



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

## Nuevo elemento para controlar la erosión

Autor: Guillermo Tardío Cerrillo

Institución: PROFOYMA, Estudios y Proyectos, S.L  
E-mail: [proyectos@profoyma.com](mailto:proyectos@profoyma.com)

Otros autores: Carlos Caballero Serrano



## **RESUMEN:**

Los diques mixtos de biomasa residual se idearon durante las actuaciones para controlar la erosión en la Corona Forestal del Teide a finales del año pasado y tras el gran incendio que asoló más de 18.000 hectáreas. El esquema simplificado de este dique mixto consiste en un conjunto formado por estacas verticales y largueros horizontales que crean un espacio tridimensional que se rellena con una matriz de restos vegetales. Además, a ambos lados, se colocan taludes de piedra con la función de conseguir un perfil hidrodinámico. La rigidez del dique mixto se consigue mediante un arriostrado con soga biodegradable que se ancla al terreno circundante. Se ha realizado un dimensionado mediante el cálculo de estructuras de madera. La matriz formada con los restos de desbroces (ramas y ramillas) crea un sustrato inmejorable para que, con el inevitable soterramiento de las barreras debido a la sedimentación, aparezcan nuevos brotes de la vegetación de la zona. Se consigue de esta manera una serie de islas verdes (a partir de la serie de diques) que permiten un mejor agarre del terreno. La separación entre las distintas barreras depende de la altura del dique mixto y la pendiente del barranco o cárcava. Con la correcta disposición de estos elementos se consigue crear una menor pendiente en los barrancos y, de esta manera, controlar la velocidad del agua. A los resultados satisfactorios, se une el hecho de ser una solución bastante económica y versátil pues las dimensiones de estos nuevos elementos se adaptan muy bien a las necesidades de la zona de actuación. Tras los primeros caudales de avenida se ha comprobado un buen funcionamiento de estos diques consiguiéndose una buena sedimentación y, por tanto, unas pendientes más suaves en cárcavas y barrancos. Con esta comunicación se intenta exportar las experiencias con los diques mixtos de biomasa residual a otras zonas de la Península y Norte de África.



## INTRODUCCION

1. **Descripción de la situación:** Durante los días 30, 31 de Julio y 1 y 2 de agosto de 2007, los municipios tinerfeños de Los Realejos, San Juan de la Rambla, La Guancha, Icod, Garachico, Los Silos, Buenavista del Norte, El Tanque, Santiago del Teide y Guía de Isora fueron afectados por un gran incendio que afectó a gran parte de la cubierta vegetal constituida en su mayoría por pinar. La superficie total afectada superó las 15.000 has.

Ante el anterior panorama, la prioridad absoluta era la protección del suelo frente a las lluvias venideras. Las actuaciones se plantearon en distintos frentes: por un lado, actuaciones de reparación, protección y drenaje en pistas, por otro, labores de silvicultura con desbroces y cortas de la vegetación quemada y por otro, hidrotécnicas en cárcavas y barrancos.

Durante la elaboración de los proyectos pertinentes y las visitas a obra, se observó la posibilidad de incorporar un nuevo elemento de control de la erosión. Dado el carácter de emergencia de las actuaciones, toda propuesta debía ser relativamente fácil en cuanto a su ejecución y, si era posible, económica.

Mediante el análisis de las técnicas de fajinado y empalizadas entrelazadas (GRAY, D., LEISER, A. 1982) y las de elaboración de albarradas y presas de materiales sueltos (HEED, B.1976), se observó que se podían combinar los restos vegetales apilados a pie de pista procedentes de los desbroces con las rocas volcánicas tan abundantes en estas zonas y en sus alrededores.

