

METODOLOGÍA PARA LA INVENTARIACIÓN DE DIQUES FORESTALES GAVIONADOS. APLICACIÓN EN LA PROVINCIA DE PALENCIA

A. Martínez de Azagra¹, R. Fernández de Villarán¹, A. Seseña Rengel¹, C. Méndez Carvajal¹, J.M. Díez Hernández¹, J. Navarro Hevia¹ & J.M. Varela Nieto²

¹ETSIIAA. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología. Avda. de Madrid, 44. 34004 PALENCIA.

²CEDEX. Calle Alfonso XII, 3. 28014 MADRID

RESUMEN

En nuestro país existen varios miles de diques forestales dispersos por nuestra geografía de los que se desconoce su ubicación, su estado de conservación, su nivel de seguridad y los efectos que su rotura pudiera ocasionar. Para solventar este problema el CEDEX encargó en 1997 a la ETSIIAA un estudio piloto en el que se diseñase la metodología más apropiada para inventariar diques forestales y se aplicase en los diques de gaviones existentes en los escarpes y barrancos cercanos a Saldaña (Palencia).

A continuación exponemos brevemente dicha metodología, explicamos los criterios adoptados para la clasificación de los diques y su estado de conservación y aportamos un modelo de ficha de campo para inventariar diques gavionados.

Los resultados obtenidos indican que, aunque los diques se diseñaron un tanto esbeltos y pese a que muchos de ellos presenten en la actualidad daños en su estructura (sobre todo: desestribado y sifonado), en todos los casos han cumplido su función satisfactoriamente. Al haber quedado los procesos erosivos muy atenuados gracias a la densa vegetación arbórea implantada, pensamos que la reparación

de los diques tan sólo debe acometerse en los de mayor tamaño e importancia.

INTRODUCCIÓN

Desde principios de este siglo en España se han estabilizado torrentes, ramblas y cárcavas mediante la construcción de diques forestales y albarradas. Un correcto estudio del estado actual de estas hidrotecnias de corrección permite:

- conocer la eficacia y los niveles de seguridad que proporcionan;
- proponer las medidas necesarias para su mantenimiento y conservación;
- optimizar los criterios para su emplazamiento;
- mejorar y adecuar su diseño, cálculo y construcción;
- estimar la velocidad real de aterramiento;
- conocer las pendientes de equilibrio formadas en sus lechos de sedimentación;
- evaluar sus efectos en la dinámica geomorfológica de los torrentes y ramblas;
- valorar su contribución en los proyectos de restauración hidrológico forestal.

Tabla I. Material utilizado en la inventariación de los diques

Plano topográfico a escala 1:10.000 de la Diputación Provincial de Palencia (1995)	Planos topográficos a escala 1:2.000 de la Confederación Hidrográfica del Duero (1971)
Fotografías aéreas a escalas variables (vuelos de tres fechas diferentes: 1946, 1956 y 1997)	Estereoscopio de bolsillo
G.P.S. (March II) Fichas de campo y criterios para su relleno	Cámara fotográfica Cinta métrica (30 m de longitud) y metro metálico enrollable
Brújula	Clisímetro
Plomada	Muestreador de la granulometría del lecho (nos bastó con una pala arroyera)
Sacos y bolsas para el transporte de las muestras del suelo	Cinta adhesiva roja para marcar los diques visitados
Hacha y tijera de podar	Lapicero, bolígrafo y goma de borrar

La necesidad de este tipo de estudios en nuestro país es evidente. Por un lado, se echa en falta un inventario de estas obras que, integrado en un sistema de información geográfica, pueda utilizarse por las Confederaciones Hidrográficas y por los Servicios Forestales para optimizar la gestión de las cuencas. Por otro lado, la inspección de los diques construidos y el análisis de su función y seguridad actuales son necesarios para evitar posibles daños en infraestructuras y asentamientos humanos.

No queremos nombrar recientes episodios catastróficos, pero sí debemos señalar que un completo inventario de diques forestales debiera iniciarse sin más demora por toda nuestra geografía, y que a dicho inventario habrá que agregar un estudio de la estabilidad y el mantenimiento en aquellos lugares en los que la importancia protectora de las obras se haya visto incrementada por planes urbanísticos, desarrollo turístico o por nuevas infraestructuras.

Con el objetivo de solventar el problema y de concretar una metodología de trabajo operativa, el CEDEX ha encargado un estudio piloto a la Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología de la Universidad de Valladolid. Este primer inventario de diques ha sido realizado durante el segundo semestre de 1997 en la cuenca media del río Carrión a su paso

por los términos municipales de Lobera y de Saldaña (provincia de Palencia), en donde al comienzo de los años 30 se realizó una restauración hidrológico forestal de los empinados escarpes de transición entre las terrazas fluviales del río y el páramo ácido palentino.

En dicho estudio (MARTÍNEZ DE AZAGRA *et al.*, 1997) se ha reflejado con el mayor rigor y claridad posible la metodología seguida, el inventario realizado, los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas. En especial, y por tratarse de un estudio piloto que debe servir de pauta para trabajos posteriores, nos hemos esforzado en describir la metodología de forma exhaustiva y en extraer unas conclusiones que entendemos provechosas para todo aquel interesado en la materia.

