

# CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA DE OBRAS DE DRENAJE PEQUEÑAS EN PASOS DE CARRETERAS SOBRE RAMBLAS

*Carmelo Conesa García<sup>1</sup> y Rafael García Lorenzo<sup>2</sup>*  
Universidad de Murcia

## RESUMEN

Atendiendo a criterios de peligrosidad, los caños y alcantarillas constituyen en cauces efímeros las obras de drenaje más problemáticas, tanto por su limitada capacidad de desagüe como por el elevado riesgo de obstrucción que presentan en época de avenidas. Durante estos sucesos torrenciales se moviliza un importante volumen de material sólido, que termina obstruyendo parcial o totalmente este tipo de estructuras hidráulicas, creando nuevos peligros que afectan al conjunto de la infraestructura viaria y a su tráfico. A continuación se hace una revisión de los principales aspectos hidromorfológicos que han de tenerse en cuenta para lograr una adecuada eficiencia de este tipo de obras de drenaje mediante la optimización de su diseño y emplazamiento en ramblas.

**Palabras clave:** Criterios hidrogeomorfológicos, ramblas, alcantarillas, diseño, ubicación.

## HYDROMORPHOLOGICAL CRITERIA TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF SMALL DRAINAGE WORKS IN ROAD-EPHEMERAL STREAM CROSSINGS

## ABSTRACT

From hazard criteria, culverts constitute the most problematic drainage works in ephemeral channels, due to its limited flow capacity and to a high risk of obstruction in flood periods. During these torrential events an important solid charge is carried, obstructing partially or totally the hydraulic structures and creating new hazards that affect to the overall road infrastructure

---

Fecha de recepción: 15 de marzo de 2010. Fecha de aceptación: 26 de mayo de 2010.

1 Departamento de Geografía, Universidad de Murcia. Campus de la Merced, s/n, 30001 Murcia, España.  
E-mail: cconesa@um.es

2 Servicio de Información e Integración Ambiental (SIGA), Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.  
C/ Catedrático Eugenio Úbeda, 3, Murcia, Spain.

and to the traffic. Finally a review of the main morphological effects is done and different hydromorphological criteria are taken into account to achieve the maximum efficiency in this structure type and to optimize its design and emplacement in ephemeral channels.

**Key words:** Hydromorphological criteria, ephemeral channels, culverts, design, location.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen abundantes trabajos técnicos referidos al comportamiento hidráulico de las alcantarillas y sus condiciones de diseño (Rühle, 1966; Carciente, 1985; Office of Technology Applications, USA, 1999), además de manuales de carreteras, que incluyen instrucciones y criterios de dimensionamiento hidráulico. En España, por ejemplo, merece destacar las Instrucciones de Carreteras 4.1-I.C. sobre obras pequeñas de fábrica (MOPU, 1964), 4.2-I.C. sobre colección de pequeñas obras de paso (MOPU, 1986), 5.1-I.C. sobre drenaje (MOPU, 1965) y 5.2-I.C. sobre drenaje superficial (MOPU, 1990). Sin embargo, la literatura científica sobre criterios geomorfológicos de optimización del diseño y ubicación de estas obras es escasa e incompleta (Brunsdon *et al.*, 1975; Castro, 2003; Merrill, 2005). Estudios preliminares de la *Office of Planning and Preliminary Engineering*, USA, incluyen normalmente la consideración del trazado, pendiente y sección tipo de carretera, la hidrología del área vertiente y la geomorfología del cauce y su llanura de inundación. La extensión de los estudios de localización de los cruces de carreteras con ramblas debería depender de la importancia de las estructuras propuestas y de los peligros de inundación y aspectos ambientales relativos a cada área.