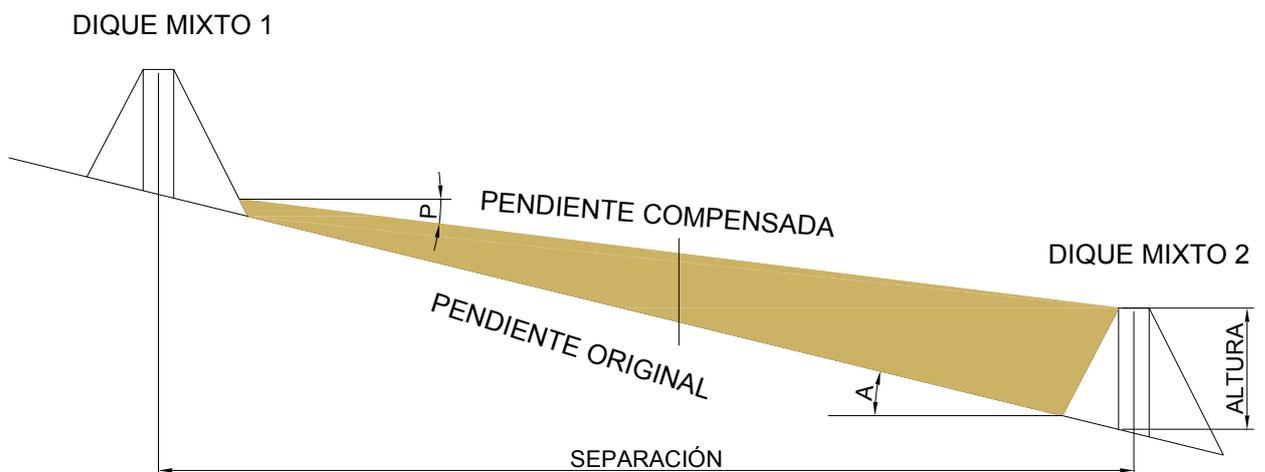
2. **Descripción del dique mixto:** El esquema simplificado de este elemento consiste en un conjunto formado por estacas verticales y largueros horizontales que crean un espacio tridimensional que se rellena con una matriz de restos vegetales. Además, a ambos lados, se colocan taludes de piedra con la función de conseguir un perfil hidrodinámico. La rigidez de la fajina armada se consigue, además de con el peso de los taludes de piedras, mediante un arriostrado con soga biodegradable que se ancla al terreno circundante.

Las mayores dimensiones construidas, a día de hoy, son de más de dos metros de altura y diez metros de longitud. Los diámetros de los distintos elementos varían con las dimensiones de la fajina armada y, dada la colaboración entre los distintos elementos, son lo suficientemente pequeños como para evitar que esto sea una limitación. En cualquier caso, en el siguiente epígrafe se muestra el cálculo estructural realizado para la comprobación de su correcto funcionamiento.

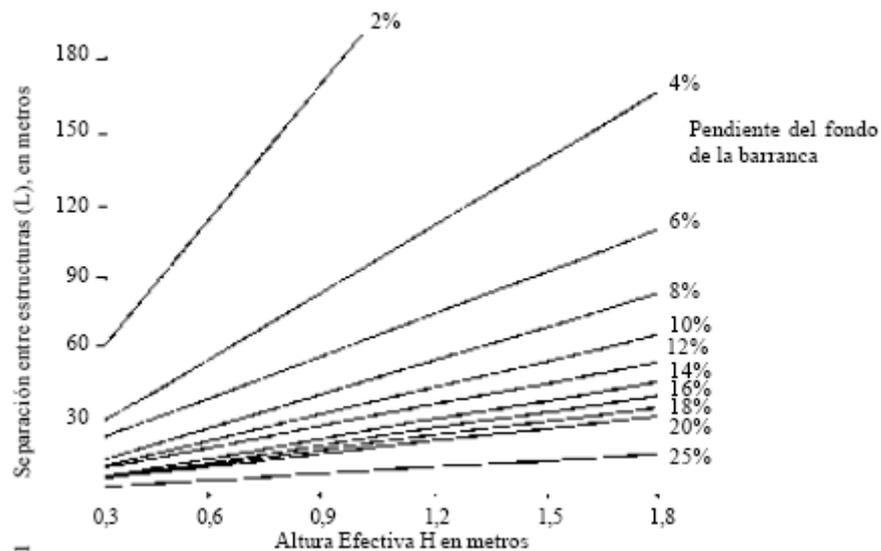


**Construcción de dique mixto**

La separación entre las distintas barreras depende de la altura de la fajina armada y la pendiente del barranco o cárcava (GORDON KELLER y JAMES SHERAR, 2001). Básicamente, la separación entre los diques mixtos es igual a la altura del dique dividida por la tangente de la pendiente del barranco o cárcava. Con la correcta disposición de estos elementos se consigue crear una menor pendiente en los barrancos y, de esta manera, controlar la velocidad del agua.



En cualquier caso, la cuña de aterramiento en su sección transversal media del deslizamiento, deberá ser soportada por el dique mixto. A modo de ábaco, en la siguiente figura se muestra la separación entre diques mixtos en función de la pendiente del barranco y la altura del dique.



