

## Inspecciones de cauces

Vallés Morán, F.J.<sup>1</sup> - Arias Hofman, G.<sup>2</sup>

*Palabras clave: puente, cauce, vulnerabilidad, socavación, cimentación, inspección*

### 1 Introducción

La acción erosiva de un cauce supone uno de los mayores retos a afrontar por los puentes que salvan cursos fluviales, siendo la socavación la causa mayoritaria de los colapsos registrados.

La UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA ha desarrollado en los últimos años, con la colaboración de INES INGENIEROS, una metodología que permite cuantificar la situación de cada uno de los puentes, de forma que pueda establecerse una priorización de las actuaciones en función del riesgo, identificando los puntos débiles del conjunto puente-cauce. Esta metodología está siendo empleada actualmente por el MINISTERIO DE FOMENTO en sus campañas de inspección de puentes.

Se trata no sólo de cuantificar el efecto de una socavación, que puede ser observable o no, sino de valorar cuánto de vulnerable es un puente frente a una avenida fluvial, midiendo el efecto de otros factores: contracción en el cauce, estado de las protecciones del lecho y márgenes, posibilidad de la obstrucción de un puente, estabilidad fluvial asociada al tipo de cauce, etc. Además, se trata de que estas inspecciones de cauce tengan el mismo carácter que las inspecciones de la estructura: deben ser inspecciones visuales y todos los datos y sus resultados deben poder obtenerse sin necesidad de estudios adicionales.

El resultado de estas inspecciones se traduce en:

- La obtención de unos índices que permiten estimar la vulnerabilidad frente a avenidas del puente y comparar la situación entre unos puentes y otros, determinando cuáles son los más vulnerables y, por lo tanto, sobre qué puentes habría que proceder a un estudio específico de las medidas de protección necesarias
- Conocer cuáles son los aspectos en que el puente es más débil frente a la acción del cauce: la cimentación, el estrechamiento del cauce, la falta de protección de las márgenes aguas arriba, etc. Este conocimiento permite orientar el posterior análisis en aquellos puentes que han resultado más vulnerables.
- Disponer de una serie de datos que resultan fundamentales, aunque no sean suficientes, para acometer un estudio en profundidad de las medidas de protección necesarias.

---

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos; Universidad Politécnica de Valencia

<sup>2</sup> Ingeniero de Caminos; INES Ingenieros

En este artículo se comentan las particularidades de las inspecciones de cauce y se explica el marco en el que se realizan, para que se pueda entender mejor la razón de ser de la toma de datos que se propone.

## **2 Bases teóricas. Síntesis**

La Inspección de Cauces o Inspección Fluvial es una inspección in situ de puentes sobre cauces realizada desde el punto de vista de la interacción avenida-cauce-estructura, considerando todos los factores intervinientes, tanto estructurales como geomorfológicos e hidráulico-sedimentológicos, fundamentales para evaluar la vulnerabilidad del puente frente a avenidas (Vallés, 2011).

LOS FACTORES ESTRUCTURALES están relacionados con las características resistentes, aunque en ocasiones también durables, principalmente de los elementos de la subestructura y sus cimentaciones, incluidas las medidas de protección de las mismas.

Los principales factores estructurales considerados son los siguientes:

- Tipo de Unidad Subestructural (en adelante US): tipo y material de pila, tipo y material de estribo
- Condición de Elemento: pila y/o estribo, solo para el caso de daños graves, afección a su estado resistente
- Tipo de cimentación de la US: superficial, semiprofunda o profunda
- Tipo y Estado de conservación de las medidas de protección (protectoras-correctoras) de la US –si las hubiera-
- Evidencias de movimiento de la US, movimiento relativo de la US respecto al tablero del puente

LOS FACTORES GEOMORFOLÓGICOS están referidos tanto a propiedades del cauce y sus márgenes como de la llanura de inundación, en su caso. Sus características y efectos se consideran muy importantes para el análisis de los problemas de estabilidad del puente asociados a la interacción con el cauce en situación de avenidas. Como factores de este tipo fundamentales por su influencia sobre la estabilidad del puente, se contemplan los siguientes:

