

Algunos Aspectos Prácticos del Drenaje Superficial de Carreteras



Some Practical Aspects of Road Surface Drainage

Álvaro Parrilla Alcaide

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado
Jefe del Área de Geotecnia
Dirección Técnica
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento

Ángel Juanco García

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado
Jefe del Servicio de Explanaciones y Drenaje
Dirección Técnica
Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento

Resumen

Con motivo de la preparación de la actualización de la norma 5.2 IC Drenaje Superficial se hace un repaso de distintos aspectos concretos del drenaje de carreteras que, o bien no están tratados en la versión vigente de dicha norma por haber surgido o cobrado relevancia con posterioridad a 1990, su año de publicación, o bien sobre los que se quiere insistir porque se ha observado en la experiencia de la Dirección General de Carreteras que pueden dar lugar a fallos. Se empieza insistiendo en la necesidad de una buena práctica constructiva y de conservación para pasar a exponer las posibilidades de observar el funcionamiento del drenaje a través de la monitorización con las tecnologías actuales. Se continúa analizando los vertidos de la escorrentía de la plataforma y márgenes, estudiando la posibilidad de disponer dispositivos de tratamiento. En cuanto al drenaje transversal, se discute la elección entre obra de drenaje transversal (ODT) o puente, recordando las definiciones del Reglamento del Dominio Público Hidráulico de cauce, zona de flujo preferente y zona inundable. A continuación se estudia el uso de los métodos numéricos de cálculo y el fenómeno de erosión y socavación, aspectos no contemplados en la vigente norma 5.2 IC, de 1990.

PALABRAS CLAVES: Drenaje, vertidos, métodos numéricos, socavación.

Abstract

A review of specific aspects of road drainage has been done in order to update the Surface Drainage IC 5.2 Rules, because some aspects were not covered in the current version or they have arisen or become relevant after 1990, the year of publication, or because it has been observed, by the General Directorate of Highways, that they may lead to failure. We begin by insisting on the need for good building practice and maintenance and setting out the possibility to observe the functioning of the drainage through monitoring with current technologies. Subsequently, the discharge of runoff from the platform and riverbanks has to be analyzed, considering available treatment devices. Regarding the transversal drainage, it is being discussed on the choice of transverse drainage works (ODT) or bridge, recalling the definitions of the Public Water Domain Regulation of the river courses, of preferential flow zones and areas at risk from flooding. We will next study the use of numerical methods and the erosion and scour problems, aspects not covered in the current 5.2 IC Rules, from 1990

KEY WORDS: Drainage, discharges, numerical methods, undermining.

1. Introducción

A continuación se van a tratar distintos aspectos parciales del drenaje de carreteras en los que se quiere hacer hincapié, bien porque se trata de aspectos que no aparecen en la 5.2 IC Drenaje Superficial de 1990, por haber surgido o cobrado relevancia con posterioridad a dicha fecha, o bien porque se trata de aspectos que se consideran importantes y se quiere insistir sobre ellos.

Los temas que se van a tratar en este artículo, haciendo la distinción entre drenaje de la plataforma y márgenes y drenaje transversal, son:

- Drenaje de la plataforma y márgenes:
 - Buena ejecución y conservación.
 - Posibilidad de monitorización.
 - Punto de vertido.
- Drenaje transversal:
 - Obra de drenaje transversal o puente.
 - Métodos numéricos.
 - Socavación.

2. Drenaje de la plataforma y márgenes

2.1. Buena ejecución y conservación

Este primer aspecto puede parecer trivial, ya que si el proyecto está completamente definido, se controla la calidad de la construcción y la obra se conserva, no parece necesario insistir en la necesidad de que se haga una buena ejecución y conservación. Sin embargo, frecuentemente se observan deficiencias de funcionamiento en los sistemas de drenaje, que originan daños en la plataforma y márgenes. Es por ello que se va a dedicar un espacio a repasar el proceso de proyecto construcción y conservación en lo que respecta al drenaje de la plataforma y márgenes.

Si se compara la plataforma de una carretera, con la cubierta de una edificación en lo que a evacuación de aguas de escorrentía se refiere, se pueden observar las diferencias que se

indican en la tabla 1.

La función principal de la cubierta es proteger el edificio de la lluvia mediante la impermeabilización y evacuación de escorrentía. Para cumplir su función, la cubierta cuenta con la principal ventaja respecto a la plataforma de que las pendientes, puntos altos y puntos bajos están definidos de forma que se favorezca la evacuación de las aguas. Además, se construye con elementos industriales y cualquier fallo de impermeabilidad es fácilmente detectable desde el interior. Sin embargo la definición de proyecto del drenaje se efectúa igual en ambos casos, carretera y cubierta, básicamente con plantas de drenaje y planos de detalles constructivos. Lo que ocurre es que, en la práctica, el drenaje de la plataforma y márgenes requiere una construcción más cuidadosa y supervisada que el caso de las cubiertas, porque el salto entre la definición del proyecto y la construcción suele ser mayor.

En el caso de la cubierta, los puntos de conexión entre faldones y canalones y entre canalones y bajantes están bien definidos y en la mayor parte de los casos se utilizan esquemas constructivos previstos en el diseño de los elementos industriales. Sin embargo, en el drenaje de la plataforma y márgenes los puntos de conexión entre cunetas, bajantes, sumideros,

colectores, deben comprobarse topográficamente sobre el terreno y materializarse con obras in situ, teniendo en cuenta que hasta que no estén terminadas dichas obras pueden producirse erosiones que alteren el terreno original y que hasta que no esté terminada la plataforma no se alcanzará la configuración geométrica definitiva de las superficies por las que discurrirán las aguas de escorrentía.

En la tabla 1 el único aspecto favorable al drenaje de la plataforma y márgenes desde el punto de vista de la construcción y la conservación, es que los elementos superficiales de la plataforma suelen resultar más fáciles de observar, aunque las cunetas de pie de talud, de guarda y los colectores subterráneos suelen presentar una dificultad de observación algo mayor.

