

Estudio experimental de las obras de protección de la carretera Seo de Urgel/Puigcerdá sobre el río Segre

ANGEL LARA (*)

RESUMEN. Este artículo presenta un resumen de los resultados obtenidos del estudio experimental de las obras de protección de la carretera Seo de Urgel/Puigcerdá sobre el río Segre, dentro del plan previsto de obras para asegurar la estabilidad definitiva de la ladera.

ABSTRACT. *This paper gives a summary of the results obtained from the experimental study of the protection works for the Seo de Urgel-Puigcerdá road on the Segre River, within the planned project to secure the permanent stability of the hillside.*

2. INTRODUCCION

Como consecuencia de las riadas acaecidas en el río Segre se han producido deslizamientos de ladera que afectan a un tramo de la carretera de Seo de Urgel a Puigcerdá en las inmediaciones de Pont de Bar. Este hecho, unido a la existencia de otros peligros potenciales provocados por posibles deslizamientos futuros, ha llevado a los técnicos de la Dirección General de Carreteras (DGC) a proyectar y construir una protección de la margen izquierda del río en aquella zona considerada como susceptible de ser atacada en avenidas.

Una vez construidas dichas obras, consideradas de emergencia, a la vista de la importancia del comportamiento del río en la estabilidad de las márgenes y dentro del plan previsto de obras complementarias a realizar para asegurar la estabilidad definitiva de la ladera, la DGC solicitó al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) la realización, por el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos (CEH), del ensayo en modelo reducido de la obra de protección mencionada con objeto de garantizar su adecuado comportamiento desde un punto de vista hidráulico y sedimentológico.

Una vez concluidos los ensayos, se presenta aquí un resumen de la problemática existente, así como de los resultados obtenidos de la experimentación.

2. ASPECTOS GENERALES DEL PROBLEMA

Las lluvias atípicas acaecidas en noviembre de 1982 sobre el Pirineo Oriental originaron una crecida excepcio-

nal en el río Segre. Dicha crecida, a su paso por Pont de Bar en las inmediaciones del P.K. 146,500 de la carretera C-1313, produjo, por socavación de su margen izquierda, un movimiento generalizado de la ladera y la rotura de una presa existente, lo que llevó a la destrucción del tramo de la C-1313 a su paso por la citada localidad, de parte de las viviendas del pueblo y del puente antiguo.

El movimiento de tierras producido, que afectó a un tramo de una longitud aproximada de 1.100 metros, se estimó en varios millones de metros cúbicos. Su secuencia pudo haber sido la siguiente:

A. Saturación del pie, sobre todo en la parte central, más estrecha y ocupada por el embalse de una pequeña presa construida en los años 20.

B. Rotura de la presa por socavación de pie bajo las fuertes velocidades a que tuvo que pasar la crecida en un cauce muy estrecho y tortuoso.

C. Condiciones de desembalse rápido al pie de la ladera y descenso del nivel de base del cauce, al ser arrastrados los sedimentos acumulados en el embalse y gran parte de acarreo de tamaño pequeño y medio.

D. Deslizamiento del pie de la ladera y erosión rápida de los materiales terrosos que la constituyen. Esta erosión fue más concentrada en sectores de ataque de las aguas bajo las desviaciones inducidas por curvas, grandes rocas de la ladera opuesta, etc.

E. Deslizamientos importantes en la base de la ladera, arrastrando a la carretera en su movimiento.

F. Movimientos en zonas cada vez más altas al perder apoyo inferior las sucesivas áreas movidas preexistentes. Movilización de un gran deslizamiento fósil que alcanza hasta la base del gran acantilado calizo que corona la montaña.

(*) Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX).

Como medida de emergencia se construyó un muro de mampostería recubierta con hormigón de 1.100 m de longitud y cuatro metros de altura media con intercalación de ocho macizos a modo de contrafuertes de 10 m del altura. Asimismo se efectuó una campaña de sondeos y auscultaciones en la ladera.

En noviembre de 1984, otra riada importante, que no fue acompañada de grandes lluvias en la ladera, produjo el descalce por socavación del muro existente y la ruina de un contrafuerte, volviéndose a ocasionar la inestabilidad de la ladera en algunas zonas.

Posteriormente, el Servicio de Geotécnica de la DGC realizó un estudio de los deslizamientos y de las posibles actuaciones a realizar para asegurar la estabilidad de la ladera, del que conviene señalar las siguientes conclusiones:

- Para que se hayan producido los deslizamientos de pie es necesaria una socavación suficientemente importante por la crecida del río, que facilite el movimiento de la zona rota, generándose superficies de rotura de tipo circular.
- En el caso de que se asegure la no erosión del cauce y que el nivel freático no pueda ascender por encima del considerado (se han analizado varias hipótesis, unas con nivel freático horizontal, y otras ascendentes por la ladera con unos 14° a partir del nivel del agua en el cauce), puede asegurarse la estabilidad estricta del talud frente a deslizamientos de media ladera.
- Sin considerar erosión en el pie del talud, se obtendría un coeficiente de seguridad próximo a 1,10 respecto al deslizamiento fósil, que ya es un valor que puede estimarse suficientemente seguro teniendo en cuenta que se ha supuesto una altura de nivel freático correspondiente a una situación pluviométrica excepcional asimilable a la de un período de retorno de 500 años.