METODOLOGÍA

Tras la primera visita de campo, se comprendió la necesidad de utilizar los materiales que se enumeran en la tabla I. Antes de comenzar el inventario propiamente dicho, se diseñó la ficha de campo (figura 1) y se redactaron las instrucciones para cumplimentarla, se obtuvo la cartografía de la zona de estudio y se recopiló toda la información disponible sobre las obras que se iban a inventariar, así como de otros proyectos relacionados con la zona (AYERBE, 1930;



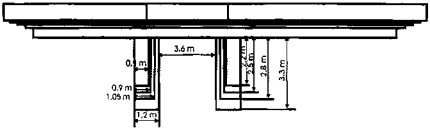
 CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas	INVESTIGACIÓN CONJUNTA INVENTARIO DE DIQUES																																					
1.- Ficha N°: 79	3.- Fecha de visita: 7 -10 -97	Universidad de Valladolid																																				
2.- Código del dique: PA-23-28-079-MG-R	4.- Equipo informador: Ana Seseña	E.T.S. I.I.A.A Ruben Fdez.																																				
5.- Situación:	a.- Término Municipal: Saldaña	Monte: Los Cornones																																				
	b.- Coord. U.T.M.: 357.845 , 4.709.121	c.- Plano de localización: Hoja 164																																				
	d.- Accesibilidad: Buena por el fondo de la cárcava.																																					
6.- Finalidad de la obra: Dique de retención y consolidación.																																						
7.- Tipo de dique:	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">Gravedad</td> <td style="width:25%; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width:25%;">Arco</td> <td style="width:25%; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width:25%;">Mixto</td> <td style="width:25%; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width:25%;">Otro:</td> <td style="width:25%; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		Gravedad	<input checked="" type="checkbox"/>	Arco	<input type="checkbox"/>	Mixto	<input type="checkbox"/>	Otro:	<input type="checkbox"/>																												
Gravedad	<input checked="" type="checkbox"/>	Arco	<input type="checkbox"/>	Mixto	<input type="checkbox"/>	Otro:	<input type="checkbox"/>																															
8.- Material: Mampostería gavionada	9.- Fecha de construcción: 1.930 - 1.940																																					
10.- Reforestación de la cuenca:	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%;">Sí</td> <td style="width:10%; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width:10%;">No</td> <td style="width:10%; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td colspan="4">Fecha de la actuación biológica: 1 - 2 años</td> </tr> <tr> <td>Simultánea</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Anterior</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>Posterior</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>		Sí	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Fecha de la actuación biológica: 1 - 2 años				Simultánea	<input checked="" type="checkbox"/>	Anterior	<input type="checkbox"/>	Posterior	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																					
Sí	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Fecha de la actuación biológica: 1 - 2 años																																		
Simultánea	<input checked="" type="checkbox"/>	Anterior	<input type="checkbox"/>	Posterior	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																
11.- Tipo de perfil: Escalonado aguas abajo	DIMENSIONES																																					
12.- Altura útil: 4,90 m	13.- Altura total (12+ Altura alas): 5,15 m																																					
14.- Longitud total en coronación (a+b+c): 20,84 m: a.- Estribo izquierdo: 9,75 m; b.- Vertedero: 4,00 m; c.- Estribo derecho: 7,09 m																																						
15.- Espesor en coronación: a.- En el vertedero: 0,75 m; b.- En las alas: 0,75 m																																						
16.- Número de hiladas: 7 + alas																																						
17.- Altura de cada hilada:																																						
1ª 0,90 m	5ª 0,50 m	18.- Tamaño de cada gradón:																																				
2ª 1,00 m	6ª 0,50 m	1º- 2º 0,46 m																																				
3ª 1,00 m	7ª 0,50 m	2º- 3º 0,13 m																																				
4ª 0,50 m	Alas..... 0,25 m	3º- 4º 0,10 m																																				
		4º- 5º Sin gradón																																				
19.- Empotramientos:	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%;"></td> <td style="width:15%;">Roca</td> <td style="width:15%;">Tránsito</td> <td style="width:15%;">Incoherente</td> </tr> <tr> <td>a.- Del ala izquierda:</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>b.- Del ala derecha:</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>			Roca	Tránsito	Incoherente	a.- Del ala izquierda:			<input checked="" type="checkbox"/>	b.- Del ala derecha:			<input checked="" type="checkbox"/>																								
	Roca	Tránsito	Incoherente																																			
a.- Del ala izquierda:			<input checked="" type="checkbox"/>																																			
b.- Del ala derecha:			<input checked="" type="checkbox"/>																																			
20.- Vertedero:	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">Sencillo</td> <td style="width:25%; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width:25%;">Múltiple</td> <td style="width:25%; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>Nº de vertederos</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Rectangular</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Trapezoidal</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>Parabólico</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Altura de la cubeta: 0,25 m</td> <td colspan="4" style="text-align: right;">Ángulo de vertido(β): 0</td> </tr> </table>		Sencillo	<input checked="" type="checkbox"/>	Múltiple	<input type="checkbox"/>	Nº de vertederos	1	Rectangular	<input checked="" type="checkbox"/>	Trapezoidal	<input type="checkbox"/>	Parabólico	<input type="checkbox"/>	Altura de la cubeta: 0,25 m		Ángulo de vertido(β): 0																					
Sencillo	<input checked="" type="checkbox"/>	Múltiple	<input type="checkbox"/>	Nº de vertederos	1																																	
Rectangular	<input checked="" type="checkbox"/>	Trapezoidal	<input type="checkbox"/>	Parabólico	<input type="checkbox"/>																																	
Altura de la cubeta: 0,25 m		Ángulo de vertido(β): 0																																				
21.- Obras auxiliares:	<p>a.- Mechinales: Número:</p> <p>b.- Disipador de energía:</p> <p>c.- Muros de contención: Sí</p> <p>Muros de cuatro hiladas, con gradones de 0,10 m entre hiladas y una altura de 0,2 m, 1,0 m, 1,0 m y 0,5 m respectivamente.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Geometría:</p>  </div> <div> <p>Pisos:</p> </div> </div>																																					
22.- Estado general de la obra:	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">Bueno</td> <td style="width:30%;"></td> <td style="width:30%;">Dañado por:</td> <td style="width:10%; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width:10%;">En ruina</td> <td style="width:10%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Sifonado:</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Asentamiento</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Deslizamiento</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Desestribado</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;">Ala izquierda</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Otros:</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Bueno		Dañado por:	<input checked="" type="checkbox"/>	En ruina				Sifonado:	<input type="checkbox"/>					Asentamiento	<input type="checkbox"/>					Deslizamiento	<input type="checkbox"/>					Desestribado	<input checked="" type="checkbox"/>	Ala izquierda				Otros:	<input type="checkbox"/>		
Bueno		Dañado por:	<input checked="" type="checkbox"/>	En ruina																																		
		Sifonado:	<input type="checkbox"/>																																			
		Asentamiento	<input type="checkbox"/>																																			
		Deslizamiento	<input type="checkbox"/>																																			
		Desestribado	<input checked="" type="checkbox"/>	Ala izquierda																																		
		Otros:	<input type="checkbox"/>																																			
23.- Descripción de daños:	<p>- El dique tiene el ala izquierda ligeramente arqueada y algo torsionada. - El vertedero se encuentra aterrado.</p> <p>- Hay mellas en la coronación de ambas alas con rotura de la malla.</p>																																					
OTROS DATOS																																						
24.- Altura del aterramiento: 100%	26.- Pendiente del aterramiento:																																					
25.- Granulometría del lecho: Tierra natural con un 96,45% de tierra fina; d ₉₀ = 0,128 mm	27.- Vegetación en el aterramiento: <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Populus nigra</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Crataegus monogyna</i> y <i>Cytisus scoparius</i> . Pasto denso.																																					
28.- Vegetación en las laderas adyacentes: - Izquierda: <i>Pinus sylvestris</i> y pasto. - Derecha: <i>Cytisus scoparius</i> y pasto (ladera con mucha pendiente).																																						
29.- Importancia actual de la obra: Incrementada por su proximidad a viviendas (70 m).																																						
30.- Observaciones: Fotografiado																																						
- Se observan desprendimientos masivos de tierras de una pared cercana en el final del aterramiento (0,5 m de ancho y de alto).																																						
31.- N° de orden:	II																																					