- Formas del lecho y perfil del cauce: rizaduras, dunas, antidunas; vados y hoyas
- Islas, isletas y barras fluviales (vegetadas o no vegetadas). Se considerará incluso la existencia de obstrucciones -limitaciones producidas por la acción humana, (por ejemplo: otras estructuras, invasiones de cauce) y acumulaciones u objetos/materiales vertidos o arrastrados por el río
- Material de márgenes y lecho: limo/arcilla, arena, grava, bolos/guijarros, o roca
- Cobertura Vegetal de la Margen: sin vegetar, cultivos, pastos, matorral, arbolado
- Erosiones de márgenes y lecho: erosiones diferenciales de pie de margen o incisiones; de carácter severo, suave o inexistentes
- Tipo y tamaño de Cauce y régimen del flujo: torrencial, múltiple trenzado o ramificado, único rectilíneo, único sinuoso o meándrico, revestido o encauzado, y canalizado

En cuanto a los FACTORES HIDRÁULICO-SEDIMENTOLÓGICOS, éstos tienen una importancia significativa en la evaluación de la vulnerabilidad fluvial de los elementos subestructurales del puente, pues de ellos depende en gran medida el tipo de interacción que se produce entre puente y cauce, y por ende, los efectos que de ésta se desprendan. Se hace referencia en concreto a problemas asociados a falta de capacidad hidráulica; a la estabilidad fluvial en las inmediaciones de la estructura, la erosión por contracción y la socavación; y a las acciones hidrodinámicas del flujo sobre la propia estructura.

Los principales factores hidráulico-sedimentológicos considerados son los siguientes:

- Localización de la US: llanura de inundación, margen o cauce principal
- Número de fustes y forma de la cara frontal de la pila/estribo: único, múltiple; plana, circular, apuntada
- Ángulo de Ataque a la US: ángulo de ataque de pilas y estribos; por intervalos de ángulos incluyendo la orientación
- Tipo de material del lecho junto (en las proximidades e inmediatamente próximo) a la US y tipo de terreno de cimentación. Se considera: aluvial, suelo competente, roca fracturada o altamente meteorizada, terreno protegido/mejorado y, en roca
- Condiciones de socavación/aterramiento: en cuanto a la socavación, se considera ésta como fuerte, avanzada, moderada o inexistente
- Tipo y Estado de conservación de las medidas de protección/revestimientos de lecho y márgenes. Se considera: ninguna, revestimientos varios, técnicas de bioingeniería, geosintéticos, elementos prefabricados, escolleras vertidas, gaviones, escolleras ancladas y, hormigón; y en cuanto al estado, con daños graves, medios o sin daños
- Índice de contracción: indica el estrechamiento que para el flujo en avenidas supone la presencia del puente. Se expresa como un porcentaje de la anchura de cauce ocupada por el puente

De tal manera que, la Inspección de Cauces contempla la toma de todos los datos (parámetros de inspección) necesarios para la consideración de los factores anteriores. En estos factores debe, necesariamente, sustentarse cualquier metodología de estimación de la vulnerabilidad frente a avenidas de los puentes sobre cauce, si se quiere que esta estimación sea suficientemente realista.

### **3 Breve presentación de la metodología**

Partiendo en primera instancia de experiencias previas realizadas en Estados Unidos a partir de la década de los 90 del pasado siglo (FHWA, 1995; Cinotto et al., 2000), la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA ha venido completando, creando y desarrollando, con la colaboración de INES INGENIEROS, una metodología que permite evaluar numéricamente (cuantificar) la situación de un puente situado sobre un cauce fluvial frente a las avenidas de éste.

