

- Situación, trazado y puntos de conexión, entronque, desagüe y cambio de dirección en su caso.
- Características de permeabilidad o estanqueidad en su caso, tanto de los elementos como de sus puntos de conexión, entronque, desagüe y cambio de dirección.
- Estabilidad y durabilidad de los materiales, elementos o sistemas de drenaje, con especificación de las normas de producto que les sean de aplicación.
- Propiedades mecánicas y características de los materiales, elementos o sistemas en cuestión. Cuando se trate de sistemas constituidos por unión de elementos individuales deberán analizarse las características de los elementos aislados y del conjunto una vez dispuesto en obra.
- Criterios de control y almacenamiento de materiales, elementos y sistemas.
- Necesidad de interposición de elementos de separación y filtro, y definición de estos en su caso.
- Procedimientos de puesta en obra y definición de fases constructivas.
- Donde fuera de aplicación, estabilidad de las obras, tanto de tipo local (de los propios sistemas construidos) como global (formando parte de otros elementos u obras de mayores dimensiones, como por ejemplo taludes en desmonte o rellenos), antes, durante y después de la ejecución de los trabajos en cuestión.
- Descripción de las principales necesidades de conservación, limpieza y mantenimiento.

CAPÍTULO 4. DRENAJE TRANSVERSAL

4.1 Introducción

El objeto del drenaje transversal es restituir la continuidad de la red de drenaje natural del terreno (vaguadas, cauces, etc.) una vez ejecutadas las obras, permitiendo el paso del caudal de proyecto a su través, cumpliendo los requisitos que se especifican en este capítulo. Los caudales de proyecto Q_P a considerar son los correspondientes a las cuencas principales definidas en el apartado 1.4, con el período de retorno indicado en el epígrafe 1.3.2.

A los efectos de esta norma, las obras empleadas para procurar el drenaje transversal de las carreteras pueden ser:

- Puente: Obra de paso que soporta cualquier tipo de vía de las definidas en la Ley de Carreteras; a los solos efectos de esta norma debe añadirse que su sección sea abierta, es decir, que esté desprovista de solera con función estructural.
- Obra de drenaje transversal (ODT): Obra de sección cerrada, es decir provista de solera con función estructural. Normalmente responde a las tipologías de tubo o marco y sus dimensiones son inferiores a las de los puentes.

Los puentes y ODT deben perturbar lo menos posible la circulación del agua por el terreno natural, cumpliendo al paso del caudal de proyecto las condiciones de desagüe que se refieren en los apartados 4.3 y 4.4 y las condiciones que establezca la Administración Hidráulica.

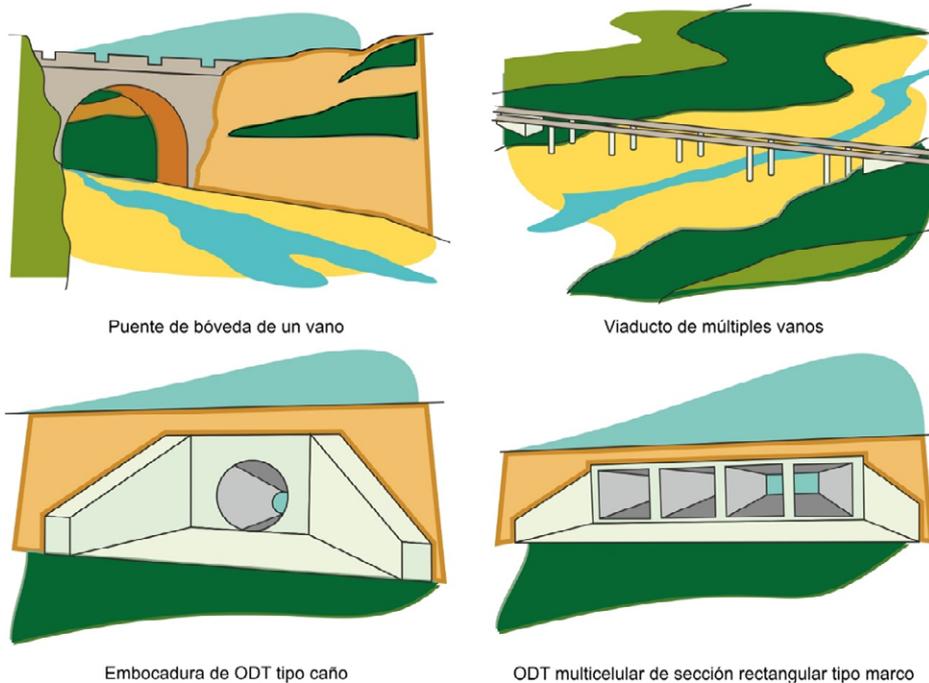


FIGURA 4.1.- EJEMPLOS DE PUENTES Y ODT

En ningún caso pueden proyectarse con fines de drenaje transversal: zanjas, mantos drenantes, rellenos, tacones, drenes, ni cualquier tipo de tratamiento del terreno, independientemente de sus características de permeabilidad.

En el proyecto se puede contemplar la utilización de obras empleadas con fines de drenaje transversal para usos adicionales, tales como reposiciones de ser-

vicios, de caminos o pasos de fauna. En tales circunstancias las instalaciones relacionadas con dichos fines no pueden suponer una merma en su funcionamiento hidráulico.

4.2 Criterios básicos de proyecto

El proyecto del drenaje transversal se debe abordar conforme a la sistemática que a continuación se refiere:

- Definición de la cuenca principal, del cauce y del punto de cruce.
- Cálculo del caudal de proyecto Q_p .
- Elección de tipologías y dimensionamiento del puente u ODT. Encaje geométrico en el terreno.
- Comprobación hidráulica del puente u ODT.
- Cálculo de las variables hidráulicas necesarias para la determinación de acciones en el cálculo estructural.
- Proyecto completo del puente u ODT. La representación en los planos debe incluir la lámina de agua correspondiente al caudal de proyecto, las profundidades de erosión o socavación y en los anejos a la memoria se deben incluir las curvas características de las ODT.

Los criterios para el proyecto del drenaje transversal de obras de ampliación de plataforma en carreteras existentes se refieren en el epígrafe 5.3.1.

4.3 Puentes

4.3.1 SOBREELEVACIÓN DEL NIVEL DE LA CORRIENTE

Se deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Los estribos de la obra deberán estar ubicados fuera de la vía de intenso desagüe (VID). En caso de que no esté previamente delimitada, se calculará teniendo en cuenta los criterios establecidos en la normativa sobre Dominio Público Hidráulico y, en concreto con sobreelevación de cálculo de la VID de treinta centímetros (30 cm), con la posibilidad de reducirla hasta diez centímetros (10 cm) en zonas urbanas o aumentarla hasta cincuenta centímetros (50 cm) en zonas rurales, con la conformidad de la Administración Hidráulica.

- Será admisible la ubicación de pilas dentro de la VID, disponiéndolas siempre de tal forma que se minimice la alteración del régimen hidráulico. A estos efectos, se comprobará que la sobreelevación producida por la obra para el caudal de cien años de periodo de retorno ($T = 100$ años) es inferior a la sobreelevación utilizada para el cálculo de dicha vía (Véase la sección TT' en la figura 4.2).
- Para el caudal de proyecto Q_P la sobreelevación producida por la obra inmediatamente aguas arriba de ella no será superior a 50 cm (Véase la sección LL' en la figura 4.2).
 - En aquellos puntos donde pueda verse afectado el posible desarrollo urbanístico, para evitar alteraciones significativas de la zona de flujo preferente (ZFP) la sobreelevación máxima será inferior a 10 cm para lo cual la obra de paso se complementará con posibles obras de drenaje adicionales y pasos inferiores en caso necesario (Véase como ejemplo el punto U en la figura 4.2).

Adicionalmente, se comprobará que el régimen hidráulico no se altera sustancialmente para el caudal correspondiente al periodo de retorno de diez años ($T = 10$ años).

En casos excepcionales, con la conformidad de la Administración Hidráulica, se podrá justificar la utilización de criterios distintos a los anteriores.

Los cálculos se realizarán mediante un modelo hidráulico adecuado a las características hidrodinámicas de la zona, y se contrastarán con los resultados obtenidos por procedimientos simplificados.

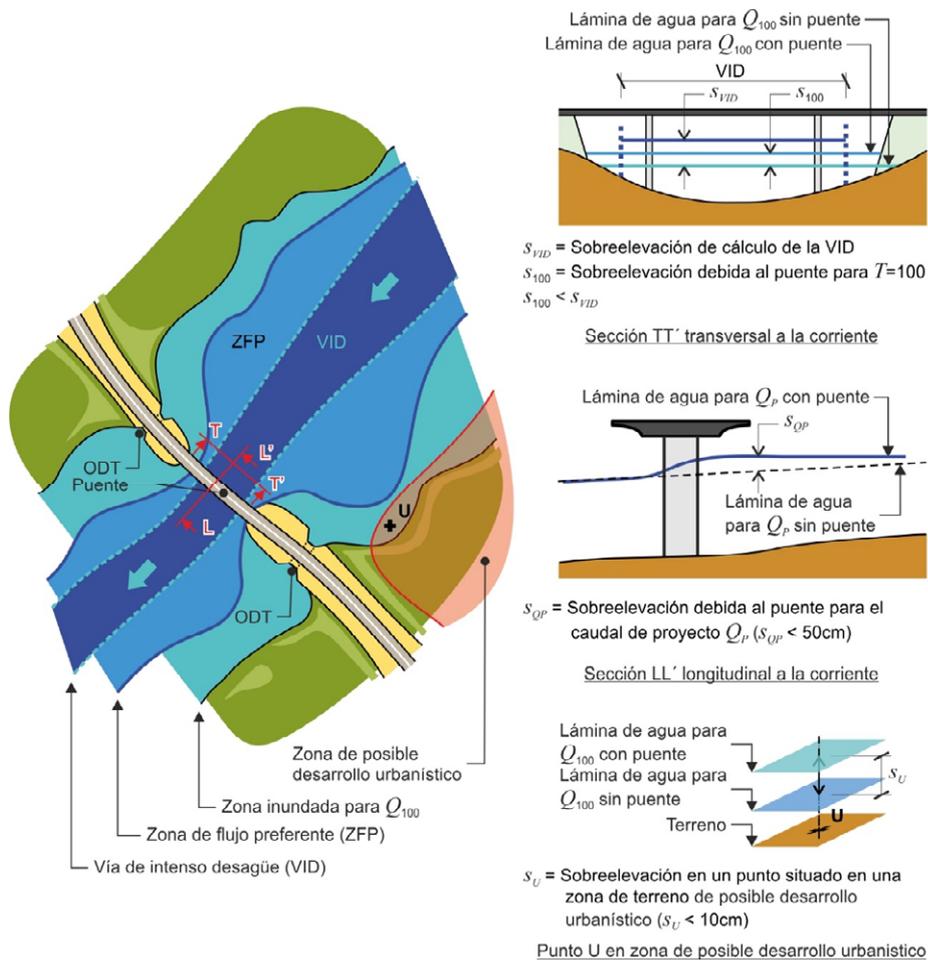


FIGURA 4.2.- SOBREELEVACIÓN DEL NIVEL DE LA CORRIENTE EN PUENTES

4.3.2 RESGUARDO DEL TABLERO

El resguardo del tablero correspondiente a un determinado período de retorno $r_t(T)$ se define como la mínima diferencia de cotas entre el intradós del tablero del puente y la lámina de agua bajo él, correspondiente al período de retorno T .