Figura 1. Ficha para el inventario de diques gavionados

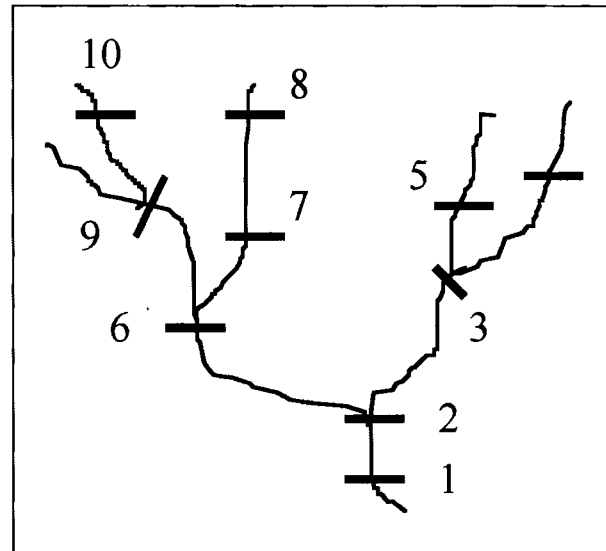
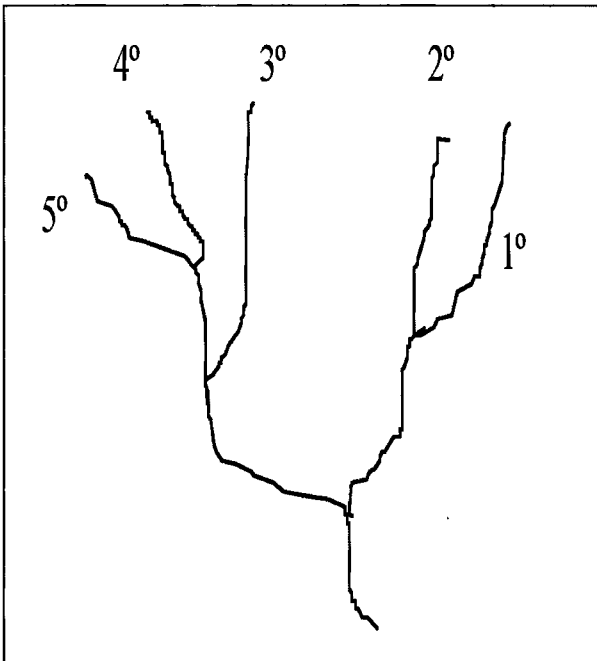


Figura 3

Figura 2

AZCARATEZABAL et al., 1971; FERNÁNDEZ YUSTE et al., 1997).

