

# NOTA TÉCNICA NT 04/2020

## Zanjas drenantes transversales en las transiciones entre secciones en desmonte y terraplén en sentido descendente de la rasante

Las transiciones entre secciones transversales de distinto tipo pueden ocasionar problemas de regularidad de la rasante, como consecuencia de la diferencia de rigideces entre unas y otras. Uno de los casos donde este fenómeno se puede producir es el de la transición desmonte-terraplén, la más frecuente de cuantas acaecen en cualquier obra lineal.

Dentro de este tipo se presentan dos posibilidades, que la rasante ascienda o que descienda desde el uno hacia el otro. Cuando el desmonte se encuentra a mayor cota que el terraplén adyacente, al caso general de diferencia de rigideces puede que se añada la infiltración de agua por las capas de firme y explanada favorecida por la configuración del desmonte. En tal caso los problemas de regularidad de la rasante se acentúan.

El objetivo de esta Nota Técnica es analizar el fenómeno y proponer soluciones.

Este documento ha sido redactado por Álvaro Parrilla Alcaide, ICCPE Jefe del Área de Geotecnia y Jerónimo Vicente Dueñas, ICCPE del Área de Geotecnia.

Ha contado con la participación de:

Jesús Antoñanzas Glaría, ITOP, Demarcación CE en Aragón

Álvaro Cuadrado Tarodo, ICCPE, Demarcación CE en la Comunidad Valenciana

Alberto Fernández Eusebio, ICCPE, Laboratorio de Geotecnia, CEDEX

Luis Fernández Pérez, Geólogo, Demarcación CE en la Comunidad Valenciana

Francisco Fernández de la Llave, Geólogo, Demarcación CE en Extremadura

Santiago García Gallardo, ICCPE, Demarcación CE en Castilla La Mancha

Jesús Iranzo Sanz, ICCPE, Demarcación CE en Aragón

Además ha intervenido Yasmina Boussafir, Ingeniera Civil del Cerema y codirectora del grupo redactor de la *Guía* francesa de drenaje de la carretera de 2006

Ha sido aprobado por M<sup>a</sup> Rosario Cornejo Arribas, ICCPE Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras en diciembre de 2020.





## 1 Introducción

Esta Nota Técnica tiene por objeto poner de manifiesto la experiencia de la Dirección General de Carreteras en el diagnóstico y solución de una patología recurrente en la Red de Carreteras del Estado, consistente en la aparición de un descenso diferencial en la rasante, en la zona de transición entre una sección en desmante de cierta longitud y una sección en terraplén, cuando dicha transición se produce con pendiente descendente desde el desmante hacia el terraplén (desmante a mayor cota que el terraplén) y que se suele poner de manifiesto, normalmente, transcurridos algunos años desde la puesta en servicio de la carretera.

Se redacta como complemento a lo establecido en el apartado 2.1.2.4 de la *Orden Circular 17/2003 Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera*, con el fin de procurar un mejor entendimiento del empleo de las zanjas drenantes transversales en este tipo de transiciones.

El objetivo de esta nota es ayudar a identificar el problema, tratar de analizarlo y fijar una serie de criterios para, mediante el proyecto de estas unidades de obra, procurar que la afección a la transición y, por ende, a la rasante de la carretera, sea lo menor posible.

Se incluye el tratamiento de la cuestión por parte de la normativa de otros países, lo que permite abordar el tema con mayor amplitud de miras, se añaden una serie de ejemplos por medio de fotografías y planos y, finalmente, se incluyen algunos aspectos que, aunque muy relacionados con el objeto de esta nota, no constituyen directamente el objeto de la misma y deben abordarse una vez asimilado plenamente su contenido.

## 2 Las zanjas drenantes transversales en las transiciones desmonte-relleno en la OC 17/2003

Las ya mencionadas Recomendaciones incluyen sobre el particular que nos ocupa, el texto que sigue.

### “2. CRITERIOS DE PROYECTO

#### 2.1. DRENAJE DE LAS CAPAS DEL FIRME Y DE LA PLATAFORMA

##### 2.1.2. EVACUACIÓN DE LAS AGUAS INFILTRADAS

##### 2.1.2.4. Ubicación de los drenes para la evacuación de las aguas infiltradas

*Para captación de flujos longitudinales*

*Además de los movimientos de las aguas según secciones transversales, deberán considerarse los flujos de agua longitudinales al trazado de la carretera.*

*En secciones en desmonte, si el perfil longitudinal presenta una pendiente importante, se puede producir un flujo longitudinal alimentado por infiltraciones a través de la calzada, arcones, bermas, mediana, taludes y elementos singulares en su caso. El agua se puede acumular en la transición desmonte-relleno (que habrá de ejecutarse conforme a lo especificado en los apartados 320.3.8 y 330.6.1 del PG-3) o en otros obstáculos.*

*Para captar estos flujos, cuando la pendiente longitudinal de la carretera sea igual o superior al tres por ciento (3%), y el desmonte de aguas arriba presente una longitud superior a ciento cincuenta metros (150 m), se proyectarán zanjas drenantes transversales a la misma en las transiciones desmonte-relleno (véase figura 2.7).*