Este resguardo se debe mantener en una anchura mayor o igual que doce metros (12 m) medida en dirección perpendicular a la corriente desde los estribos, o a partir de una distancia de dos metros (2 m) desde las pilas, según se indica en la figura 4.3.

Los puentes se deben proyectar manteniendo los resguardos mínimos que se indican:

- $r_t(T = 100 \text{ años}) = 1,5 \text{ m}$
- $r_t(T = 500 \text{ años}) = 1 \text{ m}$, salvo que en el proyecto se justifique un valor inferior

Las pilas deben estar orientadas en la dirección de la corriente. En caso de que no lo estuvieran, el mantenimiento del resguardo mínimo puede suponer que sean necesarias luces mayores (véase figura 4.3). Cuando se considere que la corriente pueda variar de dirección se debe comprobar el cumplimiento de la condición de resguardo según dicha dirección.

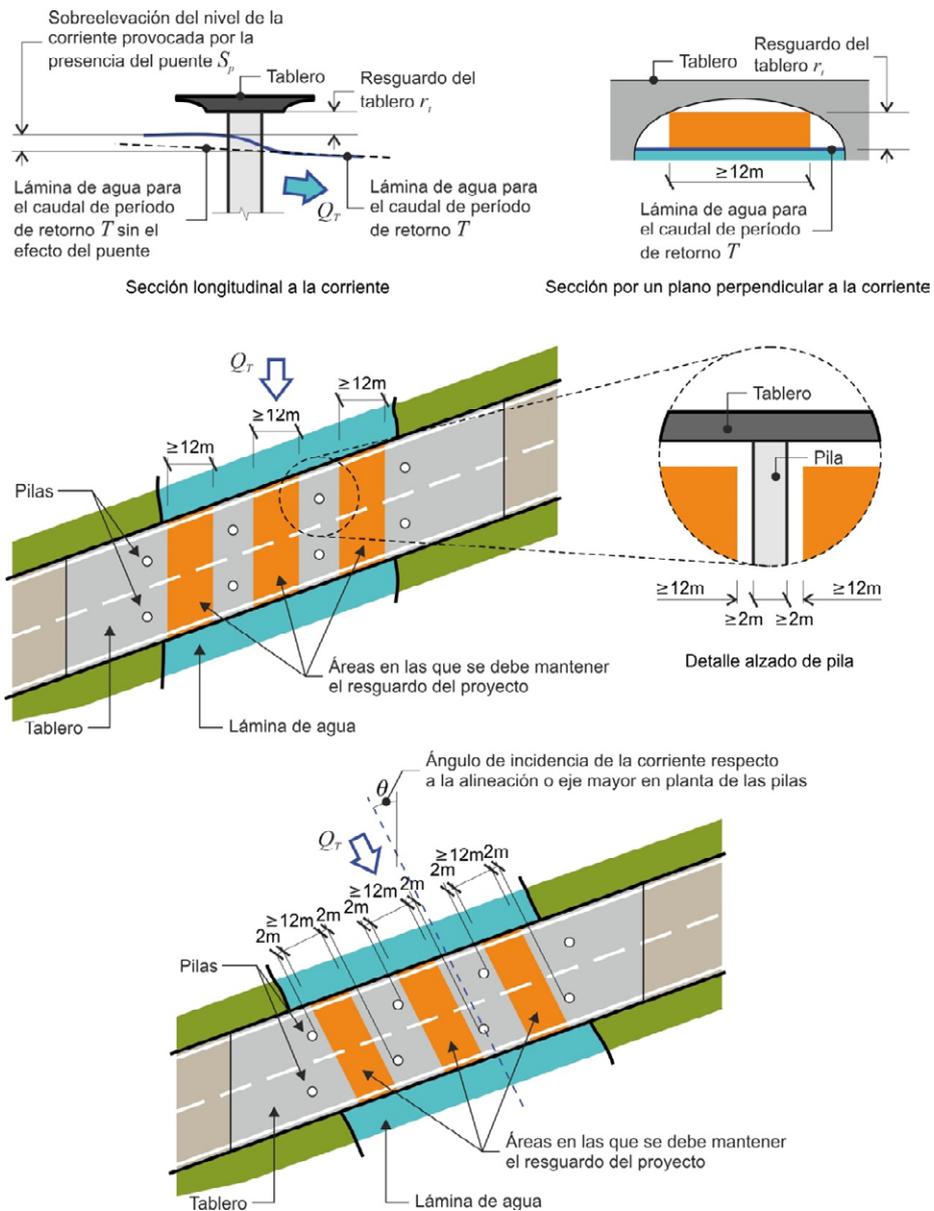


FIGURA 4.3.- RESGUARDO DEL TABLERO

4.3.3 EROSIÓN EN LOS APOYOS

En el proyecto se debe estimar la profundidad de erosión en pilas y estribos para la avenida de período de retorno de quinientos años ($T = 500$ años), lo que se tendrá en cuenta para la definición de las cimentaciones, disposición de protecciones y otras medidas.

La profundidad de erosión $e_T(x,y)$ en un punto P de coordenadas (x,y) para un período de retorno T , es la diferencia entre la cota del terreno considerada en el proyecto y la cota en el mismo punto durante la avenida de período de retorno T (véase figura 4.4).

$$e_T(x,y) = z_P - z(Q_T)$$

donde:

| | | |
|------------|-----|---|
| $e_T(x,y)$ | (m) | Profundidad de erosión en un punto P de coordenadas (x,y) para un período de retorno T |
| z_P | (m) | Cota del terreno considerada en el proyecto. |
| $z(Q_T)$ | (m) | Cota de erosión o cota del terreno durante la avenida correspondiente al período de retorno T . |

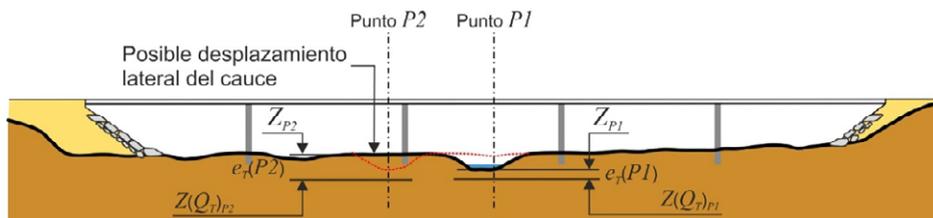


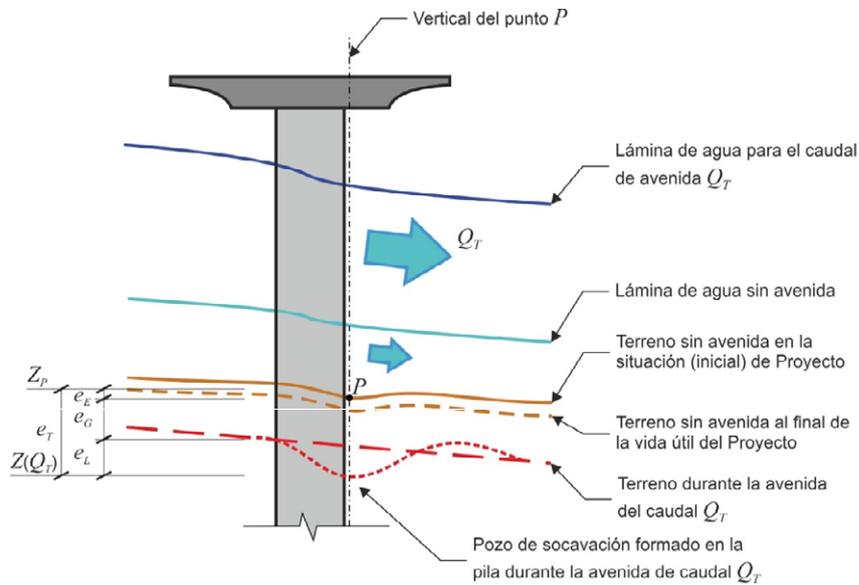
FIGURA 4.4.- PROFUNDIDAD DE EROSIÓN

Cuando las dimensiones de las pilas y los estribos son pequeñas en relación con la anchura del cauce, la profundidad de erosión, e_T se puede estimar, de un modo simplificado, como la suma de tres componentes (véase figura 4.5):

$$e_T(x,y) = e_E + e_G + e_L$$

donde:

| | | |
|------------|-----|--|
| $e_T(x,y)$ | (m) | Profundidad de erosión en un punto P de coordenadas (x,y) para un período de retorno T . |
| e_E | (m) | Erosión evolutiva, o evolución previsible de la cota del punto en ausencia de avenidas durante la vida útil del puente. Si hubiese acreción se tomará con valor nulo. |
| e_G | (m) | Erosión general del cauce que se produciría sin el puente durante el paso de la avenida de período de retorno T , particularizada en el punto P . |
| e_L | (m) | Erosión local particularizada en el punto P debida a la presencia en el cauce de las pilas y estribos del puente durante el paso de la avenida de período de retorno T . |



Nota: La situación del punto P de mayor profundidad de erosión depende de la sección transversal de la pila

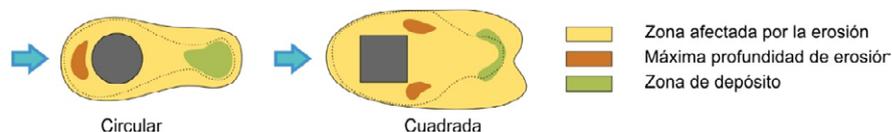


FIGURA 4.5.- COMPONENTES DE LA EROSIÓN CUANDO LAS DIMENSIONES DE LOS OBS-TÁCULOS AL PASO DE LA CORRIENTE SON PEQUEÑAS EN RELACIÓN CON EL CAUCE

Cuando las dimensiones de las pilas y los estribos no se pueden considerar pequeñas en relación con la anchura del cauce, se debe justificar el cálculo de la profundidad de erosión con un método que considere el efecto del estrechamiento del cauce (figura 4.6).

