

ANÁLISIS COMPARATIVO A NIVEL TÉCNICO Y ECONÓMICO DE
DISTINTAS TIPOLOGIAS DE SOLUCIÓN PARA LA CORRECCIÓN
HIDROLÓGICA EN LAS CABECERAS DE LAS CUENCAS DE ALTA
MONTAÑA EN LA COMARCA DEL BERGUEDÁ. (BARCELONA).

- **Miguel Angel Sobrino Abuja.**

**Ingeniero Técnico Forestal de la comarca del Berguedà
Área del Medi Natural de Barcelona. Departamento de
Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural.
Generalitat de Catalunya**

- **Josep Maria Caba i Muntada**

**Ingeniero Técnico Forestal.
Departamento Técnico Infraestructuras de Muntanya, S.L.**

RESUMEN DEL TRABAJO

Corrección hidrológica, Diques, Berguedà, Flujo de detritus, casos prácticos

La comarca del Berguedà, está situada en el norte de la provincia de Barcelona. Es posiblemente la comarca más forestal de toda la provincia y con una gran tradición en la gestión forestal. Está situada en el pre-pirineo catalán, con orografía complicada y torrentes de montaña en las cuencas de los ríos Llobregat y Cardener. Estos ríos tienen en su recorrido diferentes embalses que ven afectados su capacidad por los arrastres de materiales. A pesar de la calidad de la superficie forestal de la comarca, encontramos grandes problemas de erosión. Por este motivo desde hace mas de 50 años se están realizando de forma ordenada actuaciones de control de la erosión en diferentes aspectos y utilizando diferentes métodos constructivos en función de diferentes parámetros.

Se pretende aprovechar la variedad de estos sistemas aplicados en la comarca para mostrar las distintas técnicas utilizadas y realizar un análisis comparativo de estos tanto a nivel técnico, económico como de resultados. Los sistemas aplicados van des de sistemas clásicos como diques y muros de hormigón (sistemas rígidos), escolleras y muros de gaviones (sistemas semirígidos) a sistemas de última generación como barreras de mallas de acero ancladas al terreno (sistemas flexibles).

1.- INTRODUCCIÓN.

La comarca del Berguedá está en el Norte de la provincia de Barcelona. Esta comarca en función de sus características morfológicas y climáticas se puede subdividir en dos, el Baix Berguedá i l'Alt Berguedá. La orografía del Alt Berguedá, es montañoso pues forma parte del Pirineo axial, paralelamente en la banda meridional (baix Empordà) tiene el denominado Prepirineo, que ocupa la mayor parte de altitud decreciente hacia la depresión central.



Fig. 1 Mapa de situación.

Al tener un carácter montañoso, tenemos una fuerte diferencia de cota sobre el nivel del mar, entre la zona sur del Alt Berguedà (537 m) y picos de la zona norte (2.537 m) con sus consiguientes barrancos y ríos con fuertes pendientes. La climatología en la zona se considera de montaña con influencia mediterránea, con una precipitación media en las cotas altas, las que se producen los fenómenos erosivos, de unos 900 mm anuales.

En el norte de esta comarca podemos encontrar el nacimiento del río Llobregat, en el termino municipal de Castellar de n'Hug (cota 1.295) siendo el más importante de Catalunya. La cabecera de este río está formada por torrentes con características típicas de montaña que están afectados por la composición y estructuras de suelos de los cauces y las condiciones de climatología extrema de montaña, con épocas de lluvias escasas y épocas de grandes aguaceros en cortos periodos de tiempo. La importancia del Llobregat para la población de Barcelona hizo necesario la construcción de embalses en su recorrido

para poder regular el caudal. El embalse más importante es el de la Baells, situado en comarca, en los municipios de Cercs, Vilada y Berga. Este embalse tiene una capacidad 115 hm³, la cota máxima es de 630 m y la altura de la presa sobre la cimentación es de 102 m.

Al contrario de lo que a primera vista puede parecer por la gran superficie arbolada que tiene y por la calidad de diferentes pinares, en la comarca del Berguedá se observan grandes problemas de erosión en la red de torrentes que tributan en el río Llobregat y en el río Cardener (río de entidad que nace en la comarca y que es tributario del Llobregat).