La metodología no requiere la realización de simulaciones hidrológico-hidráulicas ni estructurales, basando la obtención de sus descriptores en una toma de datos -objetiva y sistemática- en campo, que son utilizados posteriormente en gabinete hasta llegar a un valor numérico final único, denominado Descriptor Global del Puente (DGP). Los

datos recolectados en la Inspección de campo son los estrictamente necesarios, requeridos por la consideración de los factores geomorfológicos e hidráulico-sedimentológicos sobre los que se sustenta el proceso de cálculo posterior hasta llegar al DGP.

Se caracteriza el cauce aguas arriba del puente (obteniendo el Descriptor del Cauce de Aguas Arriba, de cuatro dígitos enteros y dos decimales) y el de aguas abajo (obteniendo el Descriptor del Cauce de Aguas Abajo, de tres dígitos enteros y dos decimales), así como el puente (Descriptor del Puente). Combinando en primera instancia los dos primeros descriptores (para obtener el Descriptor del Cauce, de cuatro dígitos enteros y dos decimales, que se terminan traduciendo en un solo dígito) y unificando posteriormente ese indicador común del cauce así obtenido con el Descriptor del Puente, se llega a obtener un valor único, que permite la comparación de la situación de vulnerabilidad entre unos puentes y otros. Este valor único, el DGP, varía para puentes en funcionamiento entre 3 (condición que presenta deficiencias serias) y 8 (condición muy buena).

En el estudio realizado en el cauce, tanto aguas arriba como aguas abajo del puente, se estudia la contracción que supone el puente frente al cauce, las obstrucciones existentes dentro del cauce, el tipo y condición de las medidas de protección existentes, la existencia de fosas de socavación, el tipo de cauce y el bloqueo del puente por arrastre de materiales. Cada uno de los aspectos anteriores queda cuantificado mediante un valor numérico que puede obtenerse directamente de un parámetro obtenido en campo o mediante la aplicación de sencillos algoritmos que combinan los valores obtenidos para varios parámetros tomados en campo.

En el cálculo del Descriptor del Puente, para el que se considera tanto la estructura como el cauce debajo de ella y en las inmediaciones de los distintos elementos del puente, se estudian ocho aspectos mediante los que se establecen los distintos casos<sup>3</sup> que se pueden plantear. Estos ocho aspectos son los siguientes: tipo de elemento y material que lo forma, la condición del elemento, el ángulo de ataque con que el flujo incide en el elemento, el tipo de cimentación, el material del lecho, la existencia de socavación, la existencia de algún tipo de protección y su condición y, finalmente, la evidencia de movimiento en el elemento.

El índice final (DGP) obtenido automáticamente por aplicación de la metodología a partir de los datos obtenidos en campo acaba resumiéndose en una escala de 3 a 8 que comprende el estado del cauce y el del puente (Figura nº 1).

Actualmente esta metodología se está aplicando en las campañas de inspección de puentes (y cauces) que el MINISTERIO DE FOMENTO desarrolla mediante varios contratos específicos de la Subdirección General de Conservación. Se aplica este estudio en los puentes situados sobre cauce, siempre y cuando alguno de sus vanos supere los 6 m de luz.

---

<sup>3</sup> Se trata de casos de equivulnerabilidad frente a avenidas fluviales que dan lugar a los diferentes Códigos asociados a las distintas Condiciones de estado ya mencionadas, desde Seriamente Deficiente hasta Muy Buena.

