

VIII. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS PARA FUTUROS ESTUDIOS

VIII.1. Conclusiones

La primera conclusión que se deduce de los ensayos con traviesas de escollera y que los diferencia de los de traviesas de hormigón, es que aguas abajo de éstas no se produce erosión local. Sin embargo en ambos casos las pendientes de equilibrio en los tramos entre traviesas son menores que las que se darían para las mismas condiciones sin la presencia de estas estructuras. La pendiente resultante tras el desequilibrio en el tramo de aguas abajo es siempre mayor que la pendiente del tramo de aguas arriba, de forma parecida a lo que ocurre en los ensayos de equilibrio en los que se observa cierta convexidad en el perfil del lecho, donde la pendiente en aproximadamente la mitad aguas arriba es menor que en la mitad aguas abajo.

El hecho de que la pendiente de aguas arriba sea más horizontal puede ser debido a la caída que se ha provocado en la entrada del canal. El objetivo de ésta es distribuir uniformemente a lo largo de toda la sección la arena introducida en el canal y evitar que se deposite en el punto de vertido acumulándose hasta aflorar por encima de la superficie del agua. El flujo tras la caída es menos energético y además parte de la energía se emplea para acelerar las partículas, que caen con velocidad en el sentido del flujo nula, frenando el agua y provocando una zona de transición en la entrada del canal, correspondiente al tramo con pendiente más suave. El perfil que se obtiene aguas abajo de esta caída es parecido al que se observa aguas abajo de las traviesas de hormigón por lo que la explicación anterior puede ser también aplicable a estos casos. La existencia de este foso y del tramo más horizontal conlleva a que los perfiles entre las traviesas de hormigón sean curvos mientras que los comprendidos entre las de escollera se ajustan perfectamente a una recta..

De los estudios realizados para traviesas de hormigón ([3], [7], [25]) se extrae que cuanto menor sea la distancia que separa dos traviesas de hormigón menor será la pendiente entre ellas. Sin embargo en los ensayos realizados para esta tesina, si se supone en cada uno de los tramos que la traviesa de aguas abajo es un punto fijo independientemente del material que la constituya, el tramo más corto, comprendido entre traviesas de escollera, tiene mayor pendiente que el más largo, que se encuentra entre traviesas de hormigón. Esta observación conduce a pensar que el foso de erosión local influye en la pendiente de aguas abajo y que las pendientes obtenidas entre las traviesas de hormigón serán menores que entre las de escollera.

No se pretende forzar la dinámica del río y evitar el descenso del terreno sino ralentizar este proceso. La disminución de la cota del lecho se realiza con una alternancia de tramos largos con pendientes muy suaves y tramos más cortos con mayor pendiente correspondientes a las traviesas. De esta forma el flujo no se encuentra con un salto como ocurre con las traviesas de hormigón sino que la transición entre tramos se realiza de forma gradual. En los ensayos se comprueba además que existe subsidencia de la traviesa que favorece la reorganización de

las piedras de la traviesa dando mayor durabilidad a la estructura respecto la traviesa de hormigón.

Además del descenso del nivel de la traviesa ésta bascula respecto su extremo de aguas arriba aumentando su pendiente, al contrario de lo que ocurre en los tramos con lecho de arena en los que el perfil bascula respecto el extremo de aguas abajo disminuyendo la pendiente. En el momento en que se construye una traviesa en un determinado perfil en equilibrio ésta adopta la misma pendiente del lecho en el que se encuentra pero al tener un tamaño de grano mayor, para las mismas condiciones hidráulicas le corresponderá también una pendiente más pronunciada hacia la que tenderá de forma natural eliminando las piedras de aguas abajo. Sin embargo la pendiente máxima que alcanzará vendrá condicionada por la cota de la arena aguas abajo de la traviesa que facilitará o impedirá el movimiento de las piedras y en cualquier caso evitará el desplazamiento de la estructura.

El empleo de estructuras flexibles como estabilizadores para el control del fondo, además de no generar prácticamente impacto ambiental permite un mejor control de la erosión con el fin de evitar una catástrofe. El fallo de la estructura provoca una rápida reestructuración del lecho que puede afectar a la cimentación de estructuras cercanas que pueden verse descalzadas en poco tiempo debido al aumento de la velocidad de erosión (erosión regresiva).