Como ejemplo de un acontecimiento extremo los días 6,7 y 8 de noviembre del año 1982, se produjeron grandes precipitaciones concentradas en cortos periodos de tiempo, que provocaron en la zona del sur de la provincia de Barcelona inundaciones. En la cabecera del río Llobregat se llegaron a registrar precipitaciones de 300 mm en un día.

2.- DESARROLLO.

2.1.-Problemática

A pesar que la comarca está poblada por grandes superficies de pinares (muchas hectáreas repobladas en los años 60, para controlar la erosión) nos encontramos que existe una gran susceptibilidad a la erosión en los propios cauces de ríos y torrentes. Esta erosión afecta de forma importante en el embalse de la Baells, debido a la gran aportación de arrastres que se producen en las cuencas alimentadoras. En el año 2008 la universidad autónoma de Barcelona, por encargo de la Agencia Catalana del Agua, realizó el estudio "el riesgo de erosión de las cuencas altas del Llobregat (en especial la cuenca del río Saldes) y de las aportaciones de finos al embalse de la Baells". En este estudio se estimó ~~constató~~ que hay una pérdida de suelo en la cuenca de 200 Tm/ha año. Estos resultados no hacen más que corroborar que todas las actuaciones de

contención de la erosión son necesarias y avala las muchas actuaciones realizadas hasta la fecha.

Podemos diferenciar la tipología de los eventos que aportan estos materiales por la orografía del cauce o terreno y por el tipo de material de arrastre:

- El evento de mayor envergadura que existe en los torrentes de cuencas montañosas son las corrientes de flujo de detritus que es una combinación de fenómenos naturales que se dan como consecuencia de lluvias torrenciales o de ocurrencias de fenómenos meteorológicos con un periodo de retorno muy alto que se dan con relativa frecuencia en las zonas de montaña. El fenómeno consiste básicamente en el arrastre por un torrente de agua de materiales sueltos, granulares y tierra o lodo, restos de vegetación y en ocasiones troncos de árboles, a través de los cauces naturales del terreno. Estos eventos tienen una actuación dinámica y en general son sucesos que se producen en oleadas.

- Otros eventos de menor envergadura en volúmenes puntuales, pero que al final de un periodo limitado de estudio, igual arrastran más materiales, son la erosión con materiales finos, sobretodo proveniente de "badlands" un fenómeno bastante recurrente en algunos puntos de la comarca.

Otras problemáticas que se encuentran en la lucha contra la erosión en el medio es la accesibilidad a los cauces afectados por la erosión, es decir la red de pistas de acceso. Esto hace que condicione en gran manera la técnica a emplear o la situación natural y el entorno de los mismos que afecta especialmente el impacto ambiental que puede producir la obra. Otro elemento a introducir es la carga social (mano de obra y empleo que puede generar). La posible afectación al entorno rural.

2.2.- Objetivos

Frenar o detener al máximo los procesos de erosión y pérdida de suelo es una de las finalidades de los proyectos y obras de

Restauración Hidrológico Forestal, que las diversas administraciones realizan desde hace como mínimo un siglo en la comarca. Estos proyectos que se llevan realizados en las partes montañosas y más forestales de la comarca pretenden la estabilización y corrección de los lechos torrenciales mediante un conjunto de técnicas de ingeniería forestal de conservación de suelos, mejora de las masas forestales, realización de obras de hidrotecnia de corrección y defensa de la red de drenaje, conducentes a mitigar las consecuencias negativas de la dinámica torrencial y de sus manifestaciones (erosión transporte y sedimentación) teniendo en cuenta además los efectos que dichas manifestaciones pueden tener sobre las propiedades, infraestructuras.

Entre el conjunto de acciones y técnicas que comprende la restauración hidrológica forestal de la comarca, este artículo se centrará en las obras destinadas a la corrección y estabilización de torrentes, que tienen como finalidad la regulación y el control de la erosión hídrica y la defensa de los márgenes y los lechos en régimen torrencial, en las zonas forestales y con ello evitar la incorporación masiva de materiales a las infraestructuras (embalses, pantanos, carreteras, pistas, etc.; prolongando su vida útil).

De las actuaciones destinadas a la corrección y estabilización de torrentes, las estructuras transversales, principalmente en forma de diques serán las que aquí trataremos pues se han ejecutado con la finalidad de:

- Detener el descenso progresivo del lecho
- Disminuir la velocidad de las aguas y en consecuencia su capacidad de arrastre.
- Retener los sólidos hasta conseguir una pendiente de compensación menor que la del lecho natural.