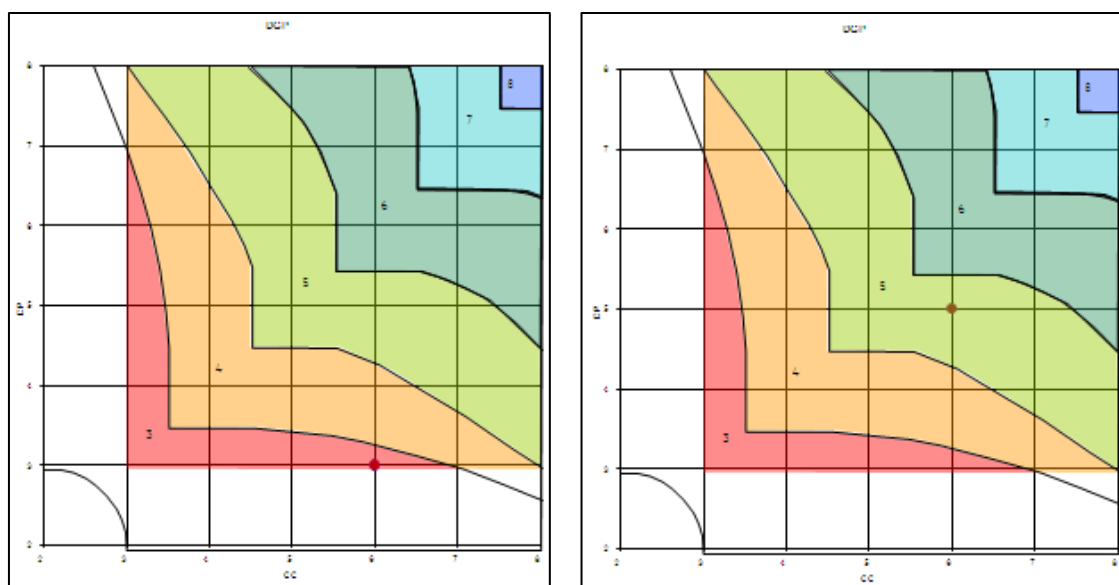


Figura nº 1. Ejemplos de índice de vulnerabilidad

#### 4 Aspectos prácticos y particularidades de las inspecciones

Para la realización de las inspecciones en campo, se ha redactado un documento denominado “Manual de Inspección de cauces”, que recoge cómo se debe realizar la inspección y qué información debe obtenerse, tanto en lo que se refiere a datos alfanuméricos como a la información gráfica (fotografías, croquis). Una versión reducida de este documento aparece como Anejo de la futura “Guía de realización de Inspecciones Principales de Puentes”, que será editada por el Ministerio de Fomento en un fechas próximas.

No se pretende entrar en este texto en la descripción de los parámetros que se obtienen en las inspecciones de campo, porque para ello ya existe el Manual y el Anejo de la Guía, que exponen el alcance de cada uno de ellos con suficiente detalle. Únicamente se van a resaltar algunos parámetros, bien por la trascendencia que tiene su correcta apreciación en la evaluación posterior o por otras cuestiones que se consideran de interés.

Se quiere llamar la atención sobre la escasa formación que, en general, tienen los técnicos que participan en estas campañas de inspección. Si ya de por sí no se disponen de estudios específicos en las carreras universitarias relativos al estudio de las estructuras existentes, tratadas desde el punto de vista de sus materiales, comportamiento estructural y la durabilidad, los conocimientos relativos a la hidrología e hidráulica, en especial a la hidráulica fluvial, suelen ser todavía más escasos, y no porque no sean impartidos en las Escuelas Técnicas, sino porque los alumnos de estas especialidades raramente participan en los trabajos de inspección de estructuras en los que se enmarcan las campañas de inspección de cauce.

#### 4.1 Tiempo de inspección

El tiempo necesario para realizar una inspección de cauce no dista mucho del que se dedica a una inspección principal del puente (la inspección de la “*estructura*”) y se puede estimar en un tiempo medio de 1 a 2 horas. Es un tiempo bastante constante tanto en lo referente a la observación del cauce como a la de la subestructura del puente, puesto que siempre se deben tomar datos del cauce de aguas arriba y del cauce de aguas abajo, independientemente del número de vanos y debido a que la distancia se ha acotado al menor de los siguientes valores:

- 4 veces la longitud del puente
- 100 metros

Por ello, aunque el puente tenga 6 m de separación entre estribos (distancia mínima recomendable para realizar la evaluación de la vulnerabilidad) o 600 m, es decir, distancia 100 veces mayor, la longitud del cauce a inspeccionar varía entre 24 m y 100 m, distancia sólo 4 veces mayor.