Tomando como base lo anterior, se indica en consecuencia que, para asegurar la estabilidad de la ladera, deben tomarse dos tipos de medidas.

- A. Asegurar la no erosión del pie en caso de avenida y mejorar la resistencia de la parte baja de la misma.
- B. Limitar mediante drenaje la máxima cota posible de ascenso del nivel freático en el seno de la ladera.

La aplicación de estas medidas y el estado precario del muro primitivo han dado lugar a la ejecución de las obras existentes en la actualidad y objeto de este estudio, teniendo éstas un doble fin. Por un lado se pretende reforzar el muro de base de la ladera izquierda y por otro mejorar el conocimiento y el drenaje de la propia ladera. En resumen dichas obras consisten en:

- Recalce de la cimentación del muro existente mediante hormigón ciclópeo con una profundidad máxima de seis metros.
- Mejora de las características resistentes del muro en

base a la construcción de una cimentación mediante una losa corrida con cartelas y sobre ella construir una estructura reticular de hormigón armado anclada al muro existente.

- Reerectamiento del muro con gaviones para lograr la sección hidráulica suficiente según los informes facilitados y asegurar el perfecto drenaje de la masa del trasdós. Con esta medida el muro anterior de cuatro metros de altura media pasó a tener siete metros.
- Rehacer el contrafuerte destruido mediante un muro de hormigón armado y con una geometría análoga a la primitiva.
- Protección de la cimentación del muro contra la socavación mediante una escollera colocada de peso superior a los 1.000 kilogramos y con un espesor mínimo de tres metros.
- Regeneración del perfil primitivo del río con escollera de peso superior a quinientos kilogramos con el fin de evitar su arrastre, realizando unos pequeños azudes de escollera, de peso superior a los 1.000 kilogramos, transversales al río, para favorecer la pérdida de carga en el caso de riadas y disminuir así la posible socavación del cauce.
- Realización de viga codal en el cauce del río (cabecera del muro) para apoyo en la ladera opuesta.
- Realización de rastrillos de hormigón ciclópeo cada 25/30 metros como defensa y apoyo en pie de muro.
- Demolición de grandes bolos y resaltes con martillo hidráulico en cauce y márgenes, así como voladuras controladas.
- Mejorar de forma significativa el drenaje del trasdós para evitar daños por subidas y bajadas bruscas del nivel freático.
- Remodelación de la zona inferior de la ladera para lograr una mejor distribución de los esfuerzos en la zona del muro.
- Realización de investigaciones geológicas y geotécnicas en la ladera. Sellado de grietas. Construcción de un gran pozo de drenaje y observación.

En las fotografías 1 y 2 aparecen distintas vistas de la zona de obra.

3. EXPERIMENTACION

Dadas las características de la obra a ensayar, se proyectó y construyó un modelo de lecho móvil sin distorsión de escalas, eligiendo como escala geométrica la correspondiente a 1/50.

Con dicha escala, y utilizando material de granulometría apropiada en el lecho, se puede simular el movimiento bifásico (agua-sedimento) del cauce y observar, por tanto, los efectos de la interacción río-obra en su estado actual, así como las consecuencias de las modificaciones que, en su caso, hubiera que introducir para mejorar su comportamiento.

Dada la tipología de los ensayos se consideró conve-



FOTO 1.



FOTO 2.

niente reproducir no sólo la zona de obra propiamente dicha, sino también unos tramos de cauce de unos 500 m de longitud aguas arriba y aguas abajo de la misma, que sirvieran simultáneamente para efectuar la calibración del modelo, introducción de las condiciones de contorno y enlace con las zonas de alimentación y recarga.

Así pues, una vez construido el modelo, se inició la experimentación con el ensayo de la solución actualmente implantada en obra, constatándose que para un caudal del orden de 400 m³/seg se producen movimientos de la escollera de protección del lecho en determinadas zonas. El paso de 900 m³/seg, caudal de dimensionamiento de la obra, incrementa dichos efectos dejando en ménsula gran parte de la cimentación (fotografías 3 y 4).