El paso de una carretera por vaguadas o cauces efímeros (barrancos y ramblas) debe realizarse asegurando un adecuado drenaje, capaz de evitar su destrucción total o parcial, impedir desbordamientos y reducir al máximo los impactos ambientales negativos derivados de los cambios impuestos a la escorrentía superficial. Las aguas de avenida mal drenadas afectan la capacidad de uso de la vía y cuando desbordan ocupando la superficie de circulación pueden acelerar, con ayuda del tráfico de vehículos, la formación de depresiones y surcos. Con desbordamientos significativos que superan las condiciones críticas de estabilidad del firme de la carretera y ejercen tensiones de corte diferenciales muy marcadas sobre materiales de obra y formaciones aluviales adyacentes, se desarrollan procesos de erosión, ruptura de márgenes y destrucción de cunetas especialmente importantes. La generación de surcos profundos en terraplenes y taludes compuestos por materiales blandos (arcillas, limos, margas, etc.) constituye en estos casos un grave peligro para la estabilidad del tramo de carretera afectado y para la propia estructura de drenaje. Con bastante frecuencia, la falta de mantenimiento favorece, cuando no provoca, el colapso de las propias estructuras de drenaje y, con ello, de importantes tramos de carretera. Y también a menudo el mantenimiento inexistente del cauce de estas ramblas va acompañado de vertidos incontrolados de escombros, que incrementan el volumen de obstáculos y alimentan los arrastres en épocas de avenidas. El efecto más directo e inmediato es la obstrucción del sistema de desagüe, con la consiguiente elevación del nivel de la corriente que termina por superar la rasante de la carretera, provocando su colapso.

## 1. CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS APLICABLES AL DISEÑO Y UBICACIÓN DE PEQUEÑAS OBRAS DE DRENAJE EN TRAMOS DE CARRETERA

Entre los muchos criterios hidromorfológicos aplicables en el diseño y emplazamiento de las alcantarillas, caños y pontones, destacan básicamente tres: i) el trazado fluvial en relación con la dirección de la carretera y el dispositivo de drenaje, ii) el tipo de cauce y iii) las condiciones de estabilidad de la sección transversal del cauce inmediatamente aguas arriba.

1.1. *Trazado de los cursos de agua en relación con la red de carreteras.* Los lugares más favorables para la instalación de alcantarillas son i) las secciones de cauce relativamente rectilíneo y estable, por ejemplo una sección con rápido (*riffle*) estable; ii) los tramos de trazado lineal paralelos a la carretera, debiendo evitarse ubicaciones en tramos fluviales de marcada curvatura, meandros acusados, confluencias u otras áreas con modelos de cauce de convergencia o divergencia y turbulencia asociada; la oblicuidad de las alcantarillas no debería exceder 45°; iii) tramos afectados por cruces de carretera que mantienen ciertas condiciones de estabilidad. Puede que no sea factible obtener una alineación óptima de la carretera para cada cruce de rambla; sin embargo, es importante dedicar gran parte del esfuerzo en seleccionar la ubicación de la estructura y el tipo que mejor se ajusta a las condiciones particulares del lugar.

1.2. *Tipos y clasificaciones de cauces.* El sistema de clasificación de cauces de Rosgen (1996) es muy apropiado en relación con los objetivos descritos y podría considerarse una excelente opción en la definición de tramos óptimos para la instalación de caños y alcantarillas. Particular atención merecen las medidas de anchura y profundidad *bankfull*. Las cotas de profundidad *bankfull* y las cotas de los márgenes del cauce necesitan ser representadas sobre el perfil y secciones transversales del curso en el tramo fluvial en estudio.

El diseñador necesitará hacer una evaluación de la clasificación de cauces utilizada, así como del grado en que dicha clasificación es empleada en el diseño de alcantarillas. Esto es particularmente útil en los casos donde el cauce presenta características de más de un tipo de corriente, o donde el curso fluvial ha sido alterado por cambios en el cauce o en su cuenca. Los cursos sometidos a cambios morfológicos han de ser objeto de especial atención para decidir cómo adaptarlos mejor a las posibles variaciones del tipo de cauce a lo largo de la vida de la estructura (carretera y obra de drenaje).