Por otro lado, en un puente de grandes dimensiones, la altura de ciertos elementos (pilas, distancia al tablero) impiden observarlos si no se emplean medios de acceso especiales, por lo que aunque el puente tenga una geometría *generosa* y un amplio número de elementos, no se pueden tomar demasiados datos. Sin embargo, en una inspección de cauce siempre se deben anotar datos referentes a todas las pilas y estribos puesto que es suficiente con observar su contacto con el lecho. Únicamente en puentes en los que el flujo de agua ocupe una gran anchura del cauce de forma habitual y, por tanto, numerosas pilas queden dentro del mismo impidiendo la observación del contacto con el lecho, parte de los datos no podrían anotarse. Esto sólo afecta a una porción de los datos, puesto que otros campos (ángulo de ataque del agua, dimensiones, localización, etc.) siempre pueden y deben rellenarse.

#### 4.2 Recorrido de inspección

Para realizar adecuadamente la Inspección Principal de Cauce es preciso seguir un procedimiento metódico, para no olvidar recoger ninguno de los parámetros que se explican en el Manual y que la información sea fiable y veraz.

Al igual que en las inspecciones de puentes, se propone un recorrido tipo, que se recomienda seguir en la medida en que sea posible (teniendo en cuenta las peculiaridades de cada conjunto puente/cauce) para garantizar la recogida sistemática de todos los datos necesarios (Figura nº 2).

Al igual que ocurre con las inspecciones de la estructura, este recorrido teórico indicado debe ser adaptado a la realidad de cada puente, puesto que en cauces muy anchos o profundos, o la existencia de otras vías de comunicación bajo el puente pueden impedir su aplicación directa. El objetivo de proponer un recorrido tipo o que cada inspector tenga su propio recorrido habitual, es evitar olvidos en los elementos a inspeccionar y organizar la propia inspección.

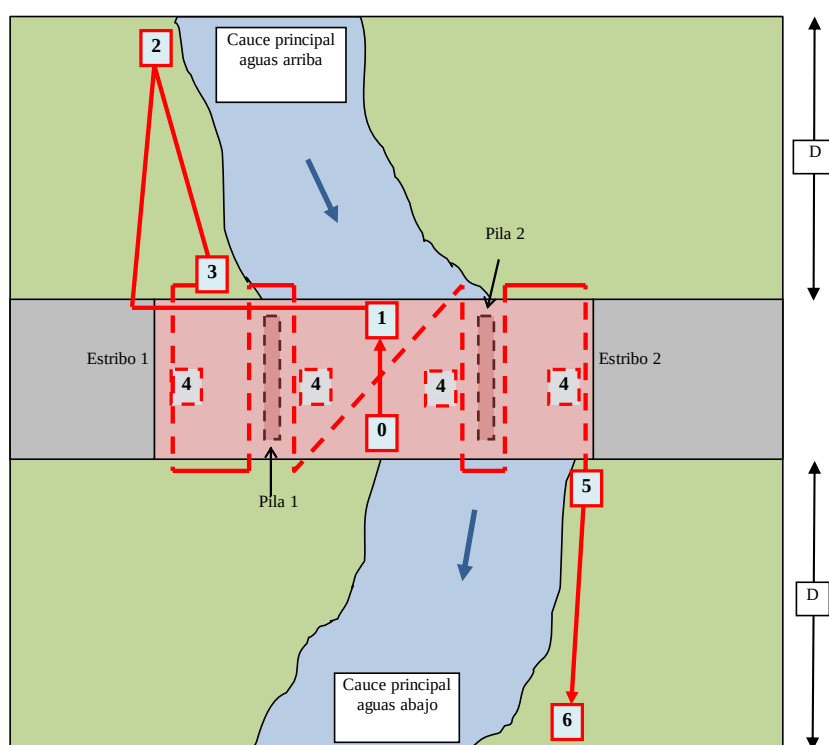


Figura nº 2. Recorrido de campo para la realización de la inspección de cauce

#### 4.3 Algunos comentarios sobre los datos tomados en campo

A continuación se exponen una serie de aspectos y particularidades de este tipo de inspecciones, obtenidas de la experiencia de más de 500 inspecciones de este tipo supervisadas.