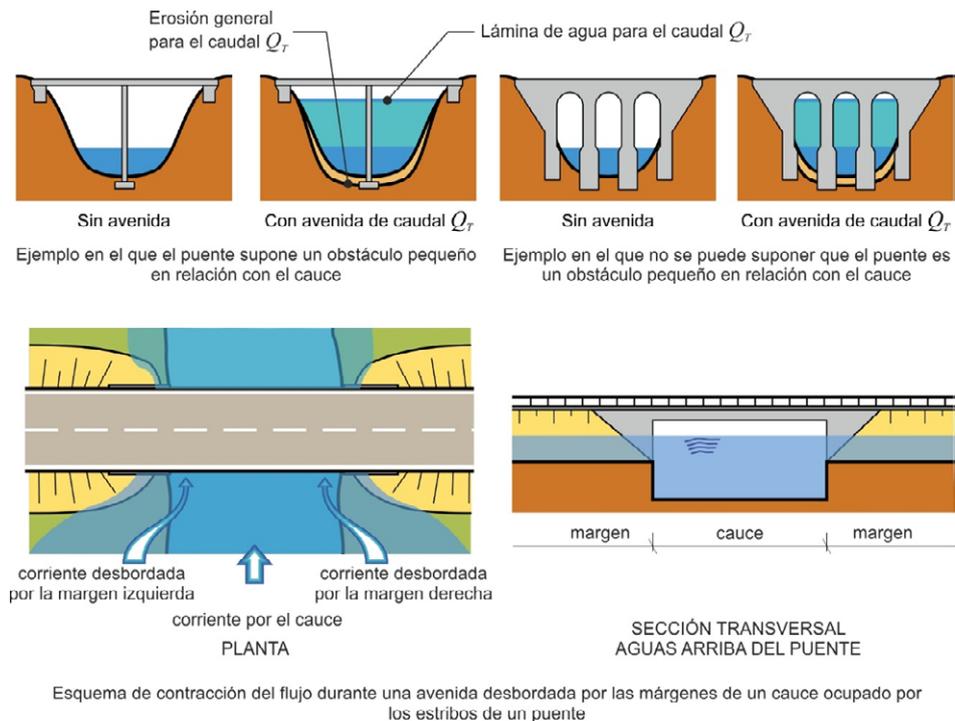


FIGURA 4.6.- EJEMPLOS DE DIMENSIONES RELATIVAS DE OBSTÁCULOS QUE PRESENTA EL PUENTE Y EL CAUCE.

Las cimentaciones se deben disponer por debajo de la cota de erosión $z(Q_T)$ correspondiente a la avenida de periodo de retorno de quinientos años ($T = 500$ años). En las cimentaciones profundas solo se podrá considerar la contribución resistente del terreno situado por debajo de la cota de erosión. Cuando se proyecten protecciones sobre elementos de cimentación, estas se deben disponer por debajo de la cota de erosión general $z_P - e_E - e_G$.

4.4 Obras de drenaje transversal

4.4.1 ENCAJE DE LAS ODT EN EL TERRENO

4.4.1.1 Planta

Una ODT se compone de embocadura de entrada, uno o varios tramos enterrados, una embocadura de salida y conexiones entre ellos (véase figura 4.7). Los tramos enterrados se proyectarán con planta recta sin cambios de sección.

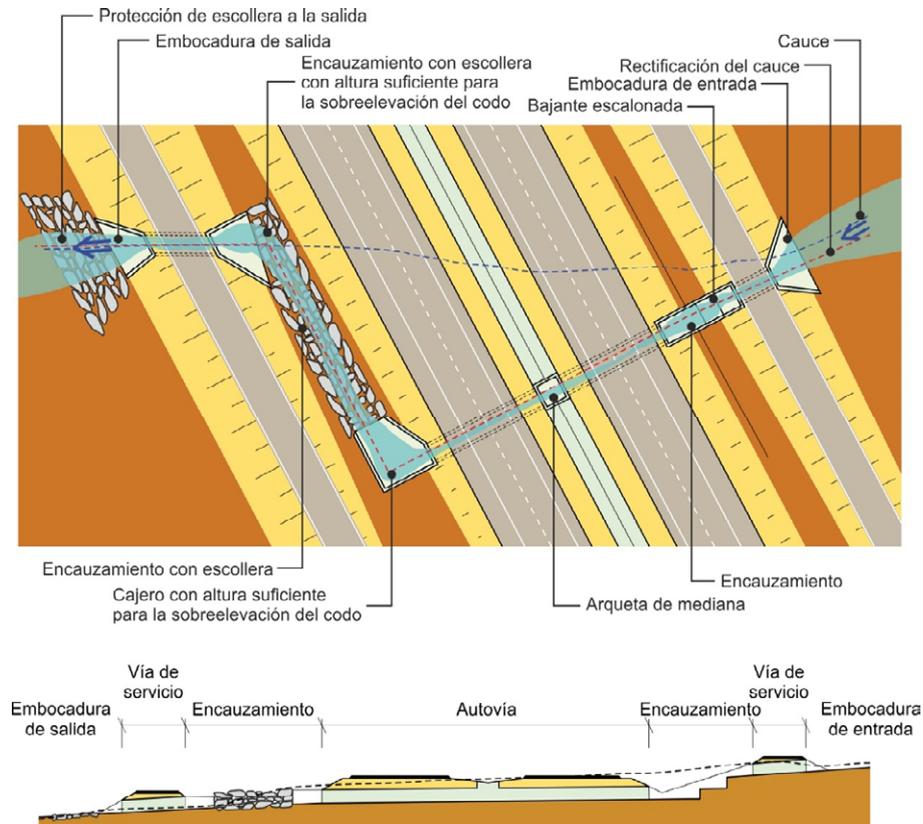


FIGURA 4.7.- EJEMPLO DE ODT COMPUESTA DE VARIOS TRAMOS.

La disposición más favorable para el funcionamiento hidráulico de la ODT es la coincidente con el cauce natural. Cuando no sea posible una coincidencia total se puede proyectar una rectificación del cauce evitando cambios bruscos en el trazado, en especial en la entrada de la ODT (véase figura 4.8).

En los tramos de cauce preexistentes que se sustituyan por una ODT y sus correspondientes encauzamientos, se deben proyectar los saneos, acondicionamientos y demás trabajos necesarios para permitir la ejecución de los rellenos sobre ellos.

Los cambios de alineación se proyectarán en las conexiones o en las emboaduras de entrada y salida, disponiendo protecciones para evitar desbordamientos y erosiones, teniendo en cuenta las sobreelevaciones y velocidades que se produzcan al paso del caudal de proyecto.

Cuando sean previsibles asentamientos importantes en el cimiento del relleno, la pendiente longitudinal de la ODT debe ser tal que añadiendo a su perfil longitudinal inicial la curva teórica de asentamientos, la capacidad de desagüe de la ODT sea suficiente para el caudal de proyecto (véase la figura 4.9). En ODT construidas in situ se deben tener en cuenta estos asentamientos en el cálculo estructural, mientras que en las constituidas por elementos prefabricados, las juntas deben de ser capaces de absorber estos movimientos.

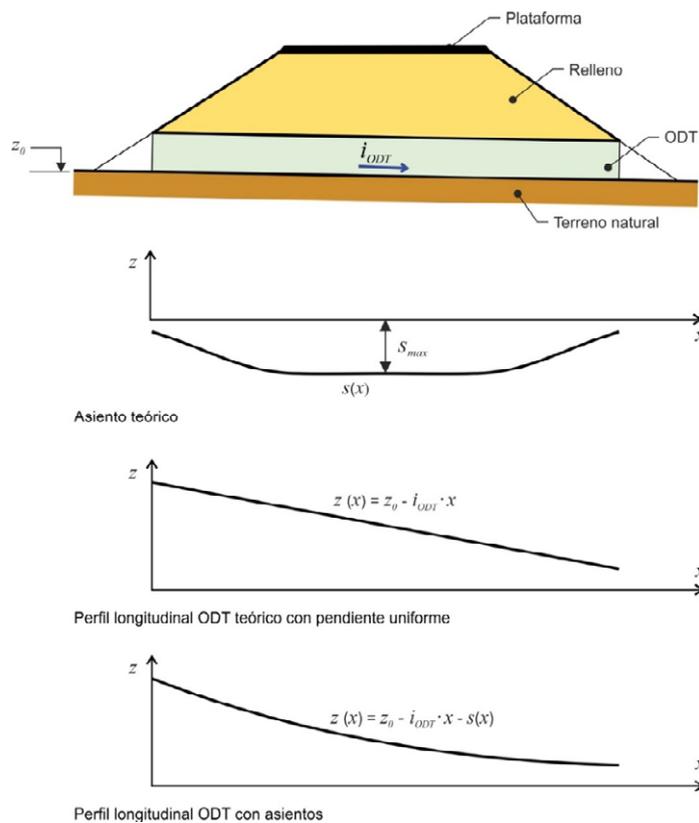
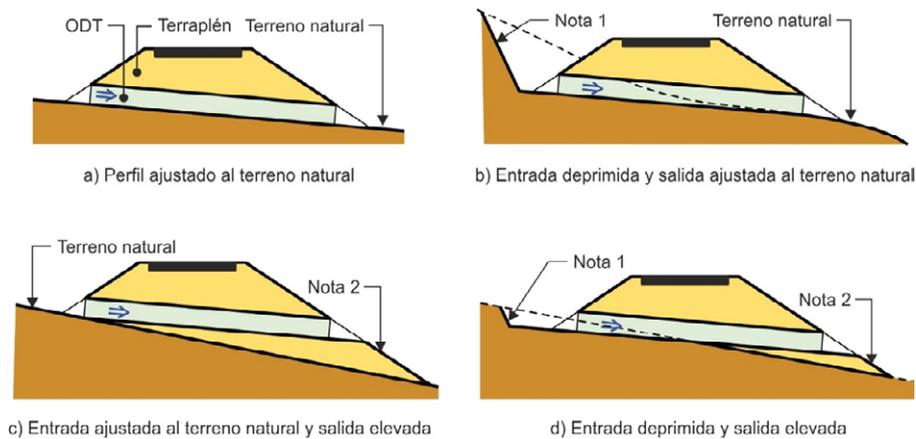


FIGURA 4.9.- CONSIDERACIÓN DE LOS ASIENTOS DEL CIMIENTO DEL RELLENO

Los cambios de pendiente se situarán en las conexiones y en las embocaduras de entrada y salida, disponiendo protecciones para evitar desbordamientos y erosiones, teniendo en cuenta las sobreelevaciones y velocidades que se producen al paso del caudal de proyecto. Cuando se den velocidades muy altas puede ser necesario disponer disipadores de energía.