1.3. *Sección transversal del cauce aguas arriba.* Conocer las características morfológicas de la sección del cauce situada inmediatamente aguas arriba de estas obras es esencial para definir los requerimientos de la sección de transición. En esta sección la corriente debe transitar suave y homogéneamente desde el cauce a la entrada de la alcantarilla. Una sección de transición apropiadamente diseñada es importante para conseguir varios de los objetivos de instalación: i) Mantenimiento de la estabilidad del cauce natural, en dimensión, modelo y perfil, de modo que los rasgos del cauce se preserven a lo largo del tiempo y el cauce no sufra acreción ni degradación. ii) Minimización del lavado superficial, incisión, erosión o sedimentación en la boca de entrada de la alcantarilla y de posibles acumulaciones en su tubo. iii) Creación de un diseño estético.

## 2. LA CLASIFICACIÓN DE ROSGEN EN EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LAS ALCANTARILLAS

A partir del estudio de estabilidad ha de indicarse el tipo de curso fluvial y obtener datos sobre la profundidad *bankfull*, anchura, velocidad y pendiente (Conesa, 2005). El método generalmente recomendado es diseñar la anchura de la alcantarilla hasta igualar la anchura *bankfull* (estable) del tramo de cauce próximo aguas arriba. Para los cauces de tipo B, C y E (clasificación de Rosgen, 1996), este método tiende a estabilizar el cauce ya que la base de la alcantarilla servirá para controlar la elevación del cauce aguas arriba. En tales casos, puede no ser necesaria una sección de transición entre la alcantarilla y el cauce aguas arriba, salvo para minimizar cambios bruscos en la cota del lecho. Normalmente se requieren algunos ajustes en los márgenes del cauce para construir la alcantarilla y sus muros de ala o cabecera. Comúnmente se revisten los márgenes del cauce con vegetación en el tramo o sección de transición a la alcantarilla. En algunos casos, tales como en cauces de arenas y limos, puede ser deseable cementar el lecho del cauce a lo largo de dicho tramo de transición para limitar posibles efectos de incisión en las proximidades aguas arriba de la alcantarilla. Estas transiciones aguas arriba son generalmente cortas, siendo su longitud del orden de 8 m o menos.

Para un cauce tipo A, D, DA, F o G (clasificación de Rosgen, 1996), existen probablemente condiciones especiales que han de tenerse en cuenta en el diseño de la sección más próxima, así como en el diseño de la propia alcantarilla. Entre los cursos efímeros de la Región de Murcia abundan los ejemplos de cauces tipo A, F y G.

2.1. *Cauces tipo A*. El cauce tipo A es un cauce empinado, encajado y confinado, con pendientes dentro del rango de 4 a 10% o más. En la Región de Murcia, este tipo de cauce se da principalmente en cuencas de drenaje pequeñas y de carácter torrencial, en las que se desarrollan los tramos altos de ramblas y barrancos. La idea general recomendada para una estructura de carretera sobre una corriente tipo A es abarcar el cauce entero, situando los pies de la estructura más allá de los límites de los márgenes del cauce. Este proceder minimiza el efecto de la estructura sobre el curso de agua y sobre las condiciones de corriente *bankfull*. El uso de una alcantarilla sin fondo, marco rígido o puente puede evitar la necesidad de cualquier obra en el cauce, incluyendo la disipación de energía en la salida de la estructura. Normalmente, tales estructuras pueden construirse como un único ojo. Si las bases de los estribos se localizan dentro de los límites de un llano de inundación activo, se necesitarán adoptar medidas apropiadas para proteger los estribos del efecto de socavado. Para cauces tipo A3, A4 y A5 se dará mayor importancia a la necesidad de estructuras de control de la pendiente en la salida de la alcantarilla. Si una alcantarilla se instala sobre un cauce de tipo A, ésta debería localizarse en el área de escalones, rápidos o caídas.

2.2. *Cauces de tipo F*. El tipo de cauce F es cauce encajado, meandriforme con resaltes y pozas, escasa pendiente y una elevada ratio anchura-profundidad. Los cauces tipo F tienden a ser lateralmente inestables con altas tasas de erosión de margen. Ejemplos de este tipo lo constituye la Rambla de las Moreras aguas abajo del Paretón, en su tramo medio-bajo, y la Rambla de Benipila en su tramo bajo no encauzado.