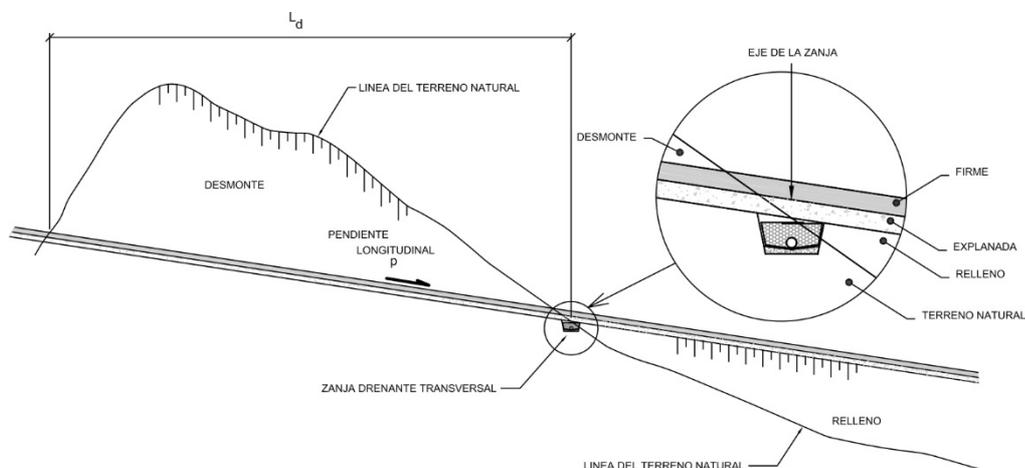
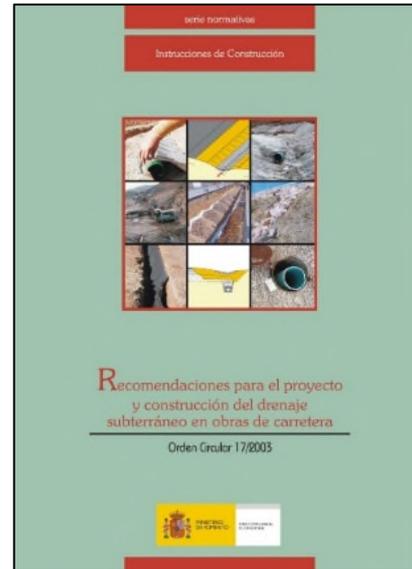


Figura 1.- Captación de flujos longitudinales en la transición desmonte-relleno (OC 17/2003, Fig 2.7)



*Previa justificación del proyecto, será posible disminuir los valores anteriores, emplear un mayor número de zanjas, o ubicarlas además de en las transiciones en otros puntos intermedios de los desmontes.*

*El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto definirá de modo expreso, y diferenciado del resto de las zanjas drenantes de las obras, las características (materiales a emplear, proceso constructivo, etc.) de estos elementos transversales ubicados bajo calzada.*

*En rellenos con fuerte pendiente longitudinal se pueden acumular aguas por un fenómeno similar en zonas de difícil compactación, tales como trasdoses de estructuras enterradas u otros puntos de parecidas características.*

*Aguas arriba de estructuras enterradas, situadas en rellenos con pendiente longitudinal igual o superior al tres por ciento (3%), el proyecto considerará expresamente la necesidad de disponer un sistema de drenaje capaz de evacuar estos flujos de agua longitudinales, que podrá ser, en su caso y previa comprobación de su capacidad hidráulica, el mismo sistema de drenaje del trasdós de la estructura"*

Esta nota se refiere al primero de los conceptos, es decir la transición desmonte-terraplén pues, aunque lo relativo a trasdoses de estructuras y otras zonas de difícil compactación presente una íntima relación conceptual con el asunto que nos ocupa, suele resolverse integrando los elementos de drenaje en el proyecto del trasdós propiamente dicho.

Por último, se llama la atención sobre un par de cuestiones que se deducen, directamente del texto tomado de la OC 17/2003:

- Las condiciones para que sea preceptiva la implantación de estas zanjas se extraen de la geometría del trazado, sin más, independientemente de la naturaleza del terreno, sus condicionantes hidrogeológicos o la climatología.
- Se pueden proyectar zanjas con geometrías que no alcancen los límites para su implantación obligatoria.

### **3 Origen del problema**

Durante los episodios de precipitación, el fondo y los taludes de cualquier desmonte escurren agua que debe conducirse a las cunetas de pie y de mediana en su caso, lo que constituye el caso general de continuidad del drenaje de plataforma y márgenes reflejado en el capítulo 3 de la norma 5.2 IC (Figura 2 y Figura 7).

El origen del problema se deriva del hecho de que siempre se produce -en alguna medida- infiltración, que discurre por la parte superior de la sección transversal en desmonte de la carretera (capas de firme y de formación de explanada).