El perfil longitudinal está relacionado con la capacidad hidráulica de los conductos y puede dar lugar a problemas de aterramiento por insuficiencia de pendiente y de erosión por exceso de ella (epígrafe 4.4.5). Cuando la pendiente que

resulte del cálculo hidráulico no se pueda encajar con las cotas de entrada y salida del cauce será necesario recurrir a diseños más complejos como rebajar la entrada, elevar la salida, o una combinación de ambas (véase figura 4.10 b, c y d). Estos casos requieren disponer elementos específicos (epígrafe 4.4.1.3).



Nota 1: la entrada deprimida o en desmonte requiere una definición especial de la embocadura de entrada.
Nota 2: La salida elevada requiere una definición especial de la embocadura de salida.

FIGURA 4.10.- TIPOS DE PERFIL LONGITUDINAL DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Excepcionalmente se podrán proyectar ODT con salida deprimida (véase figura 4.11), lo que puede requerir labores de conservación más intensas de lo habitual para mantener el perfil longitudinal y la sección desde la salida de la ODT hasta el cauce. Para ello se deben proyectar los accesos necesarios.

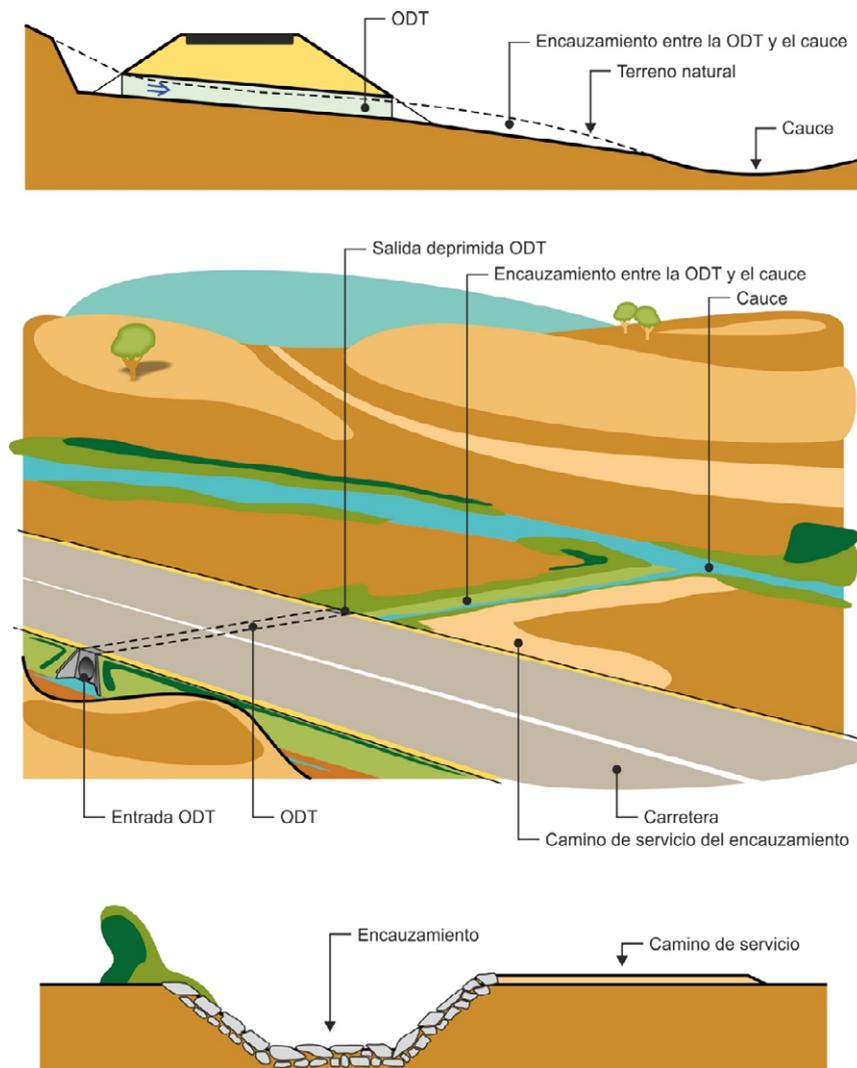


FIGURA 4.11.- ODT CON SALIDA DEPRIMIDA

4.4.1.3 Embocaduras

Las embocaduras permiten acoplar el conducto al cauce y a los taludes de los rellenos. Tienen funciones de transición geométrica e hidráulica y deben ser resistentes a la erosión y socavación. Su disposición influye en las condiciones de desagüe.

La altura de las embocaduras de la ODT debe ser al menos uno coma dos veces la altura libre del conducto ($H_{emb} \geq 1,2H$) medida desde el plano de la solera (véanse las figuras 4.12 y 4.13).

Las embocaduras deben disponer de solera terminada en un rastrillo. Cuando sea necesario disponer protección de escollera ésta se colocará a continuación del rastrillo.

a) **Embocaduras en terraplén**

Donde la embocadura se sitúe en terraplén podrá ser:

- Embocadura con aletas (figura 4.12): Constituye el caso general de conducto que termina en un plano vertical, materializado por un elemento de contención del talud o muro frontal rematado por unas aletas que forman un ángulo θ con la directriz del conducto.

Normalmente el ángulo de las aletas con la corriente debe estar comprendido entre quince y setenta y cinco grados ($15^\circ \leq \theta \leq 75^\circ$). Cuando hubieran de disponerse aletas con un ángulo inferior a quince grados ($\theta < 15^\circ$), en general será preferible la construcción de aletas en prolongación ($\theta = 0^\circ$); para ángulos superiores a setenta y cinco grados ($\theta > 75^\circ$), en general será preferible la prolongación del muro frontal o de cabecera ($\theta = 90^\circ$).

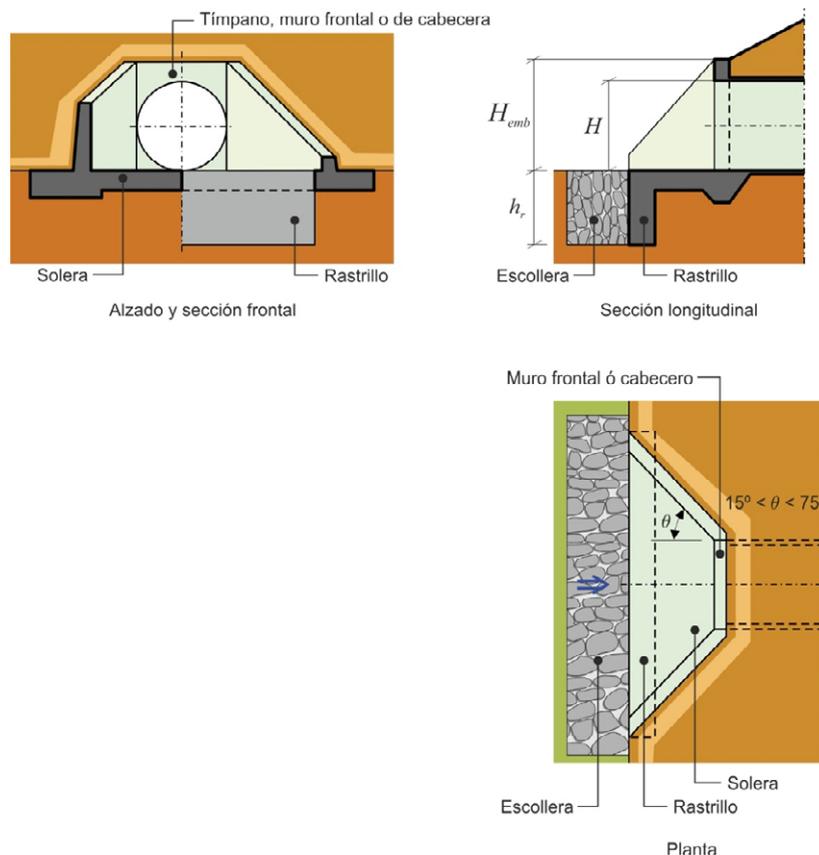


FIGURA 4.12 EJEMPLO DE EMBOCADURA CON ALETAS

- Embocadura ataluzada (figura 4.13): Se produce cuando las aletas están en prolongación del conducto ($\theta = 0^\circ$) y la ODT no sobresale del contorno geométrico del talud de terraplén. Debe protegerse su perímetro contra la erosión.

Esta configuración puede resultar adecuada para el proyecto de embocaduras rebasables por un vehículo que accidentalmente se saliese de la calzada, para lo cual debe disponerse un enrejado específico en la embocadura. En el cálculo hidráulico se debe tener en cuenta la posibilidad de obstrucción parcial del enrejado.