Los estudios realizados por Rosgen (1996, 1998) han mostrado que la naturaleza inestable de corrientes de tipo F puede conducir a la restauración de una llanura de inundación funcional dentro de los límites de un sistema fluvial que aumenta progresivamente su anchura dentro del valle. Debido su gran inestabilidad lateral potencial, debería abordarse el estudio de los tramos situados aguas arriba y abajo del cruce de carretera. Debería por tanto considerarse la capacidad de cambio de dicho cauce, con el consiguiente sobreexcavado del lecho y la construcción de un nuevo nivel de inundación. Las alternativas, en este caso, para los cruces de carreteras con cauces incluyen la rehabilitación del cauce tipo F a una forma de cauce más estable como el Tipo C. Esta iniciativa requiere una serie de proyectos de compleja y costosa ejecución, pero también pueden conseguirse resultados satisfactorios con obras de menor coste, como pontones o alcantarillas de cauce principal diseñadas para igualar la menor ratio anchura-profundidad del cauce restablecido. Otra ventaja esperada serían los menores gastos de mantenimiento asociados a un cauce estable. El cauce restablecido será más eficiente en el transporte del sedimento a lo largo del tramo de corriente afectado por el cruce de carretera. El método más factible sería considerar el ciclo evolutivo del cauce F y diseñar la instalación con una alcantarilla de cauce principal (para igualar la menor ratio anchura-profundidad del cauce restablecido) y con alcantarillas de llanos de inundación, que tengan una anchura igual a o mayor que la anchura *bankfull* del cauce F. La alcantarilla debería ser de tamaño adecuado para transportar el flujo de diseño, asumiendo que un cauce evolutivo se formará dentro del cauce F. La geometría y el orden de las celdas de alcantarilla deberían prever la corriente *bankfull* de un segundo nivel de cauce de modo que una o varias de las celdas puedan funcionar como una futura alcantarilla de cauce principal. La estabilización de los márgenes escarpados de cauce F puede ser necesaria para protegerlos contra un posterior desplazamiento lateral del cauce por causa del flanqueo de la alcantarilla y la erosión subsecuente del terraplén de carretera.

2.3. *Cauces de tipo G*. El «G» o tipo de curso abarrancado es un cauce encajado estrecho y profundo con alternancia de resaltes y pozas y una sinuosidad de moderada a baja. Las pendientes del cauce varían generalmente entre el 2 y el 4%, aunque los cauces «G» pueden estar asociados a pendientes más suaves, donde discurren como barrancos entallados en áreas de glaciares y llanuras. A excepción de cauces con lecho rocoso y bloques, los tipos de corriente «G» tienen tasas muy altas de erosión de márgenes y un alto suministro de sedimento. La degradación de cauces y los procesos de rejuvenecimiento en sectores con cierta pendiente son típicos. El diseño de alcantarillas sobre cursos de tipo G debería hacerse con precaución, previendo los posibles problemas relacionados con la erosión de los márgenes y el transporte de sedimentos. Un puente puede ser la mejor alternativa en determinados casos y siempre es recomendable tenerla en cuenta para los cauces de tipo G3 a G6.

Antes de seleccionar la instalación de alcantarillas para una corriente de tipo G, debería realizarse un estudio detallado sobre el tramo de cauce con el fin de determinar si se necesita estabilizar el cauce aguas arriba y abajo de la alcantarilla.

- El tramo próximo aguas arriba puede requerir su estabilización para controlar la erosión del margen y el desarrollo y desplazamiento de meandros hacia la carretera. Sin la estabilización, la corriente puede flanquear la alcantarilla y atacar el terraplén de carre-

tera. Los esfuerzos de estabilización pueden incluir la consideración de la conversión del cauce G a un cauce de tipo B. Ello se consigue aumentando la ratio anchura-profundidad así como la ratio de encajamiento.