En la figura 1 se pueden observar distintos tipos de fallos relativamente frecuentes en el drenaje de la plataforma y márgenes y en la figura 2, ejemplos de buena ejecución y conservación, en algunos casos se pone de relieve el carácter prácticamente artesanal de las obras.

En cualquier caso, los principios de funcionamiento del drenaje superficial son muy sencillos, el flujo de agua se produce por gravedad, siempre hacia los puntos bajos; a igualdad en el resto de factores externos al aumentar la pendiente aumenta la velocidad, con

Tabla 1: Comparación desde el punto de vista del drenaje (impermeabilización y evacuación de escorrentía) entre una carretera y una cubierta.

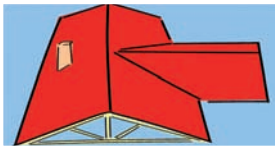
PLATAFORMA / CUBIERTA		
Función principal	Permitir el tráfico de vehículos.	Proteger el edificio de la lluvia.
Definición del drenaje en proyecto.	Planta de drenaje y detalles	Planta de drenaje y detalles.
Definición de pendientes, puntos bajos y puntos altos.	En su mayor parte por cuestiones de trazado.	En su mayor parte por cuestiones de drenaje.
Elementos constructivos	En su mayor parte in situ, incluyendo taludes.	En su mayor parte industriales.
Control de filtraciones.	Solo se observan a largo plazo por deterioro del firme	Observación inmediata de humedades.
Control visual.	Fácil en el caso de los elementos superficiales de la plataforma.	Requiere acceso a la cubierta.



Figura 1: Detalles de fallos relativamente frecuentes en el drenaje de la plataforma y márgenes.

menos pendiente y estrechamientos aumenta el calado. Hay que controlar que no queden puntos bajos sin desagüe para evitar la infiltración; que las velocidades máximas sean admisibles para los materiales de los elementos de drenaje y que las sobreelevaciones sean admisibles. Con geometrías complejas el cálculo de velocidades y sobreelevaciones se puede resolver con los métodos numéricos disponibles, como se indicará más adelante. Por último hay que garantizar que no en-

tren caudales procedentes del drenaje superficial a los elementos y sistemas de drenaje subterráneo.

En la figura 3 se muestra un ejemplo del recorrido de una gota de agua por la red de drenajes superficial.

2.2. Monitorización

El desarrollo de los sensores y las comunicaciones abre grandes posibilidades de auscultar y monitorizar las obras, haciendo disponible la información

prácticamente sin retardo. En el caso de taludes que se encuentran en una situación de equilibrio precaria o que han sufrido reparaciones, en los que se quiere comprobar su estado de seguridad, es normal instrumentar y realizar lecturas periódicamente.

La novedad más reciente es la disponibilidad de sensores de lectura continua automática que reúnen dos ventajas: no requieren operarios para hacer una lectura manual y leen continuamente (en la práctica las lecturas



Figura 2: Detalles de construcción cuidadosa en el drenaje de la plataforma y márgenes.

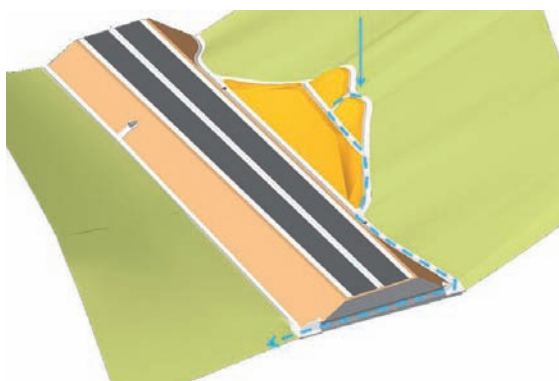


Figura 3: Ejemplo de recorrido del agua por elementos de drenaje de la plataforma y márgenes, con desagüe por una obra de drenaje transversal.



Figura 4 : Representación esquemática de la monitorización.

Desde el punto de vista hidrológico se puede decir que en el punto de vertido la carretera está produciendo una aportación en la cuenca receptora. Como tal aportación, se puede analizar en términos de cantidad y de calidad.

En términos de cantidad, en primer lugar, los coeficientes de escorrentía de la plataforma y márgenes, en general, serán superiores a los del terreno natural. Se está sustituyendo éste, con mayor o menor retención de agua e infiltración, por unas superficies pavimentadas prácticamente impermeables (coeficiente de escorrentía máximo, igual a la unidad) y por unos taludes normalmente sin vegetación ni suelo. Simplemente por la retirada de suelo y la pavimentación, la aportación a igualdad en la superficie, aumentará significativamente respecto al estado anterior a la construcción de la carretera.

Si además tenemos en cuenta la modificación de la configuración de las cuencas debida a la construcción de la carretera de manera que en un punto concreto puede hacerse el vertido de una cuenca significativamente mayor que la inicial anterior a dicha construcción, vemos que la aportación en la cuenca que incorpora el punto de vertido puede aumentar significativamente respecto de la si-

se anotan cada cierto período de tiempo, de duración despreciable frente al intervalo de medida de la auscultación). La siguiente novedad es el acceso a la información por internet, o dicho en términos aún más actuales, colocar la información en la "nube". Los datos leídos se almacenan en una unidad local que cada cierto tiempo la envía (mediante un sistema de comunicaciones que puede basarse en una red de telefonía móvil a un servidor en el que se almacena y procesa la información y que la coloca en una página web con acceso restringido.

Como resultado final, se consigue que desde cualquier punto con acceso a internet el personal responsable de Conservación, la Dirección de Obra y cualquier otro personal técnico autorizado, pueda tener acceso a la información, pueda analizarla y recibir alarmas sobre la situación de las obras en tiempo real. En la figura 4 se esquematiza este proceso.