Una vez localizadas las cárcavas, el inventario se ha realizado de forma sistemática desde aguas abajo de la cárcava hacia aguas arriba. Al seguir esta dirección se facilita considerablemente la entrada a las cárcavas ya que en su final la pendiente es mucho más suave que en cabecera (muchas veces presentan paredes verticales muy inestables de varios metros de altura). En las partes bajas la vegetación arbórea predomina respecto a la arbustiva, por lo que el camino resulta más transitable. Por otra parte, debido al aterramiento de la mayoría de los diques, éstos sólo son visibles de frente (es decir, viéndolos desde aguas abajo). Para seguir siempre un mismo criterio que facilitara el inventario, el recorrido se realizó de derecha a izquierda (mirando siempre hacia aguas arriba), según se muestra en la figura 2. Una vez estudiado el fondo de los ramales e inventariados los diques existentes, se retornaba al entronque de los dos ramales para continuar con el siguiente. Esta operación se repitió en todas las barranqueras.

Se consideró oportuno renumerar las cárcavas respecto al proyecto de 1971 (que establecía un nombre para cada torrente que supues-

tamente poseía diques, distinguiendo entre los del término municipal de Lobera y los de Saldaña) ya que existen muchos barrancos con diques que no fueron numerados inicialmente en los proyectos y el trazado de algunas cárcavas se ha visto modificado con la urbanización de ciertas calles de Saldaña. La numeración de los diques ha seguido el mismo orden sistemático que el recorrido del ramal en el que se encontraba. Se numeraron de aguas abajo a aguas arriba y de derecha a izquierda del torrente (figura 3).

Una vez localizado cada dique, se inventariaba de la siguiente manera. En la base del dique y aguas abajo, a la altura del vertedero, se situaba un operario que medía la altura de cada hilada de gaviones, el tamaño de los gradones y detectaba los posibles daños en la obra. Otro operario, situado en el vertedero, lanzaba la cinta métrica para medir la altura útil y registraba los datos en la ficha de campo. Esta doble cuantificación de la altura útil sirve de comprobación, ya que ambas medidas están sujetas a variaciones originadas por las deformaciones que se producen en algunos puntos de los gaviones con el paso de los años. Posteriormente, las dos personas sobre el dique completaban el resto de las medidas (longitud y espesor en coronación) y rellenaban la ficha de campo, tratando de

aportar la máxima información posible (véase la figura 1).

Donde la vegetación lo permitía se midieron las pendientes de los aterramientos, la longitud de las laderas adyacentes y su pendiente. Adicionalmente se identificaron las principales especies que vegetaban en estos lugares.

Criterio seguido para describir el estado de los diques

Se han definido unas normas claras para la distinción entre un dique en buen estado, un dique dañado o un dique en ruina, y se establecen los baremos considerados para cada tipo de deterioro observado:

• Diques en buen estado:

Aquéllos que, tras un metódico análisis de la estructura, no presentan ningún tipo de avería. No debe descuidarse su mantenimiento ya que en muchos de ellos el aterramiento ha reducido la sección útil del vertedero, pudiéndose producir vertidos incontrolados por las alas que pueden desestribar la obra o socavar su cimentación.

• Diques dañados:

Son aquéllos cuyos desperfectos son menos graves y pueden recuperarse con una pequeña reparación ya que hasta ahora han desempeñado la función para la que fueron concebidos. También se han incluido aquí aquellos diques cuyos daños son imposibles de reparar (diques ligeramente arqueados), pero cuya situación no afecta a su función estabilizadora. Los tipos de daños cuantificados son los siguientes (véase la figura 1).

- Sifonado: cuando se encuentren evidencias de la existencia de un canal que atraviesa la estructura del dique comunicando ambos paramentos o cuando aguas abajo se aprecie un flujo entre las piedras del relleno y aguas arriba aparezcan socavaciones en el aterramiento (tubos de erosión).

- Asentamiento: aparición de deformaciones verticales en parte de las hiladas de los gaviones o en todo el dique, con aspecto de haber sufrido un hundimiento en el terreno.
- Deslizamiento: deformaciones horizontales de parte de las hiladas o en la totalidad del dique, con una clara modificación del tamaño de los gradones, muchas veces desigual dentro de una misma hilada.
- Desestribado: cuando por alguna acción erosiva el extremo del dique se ha desempotrado o cuando los vertidos incontrolados laterales (procedentes del aterramiento y de las laderas adyacentes) socavan intensamente el terreno y dejan visibles la parte endentada de las obras en el terreno.
- Otros: en este apartado se han incluido daños por mellas en coronación, rotura de la malla (este problema es el de mayor incidencia debido a la corrosión del alambre), curvaturas del dique o de alguna de sus alas, arqueado (generalmente vencidos hacia aguas abajo) y socavaciones en los laterales del dique; daños que no han llegado a desestribarlo o a sifonarlo ni a comprometer su estabilidad.

• Diques en ruina:

Todos aquellos diques que han perdido parcial o totalmente su estructura, no cumpliendo la función para la que fueron construidos y cuyos daños son imposibles de reparar si no es construyendo un nuevo dique.

Criterio para clasificar los diques

Conviene clasificar los diques en tres grandes grupos: diques de primer, segundo y tercer orden. La clasificación debe ser sencilla, inequívoca e inmediata. Sugerimos que para el trabajo de campo se utilice la siguiente agrupación:

**** Diques de primer orden:**

Todos los de altura útil superior a los nueve metros ($H > 9$ m)

Todos los de altura útil superior a los seis metros ($H > 6$ m) y con fuerte torrencialidad del cauce (pendientes superiores al 10%)

**** Diques de segundo orden:**

$H > 6$ m y baja torrencialidad (pendientes inferiores al 10%)

$H > 3$ m y fuerte torrencialidad del cauce (pendientes superiores al 10%)

**** Diques de tercer orden:**

$H \leq 3$ m (siempre)

$H \leq 6$ m y pendientes del cauce inferiores al 10%

En los tramos escalonados con más de tres obras consecutivas los diques de cierre deben ascender un nivel respecto de su clasificación individual. La proximidad a viviendas y núcleos de población (por ejemplo una distancia inferior a cincuenta veces la altura del dique) también aconsejan un ascenso de categoría.