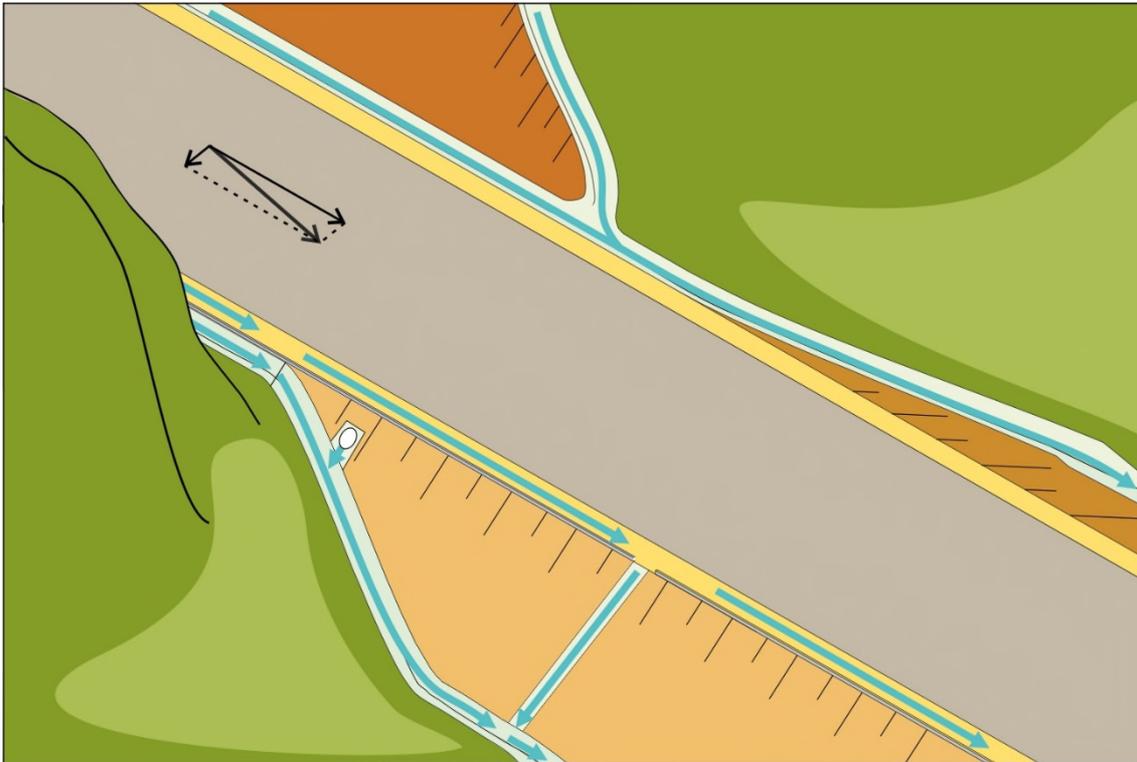


Figura 2.- Ejemplo de continuidad de la escorrentía superficial en una transición desmonte-terraplén. Caso particular con vertido directo de la zanja de drenaje a la cuneta de pie de terraplén

A igualdad en el resto de factores, el fenómeno de la infiltración será tanto más importante cuanto mayores sean las superficies en tierras de la sección transversal y más permeables resulten dichas tierras.

Cuando a la sección en desmonte le sucede una sección en terraplén en sentido descendente de la rasante, al producirse el cambio de sección transversal, el agua infiltrada proveniente del desmonte alcanza la zona de transición del relleno (Figura 3). En este punto puede infiltrarse verticalmente y provocar una alteración y reblandecimiento del material compactado que acabe dando lugar a un descenso localizado de la rasante (Figura 4).

Por otra parte, es un hecho constatado que pequeñas cantidades de agua libre en el interior de la estructura granular de las capas de firme y explanada (y en general de la coronación del terraplén) resultan muy perjudiciales. Así humedades apenas un par o tres puntos porcentuales por encima de la óptima y, por ello, ligeramente fuera de la zona de validez definida por el apartado 330.4.3 y 330.6.5.4 del PG-3, pueden llevar a la carretera a una disminución de su capacidad portante.

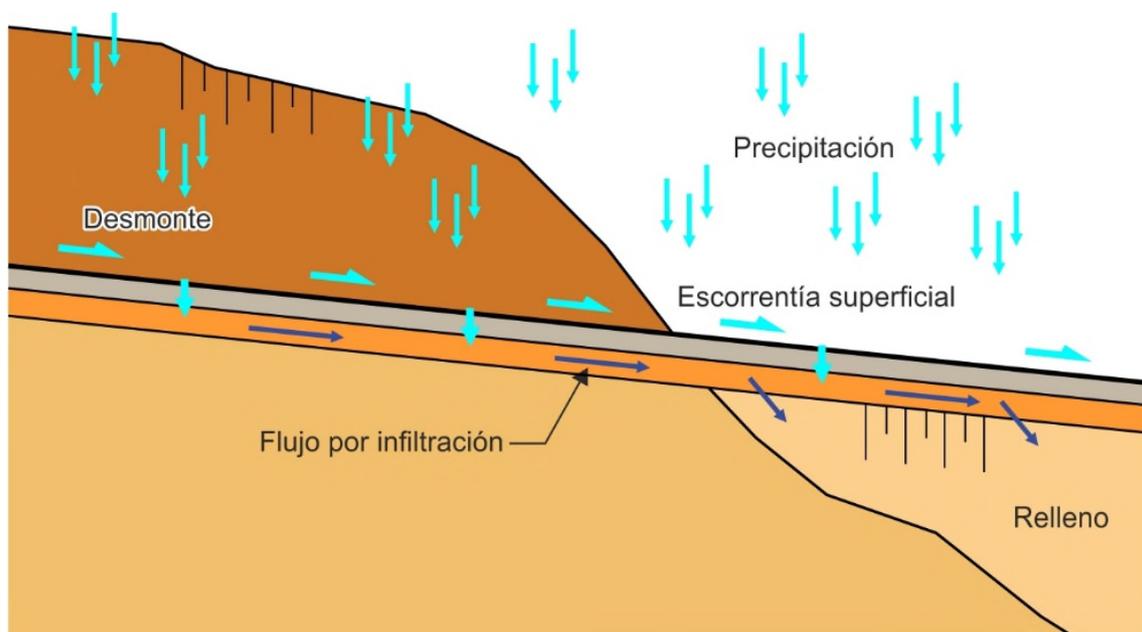


Figura 3.- Infiltración y escorrentía desde la sección en desmonte hacia el terraplén