Las fuerzas ejercidas en el fondo del canal serán determinantes para el movimiento de las partículas lo que permite definir un primer criterio de diseño basado en la tensión crítica de Shields. El diámetro mínimo de la escollera será el que se encuentre en el inicio de movimiento para los caudales medios, que serán las condiciones que se van a dar prácticamente todo el tiempo. Pero el objetivo de la traviesa es ralentizar el descenso del lecho debido al paso de avenidas por lo que el diámetro de diseño deberá ser mayor. De forma general se puede establecer que, el D_{50} de la piedra estable para un caudal que provoca un descenso del lecho de z m en ausencia de traviesas será $0,5z$ m y se deberá colocar al menos dos capas.

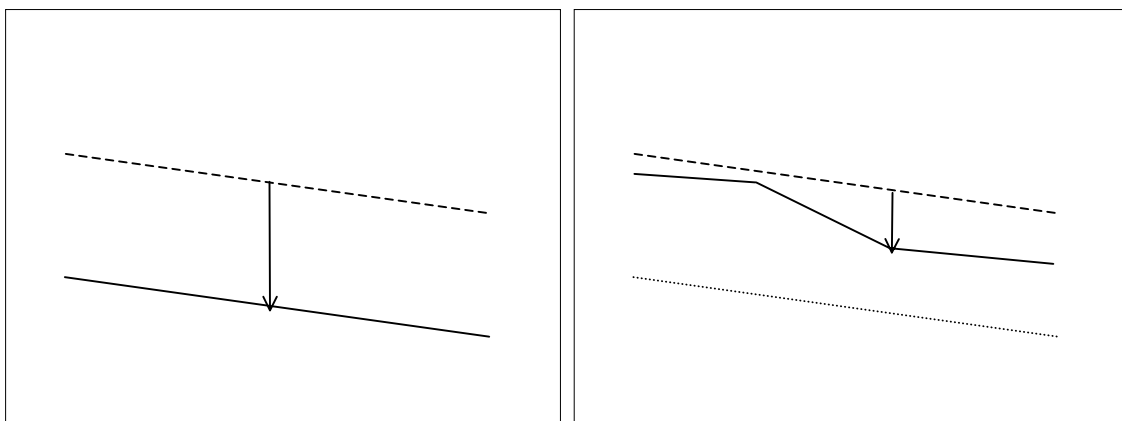


Fig. 64 Comparación de la evolución del lecho sin y con traviesa.

Para el cálculo de la tensión de fondo se puede emplear tanto la ecuación de la energía como la de momentum ya que ambas dan buenos resultados, pero la elección de una u otra dependerá del caso de estudio. Como suele ser difícil evaluar y cuantificar las pérdidas de energía y se puede cometer errores en la determinación de la pendiente motriz se recomienda utilizar la ecuación de momentum, que además permite obtener la tensión de forma directa.

Es importante considerar el transporte de sedimento cuando se analiza el comportamiento de un curso fluvial. El transporte de fondo introduce una fricción adicional que algunas fórmulas existentes para estimar la fricción no tienen en cuenta.

Uno de los campos todavía poco utilizados en investigación es el tratamiento de las imágenes para facilitar el análisis de los fenómenos que se están estudiando. Una preparación adecuada de la zona de ensayos permite obtener imágenes suficientemente buenas como para describir la evolución de un fenómeno en dos o incluso 3 dimensiones, si se es capaz de medir sobre la imagen y se conoce el tiempo transcurrido entre las tomas. Debido a los errores derivados de la inexperiencia en este tipo de temas a la elaboración de los programas *calados* y *calados2* se le dedicó gran parte del tiempo pero los resultados obtenidos fueron satisfactorios y una vez creado el programa se consiguió la reducción del tiempo de cálculo para un aumento de la cantidad y de la calidad de las medidas. De los problemas derivados de la programación se extrae que el factor más importante para obtener un buen resultado a partir del tratamiento de las imágenes es la calidad de la fotografía, que debe realizarse en una zona limpia, con una luminosidad adecuada y destacando aquello que se vaya a medir.