Con objeto de evitar tales daños se pensó en disponer una serie de estructuras transversales en el cauce, que frenaran el flujo aguas arriba y disiparan energía aguas abajo de las mismas, lográndose así una circulación más favorable en los tramos intermedios. Después de distintos tanteos en esta línea y con objeto de perturbar en la menor medida posible el funcionamiento natural del río, la solución se enfocó hacia la implantación de azudes transversales discontinuos, proyectándolos con dos alturas y situando el azud de cota más alta pegado a la obra (fotografía 5). Con esta disposición los caudales pequeños, hasta unos 100 m³/seg, circulan por el hueco contiguo a la margen derecha dejado por el azud más bajo. Para caudales mayores empiezan a funcionar los azudes más altos originándose una circulación en los tramos intermedios en la que se distinguen claramente dos zonas, una con mayores velocidades contigua a la margen derecha por la que fluye la mayor parte del caudal, y otra contigua a la margen izquierda, donde está situada la obra, en la que las velocidades son menores. Es, por decirlo de alguna manera, como si se hubiese desviado parte del río pero dentro del propio cauce.

Por otra parte, cada azud dispone de su correspondiente cuenco de resalto para ir disipando la energía, contando con los calados que le proporciona la existencia del situado aguas abajo, con lo que el agua fluye más tranquila en el tramo comprendido entre ambos.

Existe una zona del cauce en el que éste se estrecha y aumenta la pendiente, incrementándose, por consiguiente, la velocidad y el poder erosivo del flujo; en esta zona más peligrosa se han analizado varias disposiciones especiales, llegándose a una constituida por una batería de tres azudes continuos (fotografía 6).

Cabe añadir aquí que, por prescripción de la DGC, la actuación sobre la ladera derecha se ha ceñido a la mínima indispensable, circunscribiéndose a los siguientes aspectos:

- Eliminación del peñasco rocoso existente en la zona de comienzo de la obra, al producir éste una distribución muy desfavorable del flujo de entrada.
- Suave perfilado de la margen rocosa en aquellas zonas en las que las suaves pendientes en las proximidades del lecho no dan lugar a grandes volúmenes de excavación.
- Remodelación de la zona final de la ladera, comprendida entre el último azud y el núcleo urbano de Pont de Bar, para permitir una correcta reincorporación del flujo aguas abajo de la obra.

En lo relativo a la protección del lecho, éste se estructura en la forma siguiente:

- Protección de la cimentación del muro mediante escollera colocada de peso medio superior a 1.000 kilogramos.
- Regeneración del perfil del río con escollera de peso medio superior a 500 kilogramos.
- Disposición, aguas arriba de los azudes, de una losa de hormigón precedida de una protección de escollera colocada con un peso medio superior a mil kilogramos.
- Colocación, aguas abajo de los azudes, de una protección de escollera colocada de peso medio superior a 1.000 kilogramos.

Finalmente, los ensayos realizados con este tipo de solución han mostrado un comportamiento aceptable, ya que, por una parte, no se detectan tendencias a erosionar la escollera de protección del muro ni la del lecho, y, por otra, no se producen desbordamientos de la lámina de agua peligrosos para la seguridad de la obra.

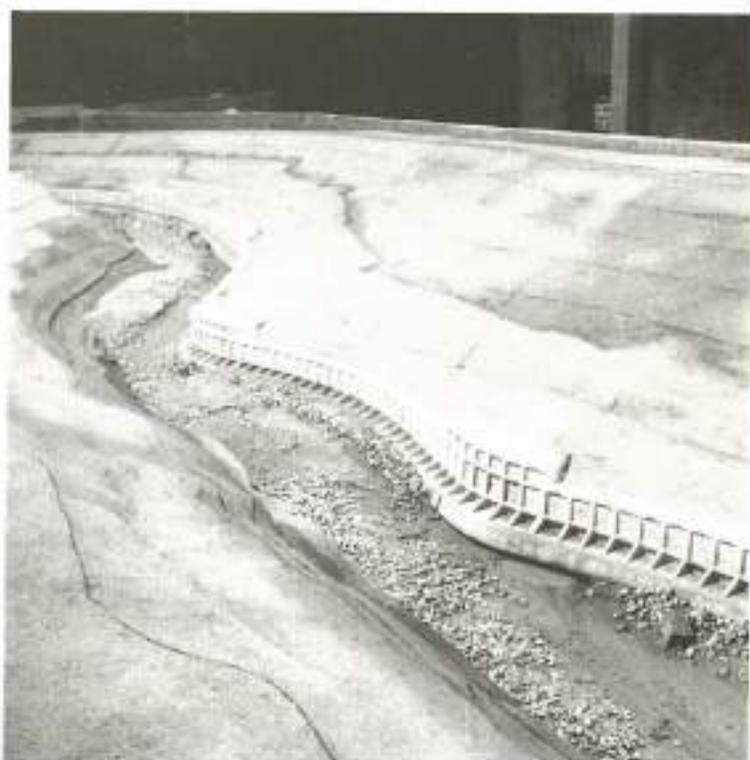


FOTO 3.



FOTO 4.



FOTO 5.



FOTO 6.