Tras el estudio en gabinete, es posible que convenga recalificar alguna obra para reflejar mejor la situación e importancia de los diques inventariados. Este análisis puede considerar otros parámetros: la longitud del dique en coronación, su tipología, las características geotécnicas de su fundación y emplazamiento, la torrencialidad del cauce y del clima, los caudales líquidos y sólidos circulantes, los procesos erosivos que controla o mitiga, la situación urbanística del lugar, la sismicidad, la ecología del cauce, la presencia de especies migradoras, etc. En la clasificación definitiva, los diques cuya rotura entrañe riesgos evidentes para las personas al poder provocar daños importantes en viviendas o comunicaciones deberán figurar como de primer orden.

Para georreferenciar los diques se ha utilizado un G.P.S en modo estático (lecturas puntuales, con tiempos de estacionamiento de un minuto para cada punto) ya que los métodos topográficos resultan inapropiados por la extremada complejidad del relieve (un

malpaís). El recorrido realizado ha sido el mismo que el del inventario. Se aprovecha para georreferenciar las entradas de las cárcavas y otros puntos de interés (cruces de caminos, puntos kilométricos, etc.) así como para comprobar las medidas de algunos diques. La corrección diferencial de los datos se realiza en gabinete con el programa informático P.C.-G.P.S obteniéndose un error máximo inferior a los 5 m en la ubicación de las obras, cifra adecuada para la inequívoca localización de cualquiera de los diques inventariados.

Para conocer las características físico-químicas del suelo se han tomado varias muestras. Una corresponde a una colada de barro reciente (para determinar la composición granulométrica y las características químicas de los materiales del aterramiento procedentes de las cabeceras y los 'talweg' de las cárcavas) y las demás pretenden reflejar las características medias de los aterramientos en las cárcavas.

Para determinar el peso específico aparente de los gaviones, se ha realizado un muestreo del porcentaje de huecos existente en las caras visibles de las hiladas. Para ello se hace una medición del tamaño de piedras y huecos localizados en una diagonal de 2 m de longitud, en ocho diques de construcción antigua (1930-1940) fabricados con cantos rodados procedentes del río y en seis de nuevo diseño y construcción (1970-1972) con piedra caliza procedente de cantera. También se recogen muestras del relleno (de gaviones con mallas abiertas y deterioradas) para determinar su peso específico en laboratorio.

RESULTADOS

En total han sido inventariados 108 diques. Todos ellos son de mampostería gavionada con el perfil escalonado aguas abajo y con el paramento de aguas arriba vertical, excepto tres diques que poseen un perfil doblemente escalonado (tabla II). Generalmente poseen un vertedero rectangular con alas de una hilada de 0,25 m de altura y 0,8 m de espesor (a excepción de 13 diques que carecen de cubeta). En todos los casos se trata de pequeños

diques con una altura útil inferior a los 5 m, clasificados como de tercer orden (excepto el dique nº 79 que es de segundo orden). Muy pocas obras (el 7,4%) superan los tres metros de altura útil. Al estar emplazados en cárcavas secas con una muy pequeña cuenca alimentadora, no disponen de elementos disipadores de energía pese a estar fundados sobre terrenos fácilmente erosionables. En su lugar poseen una hilada amplia de cimentación que hace las veces de zampado, acompañada por sencillos muros cajeros de dos pisos. El dique patrón proyectado, sobre el que existen infinidad de variantes, se describe en la figura 4.

Los diques inventariados datan de dos épocas diferentes. La mayoría (103 diques) se construyeron entre 1930 y 1940. El resto (cinco) son más recientes y fueron construidos entre 1970 y 1972. Se distinguen fácilmente entre sí, aunque poseen características comunes. Mientras que los antiguos están totalmente colmatados, los de reciente construcción poseen aterramientos parciales ya que la erosión no ha operado el tiempo suficiente. Tanto los primeros como los últimos diques poseen los mismos gaviones de malla hexagonal (6 cm x 7,5 cm) de triple torsión con alambre galvanizado de 2,5 mm de diámetro (gaviones Bianchini). Sin embargo, su relleno es diferente: en los primeros se trata de cantos rodados de cuarcita recogidos del propio río Carrión; en los últimos es piedra caliza angulosa de una cantera próxima a la zona. Ello proporciona un peso específico del gavión seco diferente dependiendo del tipo de material y la porosidad del relleno: 1.684,4 kp/m³ para los diques antiguos y 1.963,3 kp/m³ para los diques recientes. Una buena parte de los diques de la primera época están sobreaterrados, lo que reduce la sección útil del vertedero, colmata las alas y posibilita vertidos incontrolados que deterioran la coronación y los empotramientos de las obras.