- Conseguir con la zona de aterramiento la consolidación de los márgenes fluviales y torrenciales.

2.3.- Descripción de soluciones adoptadas.

Desde los años 60, la administración forestal, se ha dedicado a la construcción de estructuras transversales para la contención de la erosión, en los torrentes mas erosionados (principalmente en los cauces tributarios del río Saldes). Este tipo de soluciones de correcciones de un torrente lo que se ha pretendido es poder disminuir, anular o controlar los procesos de transportes de sólidos y la erosión del cauce y sus márgenes, evitando que, por este proceso se incorpore importante material sólido a las aguas circulantes. La cuestión básica radica, en adoptar medidas para evitar que el fenómeno del caudal sólido llegue a reducirse al mínimo o eliminarlo, por depósito y sedimentación de los sólidos incorporados. Por esta razón la ejecución en el cauce de obras transversales al eje de un torrente ofrece la solución más simple y efectiva. Esto produce dos efectos:

- Los depósitos que se producen, van produciendo un aterramiento que levanta el cauce hasta llegar a la pendiente de compensación, menor que la del cauce natural.
- Los aterramientos producen un frenado de la velocidad de la llegada de detritos, por pérdida de la energía que mantenía su transporte, se depositan. Como resultado se produce la colmatación.

Para este tipo de obras se puede utilizar todo tipo de materiales y estructuras sin que se pueda establecer una norma fija. De esta manera se puede decidir establecer, una serie de estructuras transversales escalonadas, o bien una gran estructura que retenga un volumen mayor de detritus, siendo el factor decisivo la accesibilidad,

el mantenimiento del medio, la conformación topográfica, la efectividad y los factores sociales y económicos.

A lo largo de estos 50 años se han realizado actuaciones que han renovado las soluciones primigenias con la innovación de materiales, mejora de los vehículos empleados y mejora de los accesos, lo que han permitido estos poder comparar distintas soluciones para objetivos similares en puntos distintos, que en según que casos en un principio no se planteaban actuaciones por falta de una viabilidad que las nuevas tecnologías si que han permitido tanto des de un punto de accesibilidad, como de protección del medio y su sostenibilidad.

Básicamente se han utilizado tres tipos de estructuras,

- Estructuras de contención rígidos (diques y muros de hormigón).
- Estructuras semirrígidas, (escolleras y diques de gaviones).
- Estructuras flexibles (barreras de mallas de acero).

2.4.- Análisis comparativo.

Para realizar el análisis comparativo hemos seleccionado tres proyectos representativos de las diferentes tipos de estructuras empleadas, realizados en la comarca y que han sido observados su funcionamiento.

Para este estudio no se entrará en la justificación de los cálculos realizados ni en una descripción detallada de las soluciones, si no que se compararán tres actuaciones realizadas des de un punto de vista económico, técnico y medioambiental.

Como uno de los parámetros a valorar son los precios de ejecución de los trabajos de construcciones de las diferentes estructuras, se han calculado los valores a una unidad común. En nuestro caso se ha considerado el m² de alzado? Los precios bases han sido los de

ejecución material de los respectivos proyectos, actualizando los precios al año 2012.

2.4.1.- Estructuras de contención rígidos (diques y muros de hormigón).

Nombre del proyecto: *“Proyecto de construcción defensa hidrológica diques núm. 52, 53, 61, 63 y 64 en la sección V Saldes del embalse de la Baells” 1995*

En este proyecto se realizaron 5 diques de hormigón en masa. Los diques cierran las pequeñas cuencas. Se realizaron en la parte alta de los torrentes de montaña que tributan al río Saldes. El objetivo era retener material finos sueltos (bloques de dimensiones centimétrica) que se arrastraba una vez erosionado en el cauce de los torrentes y se transportaba a la parte baja y defender las infraestructuras y regular el caudal del río Saldes. Tomaremos como ejemplo uno de los diques, en concreto el dique núm. 64:

Dique de hormigón en masa, con una longitud de 21.50 m, 5.0 m de altura. La longitud del vertedero es de 5.50 m y 1,00 m de alto. La anchura en la base es de 4,69 m y en coronación 1m. A la salida se colocó un dissipador de energía con contradique para evitar el socavamiento aguas abajo y favorecer el encauzamiento de las aguas.