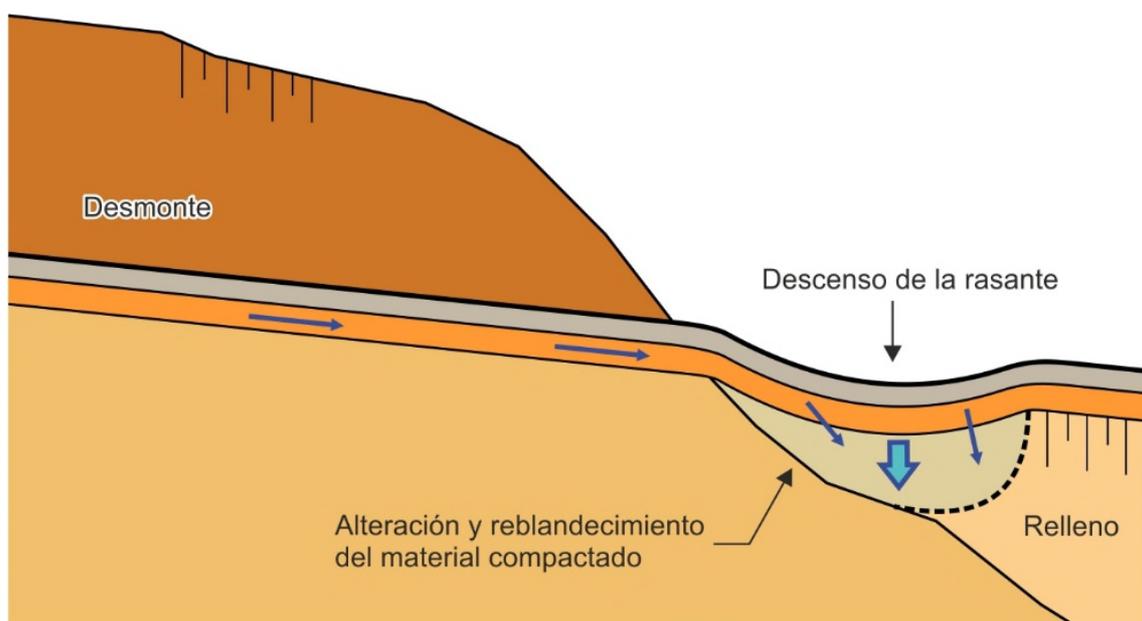


Figura 4.- Reblandecimiento de la transición y descenso de rasante en inicio de terraplén

Amén de lo anterior, es habitual que la zona más superficial/externa del desmonte presente un cierto grado de alteración respecto al núcleo/centro del mismo (Figura 6), con lo que la zona alterada en que se produce la transición puede presentar una longitud incluso en el orden de algún decámetro, comprendiendo tanto parte del desmonte como del terraplén (Foto 14).

Debe notarse que cuanto se indica sobre secciones en terraplén, ha de entenderse que, desde el punto de vista geotécnico, comprende rellenos de cualquier tipo de los referidos en el PG-3, es decir terraplenes propiamente dichos, pedraplenes, todo-uno y rellenos localizados (artículos 330, 331, 333 y 332

respectivamente); de ahí que la OC 17/2003 se refiera a *transiciones desmonte-relleno*, concepto más general.

Con el objeto de evitar el fenómeno descrito, en los casos previstos en la OC 17/2003, se prevé la ejecución de una zanja drenante en la zona de transición entre desmonte y terraplén cuya función es interceptar, captar y posteriormente evacuar, el flujo de agua que discurre infiltrado por las capas granulares (firme y formación de explanada) proveniente del desmonte, de forma que no pueda continuar hacia el terraplén y se evite la alteración del material que lo constituye.

No obstante los principios generales hasta aquí expuestos, existen numerosas cuestiones de detalle que deben ser objeto de atención particular y que tratan de exponerse en el resto del contenido de esta nota.

## **4 Consideraciones adicionales de carácter general**

### **4.1 Geometría de la transición y posición de la zanja**

Aunque las figuras de la literatura técnica representan una sección longitudinal de la carretera y, por simplicidad, una zanja perpendicular al observador, lo cierto es que el fenómeno rara vez se presenta así. La geometría de las transiciones suele resultar irregular y presentar un trazado con planta oblicua al eje de la vía (Foto 11), cuyo desarrollo según el longitudinal de la carretera puede superar la anchura de su sección transversal.

También suele idealizarse el fenómeno como propio de la transición de trinchera a terraplén, lo que no siempre es el caso; a veces las transiciones implican, en cualquiera de sus dos extremos, secciones a media ladera con lo que dicha transición puede ser una línea más longitudinal que transversal a la carretera (Foto 12 y apartado 7.6), e intersectarla incluso durante hectómetros.

Resulta fundamental identificar la geometría de la transición (y las zonas aledañas con mayor alteración) y ceñirse bien a ella. Este aspecto no siempre es sencillo, sobre todo cuando las zanjas se ejecutan a posteriori, con la carretera ya en servicio (apartado 4.6). En los casos en que se identifique una zona final del desmonte con cierta alteración (Figura 6 e imagen superior de la Figura 10), la zanja puede combinarse con mantos drenantes (OC 17/2003, apartado 3.8).

Por último, apuntar que la zanja debe adaptarse a la geometría de la transición ubicándose bien sobre la misma o adelantándose ligeramente a ella del lado del desmonte. También son posibles otras geometrías, como la de la Figura 7, con trazado en ángulo y vertido a dos aguas.



## 4.2 Transición de rigideces

La patología que nos ocupa se desarrolla por el cambio de rigideces inherente a cualquier transición, amplificado por el reblandecimiento que causa la infiltración de agua del desmonte hacia el terraplén.

Por ello, el problema suele acrecentarse cuando los materiales obtenidos del desmonte (normalmente también su fondo) presentan cierta evolutividad o características de capacidad portante estrictas (margas, arcillas margosas, limos arcillosos, etc. que puedan clasificarse como suelos tolerables, a veces rayando la marginalidad) y, por facilidad de transporte, constituyen también el núcleo de los terraplenes contiguos (Foto 13 y Foto 14). En estos casos el fenómeno de asiento puede presentar una magnitud importante y afectar a una mayor longitud del terraplén contiguo (e incluso al final del desmonte), lo que también sucede si, por cualquier circunstancia, la compactación del terraplén no ha sido la adecuada.

El problema contrario, es decir el de la transición terraplén-desmonte en sentido descendente de la rasante, se produce con menor frecuencia. Puede comprender infiltración por las capas de firme y explanada, si bien se trata de un caso diferente, por lo general más difícil de sistematizar.

## 4.3 Sucesión directa desmonte-estructura

En caso de que a un desmonte suceda directamente una estructura en sentido descendente de la rasante, la zanja debe situarse como transición al relleno de trasdós del estribo, cualquiera que sea su tipología y la configuración del relleno.

En este caso, lo habitual es incluir el concepto que nos ocupa dentro del proyecto del trasdós, como drenaje del mismo, pero no debe perderse de vista que estaríamos en una variante o particularización del concepto objeto de esta nota.

## 4.4 Posibilidad de ejecución cuando no se alcancen los parámetros geométricos definidos como obligatorios

En cuanto a la pendiente y longitud del desmonte antecedente, aunque la OC 17/2003 refiere una serie de valores umbral, los mismos se han establecido basándose en la experiencia de algunos casos concretos, por lo que, a criterio del proyecto se pueden disminuir, cuestión que apunta la propia Orden y que se considera una regla de buena práctica geotécnica.