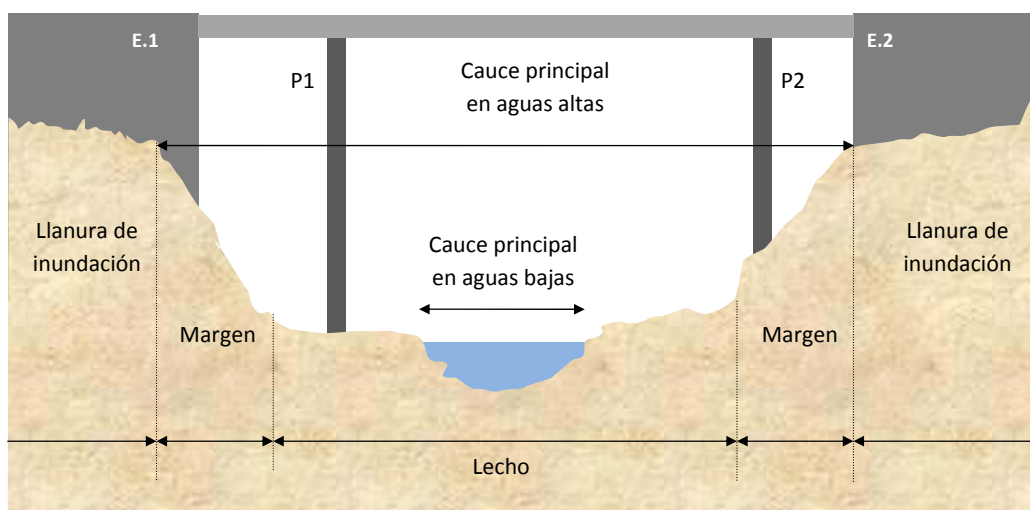
Se quiere destacar la importancia que tiene la correcta identificación del tipo de cimentación del puente. Este aspecto ya se ha tratado en otras jornadas técnicas, destacando que una cimentación superficial de cualquiera de las unidades empeora de forma notable la condición del puente. El tipo de cimentación es un aspecto más dentro de la metodología que se está aplicando en la actualidad, pero tiene una repercusión muy directa en el resultado final que permite comparar unos puentes con otros y, por tanto, priorizar actuaciones.

La ventaja que presenta esta metodología es que al poder identificar de forma inmediata los puntos débiles de cada caso, si uno de ellos es bajo por una falta de definición del tipo de cimentación, la solución al mismo puede consistir simplemente en mejorar el estudio del tipo de cimentación, en lugar de otro tipo de actuación más costosa. Con una inspección visual rara vez se puede identificar y en el nivel de inspección del que estamos hablando, no se dispone de la documentación necesaria para obtener este dato de forma fiable. Ante la duda, es preciso indicar siempre la opción "No observable", que posteriormente puede ser tratada de una forma conservadora (aplicando una tipología superficial en lugar de profunda o semi-profunda).



*Figura nº 3. Cimentación profunda observada en una inspección de cauce*

Una de las principales dificultades que se han observado en el seguimiento de las inspecciones realizadas es en la distinción en campo de las zonas de la sección transversal y por ello en los cursos de formación y jornadas de dudas se insiste bastante en ello. Sobre un croquis tipo o en un caso perfecto, la distinción entre márgenes y llanuras de inundación o entre cauce en aguas bajas y aguas altas, puede verse impedida por la existencia de arbolado, orografías caprichosas y otros factores.