Condicionantes técnicos de la obra.

- Se tuvo que realizar una abertura de pista para acceder hasta la obra por lo que se hubo de realizar 2100 m. El acceso se realizó tanto para dar acceso a la maquinaria necesaria para realizar la excavación de la cimentación, así como el acceso para los camiones cuba del hormigón.
- Para poder asegurar que no hubiera problemas en los asentamientos y posible socavamiento de la estructura se tuvo que realizar una excavación semiprofunda para la cimentación y

en los apoyos de los estribos. Lo que provocó una modificación del perfil del cauce y de los márgenes.

- El tiempo de descarga del hormigón una vez cargada la cuba en la planta hasta la puesta en obra era superior a los tiempos que permite la normativa y que aseguran una calidad correcta de los materiales por lo que se tuvieron que añadir retardantes y realizar un control importante de los hormigones antes del vertido y durante su curado. El vertido se realizó ayudándose de canales que se fabricaron in situ, pues la cuba no tenía acceso, ni el sistema de bombeo.



Fig 2: Dificultad para el vertido del hormigón.

- Al no ser un barranco con circulación continua de agua, hubo que prever una evacuación para los momentos de precipitación, mediante un tubo de fibrocemento de diam. 40 cm que al final de la obra se tapó.
- Para permitir la circulación de agua en el dique cuando aun no esta colmatado se realizaron mechinales y así evitar subpresiones.
- Previendo posibles problemas erosivos de socavación en la cimentación aguas abajo del dique se optó por la construcción de un dissipador de energía con un contradique.

- El trabajo realizado de retención de materiales y regulación del caudal ha sido satisfactorio. El volumen de material retenido es de 2.6875 dm^3 de finos y se ha pasado de un 10% de pendiente a un 0-2 % de pendiente de compensación.
- Actualmente el trasdós aparece colmatado y trabajando en las condiciones esperadas, sin tener problemas estructurales, de asentamiento o de socavamiento.



Fig 3: el Dique en la actualidad

Condicionantes económicos-sociales .

- El precio de ejecución de los diques fue de $304,87 \text{ €/m}^2$. (m^2 de superficie construida de dique aguas abajo)
- El personal para la ejecución fueron operarios especializados en trabajos de encofrado y vertido de hormigón. Esta tipología de empresa se encuentra con facilidad en la comarca, por lo que se contrato personal de la zona.
- La maquinaria para los trabajos también es una maquinaria de uso frecuente por lo que se pudo trabajar con empresas de la comarca.

- La construcción de la pista comportó un incremento de coste de la estructura de: 44,39 €/m². Coste relativamente económico

Condicionantes medioambientales.

- Se tuvo que realizar la obertura de 2,10 km de pista, afectando al estado natural de la ladera, que provocó un impacto ambiental de la zona.
- La zona de acceso de maquinaria y suministro de materiales no se pudo realizar des de la pista sino con un acceso paralelo al cauce de la actuación hubo desbroces, reperfilado de los laterales para acceder con la consiguiente compactación del terreno para la maquinaria pesada. Lo que comporto un largo periodo para la recuperación a su estado natural
- Las excavaciones para las cimentaciones y anclajes de la estructura, se realizaron en el mismo cauce y en los márgenes de los río por lo que se vieron afectados tanto por la sustracción de la vegetación natural como por el compactado de los alrededores modificando su estado natural
- La dificultad de acceder a la zona de trabajo y la falta de piedra en el torrente hizo que se descartara realizar un revestimiento con piedra, por lo que el impacto visual y ambiental es alto.

2.4.2.- Estructuras semirrígidas (escolleras y diques de gaviones).

Nombre del proyecto: *“Restauración hidrológico forestal en las cuencas de los ríos Saldes, Aigua de Valls y Bastareny. Termino municipal de Saldes.” Año 2005*

Este proyecto contempla diferentes actuaciones de corrección hidrológica en distintos puntos de la red hídrica de la comarca, pero vamos a centrar el estudio en un dique de gaviones que se construyó en la cuenca del río Saldes, para restaurar el torrente, el principal material de aportación eran arcillas-limosas. En el momento de la actuación se aprecia una fuerte erosión de los materiales que componen la cuenca del barranco, su composición comporta una fuerte meteorización superficial que conduce a un gran arrastre de los materiales superficiales.