En lo que se refiere al drenaje, la información más fácil de medir en continuo es la relativa a niveles piezométricos, mediante sensores de cuerda vibrante. La medida de niveles piezométricos nos da información relevante en lo que se refiere a funcionamiento del drenaje subterráneo y estabilidad de taludes. En el área de la hidrología, la medida de precipitaciones y caudales (aforos), está bien desarrollada, ya

desde las primeras implantaciones de los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH).

Es de esperar que en los próximos años se desarrolle aún más la monitorización de obras, proporcionando una valiosa información del funcionamiento de los sistemas de drenaje, que como se indicaba en el punto anterior, es difícil de controlar en muchos casos.

2.3. Punto de vertido

El drenaje de la plataforma y márgenes no afecta al exterior del dominio público de la carretera,, salvo en lo que se refiere al punto de vertido, en el que se transfieren las aguas recogidas por la plataforma y márgenes a los cauces naturales o artificiales exteriores a la carretera. En la figura 5 se recoge una representación esquemática de cuánto acaba de indicarse.

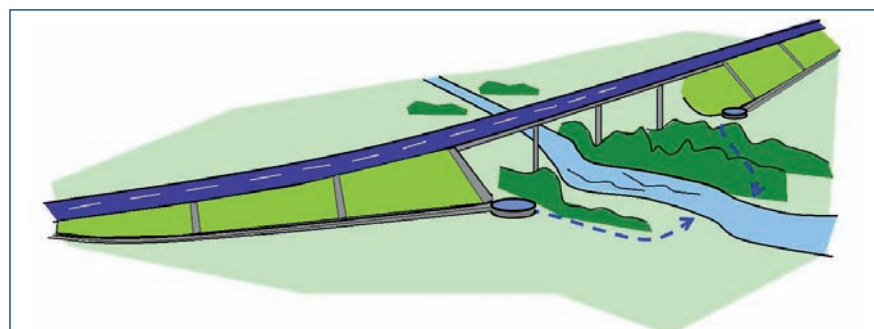


Figura 5 : Representación esquemática del punto de vertido del drenaje de la plataforma y márgenes.

Tabla 2: Indicación inicial de cuando deben proyectarse dispositivos de control de vertidos.

SENSIBILIDAD DEL MEDIO TIPO DE CONTAMINACIÓN	Accidental.	Difusa.
Masa de agua con poca renovación y gran riqueza biológica	SI	SI
Masa de agua con cierta renovación	SI	NO
Cauce normalmente seco	NO	NO

tuación inicial. De ahí la importancia de comprobar que la capacidad de recepción del cauce que recibe el vertido es admisible, en especial en entornos urbanos y suburbanos y que se encuentre completamente estudiada la idoneidad del punto de vertido.

En términos de calidad hay que considerar que los contaminantes generados en la carretera y depositados en el pavimento y las márgenes son lavados por la escorrentía y arrastrados hasta el punto de vertido. Así pues, la introducción de los contaminantes sólidos y líquidos generados por la carretera (principalmente procedentes de los vehículos) en el medio, se produce a través del punto de vertido. Mediante las redes de drenaje de la plataforma y márgenes se dispone de un instrumento que concentra los contaminantes en los puntos de vertido, dando la oportunidad de tratarlos en dichos puntos.

En cuanto a la conveniencia o no de tratar los vertidos hay que considerar por un lado la gravedad de la contaminación y por otro la sensibilidad del medio receptor. En lo que se refiere a la gravedad de la contaminación hay que distinguir dos tipos de contaminantes, los debidos a vertidos accidentales y los debidos a la contaminación difusa. Los vertidos accidentales son los más graves, si la sustancia vertida es venenosa o corrosiva, resulta evidente el peligro que ello supone. Por ejemplo, en el caso de un vertido accidental de gasoleo en época seca, se puede tener un vertido con una composición de prácticamente el 100% de dicho carburante.

La contaminación difusa de la

carretera proviene sobre todo de los vehículos, desgaste de neumáticos y frenos, partículas procedentes de los escapes de los motores, lavado de pinturas y óxidos y también de la explotación de la carretera: sales utilizadas como fundentes, productos usados para control de las plantaciones, lavado de pinturas y óxidos de los elementos de equipamiento vial, etc.

Los vertidos accidentales se pueden considerar inaceptables cuando el vertido se realice en una masa de agua, humedal, río, laguna, lago, embalse o al mar, ya que entonces sus efectos pueden resultar catastróficos para el medio. Los vertidos de contaminación difusa se podrían considerar inaceptables cuando se produjesen en una masa de agua de escasa renovación en la que pudiera tener lugar un efecto acumulativo en el tiempo inadmisibles, lo que podría cuantificarse teniendo en cuenta el tráfico, el clima y otros factores.

En el resto de casos, cuando el vertido accidental se realice a cauces o vaguadas que habitualmente estén secos, se podrá controlar mediante una limpieza de la zona afectada (que suele ser limitada) aguas abajo del punto de vertido, mientras que la contaminación difusa será lavada en los primeros minutos de lluvia y generalmente absorbida y retenida por infiltración en los primeros

metros de cauce receptor, seco al inicio de la precipitación.

En la tabla 2 se indica, como primera aproximación y sin contar con otros condicionantes derivados de la Declaración de Impacto Ambiental o de cualquier otro informe preceptivo, cuándo deben proyectarse dispositivos de control de vertidos.

Los dispositivos de control de vertidos que resultan más habituales son la balsa de retención para el control de vertidos accidentales y el filtro para la contaminación difusa: la balsa es un dispositivo cuya función es retener el vertido hasta que sea posible recogerlo, mientras que el filtro es un elemento de depuración muy sencillo, en el que se hace que el agua contaminada recorra un medio poroso a velocidad lenta en el que se fija parte de la contaminación arrastrada.

Existen otros dispositivos más sofisticados, que suelen requerir mayores costes, tanto iniciales, como de explotación y conservación. También pueden proyectarse dispositivos de laminación de caudales, de aplicación cuando se tienen problemas de cantidad en el punto de vertido. En ocasiones se podrá elegir la alternativa de trasladar el vertido a otra cuenca que pueda aceptarlo, por cuestiones ambientales o simplemente si resulta más económica que construir un dispositivo de control de vertidos.