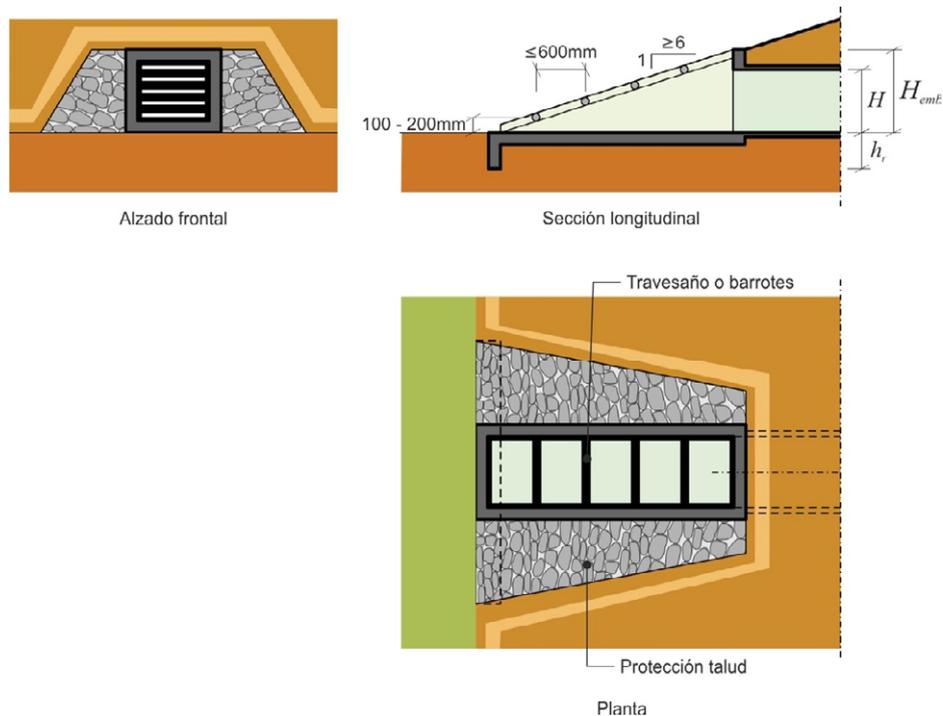


FIGURA 4.13 EJEMPLOS DE EMOCADURAS ATALUZADAS

- Embocadura exenta (figura 4.14) es aquella en la que el cuerpo de la ODT se prolonga por fuera del relleno manteniendo su sección sin achaflanar y sin aletas.

Salvo justificación expresa del proyecto, no se deben disponer embocaduras exentas en terraplenes. Cuando la embocadura de salida se sitúe en un muro de sostenimiento, se admite este tipo de salida, siempre que el vertido no erosione el pie del muro o sea directo a una masa de agua.

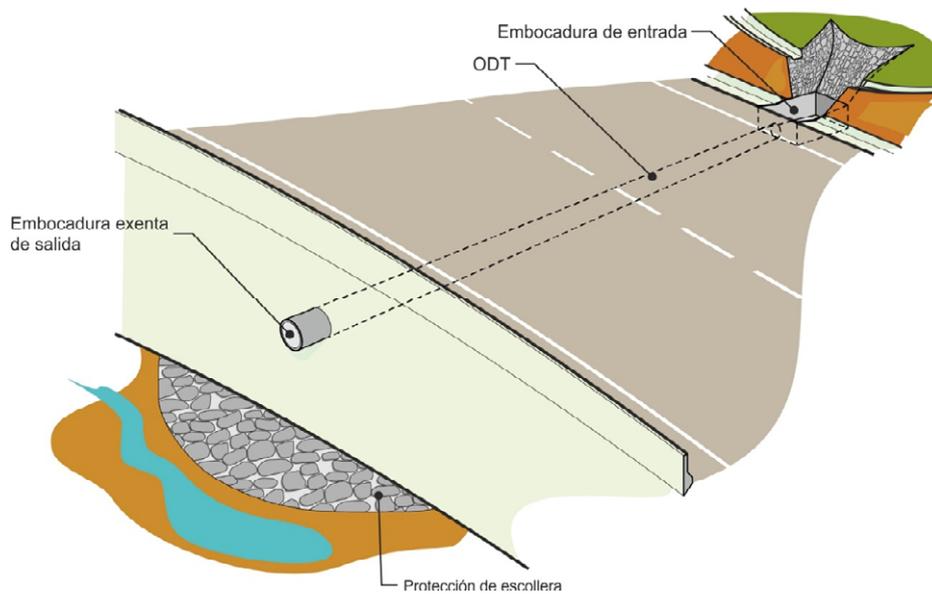


FIGURA 4.14 EJEMPLO DE EMBOCADURA EXENTA

- En determinadas circunstancias en el proyecto se podrá justificar el empleo de otros tipos de embocaduras específicas para procurar una mejora de la capacidad de desagüe, como las que presentan solera de entrada deprimida (figura 4.15). En este tipo de embocaduras pueden producirse aterramientos (ya que el cauce tenderá a restituir su rasante original) que requieren proyectar un acceso y realizar operaciones de limpieza con mayor frecuencia que en el caso general.

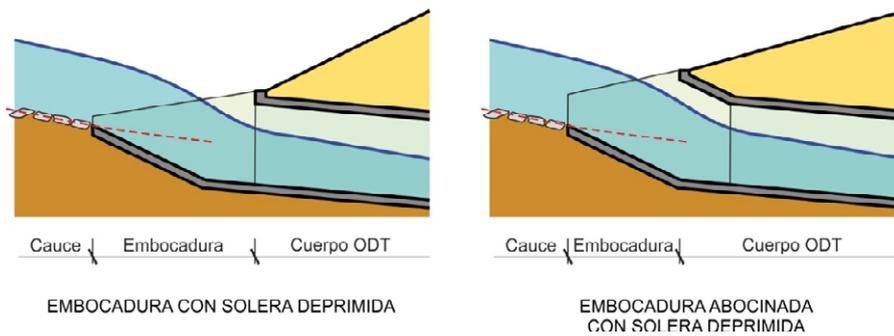


FIGURA 4.15 EJEMPLO DE EMBOCADURAS DE SOLERA DE ENTRADA DEPRIMIDA

Cuando la embocadura de salida esté elevada en el terraplén (figura 4.10 c y d), en el proyecto se deberá disponer una bajante con capacidad hidráulica suficiente y, cuando sea necesario, elementos de disipación de energía. En la figura 4.16 se representa un ejemplo de bajante escalonada a la salida de una ODT.

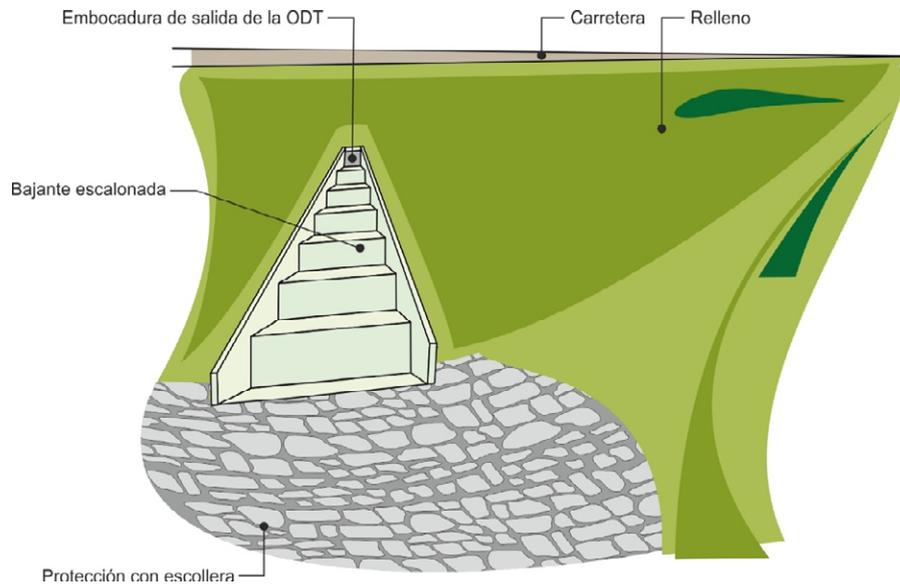


FIGURA 4.16 EJEMPLO DE EMBOCADURA CON BAJANTE ESCALONADA

b) Embocaduras en desmonte

Las embocaduras de entrada correspondientes a una sección en desmonte (figuras 4.10 b y 4.17) suelen consistir en:

- Una arqueta a la que desagua, a través de un sumidero, el drenaje de plataforma y márgenes de la carretera (véase ejemplo en la embocadura del colector transversal de la figura 3.1)
- Un cuenco de recogida de aguas, con o sin bajantes, con una embocadura como las descritas para los terraplenes (véase figura 4.17)
- Otras que el proyecto justifique convenientemente.

Excepcionalmente pueden proyectarse embocaduras de salida en desmonte que suelen implicar cambios bruscos de dirección en la corriente y grandes sobrelevaciones localizadas. El desagüe se produce generalmente a encauzamientos o bajantes escalonados (figura 4.18).

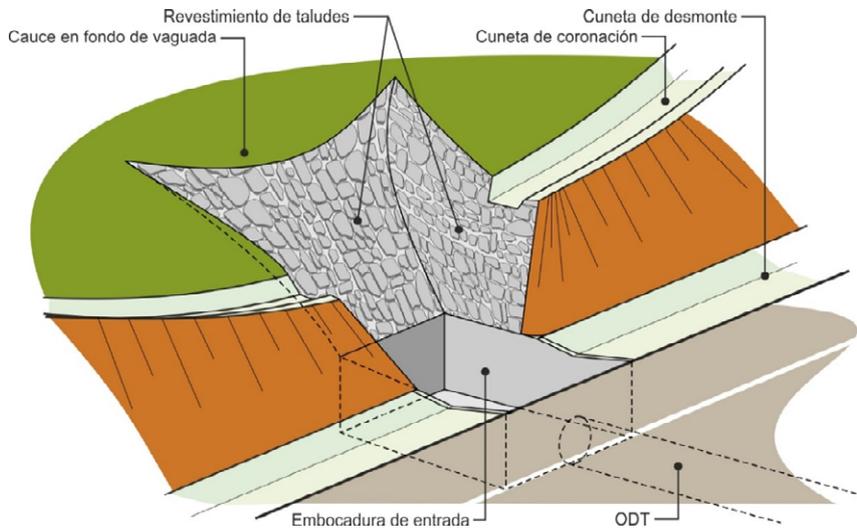


FIGURA 4.17 EJEMPLO DE EMOCADURA DE ENTRADA EN UNA SECCIÓN EN DESMORTE

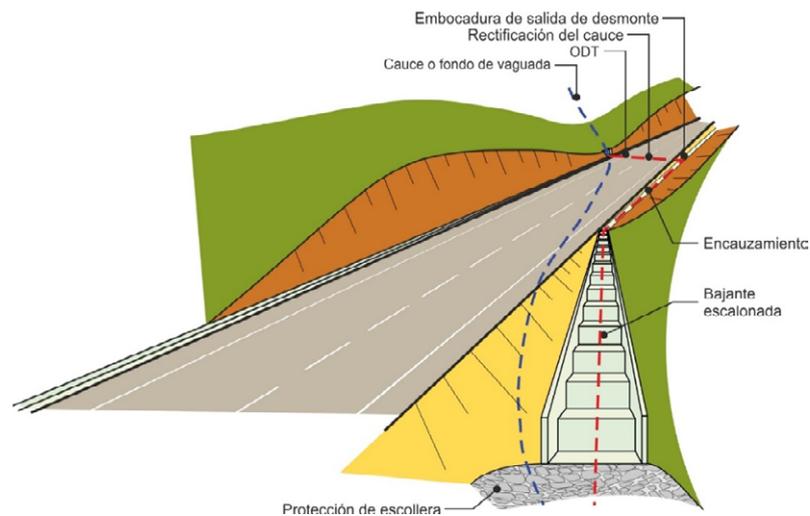


FIGURA 4.18 EJEMPLO DE EMOCADURA DE SALIDA EN UNA SECCIÓN EN DESMORTE

4.4.2 ENCAJE DE LAS ODT EN EL RELLENO

Atendiendo al encaje del perfil longitudinal de la ODT en el relleno, se deben considerar los siguientes casos:

- Instalación en zanja (véase figura 4.19 a))
- Instalación en un relleno (véase figura 4.19 b))
- Instalación en zanja realizada en un relleno (véase figura 4.19 c))

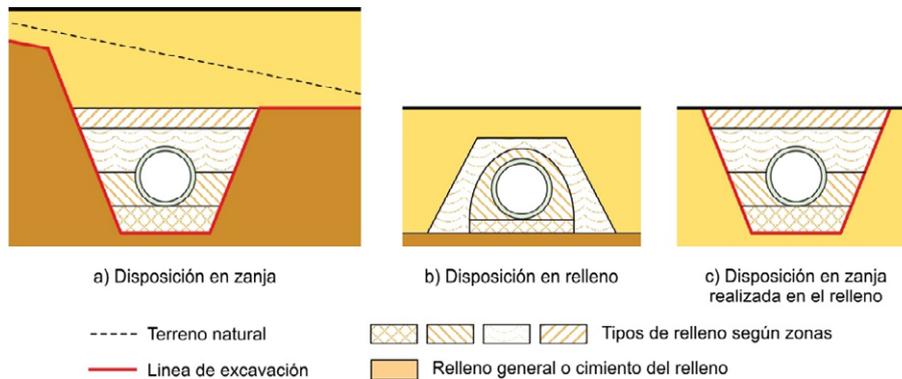


FIGURA 4.19 ENCAJE DE LA ODT EN EL RELLENO

En el cálculo estructural (epígrafe 4.4.7) se debe tener en cuenta el caso de que se trate y definir el tipo de rellenos a efectuar alrededor de la ODT. Estos rellenos se deben definir también considerando la diferencia de cotas entre la ODT y la rasante para conseguir una transición de rigidez adecuada, tanto verticalmente como en dirección longitudinal a la carretera.

4.4.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

4.4.3.1 Dimensión libre mínima

La dimensión libre mínima de la sección transversal de una ODT de un solo tramo, D_L , se debe medir entre sus caras interiores y se define en función de la longitud de la obra entre las embocaduras de entrada y de salida. Su valor se debe determinar a partir de la tabla 4.1, salvo que la Administración Hidráulica prescriba un valor superior.

TABLA 4.1.- DIMENSIÓN MÍNIMA RECOMENDADA DE UNA ODT EN FUNCIÓN DE SU LONGITUD

| L (m) | D_L (m) |
|----------------------|----------------------|
| L (m) < 3 | D_L (m) \geq 0,6 |
| $3 \leq L$ (m) < 4 | D_L (m) \geq 0,8 |
| $4 \leq L$ (m) < 5 | D_L (m) \geq 1,0 |
| $5 \leq L$ (m) < 10 | D_L (m) \geq 1,2 |
| $10 \leq L$ (m) < 15 | D_L (m) \geq 1,5 |
| L (m) \geq 15 | D_L (m) \geq 1,8 |

La dimensión D_L de la tabla 4.1 hace referencia a (figura 4.20):

- Sección circular: Diámetro
- Sección rectangular: Lado menor
- Resto de secciones: El diámetro del mayor círculo que se pueda inscribir en la sección.

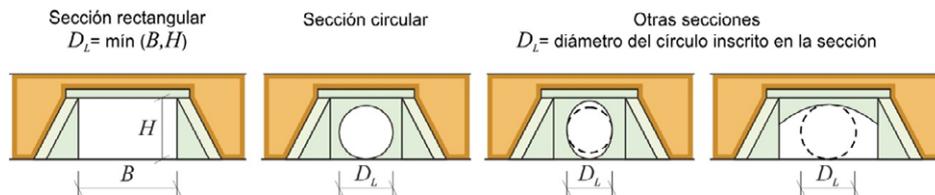


FIGURA 4.20 DIMENSIÓN LIBRE MÍNIMA

En las ODT que presenten varios tramos subterráneos separados por encauzamientos al aire libre, la dimensión libre mínima D_L en cada tramo será la mayor entre:

- La que le corresponde de acuerdo con la tabla 4.1.
- La mayor de entre las correspondientes a los tramos situados aguas arriba

En el proyecto se puede justificar la adopción de valores inferiores, que deben establecerse caso por caso.

Las obstrucciones por arrastre de cuerpos deben evitarse mediante dispositivos u obras específicas de protección aguas arriba de las ODT, que se deben definir en el proyecto.

Las dimensiones mínimas de los elementos de drenaje transversal de vías de servicio, reposiciones de caminos y otros viales ubicados inmediatamente aguas arriba o abajo de la carretera principal, se deben definir de conformidad con lo especificado en el capítulo 5.

4.4.3.2 Secciones especiales para paso de fauna

Cuando en el proyecto se determine que es necesario facilitar el paso de fauna por una ODT se pueden proyectar secciones o dispositivos especiales que requieren un cálculo hidráulico específico, tales como:

- Canal de aguas bajas
- Obra semienterrada (lecho móvil)
- Escalas de peces
- Rampas en arquetas para pequeña fauna
- Otras

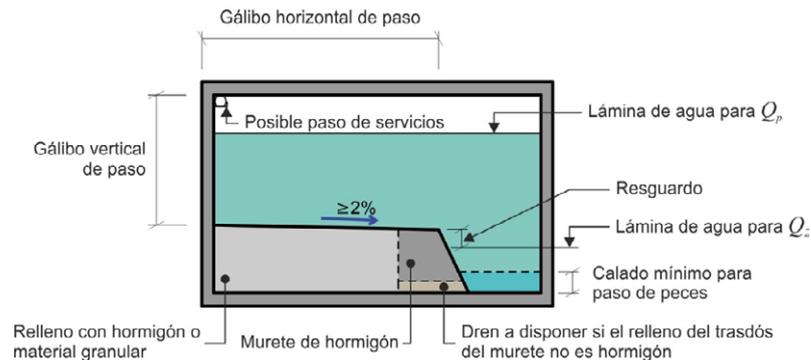


FIGURA 4.21 EJEMPLO DE SECCIÓN TRANSVERSAL ADAPTADA PARA PASO DE FAUNA

4.4.4 COMPROBACIÓN HIDRÁULICA

Los tramos enterrados de las ODT (epígrafe 4.4.1.1) son conductos rectos de sección constante entre su entrada y su salida. Cada conducto presenta una curva característica que relaciona el caudal que desagua a través de él, Q , con la cota que alcanza la lámina de agua inmediatamente aguas arriba del conducto, medida a partir de la cota de la solera a su entrada, H_E (véase figura 4.22). Dicha curva es función de su sección transversal, pendiente, rugosidad y tipos de entrada y salida.

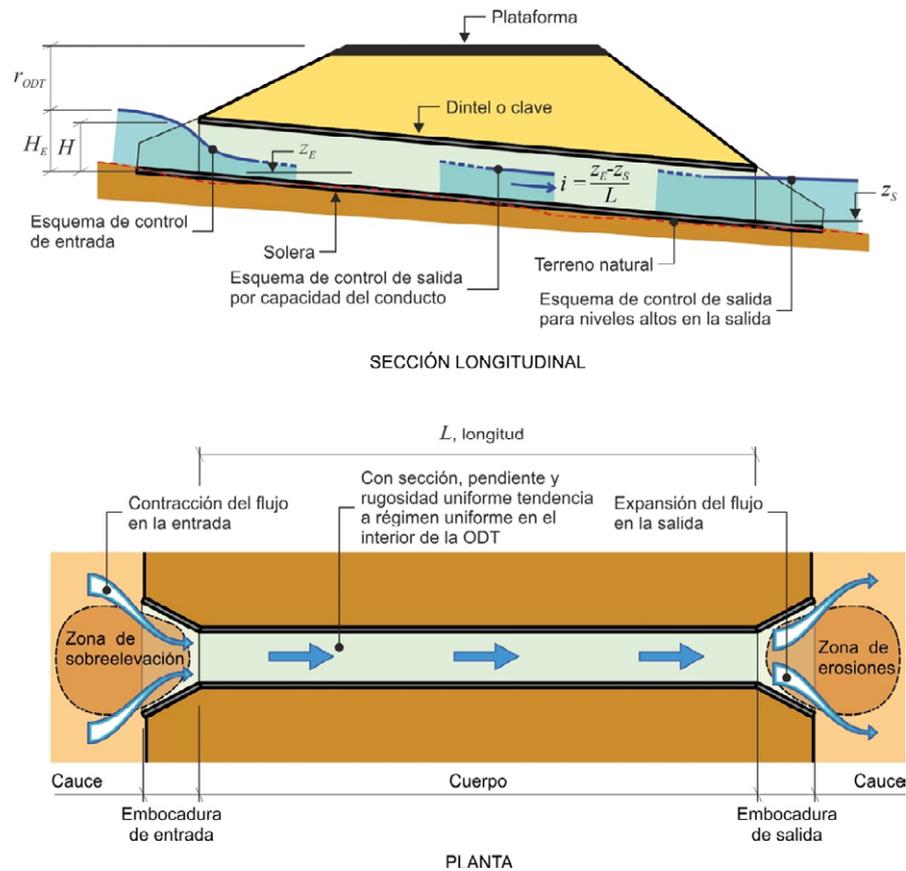


FIGURA 4.22.- ESQUEMA DE UNA ODT

En la definición de la curva característica (véase figura 4.23) se diferencian distintos tramos dependiendo de las secciones de control que se produzcan:

- Control de entrada, cuando la capacidad de desagüe de la ODT viene dada por la capacidad de la entrada.
- Control de salida, cuando la capacidad de desagüe de la ODT viene dada por la capacidad del conducto o los niveles de agua en el cauce a la salida.
- Desbordamiento a otras cuencas primarias o por encima de la calzada.