En apariencia, el estado de conservación del alambre de las jaulas es muy satisfactorio. Sin embargo, esta impresión dista bastante de la realidad ya que en las caras ocultas de los diques antiguos donde está en contacto con el terreno y la humedad, se encuentra totalmen-

te corroído y ha perdido sus propiedades resistentes. Ello propicia que los pequeños movimientos de asentamiento o cambios en el empuje activo de tierras desestabilicen el dique y produzcan su ruina por rotura de la malla y el vaciado ulterior del gavión. Para el caso de un relleno con cantos rodados este fenómeno es más probable por el mal asiento entre las piedras. Por lo lluvioso del otoño de 1997 se ha podido observar este proceso en el dique número 103 que pasó de un estado aparente ideal (primera visita, el 24-10-97) a estar en ruina (segunda visita, el 28-11-97) pese a no haber tenido que soportar solicitaciones excepcionales. Este hecho es del todo previsible y no debe sorprendernos. La vida útil del alambre galvanizado depende del tipo de recubrimiento de zinc y de las condiciones del medio (humedad y pH, especialmente). En cualquier caso, siempre se estima inferior a los cincuenta años. El hecho de que la práctica totalidad de los diques se encuentre en esta situación no debe alarmarnos. En la mayor parte de los casos se trata de pequeñas albarradas con una altura útil inferior a los tres metros, emplazadas en barrancos secos con cuencas de pequeñas dimensiones (siempre inferiores a 5 ha) que están suficientemente alejadas de viviendas y carreteras. Como única excepción debemos mencionar el dique número 79 cuya mayor altura y su proximidad a varias viviendas aconsejan su refuerzo para seguridad de las mismas.

El daño más frecuente es el desestribado por el vertido incontrolado que origina la colmatación de las alas y el vertedero, aunque en algunos casos se debe a un deficiente empotramiento. Al producirse este efecto los gaviones pierden su sujeción lateral y terminan por quedar en vuelo, lo que genera el hundimiento del ala. Otras veces se inicia el sifonado a la altura de pisos intermedios. Estos dos procesos pueden detenerse fácilmente taponando las vías de agua y reparando los gaviones dañados. De lo contrario la obra terminará inexorablemente arruinada.

Debemos manifestar que todas las obras han cumplido su misión original de estabilizar las cárcavas, retener los sedimentos y ralentizar los procesos erosivos hasta que la

vegetación implantada tomase el relevo. En la actualidad, el pinar ha prosperado lo suficiente y en los 'talweg' de las chorreras prospera una densa vegetación, por lo que no consideramos la reparación y el refuerzo de las albarradas como estrictamente necesarios. Tan sólo sugerimos una revisión periódica de los diques de mayor tamaño.

Los procesos erosivos se han atenuado considerablemente en los escarpes (con una pendiente media del 26,5% pero con numerosos taludes de cárcava que superan el 150% y hasta el 200% de pendiente) merced a la restauración hidrológico-forestal efectuada en los años treinta.

Por un lado, la densa vegetación arbórea del pinar implantado (*Pinus sylvestris*) reduce la escorrentía superficial en favor de la infiltración y disminuye la erosionabilidad del terreno. Así, el factor de erosionabilidad del suelo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (K de la USLE) se reduce desde 0,96 hasta 0,61 y la capacidad de infiltración aumenta considerablemente. En similar sentido cabe hablar de algunas características geotécnicas del terreno (tales como la cohesión, el ángulo de rozamiento interno o los límites de Atterberg). El efecto global de protección frente a la erosión laminar y en regueros ejercido por la vegetación puede estimarse mediante el factor C de la USLE. Por otro lado, los diques y albarradas - al imponer una cota fija a las cárcavas y evitar su progresiva profundización - evitan desplomes laterales y estabilizan el propio cauce mediante una cuña de sedimentos, en donde se asienta una tupida vegetación consolidadora.

Todo ello explica que, en respuesta a lluvias intensas como las acaecidas durante el mes de julio de 1997 (63,2 l/m² en unas dos horas), no se generasen caudales de escorrentía y de barro importantes. Muy diferente debió ser el comportamiento de estas laderas en los años veinte cuando se utilizaban como pastadero intensivo de cabras y ovejas. Varios episodios de lluvia al año convertían el casco urbano Saldañés en un completo barrizal (a decir por los lugareños) lo que terminó por

