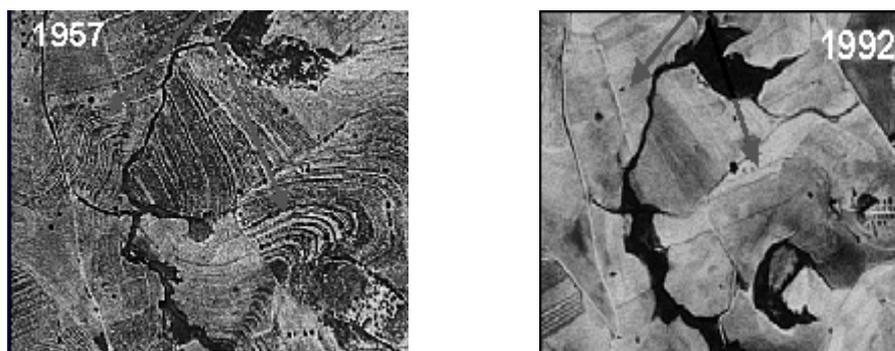


Figura 1. Fotografías aéreas de un cauce en dos edades diferentes

## 2.- EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE RIESGO

La primera tarea que se debe realizar para estudiar la vulnerabilidad del puente frente al cauce que salva es desarrollar una minuciosa inspección de éste en el entorno más inmediato del puente. Basándose en nuestra experiencia, es razonablemente válido un alcance de cuatro veces la longitud del puente, hacia aguas arriba y hacia aguas abajo.

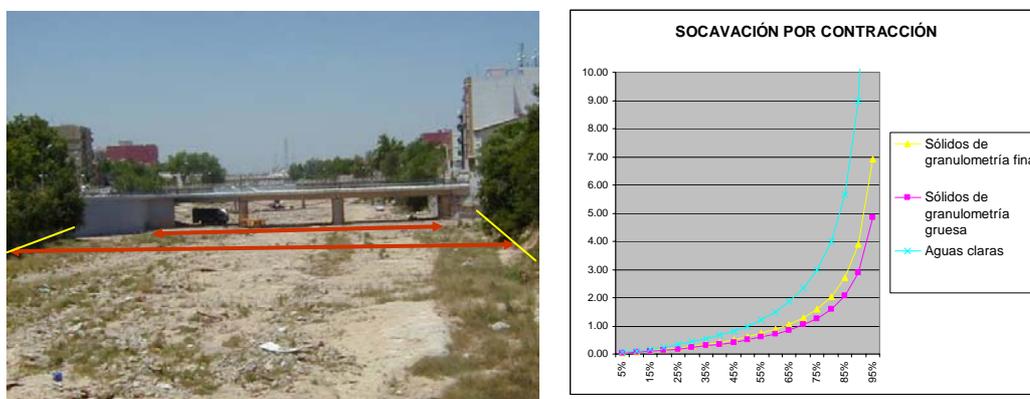
La evaluación del riesgo potencial frente a una avenida se desarrolla en base a dos descriptores: Vulnerabilidad del puente y geomorfología del cauce. Estos

dos descriptores engloban gran cantidad de registros que, bajo un algoritmo de cálculo, permite establecer la condición de riesgo, en forma numérica.

## 2.1.- Vulnerabilidad del puente

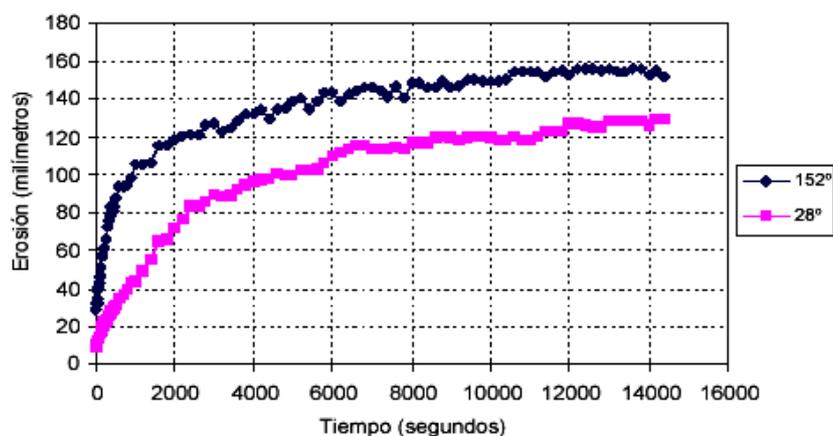
La vulnerabilidad del puente viene determinada por los efectos de socavación local de la subestructura. Los parámetros que se enmarcan en este descriptor son exclusivamente relativos a la implantación del puente y a las características de su cimentación. El riesgo potencial se manifiesta en forma de socavación, bien sea local, al pie de estribos y pilas, o bien en toda la sección transversal, debido a la contracción del cauce, por interposición de la estructura.