El objetivo principal del dique de cierre construido es la contención de material erosionado y estabilización del lecho del torrente para implantar la vegetación, de forma que se limite o frene la meteorización, aumente la fricción de la lámina de agua de forma que disminuya su poder de arrastre.

El dique es de 3 m de alto por 30 m de longitud. La base es de 3 m. Tiene un vertedero centrado de 4 m de longitud por 1 m de alto y 1 m de ancho. La obra se complementó con la colocación de escolleras para contener las laderas de los torrentes y dar estabilidad al terreno (muy degradable, con gran cantidad de arcillas).

Características técnicas de construcción.

- Existía una red de caminos para llegar al punto de actuación del torrente, pero en mal estado y con problemas de estabilidad por lo que se realizó obras complementarias de consolidación del pie de la ladera y los márgenes del cauce aguas abajo.
- En la zona de actuación y el mismo torrente no presentaban material adecuado para el relleno de los gaviones, por lo que se optó por la aportación externa de materiales.
- Debido a la inestabilidad del terreno formado básicamente por arcillas que en estado hidratado no garantizaban el soporte del peso del dique se optó por reforzar la base de la cimentación mediante la colocación de piedra de grandes dimensiones, para

favorecer su estabilidad y evitar deformaciones excesivas para el tipo de estructura.



Fig. ... refuerzo de la cimentación

- Para evitar socavamiento lateral de la estructura se tuvo que excavar y anclar en el terreno parte de la estructura.
- El trabajo realizado de retención de materiales y regulación del caudal ha sido satisfactorio. El volumen retenido de lodos y agua con partículas en suspensión es de 4.800 m^3 , pasando de una pendiente de un 7% a una pendiente del 0-1%. Se puede comprobar porque retiene agua y está a la misma cota. Hace un efecto presa hasta que se evapora el agua y queda el material.

Condicionantes económicos-sociales .

- El precio de ejecución del dique de gaviones sería de $571,8 \text{ €/m}^2$, a coste de 2012
- El personal utilizado eran operarios de la zona conocedores de la técnica y el manejo de la piedra para la construcción de muros de piedra seca.

- Se ayudo para el relleno de los gaviones, como para la cimentación de maquinaria estándar que hay oferta en la comarca.

Condicionantes medioambientales.

- Se afecto para su construcción tanto los márgenes del río como su cauce en el refuerzo de cimentación.
- Durante los trabajos de cimentación se aportó una gran cantidad de finos en suspensión.
- Aunque en el inicio de su funcionamiento permitía la circulación de agua con la colmatación del trasdós y la disminución de cota, actualmente como se puede ver en la foto tiene efecto presa, pero con lamina de agua de poca potencia lo que comporta evaporación del agua.
- Los elementos utilizados son en su mayoría naturales y están integrados con el medio. El impacto visual es bajo.
- La aportación de piedra de fuera comportó un impacto en el punto de extracción.



Fig 4: el dique en la actualidad

2.4.3.- Estructuras flexibles (barreras de mallas de acero).

Nombre del proyecto: *“Restauración hidrológico forestal y contención de la erosión en cárcavas, ríos y torrente de la cuenca alta del Llobregat y Cardener. Termino municipal de Cercs. Año 2009.”*

Este proyecto diseña diferentes soluciones a multitud de problemas de erosión de la zona. Nos centraremos en el torrente de Peguera, que desemboca directamente al embalse de la Baells, pasando por el pueblo de Cercs. El paso del barranco por la zona habitada es estrecho y entre casas, con lo que se produce una estrangulación en el desagüe del torrente, justo en su desembocadura. En esta zona no existe erosión en las laderas, sino que toda la erosión se produce del cauce del torrente, produciéndose transporte de material pétreo heterogéneo (bloques de dimensiones centimétricas hasta métricas). En esta obra además de mitigar la erosión del cauce y proteger infraestructuras, pistas, embalse, también existe el riesgo a la población. Se colocaron 5 barreras flexibles de mallas de acero anclada en profundidad. La ladera presentaba problemas de inestabilidad por lo que fueron recalzadas en la base con escolleras a

banda y banda. El objetivo principal era la contención de material transportado de diferentes dimensiones y estabilización del lecho del torrente. La distribución de las mallas fue en función de la pendiente de compensación que ese pretendía conseguir.