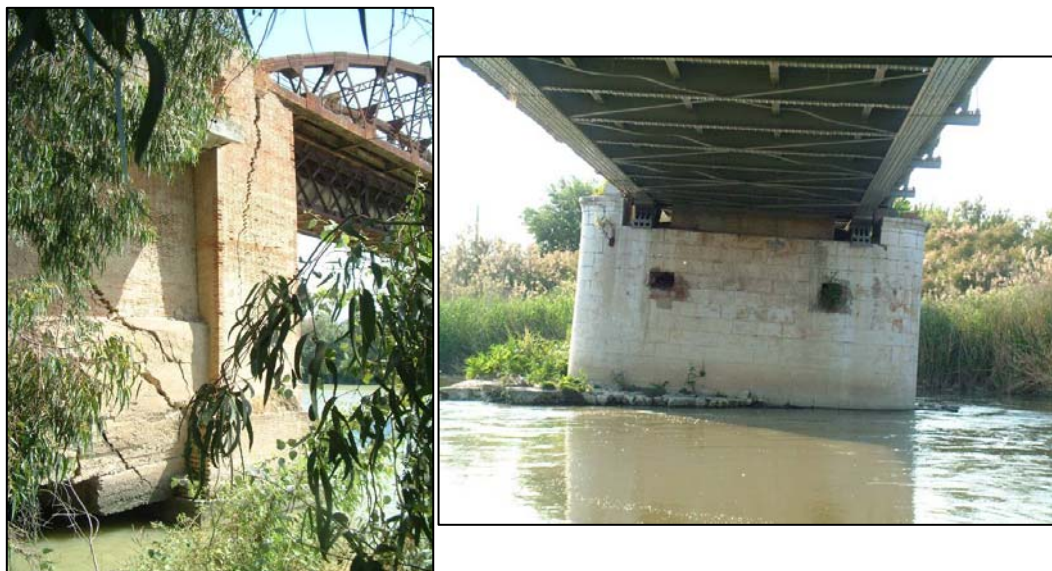


*Figura nº 4. Zonas de inspección del cauce según una sección transversal*

Otro aspecto que genera siempre confusión al comienzo de las campañas de inspección es el denominado “potencial de bloqueo”, que es la capacidad de que los materiales u objetos existentes aguas arriba del puente puedan llegar a bloquearlo, en parte por su facilidad de arrastre en una avenida y en parte por sus dimensiones en comparación con las del puente. Se trata de un aspecto que siempre debe indicarse en las inspecciones, como una característica intrínseca de la situación del cauce aguas arriba. Tiene una componente de subjetividad que siempre asusta a los técnicos noveles que comienzan a inspeccionar y que debe ser educada a través de las explicaciones previas y, sobre todo, de la experiencia.



Otros dos aspectos que se deben indicar de los elementos de la subestructura es el estado del elemento y la existencia o no de movimientos. Normalmente es más sencillo evaluar lo primero, puesto que suele ser más evidente, y para llegar a apreciar un movimiento en pila o estribo, éste tiene que ser de una magnitud importante.



*Figuras nº 5 y nº 6. Estribo con daños graves y giro de pila*

Lo cierto es que ambos datos suelen estar relacionados, porque por ejemplo una pila que ha sufrido un giro o asiento, suele llevar aparejados una serie de daños, pero hay ocasiones en que gira como un sólido rígido y el elemento aparentemente se mantiene íntegro.

## 5 Conclusiones

La aplicación de la metodología descrita dentro de una campaña general de inspección de puentes permite obtener un valor numérico final que expresa de manera realista la vulnerabilidad del puente frente a la acción del cauce<sup>4</sup>, identificando los aspectos débiles del conjunto puente-cauce para cada caso (existe, por tanto, una trazabilidad del problema concreto), de forma que se pueda actuar sobre los mismos, sin necesidad de aplicar previamente complejos y caros análisis hidrológico-hidráulicos. Además, la metodología propuesta es tal que ante unos determinados recursos disponibles, siempre limitados, permite finalmente identificar el o los subconjuntos de puentes en peor situación. Este hecho, unido a lo anterior, optimiza la asignación de los mencionados recursos pues los distribuye prioritariamente entre los puentes en peor situación, actuando sobre sus puntos más débiles.