Este hecho resulta más evidente, si cabe, cuando se ejecuten a posteriori para tratar de remediar asientos de la carretera en servicio.

## 4.5 Zanjas intermedias en el desmonte

La OC 17/2003 apunta la posibilidad de ejecución de un mayor número de zanjas o de disponer zanjas intermedias en el desmonte, adicionales a la de la transición propiamente dicha.

La normativa francesa las recomienda con profusión<sup>1</sup> (Figura 8) y pueden entenderse como una regla de buena práctica geotécnica que será tanto más necesaria cuanto mayores sean la longitud y pendiente del desmonte, así como las superficies de la sección transversal no revestidas (en tierras).

## 4.6 Ejecución a posteriori

Aunque lo más adecuado es incluir la medida en el proyecto de construcción y ejecutarla como obra de nueva planta, puede implementarse en cualquier momento, bien al detectar una patología, o para anticiparse a su posible aparición. Si el problema se ha identificado correctamente los resultados suelen ser inmediatos y muy positivos.

En caso de que se decida su implementación con la carretera en servicio, su ejecución es similar a la de cualquier zanja transversal a cielo abierto. Aunque requiere del corte de la vía (Foto 24), resulta una obra sencilla que demanda un corto lapso temporal para su ejecución.

Resulta esencial identificar correctamente la geometría de la transición. En caso de duda o cuando se observe el reblandecimiento de una zona relativamente amplia, se recomienda combinar las zanjas con mantos drenantes o disponer varias zanjas (Figura 6 y Figura 8).

Por último, hay que destacar que la hinca de tuberías no resuelve el problema, puesto que se trata de materializar una sección drenante con continuidad en profundidad desde las capas de firme y explanada hasta el fondo de la zanja, tal y como se refleja en las figuras de toda la normativa que se recoge.

## 4.7 Prescripciones técnicas

### 4.7.1 Normativa de referencia para la unidad de obra

Las zanjas drenantes transversales en las transiciones desmonte-terraplén constituyen un caso particular de zanja drenante que puede proyectarse atendiendo a lo especificado en los apartados 3.1 y 3.11 de la OC 17/2003, con algunas particularidades.

Estos apartados refieren a su vez a los siguientes artículos del PG-3, que contienen la mayoría de especificaciones constructivas a tener en cuenta:

- Artículo 321.- Excavación en zanjas y pozos
- Artículo 420.- Zanjas drenantes

---

<sup>1</sup> Las extiende incluso al terraplén que sigue al desmonte, en casos de fuerte pendiente y gran longitud.



- Artículo 421.- Rellenos localizados de material filtrante

En las zanjas drenantes que constituyen el objeto de esta nota, resulta preceptiva la implantación de tubería drenante, conforme a lo especificado en el apartado 3.4 de la OC 17/2003.

#### **4.7.2 Cota de inserción de la zanja en la sección de la carretera**

La cota de inserción de la zanja en la sección de la carretera, o de ubicación de su plano superior, es una cuestión que requiere una definición específica para cada caso, pues debe procurar simultáneamente una captación lo más directa posible de las aguas infiltradas y no suponer una banda de menor compacidad que el terreno que la rodea que pueda presentar reflejo en la rodadura.

Teóricamente debe ubicarse inmediatamente bajo las capas que conducen la mayor parte del flujo de agua infiltrada, de forma que constituya un elemento permeable que intercepte y evacúe el flujo descendente de las aguas infiltradas provenientes del desmonte.

Por ello, la solución recogida en la Figura 1 no es la única posible, aunque sí una de las más habituales. A la discusión de este particular se dedica el apartado 7.2 de esta nota.

#### **4.7.3 Profundidad de la zanja**

La profundidad de la zanja depende, entre otros aspectos, de la geometría de la transición, de la distancia de anticipación de la zanja respecto al terraplén, de su posible combinación con mantos drenantes, de la cota de inserción de la zanja en la sección de la carretera o de la solución prevista para el desagüe, y no debe suponer una variación de rigidez tal que presente reflejo en la rodadura; por todo ello no pueden establecerse cifras fijas.

En todos los casos, debe guardarse una cierta distancia vertical entre la generatriz superior de la tubería drenante y el plano inferior de las capas para la formación de explanada.

Atendiendo a la experiencia, son habituales dos órdenes de profundidad:

- Profundidad total de la zanja en el entorno de 1 m, medida<sup>2</sup> desde el plano por el que se supone el flujo de la mayor parte del caudal de infiltración (Figura 26).

Dependiendo de si se trata de un caso E (circulación del flujo infiltrado a través de las capas para la formación de explanada) o F (circulación a

---

<sup>2</sup> Esta profundidad, o incluso otra ligeramente menor, es también la típica cuando se proyectan zanjas intermedias en desmontes de gran longitud.

través de las capas del firme)<sup>3</sup>, la cota de fondo de excavación puede variar algunos decímetros<sup>4</sup>.

- Profundidad claramente superior a 1 m (Plano 25), típica en desmontes de gran longitud con pendientes fuertes. Esta cifra depende en gran medida de la distancia de anticipación a la transición para la que se proyecten.

En ciertas ocasiones (zanjas para desmontes de longitud en el entorno de 1 a 2 km, de pendiente fuerte, en sección de autovía) se han requerido profundidades de hasta 3 y 4 m desde la rodadura y la disposición de varias zanjas sucesivas, previas a la transición al terraplén subsiguiente.

Se debe estar a lo especificado en el epígrafe 2.5.3 de la OC 17/2003 respecto de la penetración de la helada en el terreno.

#### **4.7.4 Diámetro de la tubería drenante**

El apartado 3.4 de la OC 17/2003 establece que: *“El diámetro interior mínimo de los tubos será de ciento cincuenta milímetros (150 mm), salvo justificación en contra del proyecto efectuada teniendo en cuenta las necesidades de limpieza y conservación del sistema. Cuando la sección no fuera circular, esta deberá permitir la inscripción de un círculo de dicho diámetro”*.