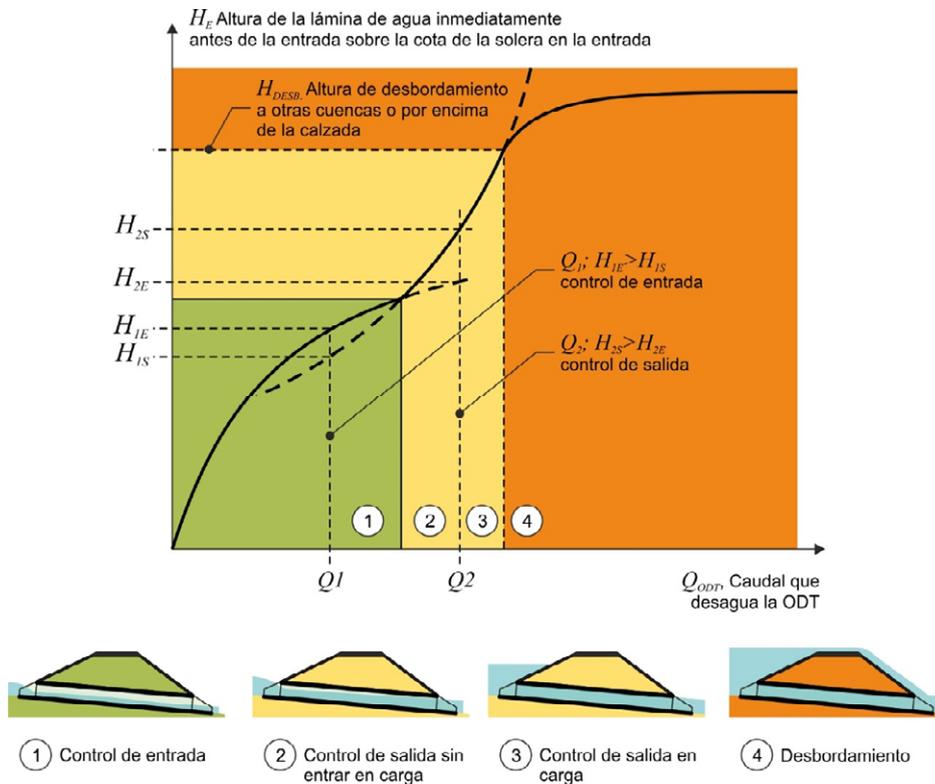


FIGURA 4.23.- CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA ODT

Las ODT se deben proyectar para cumplir las siguientes condiciones relativas al caudal de proyecto Q_P :

- Con carácter general deben funcionar con control de entrada. No obstante en el proyecto se puede justificar la adopción de un criterio diferente.
- La sobreelevación del nivel de la corriente provocada por la presencia de la ODT será el menor valor de entre los dos siguientes:
 - o Cincuenta centímetros (50 cm)
 - o La correspondiente a una altura de lámina de agua a la entrada del conducto inferior a uno coma dos veces la altura libre del conducto ($H_E < 1,2 H$).

En casos excepcionales, con la conformidad de la Administración Hidráulica, se podrá justificar la utilización de criterios distintos a los anteriores.

- Con carácter general, el resguardo libre existente hasta la plataforma (figura 4.22) debe ser superior a cero coma cinco metros ($r_{ODT} \geq 0,5$ m). No obstante en el proyecto se puede justificar la adopción de un criterio diferente.
- Cuando a la entrada o a la salida de una ODT la lámina de agua entre en contacto con el relleno se tendrán en cuenta la velocidad de la corriente y las características del material que lo constituye para disponer las protecciones necesarias.
- La velocidad debe ser inferior a la máxima admisible en función del material de la ODT (véase tabla 3.2).
- A la salida se debe producir la continuidad o expansión del flujo al incorporarse al cauce natural sin generar erosiones ni aterramientos, proyectando las medidas necesarias en su caso.

En el proyecto se debe incluir la curva característica de cada ODT, que relaciona el caudal desaguado con la altura de lámina de agua a la entrada (Q, H_E).

4.4.5 EROSIONES Y ATERRAMIENTOS

4.4.5.1 Erosiones

En un cauce con una ODT se debe distinguir entre:

- Erosión evolutiva: En los casos en que el cauce natural no hubiera alcanzado un perfil de equilibrio sino que estuviese evolucionando hacia otro con pendiente inferior (figura 4.24).
- Erosión localizada: La que se debe directamente a la presencia de la ODT (figura 4.24)

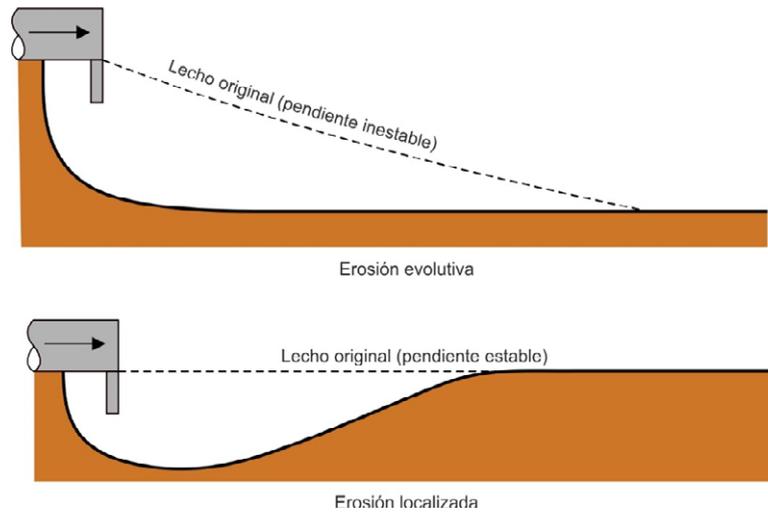


FIGURA 4.24.- TIPOS DE EROSIÓN A LA SALIDA DE UNA ODT

La corrección de la erosión evolutiva requiere actuaciones en el cauce que, en general, exceden del alcance de esta norma. En cualquier caso, durante la explotación de la carretera se debe observar el comportamiento de los cauces en este sentido (apartado 6.2).

Las protecciones frente a la erosión localizada pueden proyectarse en función de la velocidad a la salida de la ODT para el caudal de proyecto, o estimarse mediante procedimientos simplificados a partir de las características del flujo en la ODT.

4.4.5.2 Aterramientos

En general las ODT que respetan la cota, pendiente del cauce y orden de magnitud de su anchura para avenidas cuyo período de retorno no supere los diez años ($T \leq 10$ años), no suelen presentar problemas de aterramiento. Debe tenerse en cuenta que cuando el conducto tenga la solera deprimida el cauce tenderá a restituir la rasante original de su lecho.

En perfiles de escasa pendiente podrá estimarse el riesgo de aterramiento por medio del parámetro i :

$$i = \frac{L}{H} (J_0 \sqrt{b/B} - j)$$

donde:

L = Longitud del conducto

H = Altura del conducto

j = Pendiente del conducto

J_0 = Pendiente del cauce

B = Anchura del conducto. En el caso de sección circular se tomará el diámetro

b = Se tomará el mayor valor de entre B y la anchura del cauce natural

Si $i < 0,1$ se puede considerar que el riesgo de aterramiento es bajo. En caso contrario deben analizarse las soluciones siguientes:

- Modificación del proyecto de la ODT, actuando sobre su trazado o su sección transversal.
- Construcción de areneros o balsas de retención de sedimentos, aguas arriba de la ODT.

4.4.6 MATERIALES

Salvo justificación en contra en el proyecto, las ODT serán obras de hormigón in situ o prefabricado y deberán cumplir la vigente Instrucción de Hormigón Estructural.

El hormigón debe estar dosificado de forma que se consiga una durabilidad adecuada, teniendo en cuenta las singularidades de las ODT por estar en contacto con agua que puede tener sales disueltas y producir erosión. En particular en cuencas con presencia de yesos se debe analizar la conveniencia de utilizar cementos sulforresistentes.

Cuando se utilicen elementos prefabricados deberán tener el correspondiente marcado CE, su declaración de prestaciones y las instrucciones, información de seguridad y normas de producto que les sean de aplicación, las cuales deberán ser especificadas en el proyecto.

4.4.7 CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LAS ODT

El cálculo estructural de los marcos, aletas, frontales, muros, así como de cualquier otro elemento estructural debe abordarse de acuerdo con la normativa sobre

acciones y cálculo de aplicación a los proyectos de carretera. Cuando sean de hormigón deberán cumplir la vigente Instrucción de Hormigón Estructural.

El cálculo de elementos prefabricados que tengan norma de producto que incluya métodos de cálculo y categorías resistentes asociadas, se debe realizar de acuerdo con lo dispuesto en sus correspondientes normas, las cuales deberán ser especificadas en el proyecto.

4.5 Rellenos

4.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Se debe tener en cuenta la posibilidad de que los rellenos sean alcanzados por láminas de agua, así como la velocidad y altura de la corriente. Esta situación puede provocar la erosión de los espaldones y percolación de agua en el interior del relleno.

Para evitar la erosión del relleno, en el proyecto se debe estudiar la posibilidad de:

- Cambiar el trazado de la carretera.
- Encauzar o cambiar la dirección de la corriente para que no afecte al relleno.
- Proteger el espaldón del relleno contra la erosión provocada por la corriente disponiendo para ello escollera u otro tipo de unidades de obra a definir en el proyecto.

La percolación de agua en el relleno por la lámina de agua puede incidir sobre la estabilidad del relleno, por lo que en el proyecto se debe analizar:

- El equilibrio global teniendo en cuenta que:
 - La formación de la línea de saturación (véase figura 4.25) requiere un período de tiempo que depende de la permeabilidad del relleno. La situación más desfavorable se suele producir cuando hay un descenso rápido de la lámina de agua.