Se colocaran las siguientes mallas:

- Malla 1- 8 m de longitud por 1,5 m de altura (12 m²) con 10 anclajes de 5 m de profundidad y 2 bulones de más de 4 m en la zona de contacto con el lecho del torrente.

-Malla 2- 11 m de longitud por 1,5 m de altura (16,5 m²) con 10 anclajes de 5 m de profundidad y 2 bulones de más de 4 m en la zona de contacto con el lecho del torrente.

-Malla 3- 14,3 m de longitud por 1,5 m de altura (21,45 m²) con 10 anclajes de 5 m de profundidad y 2 bulones de más de 4 m en la zona de contacto con el lecho del torrente.

-Malla 4- 11,5 m de longitud por 1,5 m de altura (17,25 m²) con 10 anclajes de 5 m de profundidad y 2 bulones de más de 4 m en la zona de contacto con el lecho del torrente.

-Malla 5- 12,9 m de longitud por 1,5 m de altura (19,35 m²) con 10 anclajes de 5 m de profundidad y 2 bulones de más de 4 m en la zona de contacto con el lecho del torrente.

Características técnicas de construcción.

- Para la introducción del material de las barreras y la maquinaria de perforación se realizó manualmente.
- Las estructuras se adaptaron perfectamente al perfil del cauce, evitando ningún tipo de excavación, solamente se realizó un desbroce de la superficie en una franja de 2 m de ancho.
- La presencia de agua (capa freática) complicó la perforación y su inyección, provocando el lavado de la lechada.

- El trabajo realizado de retención de materiales y regulación del caudal ha sido satisfactorio. El volumen retenido por el conjunto de las mallas es de 913,87 m³, de grava y bolos de piedra de diferentes dimensiones. La pendiente de compensación es del 5%, partiendo de una pendiente de 8%.
- El llenado del trasdós de todas las estructuras se produjo en dos eventos lo que nos demuestra que fueron episodios violentos. La retención de bloques de grandes dimensiones como se puede apreciar, implicaron impactos importantes en las mallas.

Condicionantes económicos-sociales.

- El precio de ejecución de las mallas fue de 387,09 €/m², incluyendo los anclajes de cimentación y los bulones de cerramiento de la base de la malla.
- El personal que realizó los trabajos era especializado en perforaciones y en trabajos en altura, en la comarca no existían empresas con ese perfil por lo que se contrato fuera.
- La maquinaria utilizada es especial para realizar las perforaciones y con un peso ligero para zonas de difícil acceso. No es maquinaria habitual

Condicionantes Medio ambientales.

- No se utilizó ningún tipo de acceso hasta el lecho del río. En tramos superiores del barranco se ha planteado la actuación directamente en helicóptero para próximas fases.
- Las cimentaciones profundas no afectaron al perfil del cauce ni hubo excavaciones, lo que permitió mantener el estado natural del cauce.

- El sistema de drenaje del cauce una vez entrado en funcionamiento las barreras, sigue el mismo funcionamiento las barreras, sigue el mismo anterior, pero consiguiendo una disminución de la velocidad del flujo de agua.
- Aunque los materiales para las barreras son de acero, una vez colmatados con piedra quedan bien integrados en el medio, creando un impacto bajo.



Fig 5: Distintas fases de los diques una vez finalizada la obra.

2.4.4.- Análisis generalizado

Una vez indicados los condicionantes particulares de tres obras en concreto de cada uno de los sistemas a continuación se pretende enumerar los condicionantes generales o que habitualmente se encuentran en cada una de estas tipologías de obras:

Condicionantes técnicos

- Rigidez vs. flexibilidad

Dique: Es una estructura totalmente rígida, que está muy condicionada por el tipo de terreno donde se tiene que cimentar. Prácticamente no tiene capacidad de adaptación y por tanto puede entrar en ruina con relativa facilidad. Este tipo de estructura tiene posibilidades de adaptación a cualquier dimensión y forma de los torrentes, pero incrementando su coste, debido a las operaciones de adaptación a realizar, en excavaciones y encofrados.