En la figura 6 se muestra un esquema de una cámara (o balsa) de retención con pantalla reflectora de grasas y cámara de sedimentación. En la figura



Figura 6 : Esquema de cámara (o balsa) de retención de hormigón, con pantalla deflitora para separación de grasas.

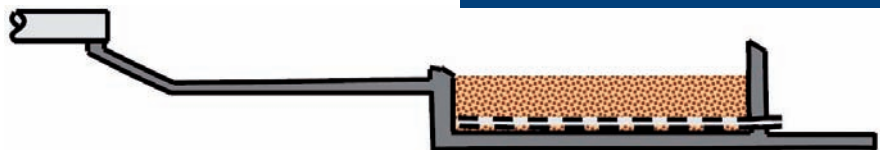


Figura 7: Esquema de filtro de arena.

7 se muestra un esquema de un filtro de arena. En muchas ocasiones se podrá disponer una combinación de elementos de retención, separación y filtrado.

A la vista de cuánto se ha expuesto, resulta obvio que en cualquier viaducto que cruce un cauce con aguas permanentes, debe conducirse la escorrentía de la plataforma bien hasta puntos de vertido de otras cuencas, o bien hasta puntos con dispositivo de tratamiento de vertidos, normalmente situados en los estribos del viaducto. Esto obligará normalmente a disponer canaletas o colectores incorporados al tablero de la estructura, como en el ejemplo que se indica en la figura 8.

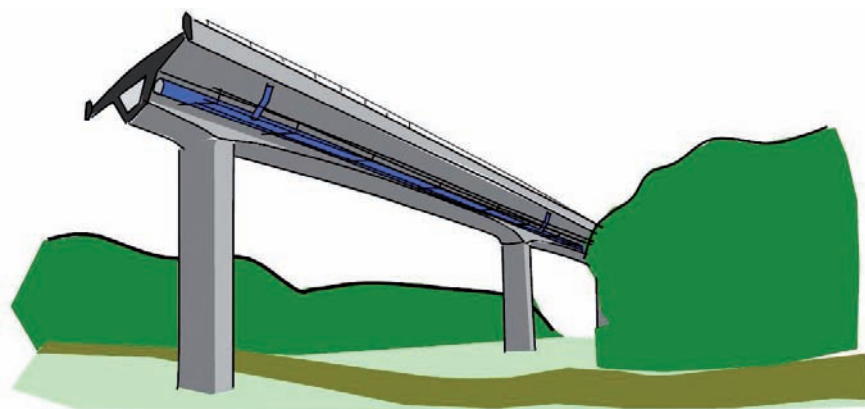


Figura 8: Esquema colector adosado al tablero de una estructura.

3. Drenaje transversal

3.1. Obra de drenaje transversal o puente

Recordemos primero que la distinción entre obra de drenaje transversal (ODT) y puente es básicamente que la obra de drenaje transversal es de sección cerrada o tiene solera mientras que el puente no tiene solera.

Podría decirse que la disquisición de proyecto sobre cuándo disponer en el cruce de la carretera sobre un cauce una obra de drenaje transversal o un puente ha venido atravesando distintas etapas. Inicialmente sólo se consideraban los condicionantes estrictamente hidráulicos de paso del caudal de proyecto. Posteriormente se han venido incrementando las con-

diciones hidráulicas al aumentar el período de retorno y las ambientales, al pedir que se respete la vegetación y la permeabilidad a la fauna. En cauces importantes es necesario que se respete el dominio público hidráulico y sus servidumbres.

Todo ello ha llevado a la implantación generalizada de puentes en cuanto el cauce presente una cierta entidad. En la tabla 3 se comparan las ventajas e inconvenientes de ambas soluciones.

Al calificar las ODT como más robustas frente a la socavación que los puentes, se está considerando implícitamente a las ODT como obras de hormigón, no se están contando las de chapa corrugada que son muy sensibles a la erosión por socavación interna del relleno y que por ello resultan desaconsejables. Vemos que los puentes son más favorables en todos los aspectos, salvo los económicos, tanto de primera construcción como de conservación y explotación. Por ello es posible que en los próximos

años tengan más importancia los estudios económicos al elegir una u otra solución constructiva.

Cuando se trate de cruzar un río, el cauce es dominio público hidráulico y las márgenes están sometidas a servidumbres, por lo que se requiere autorización de la Administración hidráulica competente para las obras. La configuración del dominio público hidráulico, sus servidumbres y régimen de autorizaciones está establecida en el RD 9/2008 de Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH). Este Real Decreto incorpora criterios de la Directiva Marco del Agua y de la Directiva de Evaluación y Gestión del Riesgo de Inundaciones.

Las novedades más importantes del RD 9/2008, respecto a la reglamentación anterior, en lo que puede afectar al cruce de infraestructuras lineales como las carreteras, son:

- La definición de cauce, que se efectúa, además de con los criterios hidrológicos tradicionales, con criterios geomorfológicos, ecológicos e históricos.
- La zona de servidumbre se establece para protección del ecosistema fluvial y paso público peatonal.
- La zona de policía para protección del dominio público hidráulico y del régimen de corrientes en avenidas, que se establece en relación con la zona de flujo preferente.
- En cuanto a las zonas inundables, se debe desarrollar en colaboración con las Comunidades Autónomas el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

Tabla 3: Comparación entre una obra de drenaje transversal y un puente.

	ODT	Puente
Capacidad hidráulica	Menor	Mayor
Permeabilidad fauna	Menor	Mayor
Afección al cauce y riberas	Completa	Puede reducirse
Robustez frente a la socavación	Mayor	Menor
Economía	Mayor	Menor

Así pues, se mantienen los criterios básicos hidrológicos de definición de cauce (máxima crecida ordinaria) y de zona inundable (período de retorno de 500 años) si bien se pueden añadir terrenos al cauce con otros criterios y en cuanto a las zonas inundables se debe concretar mucho más su alcance, definiéndolas cartográficamente, lo que está favoreciendo el desarrollando de nuevas y potentes herramientas hidrológicas, cartográficas y de métodos numéricos de cálculo hidráulico.