Si los estribos están implantados dentro del cauce, se produce una reducción de la sección que produce una concentración de flujo provocando un fenómeno de erosión por contracción. Este efecto se puede estimar con la ley de Laursen Su cálculo no es objeto ni de este artículo ni de la inspección de cauce que proponemos, aunque a título informativo se presenta un gráfico que representa la variación de la profundidad de socavación en función del porcentaje de sección contraída.



**Figura 2. Contracción de un cauce de rambla**

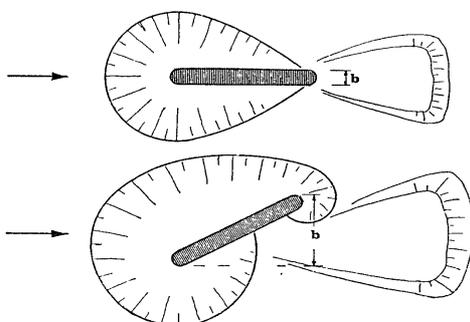
Por otra parte, la orientación de pilas y estribos en relación al flujo, la forma del frente de ataque y el número de fustes, único o múltiple, son parámetros que influyen notablemente en las condiciones de vulnerabilidad frente a riesgos de socavación local al pie de la subestructura.



**Figura 3. Profundidad de socavación en estribos en función del ángulo de ataque**

En la figura 3 se puede observar la incidencia en la erosión en función de la orientación de los estribos, en relación al flujo, según un estudio experimental en régimen uniforme y bajo las mismas condiciones hidráulicas.

La figura 4 muestra de forma cualitativa la forma de las fosas de socavación generadas en una pila orientada en la misma dirección que el flujo y en otra, con un determinado ángulo de ataque.



**Figura 4. Influencia del ángulo de ataque en la socavación de pilas**

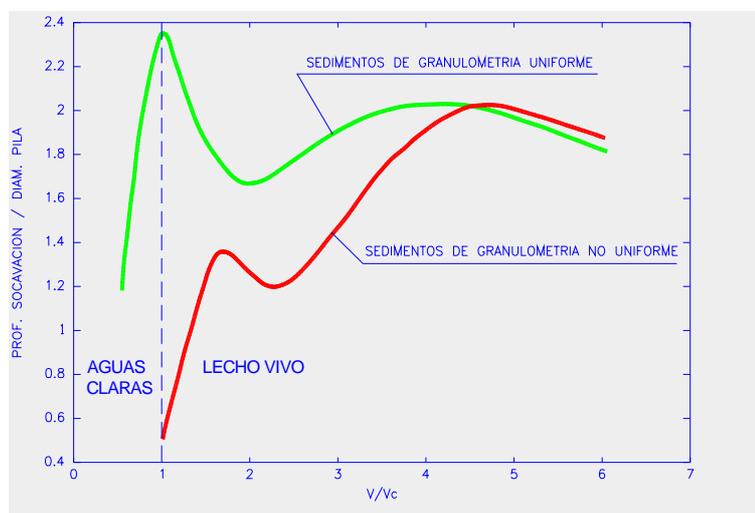
El tipo de cimentación, profunda o directa, así como el material del substrato competente, son, igualmente, parámetros a tener en cuenta. Un puente con cimentaciones pilotadas puede haber sufrido un descalce por socavación y no resultar potencialmente peligroso, si en el proyecto se tuvieron en cuenta estas condiciones (figura 5).



**Figura 5. Socavación con cimentación profunda**

Este efecto puede resultar demoledor, sin embargo, en cimentaciones directas o con pilotes de escasa longitud, o con un substrato poco competente tipo aluvial o similar. Especial atención merece el hecho de que durante una avenida extraordinaria la fosa de socavación alcanza su máximo exponente, pero una vez reestablecido el régimen uniforme del río, esta fosa puede acumular sedimentos y enmascarar parcialmente la profundidad real de la socavación.