- La estabilización aguas arriba puede requerir una servidumbre de prioridad incluyendo una carretera de acceso (más allá de los márgenes del cauce) para mantener dicha estabilización.

- El diseño de la sección de transición aguas arriba debería hacerse dedicando particular atención a la pendiente de energía de la corriente con el fin de minimizar cualquier deposición de carga de fondo a la entrada de la alcantarilla.

- La profundidad y la velocidad de flujo para condiciones de corriente *bankfull* en la alcantarilla deberían ser compatibles con la profundidad y la velocidad de flujo en el cauce aguas arriba (estabilizado). En consecuencia, las pendientes longitudinales de la alcantarilla deberían ser similares a las pendientes del cauce aguas arriba. Cualquier aplanamiento significativo de la pendiente de la alcantarilla o la línea de energía del flujo a través o aguas arriba de la alcantarilla puede causar acumulación y obstrucción en el tubo de la alcantarilla o en la sección de transición próxima.

- Las velocidades de salida de la alcantarilla deberían ser compatibles con velocidades de flujo existentes en el cauce en un grado factible. Aumentos significativos de velocidades de salida combinadas con la formación de una corriente de salida en el cauce pueden crear problemas de inestabilidad en el cauce aguas abajo. Esto puede causar la degradación de cauce y un sobre-excavado que conduce al socavado de la salida y la posible rotura de la instalación completa de la alcantarilla.

La estabilización de un tramo de cauce aguas abajo puede ser necesaria para controlar la degradación en cursos de tipo G-3 a G6. Pueden requerir esfuerzos de estabilización más allá de los límites de prioridad de la carretera. En algunos casos, la construcción de dos o tres escalones/pozas puede servir para estabilizar el cauce aguas abajo.

En general, los problemas de estabilidad con cauces de tipo G se hacen más difíciles conforme aumenta la longitud de alcantarilla. La alternativa de un puente tiene la ventaja de abarcar el curso fluvial completamente, evitando así cambios en el régimen de la corriente. Los estribos del puente deberían colocarse muy atrás de los márgenes del cauce teniendo en cuenta su potencial de ensanchamiento futuro y la evolución a un tipo de cauce F ( $G_c \rightarrow F$ ) o B ( $G \rightarrow B$ ).

### 3. CONSIDERACIONES SOBRE LA INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS EN DIFERENTES TRAMOS Y UNIDADES MORFOLÓGICAS DEL SISTEMA FLUVIAL

3.1. *Alcantarillas en el cauce principal.* La anchura de la alcantarilla (o conjunto de ellas) en el cauce principal debería ser casi la misma que la anchura *bankfull* en la sección de referencia. Donde sea practicable, es conveniente amoldar la corriente *bankfull* en un único tubo o una única celda (abertura) de alcantarilla en caja. Si la anchura *bankfull* es demasiado grande para una sola abertura, puede instalarse un tubo o caja multi-aberturas que minimice el desgajamiento de la corriente *bankfull*. En este sentido, las alcantarillas de caja tienen una ventaja sobre las instalaciones de tubos, ya que el espaciamiento entre

las aberturas de la caja es mínimo. En los casos donde se sitúa en el cauce una caja de dos aberturas, debería considerarse el uso de un azud en «W» aguas arriba de la entrada de la alcantarilla. Las dimensiones de este azud o presa pueden modificarse para ajustar las condiciones del lugar. El azud sirve para dividir el flujo en dos *talwegs* mientras aumenta la velocidad próxima a la alcantarilla, y de esta forma: i) reducir la deposición de barras y/o el excavado de los márgenes; ii) aumentar la competencia de la corriente para transportar material grueso del lecho; y iii) reducir la acumulación de derrubios en la parte central.

HEC-RAS puede utilizarse para obtener los perfiles de la superficie de agua correspondientes al caudal *bankfull*. Es también importante ajustar la pendiente, tipo, rugosidad y dimensiones de la alcantarilla mediante un proceso de prueba y error para mantener la continuidad de las anchuras, profundidades y velocidades de la corriente *bankfull* aguas arriba, abajo o a lo largo de la alcantarilla, así como representar las profundidades de *bankfull* a lo largo del tramo del cauce en el que se localiza la alcantarilla. A partir del estudio de estabilidad, debe comprobarse que los ratios de anchura/profundidad y el tipo de cauce en el tramo de referencia son acordes con los observados en el lugar de la alcantarilla.