Entre estos extremos de ocupación mínima (cauce) y máxima (zona inundable) se introduce en el RDPH un nuevo concepto asociado al período de retorno de 100 años, que es la zona de flujo preferente, como envolvente de la vía de intenso desagüe y la zona de inundación peligrosa para dicho período de retorno.

- Vía de intenso desagüe es una zona de flujo virtual por la que circularía un determinado caudal, cuando al ir estrechado las márgenes por ambos lados la sobre elevación no supera un valor de 10, 30 ó 50 cm, dependiendo de la sensibilidad de la zona.
- Zona de inundación peligrosa es aquella en la que la profundidad es mayor de 1 m, o la velocidad mayor de 1 m/s o el producto de ambas mayor de 0,5 m²/s.

En la figura 9 se representan dichas zonas.

El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables se encuentra en desarrollo; ha recogido la información de estudios anteriores y en los tramos en los que ya se han llevado a cabo los estudios de inundabilidad proporciona toda la definición de cauce, zona inundable y zona de flujo preferente.

Los datos son accesibles por internet desde la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Como la consulta resulta muy sencilla de realizar, es fácil comprobar si los tramos de cauces que afectan a la zona de proyecto están estudiados.

En muchos casos se dispondrá de

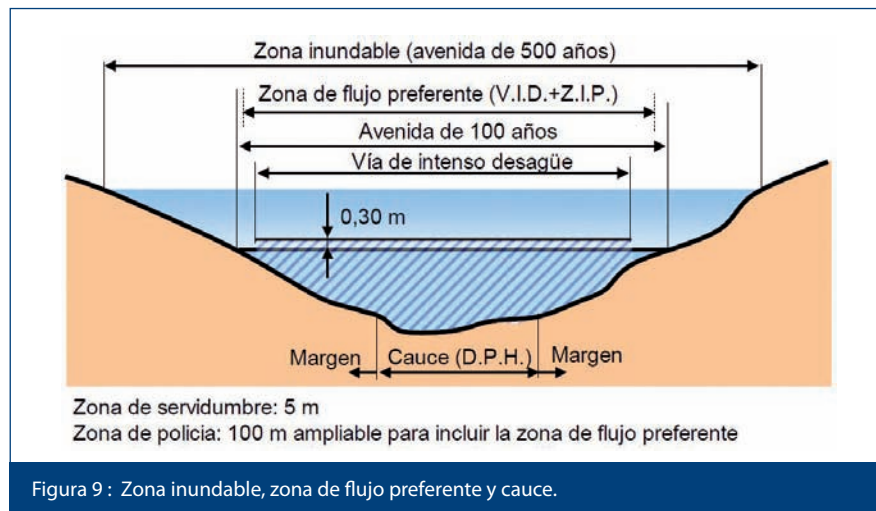


Figura 9: Zona inundable, zona de flujo preferente y cauce.

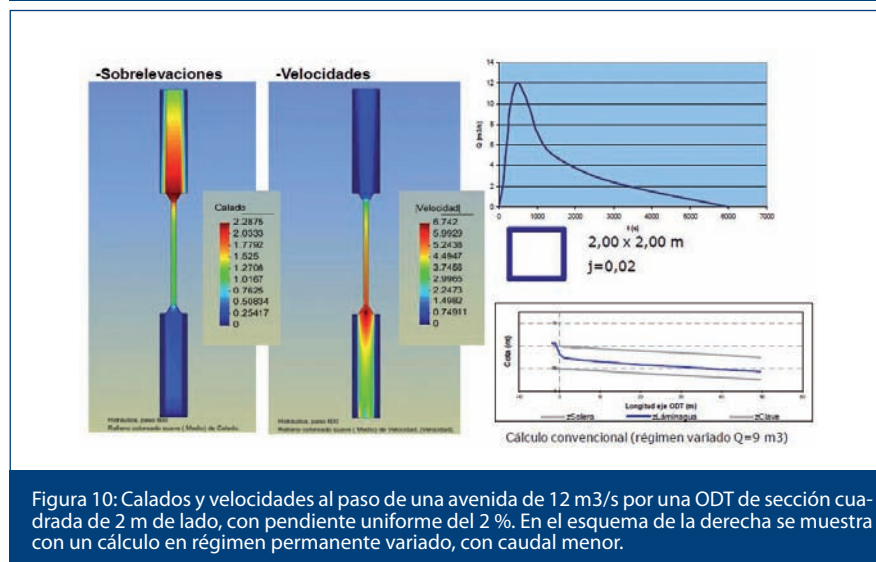


Figura 10: Calados y velocidades al paso de una avenida de 12 m³/s por una ODT de sección cuadrada de 2 m de lado, con pendiente uniforme del 2 %. En el esquema de la derecha se muestra con un cálculo en régimen permanente variado, con caudal menor.