Abaco del USDA. Forest Service. EEUU



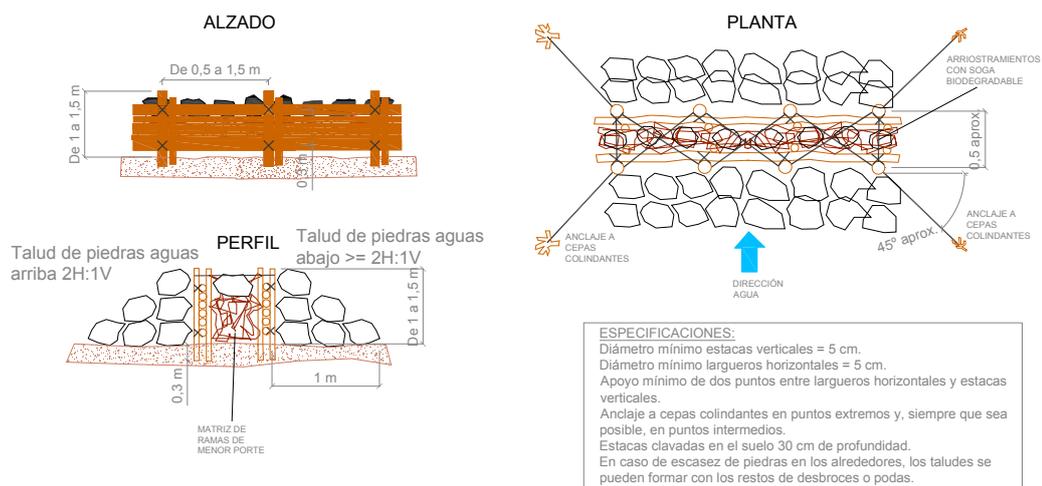
Detalle de anclaje a terreno

Los materiales utilizados en la construcción de los diques mixtos son biodegradables y permite la creación de un nuevo sustrato para la posterior colonización de las especies autóctonas del entorno. En la foto 2 se puede observar la fase de construcción de los paramentos de piedra volcánica y en la foto 3 se muestra un detalle del anclaje al terreno colindante.

## METODOLOGIA

1. **Estudio de la cuenca:** Tras la visita a campo y el primer diagnóstico de los problemas de cada área de actuación, se selecciona el elemento más adecuado para hacer frente a la erosión. En el caso de cárcavas de tamaño de medio a grande, la opción del dique mixto es viable. Una vez se decide en qué puntos se van a colocar estos elementos, al igual que con los diques de mampostería gavionada, se define la microcuenca vertiente. Tras esto, mediante los conocidos métodos de transformación de precipitación en escorrentía (LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F (Dir.) *et al.* 1998, CHOW V.T. MAIDMENT D.R., MAYS L.W., 1988), se calcula el caudal de avenida para un periodo de retorno dado. En este punto, dada la situación del monte tras el incendio, se decidió utilizar un coeficiente de mayoración para el caudal punta (R. LÓPEZ ALONSO, A. PÉREZ GISPERT Y R.J. BATALLA. 2004). Por último, se estiman los calados para el anterior caudal en las secciones en cuestión.
2. **Dimensionado de los elementos:**

### DETALLE DIQUE MIXTO



**GRAFICO 1: Planos de dique mixto tal y como se entregaron en proyecto al Cabildo de Tenerife**



Los elementos verticales y horizontales que conforman el núcleo del dique se dimensionaron con arreglo al cálculo de estructuras de madera (FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI *et al.*, 2000).

Datos de partida para el dimensionado de los diques mixtos:

Para la estimación del valor de cálculo de las propiedades mecánicas de la madera, se necesitó conocer el valor de los siguientes parámetros:

$K_{mod}$  = factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del contenido de humedad. Para una clase de servicio tipo 3 (estructuras expuestas a la intemperie en contacto con el agua o con el suelo) y una carga de corta duración (caudal de avenida), el valor de este coeficiente es de 0,7.

Coefficiente parcial de seguridad de combinaciones fundamentales =  $g_m = 1,3$  ya que se trata de combinaciones fundamentales.

Resistencia a flexión del pino canario =  $X_k = 900$  t/m<sup>2</sup>. Para la determinación de este valor se podrían realizar ensayos mecánicos con probetas. Así mismo, al poderse utilizar otras especies, hay que señalar que estos cálculos se refieren únicamente al caso del pino canario.