El cálculo de tuberías drenantes al final de grandes desmontes, conforme a lo especificado en el apartado 2.3 de la OC 17/2003 (pensado para colectores longitudinales al trazado con arquetas y desagües) no sería de aplicación directa al caso que nos ocupa y puede dar lugar a grandes diámetros, que no resultan realistas.

Toda vez que las zanjas objeto de esta nota pretenden la captación de flujos que no hubieran sido captado por los sistemas anteriores, se suele recurrir a diámetros comprendidos, en la práctica, entre 15 y 30 cm (Plano 25 y Figura 26), aunque a veces (grandes desmontes en actuaciones a posteriori, dentro de zanjas de unos 3 m de profundidad) se ha recurrido a valores superiores, en el entorno de los 50 cm.

---

<sup>3</sup> OC 17/2003, epígrafes 2.1.2.1 y 2.1.2.5.

<sup>4</sup> Cuando se decida la inserción de la zanja en el plano que define el caso E o F de que se trate, se debe tener en cuenta que:

- En los casos F, el plano por el que se supone la mayor parte del flujo de agua infiltrada es el inferior de las capas de firme, debajo del cual quedan las capas para formación de explanada, debajo a su vez de las cuáles habría de ubicarse el tubo drenante.
- En los casos E no hay que salvar ninguna capa o espesor adicional desde el plano inferior de las capas para la formación de explanada, por lo que el tubo puede ubicarse directamente a la distancia que se considere.



A este último valor se podría llegar, en algún caso, cuando se produzca concomitancia de aguas freáticas en el desmonte o se combine la zanja con mantos drenantes (apartado 7.3).

#### **4.7.5 Desagüe de la zanja**

Tal y como se ha indicado en el epígrafe 4.7.1, en las zanjas objeto de esta nota resulta preceptiva la disposición de tubería drenante.

El desagüe de la zanja deberá proyectarse conforme a lo especificado en el epígrafe 3.1.3 de la OC 17/2003. Puede definirse hacia una (Foto 15 y Plano 25) o las dos márgenes de la carretera<sup>5</sup> (Figura 7).

Aunque cada caso debe ser objeto de definición específica en el proyecto, en este tipo de zanjas resulta habitual el desagüe directo (OC 17/2003, epígrafe 3.1.3.1) a la cuneta de pie (perimetral) del terraplén, si bien ha de tenerse en cuenta que se debe evitar la posible entrada de escorrentía superficial de dicha cuneta a la zanja, para que no se produzca la inversión de funcionamiento descrita en la OC 17/2003, epígrafe 2.1.2.3, párrafo final.

Una posibilidad es ubicar la salida del dren a una cota superior a la de la cuneta, de manera que se garantice que la cuneta rebosa antes de alcanzar la cota de salida del dren. También puede disponerse algún tipo de sistema antirretorno en el dren. Constituye una regla de buena práctica, ejecutar una pequeña bajante desde la salida del dren a la cuneta perimetral del terraplén (Figura 2).

También puede desaguarse a un colector, si la configuración geométrica del emplazamiento lo permite.

#### **4.7.6 Prescripciones relativas a variables climáticas**

Debe notarse que no se establece ninguna prescripción relativa a la pluviometría del emplazamiento, porque esta patología se ha observado en ubicaciones con regímenes de precipitación muy diferentes, a lo largo y ancho de toda España.

La única prescripción relacionada con variables climáticas es la indicada al final del epígrafe 4.7.3 de esta misma nota sobre la profundidad de las tuberías drenantes en relación con la penetración de la helada en el terreno.

---

<sup>5</sup> En carreteras de una calzada es habitual desaguar a una sola margen, mientras que en las de doble calzada, puede ser conveniente el vertido hacia las dos. No obstante lo anterior, a priori, son perfectamente viables los casos contrarios a los recién apuntados.

## 5 Normativa de otros países

### 5.1 Introducción

La normativa que recoge esta unidad de obra con mayor profusión de detalle es la francesa, desarrollada por el *Setra* (organismo integrado en el *Cerema* desde 2014). También aborda el tema el organismo *Austroads* (Australia y Nueva Zelanda), con la adición de algún detalle por parte de la administración de carreteras del estado de Australia Occidental.

El resto de normativa consultada, refiere el tema de la posible acumulación de aguas subterráneas en puntos singulares del trazado, tales como la transición que nos ocupa, normalmente por la vía de la ejecución de capas drenantes, aunque no se han encontrado más detalles concretos para este aspecto que los que se desarrollan a continuación.

### 5.2 Francia

#### 5.2.1 Recomendaciones para el drenaje de la carretera (Setra 1982)

Las *Recomendaciones* [1] de 1982 fueron una de las referencias bibliográficas que se tuvieron en cuenta para la redacción de la OC 17/2003.

Su apartado 1.3 se refiere al objeto de esta nota indicando que frecuentemente se olvidan los flujos de agua que se producen longitudinalmente bajo la calzada. Si el perfil longitudinal de desmonte presenta una pendiente importante se produce un flujo longitudinal alimentado por infiltraciones a través de la calzada, arcnos, mediana y taludes. El agua se puede acumular en la transición desmonte-terraplén o en otros obstáculos diversos. En la Figura 5 se muestra cómo se pueden captar los flujos longitudinales.