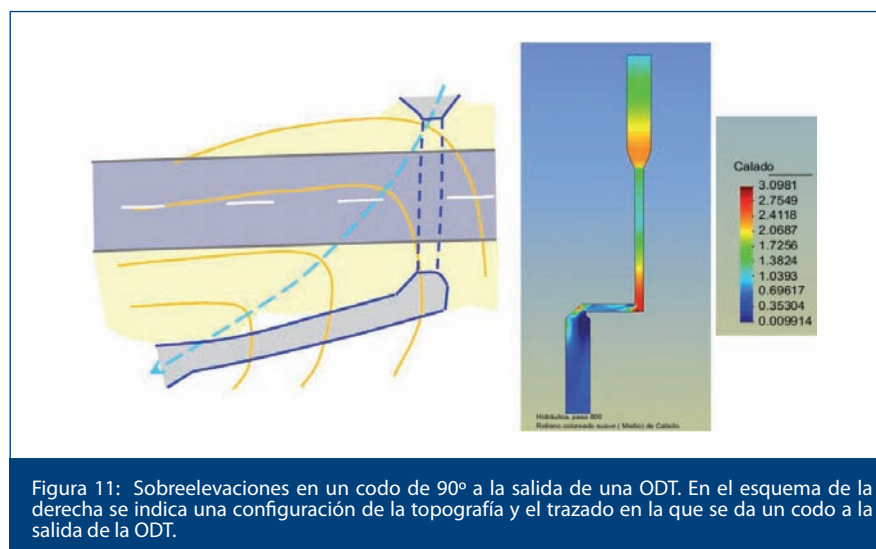


Figura 11: Sobreelevaciones en un codo de 90° a la salida de una ODT. En el esquema de la derecha se indica una configuración de la topografía y el trazado en la que se da un codo a la salida de la ODT.

la cartografía de precisión necesaria para los cálculos hidráulicos, gracias a la colaboración entre la Dirección General de Agua y el Instituto Geográfico Nacional, dentro del Plan Nacional de Ortografía Aérea, para la realización de vuelos cartográficos por el método LIDAR.

El LIDAR es un método cartográfico que permite obtener grandes volúmenes de datos para general modelos numéricos del terreno, lo que en combinación con las ortofotos proporciona la base de cálculo de los métodos numéricos 2D como se referirá más adelante.

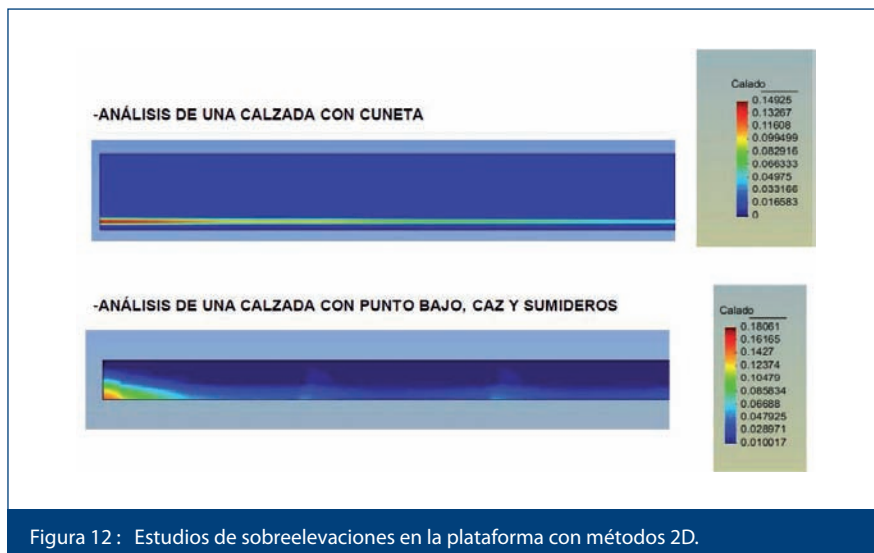


Figura 12: Estudios de sobreelevaciones en la plataforma con métodos 2D.

3.2. Metodos numericos

En los últimos años han tenido gran desarrollo los modelos numéricos de cálculo hidráulico.

En el modelo clásico de tipo 1D se requiere la definición de perfiles transversales al eje del cauce. El programa de mayor éxito y difusión es el HEC RAS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE). Resulta de libre difusión y fácil uso, por lo que resulta muy extendido y contrastado. Se siguen lanzando nuevas versiones cada vez más completas, con diferentes aplicaciones para cruce de cauces con estructuras y obras de drenaje.

En los últimos años están teniendo

gran desarrollo en España los modelos 2D que se usan para los cálculos del Plan Nacional de Zonas Inundables, y que utilizan modelos digitales de elevaciones del terreno.

Estos modelos, con algoritmos de cálculo de volúmenes finitos son muy potentes y permiten representar con gran precisión el paso de las avenidas. También se puede analizar el funcionamiento hidráulico de las obras de drenaje transversal y las plataformas de las carreteras, como en los siguientes ejemplos, de cálculos efectuados con el programa IBER.

En la figura 10 se muestran los calados y velocidades al paso de una avenida con caudal punta de 12 m³/s por una ODT de sección cuadrada

de 2,00 m de lado. En la figura 11 se muestra el efecto de un codo, que produce sobreelevaciones significativamente mayores que las de la entrada de la ODT. En la figura 12 se muestran resultados de estudios de sobreelevaciones en la plataforma con métodos 2D.

Por último, no se debe olvidar que frente a métodos de cálculo que podríamos denominar tradicionales, los resultados obtenidos con modelos numéricos resultan difíciles de supervisar por terceros... Para facilitar la labor de supervisión, el proyectista debería adjuntar:

- Una descripción de la aplicación informática utilizada y que se pueda disponer al menos de un visualizador del cálculo.
- Una memoria justificativa del cálculo, la modelización y las condiciones de contorno aplicadas.
- Un responsable del cálculo con formación y experiencia acreditada en cálculos hidráulicos.
- Una justificación tangible de que la modelización de las obras se corresponde con los planos finales de proyecto, representando los resultados sobre dichos planos (modelos 1D) o visualizando el modelo digital de las obras (modelos 2D). Esto último se indica con un esquema en la figura 13.

La justificación de que la modelización de las obras se corresponda con los planos finales de proyecto reviste especial importancia ya que, en general, los cálculos se efectúan con modelos simplificados de las obras y en fases tempranas del proyecto, realizándose el dimensionamiento de las obras antes que los planos definitivos. Dichos cálculos quedan recogidos en el anejo de drenaje, mientras que la definición final de las obras, a nivel de proyecto constructivo, se plasma en el documento de planos. Es necesario que se efectúe una comprobación de los cálculos hidráulicos con las obras de drenaje finalmente proyectadas, es decir tal y cómo aparecen plasmadas en el documento de planos.