La fórmula que relaciona los anteriores parámetros es la siguiente:

$$\text{Valor de cálculo de la resistencias} = X_d = k_{mod} X_k / g_m$$

Por otro lado, para estimar el valor de las acciones de cálculo, se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

$$\text{Densidad del agua con sedimentos} = 1,2 \text{ t/m}^3$$

La densidad del talud de piedras, suponiendo un porcentaje de huecos del 40% y una densidad de partida de 2,54 t/m<sup>3</sup>, es de 1,52 t/m<sup>3</sup>

Coefficiente acciones igual a 1,35 para acciones permanentes ó 1,5 para acciones variables. Se consideran permanentes el peso propio y variable las acciones debidas a los caudales de avenida

Modulo resistente de una sección circular =  $pd^3/32 = 0,125 * \text{sección} * d$ . Dónde d representa el diámetro de la sección.

Dimensionado de los elementos del dique mixto

Para el dimensionado de la sección circular, se estimó el valor de los esfuerzos máximos a soportar por la sección mediante la conocida fórmula:

$$\sigma_{max} = M_{max} / W$$

Donde:

$\sigma_{max}$  = tensión máxima de flexión.

$M_{max}$  = Momento máximo de flexión.

W = módulo resistente de la sección.

Para determinar el valor del momento máximo, se supuso que los largueros horizontales se comportan como vigas biapoyadas. La ley de presiones ejercida sobre los mismos, para una determinada cota, es uniforme y tiene un valor de  $0,1h^2 + 1,2h^2/2$ , que corresponde al valor de presión del talud de piedras y al del agua respectivamente. Los anteriores valores de presión se verán afectados por los coeficientes respectivos de las acciones en función de su naturaleza permanente o variable.

Según lo anterior,  $M_{max} = ql^2/8$  en el caso de los largueros horizontales donde  $q$  es el valor de la presión ejercida sobre el elemento horizontal y  $l$  el vano que salva el elemento horizontal entre los elementos verticales.

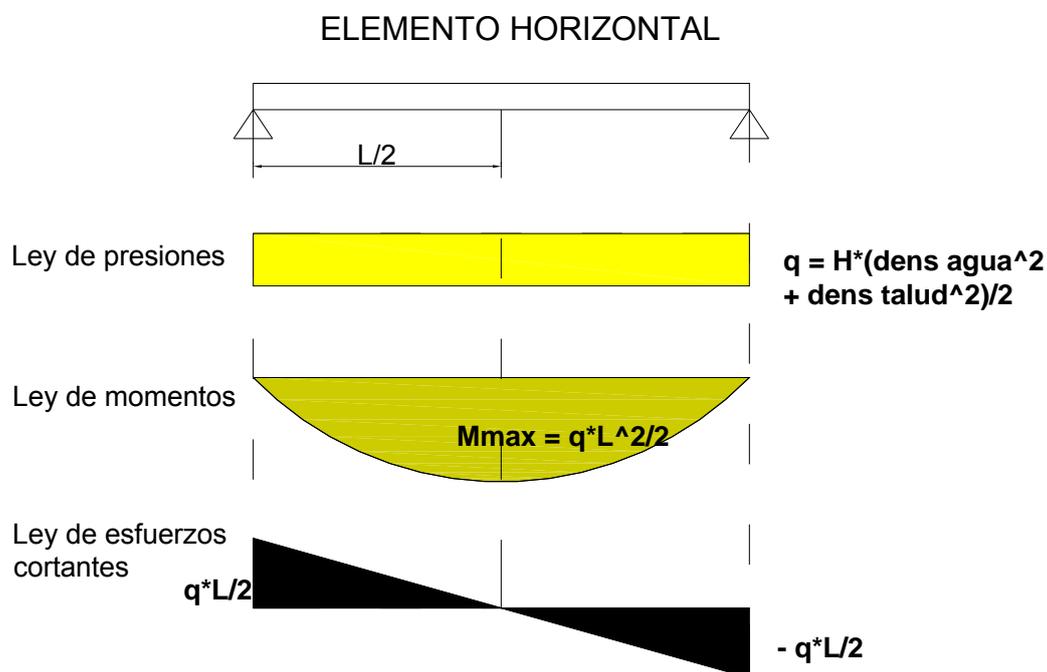


Grafico 2. Leyes de esfuerzos de elemento horizontal

El valor de  $q$  lo obtenemos de las leyes de presiones de los taludes de piedras y de la cota de agua de los caudales de avenida correspondientes a un periodo de retorno de 100 años.