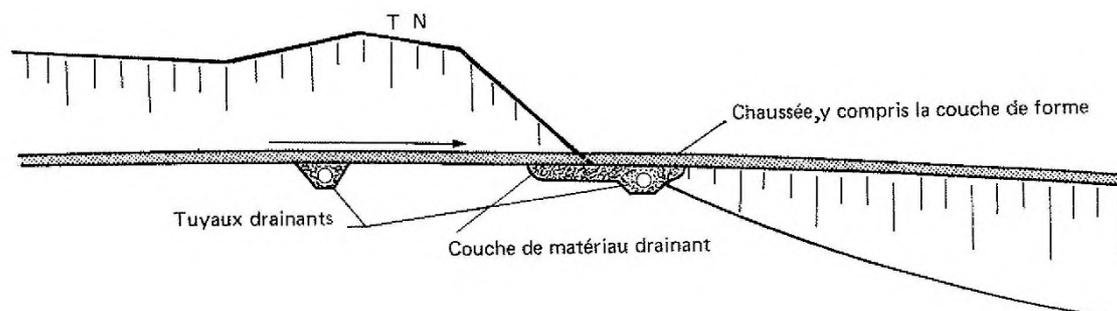
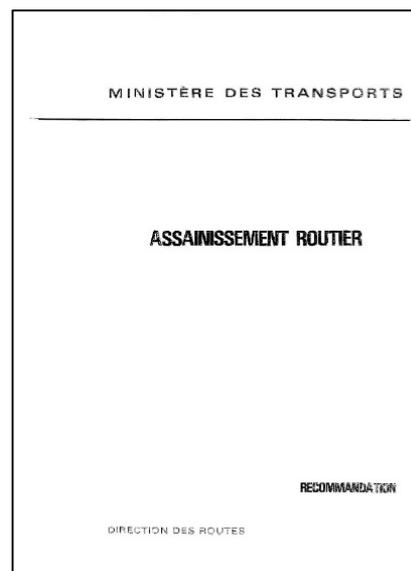


Figura 5.- Captación de flujos longitudinales (Setra 1982, Fig 11)



Se indica que, para pendientes longitudinales mayores del 3%, se coloquen zanjas drenantes espaciadas de 100 a 150 m, así como una capa drenante en la transición desmonte-terraplén. Además, se refiere que este mismo fenómeno de flujo longitudinal se puede producir en un relleno bajo una calzada con pendiente longitudinal importante.

**5.2.2 Guía técnica de drenaje de la carretera (Setra 2006)**

La siguiente versión del texto anterior, la *Guía* [2] de 2006, dedica a este aspecto parte de los apartados 2.2.4 y 2.3.1, en que recomienda tratar la zona de transición desmonte-terraplén de forma sistemática, retirando los materiales superficiales y drenando cualquier agua infiltrada. Para ello remite a la Figura 6 y a la Figura 7.

Extiende la recomendación a zonas de fuerte pendiente ( $\geq 5\%$ ) y gran longitud ( $\geq 500$  m) para promover la captación de agua evitando la saturación de las capas de explanada y firme mediante la ejecución de drenes (Figura 8), nótese que estos drenes se disponen incluso en secciones en terraplén.

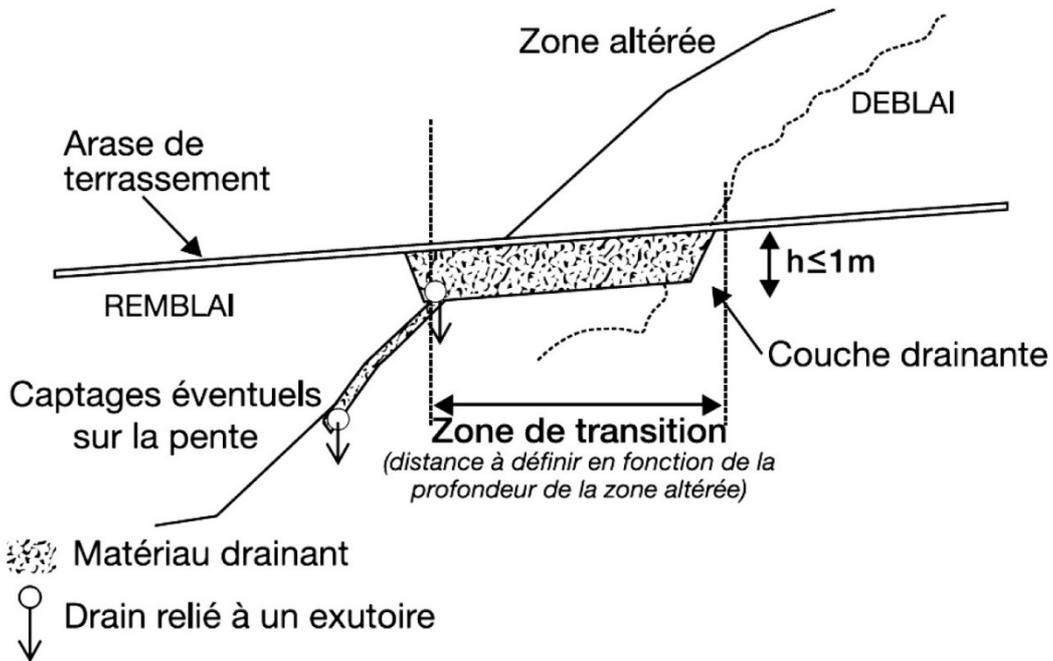
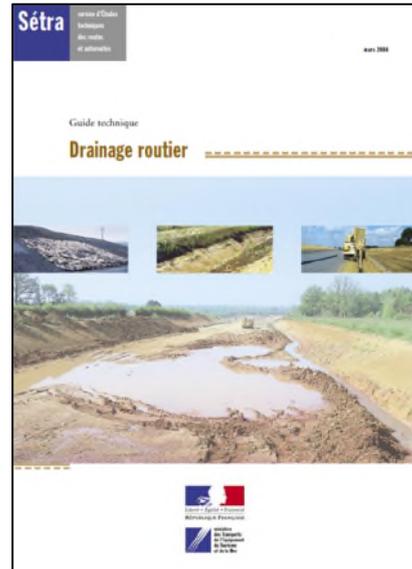


Figura 6.- Ejemplo longitudinal de utilización de capa drenante en una transición desmonte -terraplén para permitir la mejora de la zona alterada (Setra 2006, Esquema 13)