Una forma sistemática de comprobar

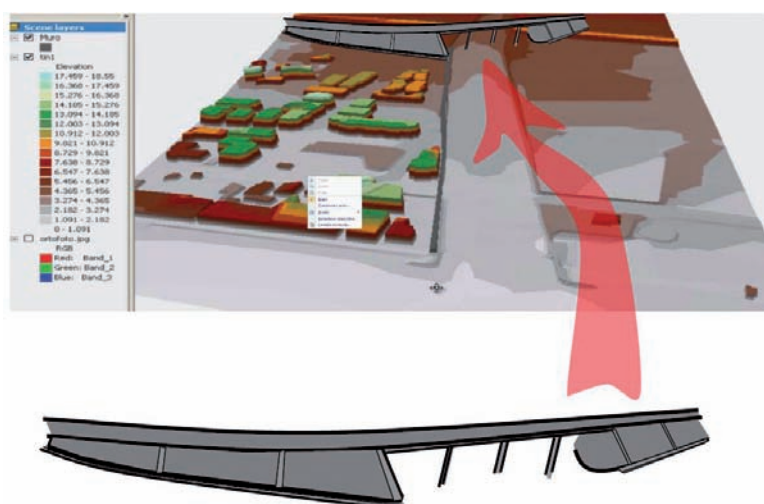


Figura 13: Esquema de modelo digital de la obra y superposición al modelo digital de elevaciones del terreno en los métodos numéricos 2D.

que los cálculos recogen la configuración final de proyecto es que se incluyan en el anejo de drenaje los planos de las obras de drenaje con indicación de los niveles de agua en los distintos casos de cálculo. Cuando se hayan realizado cálculos con modelos 2D se debe hacer patente la correspondencia entre el modelo de elevaciones y los planos del proyecto.

3.3. Socavación

La erosión es un efecto del paso de un caudal de agua por una superficie en la que la velocidad de corte, para la que comienza el arrastre de partículas que forman la superficie, es inferior a la velocidad del flujo.

En un cauce muy ancho con un fondo homogéneo, la erosión se producirá de forma uniforme en todo el fondo. Durante la avenida, la velocidad del agua aumentará hasta comenzar el proceso erosivo, profundizando el fondo. Cuando se observa subir el nivel de un río durante una avenida, no se puede observar cómo su fondo se está haciendo más profundo al mismo tiempo, aumentando la sección de circulación de agua en todo su perímetro.

El agua durante las avenidas resulta especialmente turbia, mostrando así la cantidad de materia en suspensión que lleva. En el fondo del cauce, el movimiento de los acarrees, de los bolos, gravas y arenas se produce principalmente por saltos. En esta zona más próxima al fondo, el gradiente de velocidades es muy fuerte y se produce una fuerza elevadora o sustentación, que hace que las partículas pasen a otra zona más alta y de fuertes velocidades de la corriente, con lo que son desplazadas en el sentido de la misma.

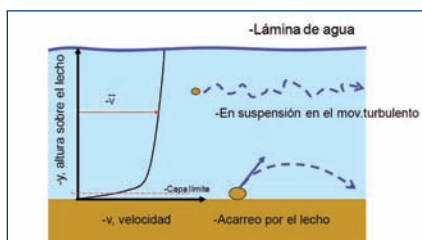


Figura 14: Esquema del movimiento de partículas en una corriente.

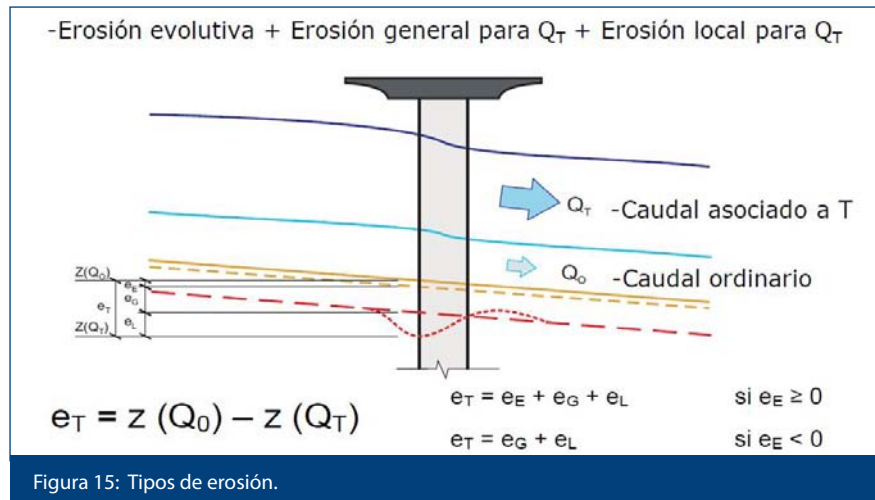


Figura 15: Tipos de erosión.

Al situarse entonces las partículas en una zona de bajo gradiente de velocidades pierden la mayor parte de la componente vertical de sustentación y empiezan su caída. En la figura 14 se esquematiza este proceso.

Cuando existe aporte de material desde aguas arriba, al pasar la avenida, el proceso de erosión se invierte, empezando la sedimentación, de forma que cuando el caudal vuelve a la normalidad, el fondo ha recuperado su cota inicial aunque los materiales que lo forman ya no son los mismos que había antes de la avenida.

Cuando el balance de las avenidas a largo plazo, teniendo en cuenta el material erosionado y el material depositado es negativo se produce la erosión evolutiva y baja la cota del fondo. Cuando el balance a largo plazo de las avenidas es excedentario hay acreción evolutiva y sube la cota de fondo. Este balance constituye la denominada erosión evolutiva (positiva o negativa), mientras que la máxima bajada del fondo durante una avenida es la llamada erosión general.

La cimentación de las pilas y estribos de un puente o viaducto debe estar proyectada para no resultar afectada por ambos tipos de erosión (evolutiva y general). Además de estos dos tipos de erosión hay otro tipo de erosión localizada precisamente en las pilas y estribos que también se conoce como socavación. En la figura 15 se representan los tres tipos de erosión.