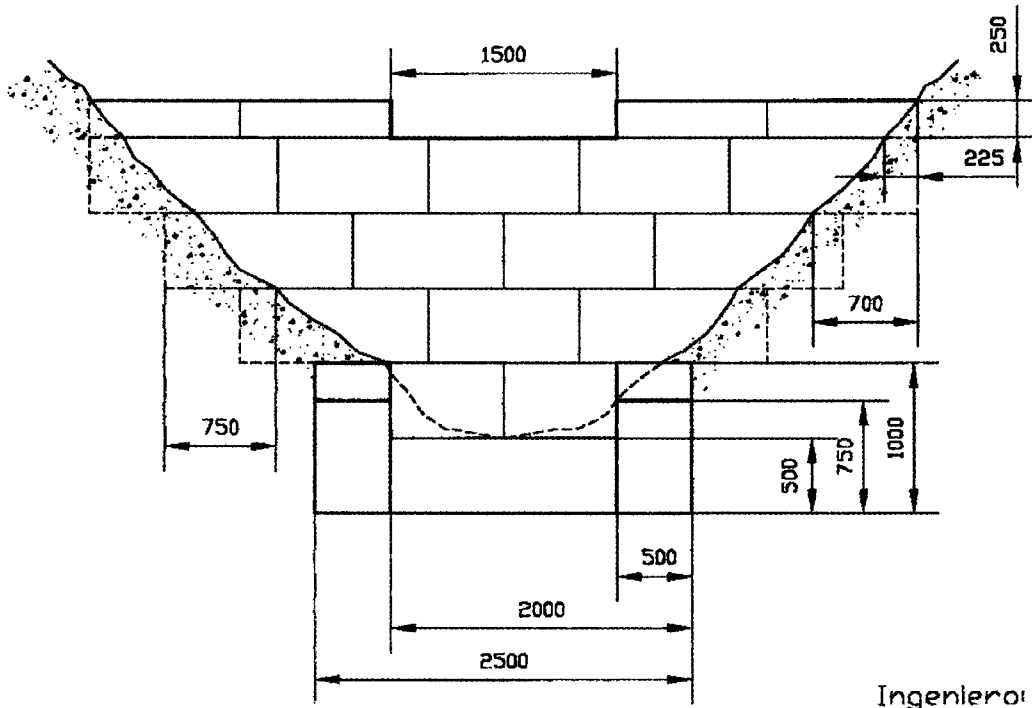
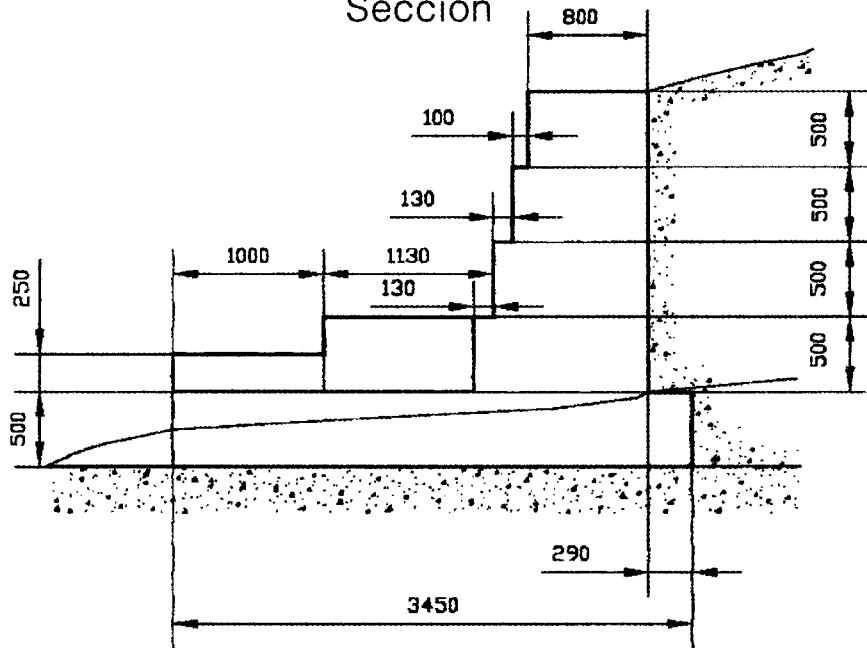
convencer a la corporación municipal para firmar un consorcio con la entonces llamada Confederación Sindical Hidrográfica del Duero y repoblar tales predios.

Las laderas más empinadas (con pendientes superiores al 80%) siguen estando desnudas. En ellas ninguna vegetación prospera y aflora la roca madre. Al tratarse de una roca fácilmente deleznable (areniscas arcillosas con un débil cemento calcáreo), el proceso erosivo del conjunto de la ladera sigue activo, produciéndose durante los meses más pluviosos pequeños desplomes, deslizamientos y corrientes de barro locales hasta el fondo de las cárcavas.

El análisis de estabilidad realizado se centra en el dique número 79 (única obra de segundo orden inventariada) y en el dique patrón (de tercer orden) proyectado por el Ingeniero D. José María de Ayerbe en 1930 y que ha servido de referencia para la construcción de la mayor parte de las albarradas y diques (figura 4). Aunque tan sólo tres diques sigan el diseño original fielmente, como existen 60 albarradas de menor entidad y otras 37 con similar envergadura, con estos análisis se abarca la práctica totalidad de las obras inventariadas. Del estudio se desprende que los diques son demasiado esbeltos para resistir un empuje hidrostático en el total de su paramento. Sin embargo, la elevada permeabilidad de los gaviones y el escaso caudal circulante permiten trabajar con hipótesis de cálculo más optimistas que conducen a un razonable ahorro en el volumen de la obra. La eficacia y estabilidad de los diques durante cerca de setenta años así lo atestiguan y no es ahora momento de enmendar las decisiones tomadas por experimentados ingenieros del pasado. No sólo por respeto sino por una consideración mucho más justificada: el empuje activo de tierras que sustituye al empuje hidrostático como solicitud desfavorable definitiva es en este caso muy reducido debido a la fuerte cohesión de los terrenos que conforman los aterramientos (relación estimada: 1,3 frente a 2).

En lo que respecta a la evacuación de caudales punta, los vertederos proyectados al final de las cárcavas mayores resultan insufi-

Dique tipo del proyecto original de 1930
Escala 1/40
Dique de primer orden
Sección



Vista frontal

Ingeniero:
D. José María de Ayerbe
- 154 -

Figura 4. Dique patrón

cientes bajo la hipótesis de una cuenca desnuda de vegetación (situación de partida). En cambio, resultan adecuados para la mayor parte de los casos y bajo hipótesis de vegetación diferentes. No vamos a pormenorizar aquí dichos cálculos pero podemos concretar la idea mediante un caso bastante ilustrativo: en el cierre de la cárcava mayor (la número 27 con 3,73 ha) se produce un caudal punta de 833 l/s con un periodo de retorno de 100 años si la cuenca está cubierta por un pastizal ralo, mientras que para igual periodo de recurrencia el caudal es de 258 l/s en presencia de un pinar con sotobosque denso (utilizando el método racional modificado del MOPU (1987)). Dicho caudal puede ser evacuado sin problemas por los vertederos existentes cuya capacidad de desagüe ciframos en 320 l/s .