Gaviones: Esta estructura, puede estar situada en zonas con terrenos no muy estables. la capacidad de deformación de la misma permite que se adapte al terreno con su deformación y mantenga la misma capacidad de trabajo. Este tipo de estructura tiene posibilidades de adaptación a cualquier dimensión y forma de los torrentes, pero incrementando su coste, debido a las operaciones de adaptación a realizar

Barreras flexibles contra flujo de detritus: Es un elemento totalmente flexible y que permite su total adecuación al perfil del cauce sin necesidad de ejecutar ningún tipo de excavación. Su alta flexibilidad permite el impacto de los flujos con grandes bolos, pues absorbe la energía del impacto dinámicamente.

- Cimentación.

Dique y Gaviones: En general son estructuras que trabajan por gravedad, con cimentaciones no muy profundas, por lo que son susceptibles de socavamiento y de ser elevados en flotación.

Barreras flexibles contra flujo de detritus: La cimentación es profunda mediante anclajes de cable (3-15m de profundidad), su adaptación total al terreno no permite el socavamiento de la estructura y en caso de producirse, es posible su corrección mediante la incorporación de anclajes de adose.

- Accesibilidad:

Diques: La necesidad de acceso del hormigón comporta la obertura de pistas en general, así como el acceso para la construcción de la cimentación de maquinaria pesada.

Gaviones: Si hay la posibilidad de recoger la piedra del relleno de los gaviones del mismo cauce, no hay necesidad de obertura de pistas, y la cimentación puede ser manual.

Barreras flexibles contra flujo de detritus: la ligereza de los materiales permite que en caso de no haber acceso rodado estos puedan ser helitransportados, igual que la maquinaria a utilizar, por lo que permite ejecutar trabajos en zonas de alto nivel ecológico y sin depender de la extracción de los materiales del cauce del torrente

- Permeabilidad:

Dique: Es una estructura totalmente impermeable, por lo que hay que realizar mechinales para poder asegurar el drenaje y el caudal en el torrente. Esta permeabilidad obliga a sobredimensionar la estructura por las presiones hidráulicas (funcionamiento de presa) hasta que se produzca el colmatado del trasdós. Durante la construcción hay que prever sistemas de evacuación en caso de lluvias torrenciales.

Gaviones: Es una estructura semipermeable, por lo que permite la circulación del agua relativamente. No es necesaria la instalación de mechinales. Durante la ejecución hay que prever sistemas de evacuación en caso de lluvias torrenciales.

Barreras flexibles contra flujo de detritus: Es totalmente permeable, eso provoca que en casos de torrenteras con materiales finos haya que añadir sistemas de filtro como son geomallas o mantas naturales. Permite la circulación de agua en cualquier momento.

Condicionantes económico-sociales.

Diques: En el caso práctico se le otorga el precio más económico, pero al añadir el coste de apertura de pistas que en general va

asociado, se eleva el coste. En cuanto a mano de obra se podría otorgar de especialización media, siendo un recurso abundante, por lo que permitiría ocupar al personal de la zona.

Gaviones: En el caso práctico es el de mayor precio, sobretodo porque hubo que aportar material externo y por el refuerzo de la cimentación. En cuanto a la mano de obra es similar al caso anterior, se requiere del conocimiento del montaje de muros de piedra seca, que en algunas zonas rurales es una técnica conocida.

Barreras flexibles contra flujos de detritus: En el caso práctico el coste sería muy similar al del dique. Lo que estos sistemas sí que requieren una fuerte especialización, teniendo que recurrir a empresas y maquinaria especializada.

Condicionantes medioambientales

- Afectación del medio

Diques: La obertura de accesos a la obra para su ejecución son necesarios. Se tienen que realizar excavaciones para las cimentaciones y anclajes de la estructura, por tanto los márgenes de los ríos y los cauces se ven afectados. La retención de los materiales seleccionados no es selectiva y no existe ninguna posibilidad de permeabilidad en la estructura.

Gaviones: La obertura de accesos a la obra para su ejecución puede no ser necesaria aunque a veces sí que se tiene que realizar los accesos, la aportación de materiales es por métodos extractivos afectando el punto de extracción. Es posible la necesidad de excavaciones para las cimentaciones, por tanto los márgenes de los ríos y los cauces se pueden ver afectados. La retención de los materiales seleccionados no es selectiva, aunque en las primeras épocas del funcionamiento, puede permitir el paso de agua por filtración entre las piedras de los gaviones.