La realización de las inspecciones para la toma de datos de campo representa un tiempo similar al dedicado a la inspección del puente y resulta necesario destacar el bajo nivel

---

<sup>4</sup> Considerada desde un punto de vista global: erosiones generales, de contracción y locales, incremento de empujes, problemas de capacidad hidráulica, problemas asociados a la capacidad de transporte del flujo en avenidas e incluso al propio tipo de cauce, y todo ello en aspectos tanto reales como potenciales pero perfectamente posibles.

de conocimientos hidráulicos que tienen los inspectores y que serían necesarios para una mejor realización del trabajo. En una inspección de estas características se toman en campo entre 37 y 54 datos diferentes (parámetros). Aunque todos ellos tienen su razón de ser, existen algunos datos especialmente relevantes por la influencia que tienen en la evaluación final que se realiza, como sucede con el tipo de cimentación, la anchura de cauce, los relativos a la caracterización de las medidas de protección existentes, tanto del lecho y márgenes como de la subestructura.

Los datos contemplados en la inspección suponen la consideración de todos los factores anteriormente aludidos y permiten, mediante la aplicación automática de la metodología, obtener tanto los tres descriptores principales como el DGP, estimador final único y realista de la vulnerabilidad del puente.

## 6 Bibliografía

- [1] Cinotto, Peter J. and White, Kirk E. (2000). Procedures for Scour Assessments at Bridges in Pennsylvania. Open-File Report 00-64. U.S. Geological Survey. U.S. Department of the Interior.
- [2] Fernández Bono, J.F. y Vallés Morán, F.J. (2001). Análisis de los Procesos de Dinámica Fluvial Provocados por la Avenida de octubre de 2000 en la Rambla Cervera (Castellón) y su Influencia en la Inestabilidad y Colapso de los Puentes que salvan la Rambla en las Carreteras CV-132, CV-10 y CV-135. Grupo de Ingeniería Fluvial. IIAMA. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- [3] Fernández Bono, J.F. (2003). El Caso de los Cauces del Torrent Mal y la Riera Magarola en Esparreguera (Barcelona). Curso de Especialización Ingeniería Fluvial. Fundació Politècnica de Catalunya. Universitat Politècnica de Catalunya. España.
- [4] Fernández Bono, J.F. y Vallés Morán, F.J. (2004). Cuantificación de la vulnerabilidad de puentes sobre cauces frente a avenidas. Proceso metodológico. Casos reales. Memorias XII Convención Científica Internacional de Ingeniería y Arquitectura. CUJAE. Ministerio de Educación Superior. Cuba.
- [5] FHWA (1995). Recording and coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges. U.S. Department of Transportation.
- [6] Lagasse, P.F., Schall, J.D., and Richardson E.V. (2001). Stream Stability at Highway Structures. HEC 20. Hydraulic Engineering Circular No. 20; Third Edition. Report No. FHWA NHI 01-002. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation. Washington, D.C.
- [7] Vallés Morán, F.J. (2002). Interacción Avenida-Cauce-Estructuras I.- Interacción con Obras No Hidráulicas: Puentes. II Jornadas de Ingeniería Fluvial. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Valencia. España.
- [8] Vallés Morán, F.J. y Fernández Bono, J.F. (2006). Metodología Sistemática para la Cuantificación de la Vulnerabilidad de Puentes sobre Cauces frente a Avenidas. Aplicación a Casos Reales. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Ciudad Guayana, Venezuela, IAHR.
- [9] Vallés Morán, F.J., Arias Hofman, G. y Fernández Bono, J.F. (2009). Manual de Inspección Principal de Cauces. Obtención de datos para la evaluación de la vulnerabilidad de un puente frente a avenidas. Universidad Politécnica de Valencia e INES ingenieros consultores. España.

- [10]** Vallés Morán, F.J., Arias Hofman, G. (2010). Influencia de la cimentación en el estudio de la vulnerabilidad de un puente frente a la acción del cauce. Asociación Técnica de Carreteras. Sevilla, España.