- En rellenos apoyados sobre laderas (epígrafe 3.3.4.4), la formación de la línea de saturación se puede desarrollar de un modo lento y progresivo por repetición de episodios de aparición de láminas de agua asociadas a períodos de retorno bajos, que alcancen el espaldón situado aguas arriba (véase figura 3.25).
- La rotura hidráulica por tubificación (véase figura 4.26). Se puede considerar que el riesgo de tubificación es bajo cuando:
 - Las curvas granulométricas son continuas.
 - Se cumple que $D_{15} < 5 D_{85}$

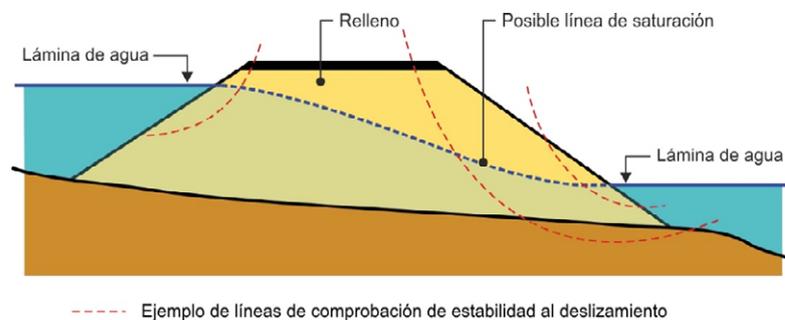


FIGURA 4.25.- EJEMPLO DE SITUACIONES DE INESTABILIDAD DE RELLENOS CON LÁMINAS DE AGUA

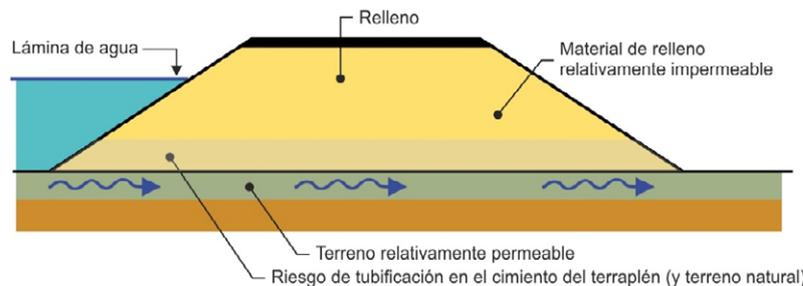


FIGURA 4.26.- EJEMPLO DE SITUACIÓN EN LA QUE SE PODRÍA PRODUCIR TUBIFICACIÓN

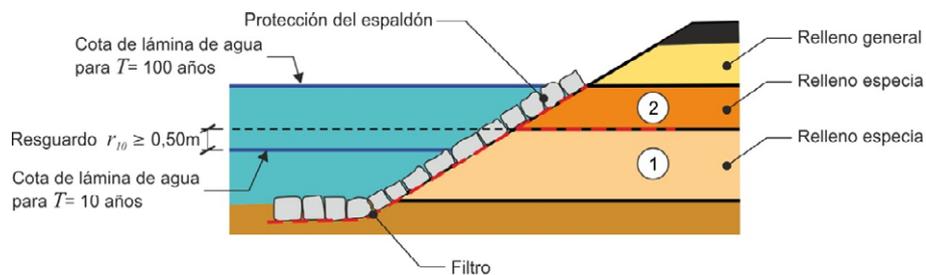
4.5.2 ZONIFICACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN RELLENOS ALCANZADOS POR LÁMINA DE AGUA

Con objeto de hacer frente a los problemas citados anteriormente, los materiales a utilizar en el relleno deben cumplir determinadas características en función de la cota de la lámina de agua considerada (véase figura 4.27):

- La correspondiente al caudal de período de retorno de diez años ($T = 10$ años) más un resguardo a establecer en el proyecto, que debe ser

superior o igual a cero coma cinco metros ($r_{10} \geq 0,5$ m). Por debajo de dicha cota los materiales deben ser algunos de los que se indican a continuación:

- Escollera con las propiedades mecánicas y husos granulométricos adecuados a la función de protección hidráulica. Debe estar separada del resto del relleno por un filtro.
 - Pedraplén o relleno todo uno cuyo pase por el tamiz cero coma cinco sesenta y tres sea menor del cinco por ciento ($\# 0,063 < 5 \%$), estables frente al desmoronamiento en agua, conforme a los criterios de los artículos 331 y 333 del PG - 3.
- La correspondiente al caudal de período de retorno de cien años ($T = 100$ años) por debajo de la cual los materiales deben ser:
- Materiales como los requeridos para su ubicación bajo la cota correspondiente al caudal de período de retorno de diez años ($T = 10$ años) más el resguardo establecido en el proyecto.
 - Suelos seleccionados o adecuados.
 - Suelos tolerables que cumplan simultáneamente:
 - Pase por el tamiz cero coma cinco sesenta y tres menor del veinticinco por ciento ($\# 0,063 < 25 \%$).
 - Atendiendo a criterios de plasticidad, presentar valores propios de los suelos adecuados o seleccionados.



- ① Escollera, pedraplén o todo uno ($\# 0,063 < 5\%$) estables frente al agua
- ② Suelo seleccionado, adecuado o tolerable ($\# 0,063 < 25\%$ y condiciones de plasticidad de adecuado)

FIGURA 4.27.- ZONIFICACIÓN DE RELLENOS ALCANZADOS POR LÁMINAS DE AGUA

Cuando sea necesario disponer protecciones de escollera u otro tipo sobre los espaldones de los rellenos, deben alcanzar al menos la cota de la lámina de agua correspondiente al caudal de período de retorno de cien años ($T = 100$ años). Se debe proyectar un filtro entre la protección y el relleno.

Para tratar de evitar fenómenos de erosión interna, tanto en las ODT como en cualquier otro conducto que discurra por el relleno, las juntas de construcción in situ o entre elementos prefabricados deben ser impermeables.

La ejecución de ODT que discurran por materiales sensibles al agua, o bien en rellenos en que se prevea la existencia de asentamientos postconstructivos importantes, requiere proyectar medidas especiales, adicionales a las anteriores, tales como encamisado de tubos o sellado de juntas.

4.5.3 RESGUARDO DE LOS RELLENOS

En zonas alcanzadas por láminas de agua ajenas a los elementos de drenaje de plataforma y márgenes, las aristas superiores de los rellenos (cabezas de taludes de terraplén) deben presentar una diferencia de cota con respecto a la lámina de agua de la avenida de período de retorno quinientos años superior a medio metro $r_r(T = 500 \text{ años}) > 0,50 \text{ m}$ (véase figura 4.28)

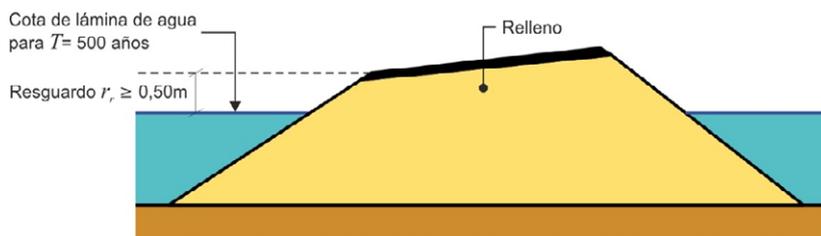


FIGURA 4.28.- RESGUARDO DE LOS RELLENOS

4.6 Planas inundables

Donde la carretera discurra en terraplén por zonas llanas amplias en las que no existan cauces claramente definidos y, en general, en las llanuras de inundación, se debe efectuar un estudio del esquema de flujo al paso del caudal de proyecto. Este análisis debe efectuarse con carácter general mediante modelos hidráulicos de tipo bidimensional que permitan definir la ubicación de las obras, el reparto de caudales entre ellas y obtener las sobreelevaciones, velocidades y tiempo de duración de la inundación que resulte.

Normalmente se proyectarán puentes u ODT en los puntos más bajos del terreno y en otros elegidos adecuadamente para colaborar al paso del caudal, al control de las sobreelevaciones y a la disminución del tiempo de inundación, que no debe incrementarse significativamente.

Para tratar de asegurar en las zonas planas sin cauces bien definidos el funcionamiento del drenaje transversal, se debe comprobar que se cumplen las condiciones de los apartados 4.3 y 4.4, añadiendo las siguientes consideraciones:

- ODT con dimensión libre mínima de la sección transversal inferior a un metro y ochenta centímetros ($D_L < 1,80 m$): Reducción de la sección de desagüe en un cincuenta por ciento (50%). En el proyecto se puede modificar justificadamente este valor en función de las características particulares de cada obra y su emplazamiento.
- Consideración de la capacidad de drenaje de los pasos inferiores.
- Posibilidad de proyectar obras de alivio cuya dimensión libre mínima sea superior a un metro y ochenta centímetros ($D_L > 1,80 m$)

Cuando no exista cauce definido en el punto de desembocadura de una ODT se debe estudiar la posibilidad de proyectar a su salida un cunetón u otro tipo de obra, que permita el reparto del caudal longitudinalmente a la carretera (véase figura 4.29).

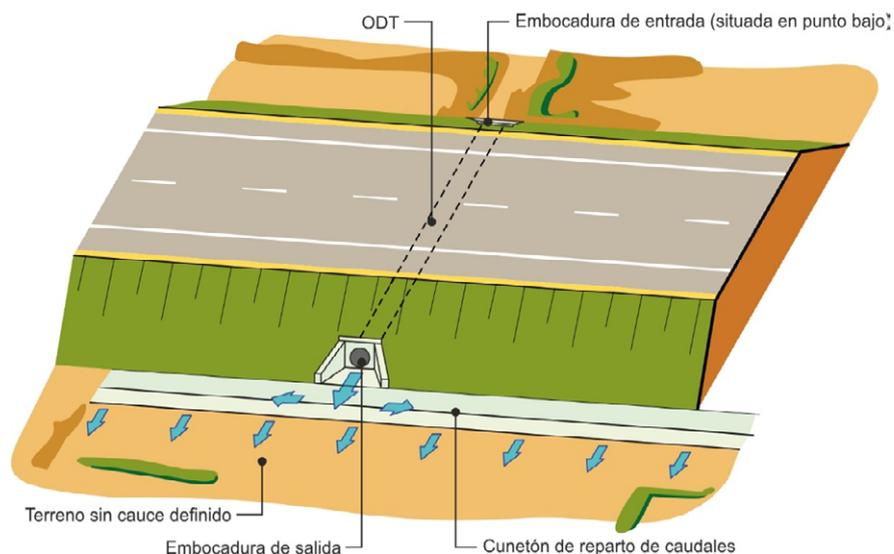


FIGURA 4.29.- EJEMPLO DE CUNETÓN DE REPARTO DE CAUDALES