Es necesario asumir que la sección deprimida de la alcantarilla se rellenará de forma natural, de forma que el lecho del cauce en la alcantarilla pueda tener continuidad con las cotas del cauce aguas arriba y abajo para las condiciones *bankfull*. Para la alcantarilla debería emplearse un valor «n» compuesto, basado en el material de lecho y el material de la alcantarilla por encima del lecho fluvial. Por otra parte, como la geometría y rugosidad de la alcantarilla suele diferir de la del cauce, es improbable que una selección de alcantarilla sea capaz de igualar exactamente las propiedades de transporte del cauce existente. El objetivo debería ser diseñar el sistema de alcantarillas con el fin de igualar las cotas de la superficie del agua existentes en una corriente *bankfull* aguas arriba y abajo de la alcantarilla. Finalmente, para la aplicación de HEC-RAS, conviene presuponer que no se produce una poza o cuña de erosión a la salida de la alcantarilla a menos que la evaluación comprenda una alcantarilla con una poza de erosión significativa ya existente a la salida, tal como un «*blow hole*».

3.2. *Alcantarillas en la llanura de inundación*. La alcantarilla es una estructura hidráulica de coste efectivo ya que sirve para coleccionar la corriente de avenida aguas arriba del cruce de carretera desde el cauce y la llanura de inundación, transporta la corriente bajo la carretera y descarga en el propio cauce aguas abajo. Sin embargo, esta acción de coleccionar la corriente del sistema fluvial global aguas arriba y descargarla como un flujo concentrado en el cauce aguas abajo puede tener efectos no deseados sobre la morfología del curso. Una pequeña alcantarilla que constriñe severamente la corriente puede iniciar la degradación y dar origen a un cauce inestable aguas abajo de la carretera. Una forma de minimizar este efecto es instalar alcantarillas adicionales sobre la llanura de inundación para conducir el agua de dicha llanura de uno a otro lado de la carretera y reducir la recogida y concentración de corriente por la alcantarilla del cauce principal aguas abajo.

Un método alternativo sería diseñar un puente para el cruce. Sin embargo, los costes de tal solución pueden ser altos en comparación con los beneficios obtenidos. Los cauces

fluviales son dinámicos y pueden adaptarse a lo largo del tiempo a condiciones cambiantes producidas por la instalación de alcantarillas bajo la carretera, cuando se presta particular atención a la morfología del cauce en el diseño de la estructura.

3.3. *Alcantarillas en cruces de carreteras con tramos de cauce curvos, pozas y confluencias.* La discusión precedente en cuanto a la posición y diseño de las alcantarillas se basa en asumir una ubicación favorable de cruce de corriente tal como en un tramo rectilíneo con resaltes en el lecho. En algunos casos, sin embargo, puede ser necesario construir una alcantarilla en un tramo curvo, en una poza o en una confluencia de cursos. Estas situaciones introducen otras muchas consideraciones en el proceso de diseño.

a) *Tramos curvos.* Las posiciones de curva pueden presentar numerosos desafíos a un diseño de alcantarilla. Es importante asegurar que el tramo aguas arriba y abajo de la curva, así como la curva en sí misma, sea razonablemente estable. Si no es así, convendrá diseñar secciones de transición aguas arriba o abajo para restablecer un cauce estable. La entrada y salida de la alcantarilla han de alinearse también con el cauce para asegurar un modelo de flujo alineado y la consecuente eficacia en el transporte de flujos de inundación y sedimentos. Para alcanzar los objetivos de diseño en los tramos curvos, puede hacerse necesario ajustar la posición del cauce en los alrededores de la entrada o salida de la alcantarilla. Tales ajustes deberían efectuarse para mantener, en grado practicable, el modelo existente, el perfil y la dimensión del curso y evitar el enderezamiento del cauce.