VIII.2. Futuros estudios

Hay muy pocos estudios sobre traviesas de escollera por lo que de la misma forma que fue difícil determinar cómo empezar a trabajar es difícil determinar cual es el mejor camino a seguir en la investigación. Sin embargo la experiencia adquirida sobre este tema debida a la lectura de bibliografía diversa, a las observaciones de los ensayos durante horas y a las largas reflexiones y discusiones con otras personas y especialmente con el tutor de esta tesina, han servido para proponer el siguiente sentido de avance:

1.-Comprobar, en otras condiciones y con otros tamaños de piedra que las traviesas fallan cuando se supera la tensión crítica y que ésta se da cuando el desequilibrio provocado es aquel que en ausencia de traviesas provoca un descenso de cota de 2 diámetros. De momento se aconseja que el ancho de la traviesa siga siendo el mismo que se ha utilizado aquí, 40 cm, ya que es suficientemente larga como para apreciar la evolución de la pendiente. En este punto es importante destacar que a medida que se han ido produciendo los desequilibrios, aunque sí que se ha esperado a que se estabilizara el sistema no se ha llevado ningún control del equilibrio por lo que quizás en algunos casos no se haya alcanzado. En adelante no se deberá provocar un nuevo desequilibrio hasta no poder asegurar que se ha alcanzado el equilibrio anterior y para realizar este control se propone utilizar el mismo criterio de convergencia que se utilizaba en los ensayos de equilibrio.

2.-Una vez determinado el aumento de caudal que desestabiliza un cierto tamaño de piedra realizar ensayos en estas condiciones y dejarlos hasta que se observe una situación estable. En los ensayos realizados hasta el momento sólo se había pretendido determinar en qué condiciones falla la traviesa, ahora se pretende ver cómo lo hace.

3.-En función de cómo haya evolucionado el perfil se podrá determinar la anchura, y quizás la profundidad (que será al menos de dos capas) y la forma de la traviesa. Si su pendiente viene condicionada por la evolución del lecho de arena y si el punto de aguas arriba se mantiene prácticamente estable, y el de aguas abajo disminuye una profundidad independiente de la longitud de la traviesa, cuanto más estrecha sea ésta mayor pendiente alcanzará y mayor velocidad adquirirá el agua pudiendo provocar un pequeño foso de erosión aguas abajo. Se propone también estudiar qué es lo que ocurre realmente.

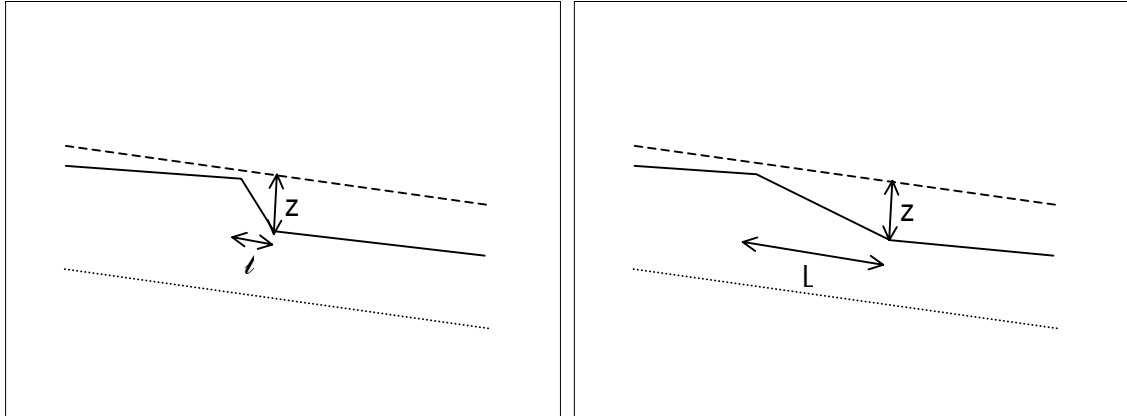


Fig. 65 Comparación de la pendiente para un mismo desnivel y diferente longitud de la traviesa.

4.-Una vez dimensionada la traviesa se podrá proceder a la reproducción de las condiciones de los ensayos con traviesas de PVC. Así se podrán establecer comparaciones y analizar las ventajas y desventajas de utilizar un tipo u otro de estructura.

Además de todos estos análisis se puede estudiar también la posibilidad de colocar un filtro granular, determinar la evolución de las tensiones, la velocidad de erosión, la fuerza de arrastre, el espesor de las capas de transporte y la velocidad de corte entre estas capas. También sería interesante realizar una topografía de la superficie del lecho después de los ensayos.

Para finalizar se presenta una fotografía en la que aparece el motivo por el que es interesante avanzar en el sentido de las traviesas de escollera.



Fig. 66 Vista desde aguas abajo de la confluencia de dos torrentes. Tras la confluencia el lecho está estabilizado con traviesas de hormigón mientras que en la incorporación del torrente de la derecha de la imagen hay una zona protegida por escollera. Fotografía tomada por Bateman (Reus, 2006) .