Tras la realización de proyectos en la zona y para los barrancos o cárcavas donde se sitúan las fajas armadas, la altura de la lámina de agua para  $T=100$  años no es superior a 1 m.

Según lo anterior, se muestran de manera tabulada los diámetros mínimos de los largueros horizontales para distintos valores de altura de la faja armada y para una separación entre estacas verticales de 0,5 m.

Diámetro mínimo larguero horizontal (cm)	Separación entre estacas verticales (m)	Altura de la fajina armada (m)
7,2	0,5	1
7,8	0,5	1,5
8,6	0,5	2

**TABLA 1: Diámetros mínimos de los largueros horizontales para distintas alturas del dique.**

Los anteriores resultados se consideran provisionales al no disponerse durante la redacción del presente artículo de datos de ensayos mecánicos del pino canario.

En el caso del dimensionado de las estacas verticales, cabe mencionar que las leyes de presiones que soportan son de tipo triangular. Se puede considerar las estacas verticales como barras biapoyadas con luz, a efectos de pandeo, de 0,5 m de longitud. Lo anterior implica que el valor del  $M_{max}$  es igual a  $q^2/15,59$  donde  $q$  representa el valor de presión máxima y  $l$  el vano entre dos apoyos con elementos horizontales.

### ELEMENTO VERTICAL

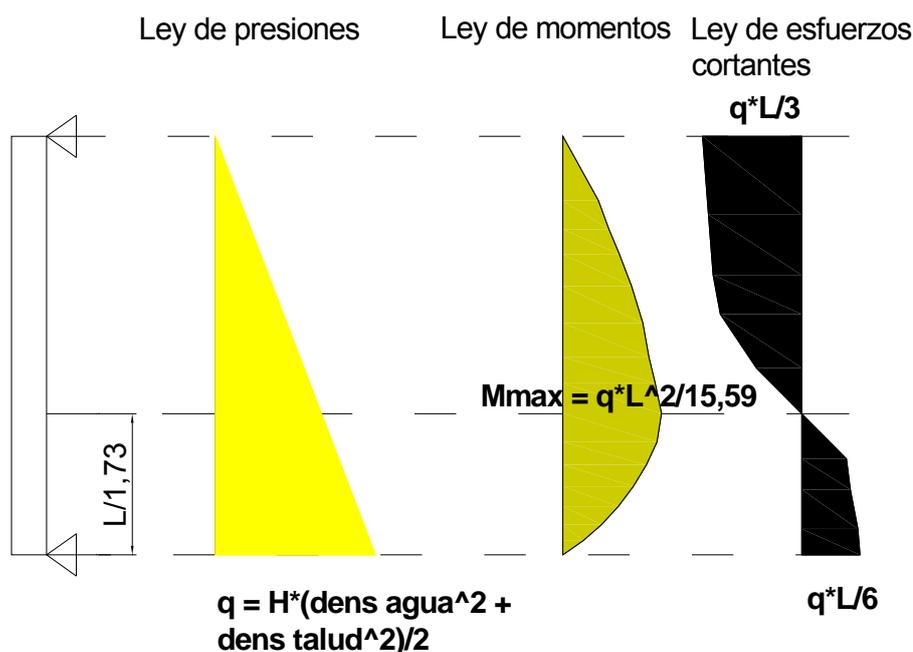


Grafico 3. Leyes de esfuerzos de elemento vertical.

Al igual que en el anterior caso, hemos tabulado los resultados:

Diámetro mínimo estaca vertical (cm)	Altura de la fajina armada (m)
5,8	1
6,3	1,5
7,0	2

**TABLA 2: Diámetros mínimos de las estacas verticales para distintas alturas del dique.**

## PROCESO CONSTRUCTIVO:

El proceso constructivo comienza con la selección de la cerrada más adecuada para la primera barrera transversal. Para ello se tendrá en cuenta las dimensiones de las secciones del barranco así como el acceso a las mismas para su construcción. Una vez hallada la sección adecuada, se clavarán los elementos verticales hasta una profundidad de, aproximadamente, 30 cm.



Colocación de elementos verticales



Colocación de elementos verticales



Se colocará la siguiente fila de elementos verticales a unos 50 cm con respecto a la primera.