Existen otros parámetros influyentes en la socavación de la subestructura, pero difícilmente cuantificables en una inspección cualitativa. Unos dependen de las propiedades del fluido, densidad, viscosidad, etc.; otros de las características del flujo, velocidad (Figura 6), calado y otros de las propiedades del lecho, tales como pendiente y granulometría del sedimento. Ninguno de estos parámetros se registra en el escenario de las inspecciones propuestas, pero es necesario que el inspector conozca todos los factores influyentes.



**Figura 6. Influencia de la velocidad del flujo y de la granulometría del sedimento en la profundidad de socavación.**

## 2.2.- Geomorfología del cauce

Este descriptor evalúa realmente el estado de equilibrio del cauce merced a parámetros geomorfológicos. La existencia de barras o islas (figura 7), obstrucciones o acumulaciones de acarreo (figura 8) dan indicios del comportamiento del río en régimen de avenida. El tipo de cauce (figura 9), rectilíneo, trenzado, anastomosado, meándrico, torrencial..., el material del lecho y de las márgenes (figura 10), nos indican el grado de estabilidad del cauce. Las protecciones (figura 11) y su estado de conservación nos permiten discriminar ciertos riesgos de erosión, y la existencia de afluentes o confluencias permiten tener en cuenta el aumento de caudal y la sobre elevación de la lámina de flujo en un régimen extraordinario. Todos ellos son datos registrables según una nomenclatura determinada, que permite realizar el postproceso de cálculo.



**Figura 7. Barra intermedia vegetada**



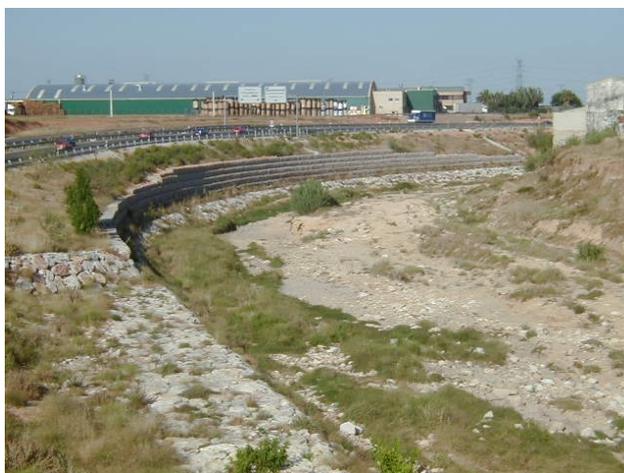
**Figura 8. Acarreos en pilas**



**Figura 9. Cauce meándrico**



**Figura 10. Erosión de la margen**



**Figura 11. Protección en la margen**

### **2.3.- Índice de riesgo**

Como en el caso de la Inspección Principal del puente, el fin de la inspección del cauce es obtener un índice que represente y, que en la medida de lo posible, cuantifique el riesgo potencial del puente frente a fenómenos de socavación. Este índice permitirá realizar una priorización de las actuaciones a acometer, en este caso, orientadas a tareas de protección para reducir la capacidad erosiva del cauce. Esta evaluación, novedosa en España, se ha incluido en el Sistema de Gestión de Puentes del Ministerio de Fomento, que ha desarrollado José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. . La calibración del método es una tarea compleja, que en la actualidad está siendo llevada a cabo en función de los resultados de las inspecciones ya realizadas en unos 1500 puentes sobre cauces.

### **3.- CONCLUSIONES**

En estos tiempos en que el paradigma de las inversiones es el desarrollo sostenible, la estrategia de estos trabajos cobra mayor relevancia en el escenario de la Gestión de Puentes, para la preservación del patrimonio. Nos parece, no sólo interesante, sino imprescindible, que la inspección de un puente lleve asociada la inspección del cauce que salva, para que la gestión se pueda calificar de integral.

Una gran parte de los colapsos habidos en puentes en estos últimos tiempos han sido debidos a fallos en cimentaciones de puentes ubicados en cursos de agua producidos por erosiones locales o socavaciones. Por otra parte, es difícil conocer el estado de dichas cimentaciones ya que suelen ser inaccesibles o, cuando menos, difícilmente visibles.

Resulta, por tanto, imprescindible que las inspecciones de puentes sobre cauces se completan con un estudio de éstos tendentes a conocer el riesgo potencial de socavación existente. La cuantificación de este riesgo se debe hacer basándose en las observaciones del estado del propio puente y en las condiciones y características geométricas, físicas y evolutivas del propio cauce en la zona en que se ubica la obra de fábrica.