b) *Pozas.* Cuando una alcantarilla tiene que ubicarse en una zona de poza, su diseño debe tratar de mantener las características de dicha poza. La anchura de alcantarilla deberá ajustarse a la anchura *bankfull* media de la poza, y su altura a la profundidad *bankfull*, por lo general mucho mayor que en una sección con resalte en el lecho. Por otra parte, la base curva de la alcantarilla no tiene por qué coincidir con la base de la poza, por debajo del *talweg* normal. Si la alcantarilla se extiende más allá de la poza en un resalte del lecho, el control ejercido por aquélla puede quedar anulado.

En la medida de lo posible, la profundidad de la poza debería ser mantenida hasta el resalte aguas abajo más allá del área de salida de la alcantarilla, y a una distancia suficiente para restablecer el control sobre posibles deslizamientos y derrames. Las pozas y resaltes tienden a moverse aguas abajo con el tiempo. En el caso de que un resalte (*riffle*) se desplace hacia abajo, aproximándose a la alcantarilla, deberá considerarse un diseño que siga asegurando una profundidad de flujo suficiente para evitar obstrucciones. Aguas abajo pueden emplearse estructuras de control de la pendiente para mantener la altura de la poza.

c) *Confluencias.* Un problema que se repite en el diseño de las alcantarillas es el tratamiento de una confluencia de cursos dentro de los límites de alineación de la carretera ya trazada. La regla general para tales casos es mantener por separado el modelo de flujo natural de cada cauce incluso si ello implica la construcción de dos alcantarillas. (Generalmente no se recomienda la construcción de puentes sobre una confluencia debido a problemas de lavado superficial, erosión o sedimentación). Las condiciones del lugar tendrán que ser evaluadas para cada ubicación con el fin de determinar la mejor posición de la confluencia en relación con la carretera.

#### 4. OBSTRUCCIÓN Y ATERRAMIENTO DE LAS ALCANTARILLAS POR EFECTO DEL TRANSPORTE Y DE LA ACUMULACIÓN DE DERRUBIOS

Las alcantarillas de carretera deberían localizarse evitando las áreas que tienen un alto potencial para la obstrucción por la deposición de sedimentos y demás tipos de materiales (escombros, restos vegetales, etc.). El arrastre y acumulación de derrubios constituye en general un continuo problema, que debería tenerse en cuenta a la hora de elegir el emplazamiento y diseño de la alcantarilla. Por derrubio se entiende cualquier material transportado y depositado por un curso de agua. Ello incluye la combinación de material flotante, sedimento suspendido y carga de fondo. La propensión de una corriente para transportar derrubios se basa en los usos del suelo del área vertiente y en las características de su curso fluvial y llanura de inundación. Los derrubios son un grave problema en medios áridos y semiáridos, caracterizados por la generación de corrientes de avenida relámpago (*flash floods*) dotadas de alta energía. La investigación *in situ* de un cruce de carretera con rambla trazado o planificado debería incluir la evaluación de los siguientes aspectos: i) velocidad de la corriente, pendiente y alineación; ii) presencia de márgenes erosionables y tipos de árboles o arbustos sobre márgenes vulnerables al socavado y lavado superficial; iii) usos del suelo del área vertiente, en particular talas, cultivos y construcciones; iv) respuesta hidrológica del área vertiente a las tormentas, tales como la formación de escorrentías rápidas en terrenos de fuertes pendientes; v) acumulación de derrubios y materiales sobre la llanura de inundación (troncos, escombros, basuras, etc.).

Los derrubios pueden acumularse en la entrada de una alcantarilla o llegar a alojarse en el interior del tubo. Algunos bloqueos u obstrucciones pueden originar estancamientos de agua corriente arriba de la alcantarilla, ocasionando daños a las propiedades afectadas, desbordamiento e inundación de la calzada y la consecuente destrucción de la propia alcantarilla.