Colocación de la segunda fila elementos verticales



Colocación de la segunda fila elementos verticales



Colocación de la segunda fila elementos verticales



Colocación de la segunda fila elementos verticales



Vista del núcleo del dique mixto



Vista del núcleo del dique mixto



Relleno del dique mixto con materiales procedentes de desbroces y cortas



Arriostado de los elementos verticales del dique mixto



Dique mixto en colaboración con dique de gaviones



Serie de diques mixtos



Serie de diques mixtos



Transporte de piedras hasta emplazamiento de dique mixto



Colocación manual de taludes de piedras



Colocación manual de taludes de piedras



Dique mixto acabado



Dique mixto acabado y con anclaje al terreno

En anterior foto se puede observar los elementos que forman la estructura. La matriz formada con los restos de desbroces (ramas y ramillas) crea un sustrato inmejorable para que, con el inevitable soterramiento de las barreras debido a la sedimentación, aparezcan nuevos brotes de la vegetación de la zona.

El anclaje a los márgenes adyacentes se realizará empotrando los elementos horizontales al terreno. Además, se anclarán las cabezas de los elementos verticales extremos y ,en su caso, medios mediante sogas biodegradable atada a cepas y troncos colindantes.



**Dique mixto aguas debajo de dique de mampostería gavionada.**



**Secuencia de diques mixtos**

## **RESULTADOS PRELIMINARES**

Aunque aún es pronto para ofrecer una adecuada colección de datos en cuanto al funcionamiento de los diques mixtos, los primeros caudales de avenida llegados tras su implantación permiten albergar un sentimiento de optimismo. Tal y como se observa en la siguiente foto , la naturaleza porosa de estos diques permite la sedimentación de los materiales arrastrados por el agua que, al combinarse con la matriz de restos de ramillas y ramas, dan lugar a sustratos muy adecuados para la recolonización por las especies autóctonas de la zona que, afortunadamente, son pirófitas.



**Sedimentación tras primeras lluvias**

## **CONCLUSIONES**

La rápida puesta en obra de los diques mixtos de biomasa residual ha permitido observar unos resultados preliminares positivos. Las principales ventajas de este sistema son las siguientes:

1. Es una solución bastante económica y versátil pues las dimensiones de estos nuevos elementos se adaptan fácilmente a las necesidades de la zona de actuación.
2. Los materiales empleados en su construcción pueden variar en función de lo disponible en el entorno circundante. Debido a lo anterior, la tipología de materiales incluida en el presente artículo no supone una limitación a la hora de trasladar este experimento a otras zonas. Por ejemplo, en zonas carentes de piedras, los paramentos del dique se pueden construir con los mismos restos vegetales que conforman su núcleo mediante tirantes de soga biodegradable.
3. Al utilizarse material biodegradable de fácil integración en el ciclo de nutrientes, a la vez que se consigue la pendiente de compensación mediante la serie de diques mixtos, se crean islas verdes que consolidan mejor la solera de la cárcava o barranco. Otro punto que apoya esta ventaja es que, durante el funcionamiento del dique mixto, se produce un proceso de filtrado físico mediante un medio poroso constituido por el propio cuerpo de la estructura. Se trata, por tanto, de un método biotécnico que ofrece un soporte adicional de las raíces a medio plazo y de fácil integración en el paisaje circundante.
4. Al tenerse toda la información tabulada, su dimensionado es de fácil aplicación siendo solamente necesario el análisis de la microcuenca de vertido para la obtención de las láminas de agua que llegan a las cerradas donde se van a emplazar estas estructuras.



## BIBLIOGRAFÍA

- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F (Dir.) et al. 1998. Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental (2º ed.). Ministerio de Medio Ambiente. TRagsa.Tragsatec.
- FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI; RAMÓN ARGÜELLES ÁLVAREZ. 2º Ed . 1ª imp . 2000. Cálculo de estructuras de madera. Diseño y cálculo. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. AITIM
- R. LÓPEZ ALONSO, A. PÉREZ GISPERT Y R.J. BATALLA. 2004. Efectos de un incendio forestal sobre la respuesta hidrológica de la cuenca mediterránea de Arbúcies. Invest. Agrar: Sist Recur For. 13 (2), pags 305-316.
- CHOW V.T. MAIDMENT D.R., MAYS L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw Hill, 572 pp.
- GORDON KELLER y JAMES SHERAR, 2001. Ingeniería de caminos rurales. Forest Service. Department of Agriculture of United States.
- GRAY, D., LEISER, A. 1982. Biotechnical slope protection and erosion control. Melbourne, FL.: Krieger Publishing Co. 288 p.
- HEED, B.1976. Gully development and control. The status of our knowledge: Research Paper RM-19. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountains Forest and Range Experiment Station. 42 p.