Barreras flexibles contra flujos de detritus: No es necesario la obertura de accesos a la obra para su ejecución (no son necesarias pistas de acceso). No son necesarios realizar excavaciones para las cimentaciones, por tanto los márgenes de los ríos y los cauces se respetan. La retención de los materiales seleccionados, pueden ser selectivos, incluso permitiendo la continuidad de la corriente de agua y manteniendo la permeabilidad de la estructura.

- Impacto final en el medio

Dique: Los elementos utilizados no son naturales y por tanto no se integran en el medio. Como medida correctora, se recubren de piedra de la zona los paramentos vistos para minimizar el impacto. Esto hace que la obra aumente su precio. El impacto visual es alto.

Gaviones: Los elementos utilizados son en su mayoría naturales y están integrados con el medio. El impacto visual es bajo.

Barreras flexibles contra flujos de detritus: Los elementos utilizados no son naturales y por tanto no están integrados con el medio. Debido al tipo de construcción, la cual no se observa un cuerpo voluminoso, se considera medio-bajo.

3.- CONCLUSIONES.

La experiencia en correcciones hidrológicas en torrentes nos indica que todas las soluciones pueden ser aptas. Simplemente se tiene que hacer una evaluación sobre las características que hacen que nuestra propuesta de solución sea más idónea.

Después de analizar los tres tipos de estructuras en proyectos ejecutados se puede determinar en función de los análisis realizados en el punto anterior lo siguiente:

Condicionantes técnicos.

La oportunidad de actuar en zonas sin accesos o con la posibilidad de construcción de accesos restringidos (parques naturales, espacios protegidos o acceso por terrenos no autorizados), hace que se pueda

proyectar una solución en zonas donde sea necesario sin estar condicionado por los accesos. Esto hace que sistema flexible sea mejor que el dique de gaviones y de hormigón.

Condicionantes económicos-sociales.

El principal factor a tener en cuenta es el coste de la estructura. En este caso el precio más barato de construcción es el dique de hormigón, pero muy próximo a él está el dique de malla. Según la zona de construcción, la necesidad de abrir accesos puede encarecer la obra, hasta tal punto que sea mayor el coste de abertura de pista que no la propia construcción del dique. En estos casos los diques de mallas, se convierten en la opción más económica.

La imposibilidad de acceder a las obras con vehículos, puede comportar que los operarios tengan que realizar largos desplazamientos en tiempo o la utilización de helicóptero para su traslado o la instalación de campamentos. Esto implica aumentos del coste económico, que en el caso de la posibilidad de abertura de caminos hay que estudiar su compatibilidad.

Condicionantes Medio ambientales.

La construcción del dique flexible, evita la abertura de pistas y excavaciones en lechos y márgenes de ríos y torrentes, con lo que se minimiza el impacto sobre la zona, en comparación con la construcción de diques de gaviones o de hormigón.

El dique de malla es una estructura mucho más permeable, que el resto de las estructuras. Esto puede permitir el flujo del agua en ríos donde lo que nos interesaría retener son bolos de piedra y permitir el paso del agua.

Una vez el dique de malla ha retenido material (finos, gravas o piedras), el impacto visual es muy parecido al dique de gaviones y menos que el dique de hormigón.

Como conclusión final, en el supuesto de las actuaciones que se han realizado y que hemos estado evaluando, las tres soluciones nos han permitido conseguir los objetivos básicos de retención de materiales y

la corrección del torrente. La evolución a soluciones que permiten la utilización de materiales ligeros nos permite abrir las posibilidades a actuaciones que hasta el momento se hacían inviables y a la vez permiten corregir esos defectos en los sistemas más clásicos que ya han sido detectados a lo largo de los años.

4.- BIBLIOGRAFIA.

- Roberto Luís Fonseca, Carles Raïmat Quintana, Josep Ma Caba i Muntada *"Dimensionamiento de una solución de protección contra torrentes de detritus en Capdella"* (2006)
- Carles Fañanas, Noelia Aguilar, Carles Raïmat, Roberto Luís Fonseca, Judith Albalade *"Corrección hidrológica en el Barranco de Portainé"* (2010).
- Roberto Luis Fonseca *"Aplicación de Membranas Flexibles para la prevención de Riesgos Naturales"* (2010) España
- Duffy J.D., Peila A *"Case Studies on debris and mudslide barrier Systems in California"* (1999).