En la mayor parte de instalaciones de alcantarilla cabe esperar cierta acumulación de derrubios. Las operaciones de mantenimiento ordinario incluyendo el retiro de los derrubios servirán en la mayoría de los casos para reducir al mínimo el riesgo de obstrucciones. Si el reconocimiento *in situ* revela un potencial significativo de acumulación de derrubios, éste debería considerarse para reducir al mínimo el problema y su efecto sobre las operaciones de seguridad de la carretera. Métodos alternativos incluyen el empleo de una celda sola (vs una instalación de alcantarilla de celdas múltiples), la construcción de un puente o la colocación de deflectores (FHWA, 1971). El empleo de alcantarillas de llanuras de inundación servirá para proporcionar aperturas de alivio para el transporte de los flujos de inundación en el caso de que la alcantarilla del cauce principal quede bloqueada.

Los deflectores de derrubios y estructuras de control no han sido apenas usados en las ramblas costero-meridionales de la Región de Murcia, y hasta ahora, por lo general, no son recomendados en construcciones nuevas. Sin embargo, en los tramos donde la acumulación de derrubios se ha convertido en un continuo problema de mantenimiento, con riesgo de seguridad en las alcantarillas existentes, debería considerarse la posibilidad de instalar estructuras de control de derrubios o deflectores.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto RIFLUTME «*Procesos de riesgos con origen natural asociados a sistemas fluviales de régimen torrencial mediterráneo. Aplicación a la franja costero meridional de la Región de Murcia*», con financiación de la Fundación SENECA, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. Referencia 02955/PI/05.

## REFERENCIAS

- BRUNSDEN, D.; DOORNKAMP, J.C.; FOOKES, P.G.; JONES, D.K.C. & KELLY, J.M.H. (1975). Large scale geomorphological mapping and Highway engineering design, *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, 8 (4): 227-253.
- CASTRO, J. (2003). *Geomorphologic Impacts of Culvert Replacement and Removal: Avoiding Channel Incision*, USFWS – Oregon Fish and Wildlife Office, Portland, p. 19.
- CARCIENTE, J. (1985). «*Carreteras: estudio y proyecto*». Ed. Vega, Caracas.
- CÁTEDRA DE TRANSPORTE II. (1992). «*Diseño geométrico de caminos, Cap III: Drenaje*». F.C., E.F. y N. – U.N.C.
- CONESA GARCÍA, C. (2005). «Les ‘ramblas’ du Sud-est Espagnol: Systèmes hydromorphologiques en milieu méditerranéen sec». *Zeitschrift für Geomorphologie*, N° 49, 2. Gebrüder Borntraeger · Berlin · Stuttgart, pp. 205-224.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, FHWA (1971). Hydraulic Engineering Circular HEC-9, Debris Control Structures.
- MERRIL, M.A. (2005). *The effects of culverts and bridges on stream geomorphology*. thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University, 153 p.
- MOPU (1964). Instrucciones de Carreteras 4.1-I.C. sobre obras pequeñas de fábrica.
- MOPU (1986). Instrucciones de Carreteras 4.2-I.C. sobre colección de pequeñas obras de paso.
- MOPU (1965). Instrucciones de Carreteras 5.1-I.C. sobre drenaje.
- MOPU (1990). Instrucciones de Carreteras 5.2-I.C. sobre drenaje superficial.
- OFFICE OF TECHNOLOGY APPLICATIONS (1999). «*Hydrain Integrated Drainage Design Computer System. Volume V. HY8 – Culverts*». Federal Highway Administration. Washington, DC.
- ROSGEN, D.L. (1996). *Applied River Morphology*, Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado.
- ROSGEN, D.L. (1998). Rosgen, David L. 1998. The Reference Reach-A Blueprint for Natural Channel Design. In: Proceedings of Amer. Soc. Civil Engineers, Restoration of Wetlands and Rivers, Denver, Colorado.
- RÜHLE, F. (1966). «*Traducción y Adaptación de los Gráficos Hidráulicos para el diseño de Alcantarillas preparados por el Bureau of Public Roads – EEUU, 1964*». Dirección Nacional de Vialidad.