La fuerza erosiva de la corriente parece cebarse en los obstáculos, pilas y estribos que están colocados en

el cauce y que son atacados especialmente. Incluso aunque no llegue a producirse erosión general en todo el fondo del cauce, se puede iniciar la erosión localizada o socavación. En la figura 16 se representa un esquema de los remolinos en torno a las pilas y estribos.

El fenómeno se debe a que mientras que se ha definido la erosión general como la que se produce con una corriente y un fondo homogéneo, la erosión localizada ocurre cuando existe una discontinuidad o un obstáculo. La pila situada en la corriente opone un obstáculo a ésta, deteniendo la corriente que choca frontalmente con ella y haciendo que la velocidad por sus flancos sea mayor.

La partícula de agua que choca con la pila anula su componente de velocidad en sentido de la corriente pero puede generar una componente vertical descendente, y en todo el entorno de la pila se forman remolinos o vórtices que en determinadas zonas del fondo alcanzan velocidades superiores a las de corte que inician el movimiento de las partículas del fondo. Así pues, se inicia el arranque de partículas en determinadas zonas, las cuáles son depositadas en otras zonas, más o menos alejadas.

El fenómeno se produce con o sin movimiento general de partículas en el lecho. Es fácil de comprender que en la caracterización del fenómeno y en su descripción intervengan muchos factores como la velocidad, la forma de la pila, el tamaño de partículas, su densidad, etc.

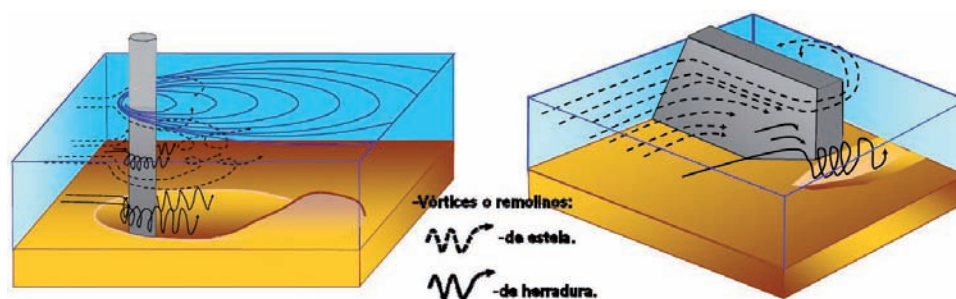


Figura 16 : Erosión localizada en pilas y estribos.

Las fórmulas que se utilizan para estimar los valores de socavación son empíricas, más o menos complicadas y en general, más precisas para la erosión local de pilas que para la erosión local de estribos. Al estudiar la erosión local de estribos surge la complicación adicional de superponer el fenómeno de erosión general con el de erosión local. Cuando los cauces se estrechan en la zona de cruce de la estructura, muchos autores se refieren a la erosión por contracción en lugar de a la erosión general que se ha descrito anteriormente. Este tipo de erosión está más relacionada con la erosión de los estribos ya que los estribos producen un efecto de contracción de la corriente.

Con todo, el aspecto más preocupante de la erosión fluvial es que un porcentaje significativo de los fallos de las estructuras es debido a problemas de socavación. La socavación, sin ser una acción del tipo de carga estructural, a diferencia del viento o de la nieve por poner ejemplos de cargas estructurales producidas por agentes meteorológicos, produce más fallos de estructuras que otras causas. La socavación daña los cimientos de la estructura, por lo tanto es en el proyecto de la cimentación donde debe tenerse en cuenta.

Por otra parte, el riesgo de socavación puede evolucionar durante la vida del proyecto, por obras o modificaciones que se realicen en el cauce en las proximidades de la estructura, por alteraciones en el régimen de aportaciones del río, etc. Estos factores pueden pasar desapercibidos para

los equipos de conservación y explotación cuya función no es la vigilancia fluvial. Por eso resulta fundamental la inspección de las estructuras, que puede suponer en algunos casos procesos complejos como la inspección subacuática o la utilización de testigos para comprobar el alcance de la erosión durante las avenidas.

Referencias

Normativa

- [1] MOPU (1990). "Instrucción 5.2 IC, Drenaje Superficial". MOPU. Dirección General de Carreteras. 1990. BOE de 14 de mayo de 1990
- [2] Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.. BOE de 16 de enero de 2008.
- [3] Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. BOE de 15 de julio de 2010.

Bibliografía

- [1] Bladé, E., Sánchez-Juny, M. Sánchez, H.P., Niñerola, D. y Gómez, M. (2009). "Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS". Edicions UPC, 2009.
- [2] CEDEX, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, Flumen y CIMNE (2010). "Iber Modelización del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual de

Referencia Hidráulico".

- [3] CEDEX, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, Flumen y CIMNE (2010). "Iber Modelización del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual básico de usuario".
- [4] Martín Vide, J.P. (2002). "Ingeniería de ríos", Edicions UPC, 2002.
- [5] Rodríguez Sánchez, J.J. y Díaz Martínez, A. (2009). "Guía técnica de diseño y gestión de balsas y otros dispositivos de retención de contaminantes en carreteras". Manuales y Recomendaciones CEDEX, R 18. 2009.
- [6] Témez, J. R. (1988). "Control de la erosión fluvial en puentes". MOPU, Dirección General de Carreteras, 1988.
- [7] USACE (2010) "River Analysis System HEC RAS Release Notes Version 4.1 January 2010"
- [8] USACE (2010) "HEC RAS River Analysis System Hydraulic User's Manual Version 4.1 January 2010" U.S Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. CPD-68, 2010.
- [9] USACE (2010) "HEC RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 4.1 January 2010" U.S Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. CPD-69, 2010.
- [10] USACE (2010) "HEC RAS River Analysis System Hydraulic Applications Guide. Version 4.1 January 2010" U.S Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. CPD-70, 2010.❖