CONCLUSIONES

En España existen muchos miles de diques forestales diseminados por toda nuestra geografía de los que se desconoce desde su ubicación, su estado de conservación y su funcionalidad, hasta su nivel de seguridad y los efectos que su ruina y rotura pudieran provocar. Inventariar estas obras no parece un dispendio innecesario sino más bien una medida prudente y hasta una obligación perentoria, máxime cuando muchas de estas hidrotecnias llevan largo tiempo en funcionamiento y se hallan próximas al final de su vida útil estructural. Subsanan tan sorprendente carencia incorporando la información obtenida en una base de datos geográfica debe ser el primero de los pasos pero no el único. El análisis de la estabilidad estructural de las obras y de sus coeficientes de seguridad deben prevenir y orientar sobre las medidas correctoras a adoptar; la medición del grado de colmatación y de las características sedimentológicas del lecho debe complementar dicha información.

Los resultados de los inventarios deben integrarse en una base de datos geográfica que sea compatible con el SIG utilizado por los Servicios Forestales y por la Confederación Hidrográfica de la zona estudiada. En este sentido, en Castilla y León la

Confederación Hidrográfica del Duero y la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio operan con el mismo sistema de información geográfica lo que, sin duda, facilitará el trabajo.

Conviene aprovechar la inventariación de los diques para realizar un estudio de los lechos de sedimentación formados (su pendiente, su granulometría, sus secciones transversales, etc.) que permita obtener referencias reales y calibrar el modelo de GARCÍA NAJERA (1943; 1962) sobre la pendiente de compensación y el caudal generador del lecho.

La conveniencia de revisar el estado de los diques periódicamente no es, en modo alguno, una iniciativa nueva. De acuerdo con el Reglamento de la vigente Ley de Montes (¡de 1962!) debieran realizarse revisiones cada cinco años... Pero la verdad es que casi desde un principio se ha hecho caso omiso a tal disposición. Antes de lamentar tal abandono y de proponer nuevas leyes para que terminen siendo papel mojado, cabe preguntarse por el motivo de tal incumplimiento. Y como casi siempre, la raíz del problema estriba en la falta de recursos económicos para acometer las mencionadas revisiones.

No basta con buenas intenciones y con sensatas proclamas. Se precisa de medios económicos y de un equipo humano especializado en el diseño, revisión, conservación y reparación de diques forestales que se pueda encargar de tal cometido. Para la puesta al día en tanta tarea olvidada tal vez convenga acudir a la empresa privada pero -después- los trabajos de control y supervisión deben recaer, a nuestro juicio, en la Administración Pública que debiera disponer de suficientes funcionarios preparados y eficaces para este menester, como sucede con el resto de las obras públicas.

En cuanto a la legislación, es de esperar que la próxima Ley Básica de Montes y su Reglamento den cabida a la exigencia que propugnamos. En este sentido se ha manifestado la Asociación de Ingenieros de Montes durante unas jornadas parlamentarias celebradas en noviembre de 1997. En su comuni-

cación se lamentan del abandono en que se encuentran las obras desde que desaparecieron las Divisiones Hidrológico-Forestales hace veinticinco años y recuerdan la conveniencia de revisar las hidrotecnias con la debida periodicidad. La elaboración de un reglamento técnico sobre seguridad de diques forestales puede ser una solución alternativa más directa y específica con la siempre deseable ventaja de no tener que esperar tanto tiempo para su aprobación.

Pero debemos insistir en la cuestión primordial: No sólo basta con aprobar un reglamento bien fundado sino que lo importante es que se pueda y se haga cumplir. Y para ello se precisa, en primer lugar, de una inequívoca voluntad política por corregir tan imprudente abandono.

REFERENCIAS

ASOCIACIÓN Y COLEGIO DE INGENIEROS DE MONTES (1997): La corrección hidrológico-forestal como medio para evitar riesgos catastróficos en nuestras cuencas torrenciales; 8 p.; en "Jornadas Parlamentarias sobre Prevención de Riesgos relacionados con el Agua", 24-25 de noviembre de 1997 (Palacio del Senado, Madrid)

AYERBE, J.M. DE (1930): Planos del proyecto

de restauración y repoblación de las laderas de la margen izquierda del río Carrión; Servicio Forestal de la Confederación Sindical Hidrográfica del Duero (Valladolid, no publicado)

AZCARATEZABAL, D. y AZPEITIA, J.M. (1971): Proyecto de repoblación forestal y restauración de laderas de la cuenca del Carrión, fase 1ª (Saldaña y otros, Palencia); Servicio Forestal de la Confederación Hidrográfica del Duero (Valladolid, no publicado)

FERNÁNDEZ YUSTE, J.A. y REYES, M. (1997): Comunicación personal sobre fichas para inventariar diques forestales

GARCÍA NÁJERA, J.M. (1943 Y 1962): Principios de Hidráulica Torrencial y su aplicación a la corrección de torrentes; 294 p.; edita I.F.I.E.(Madrid)

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; FERNÁNDEZ DE VILLARÁN, R.; SESEÑA RENGEL, A.; MÉNDEZ CARVAJAL, C.; DíEZ HERNÁNDEZ, J.M.; NAVARRO HEVIA, J. y VARELA NIETO, J.M. (1997): Estudio para la elaboración de una metodología de análisis de la eficacia de obras transversales de corrección hidrológico forestal ubicadas en escarpes de páramo; 436 p.; informe inédito (CEDEX, Madrid)

M.O.P.U. (1987): Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales; edita MOPU (Madrid).