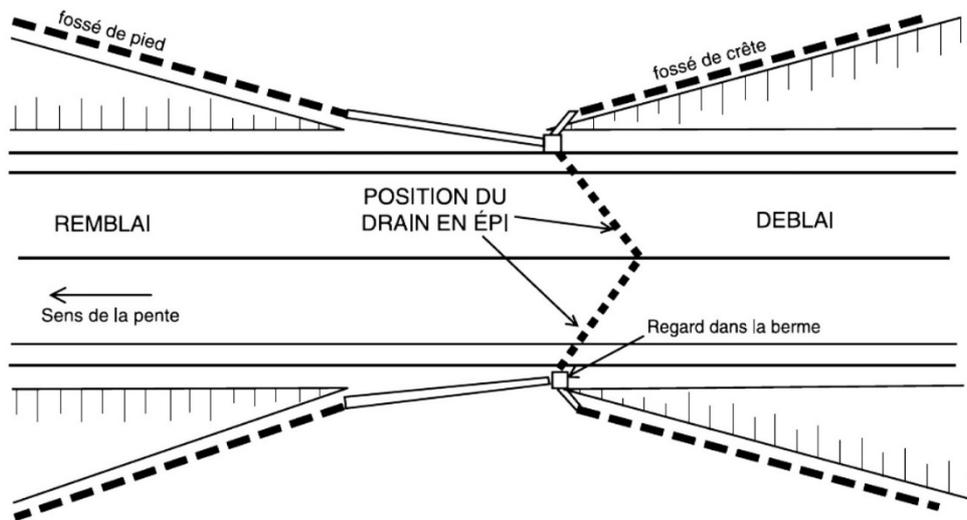


Figura 7.-Ejemplo de planta de drenaje en una transición desmonte-terraplén (Setra 2006, Esquema 14)

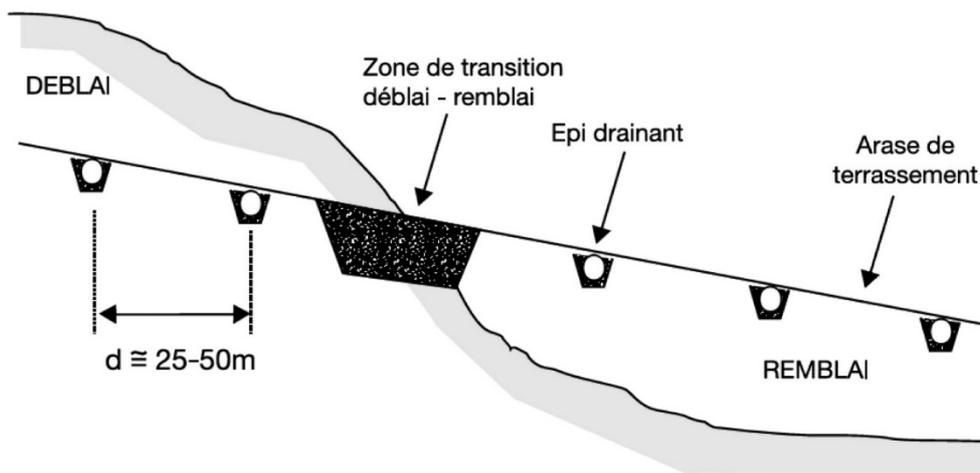


Figura 8.- Ejemplo de perfil longitudinal de ubicación de drenes transversales (Setra 2006, Esquema 15)

### 5.3 Australia y Nueva Zelanda

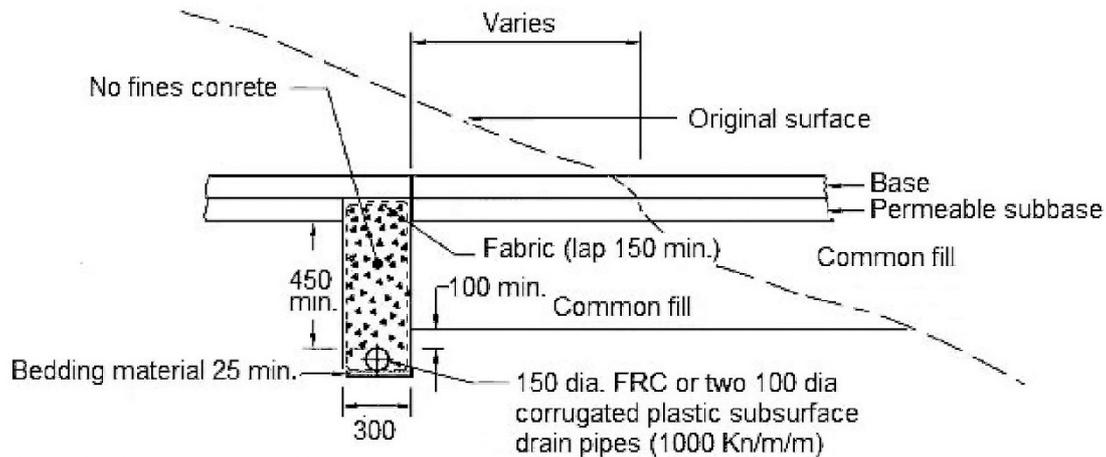
El organismo Austroads (Australia y Nueva Zelanda) publica la *Guía para el proyecto de carreteras* [3] por volúmenes, que en su versión vigente incluye documentos desde 2009 hasta 2019. En 2013 apareció la parte 5 dedicada a drenaje, que a su vez incluye el tomo A, que comprende<sup>6</sup>, entre otros aspectos, el drenaje subterráneo de las carreteras.



<sup>6</sup> Austroads (2013): Guide to Road Design. Part 5A: Drainage - Road Surface, Networks, Basins and Subsurface



El apartado 8.6.2 se dedica a los drenes transversales sub-superficiales, para los que refiere que se deben considerar en una serie de casos, entre ellos, cinco metros (5 m) rasante arriba de la transición desmonte-terraplén, e incluye<sup>7</sup> la Figura 9.



Note: All dimensions in millimetres

Figura 9.- Drenes transversales bajo pavimento<sup>8</sup> (Austroads 2013, Fig 8.3)

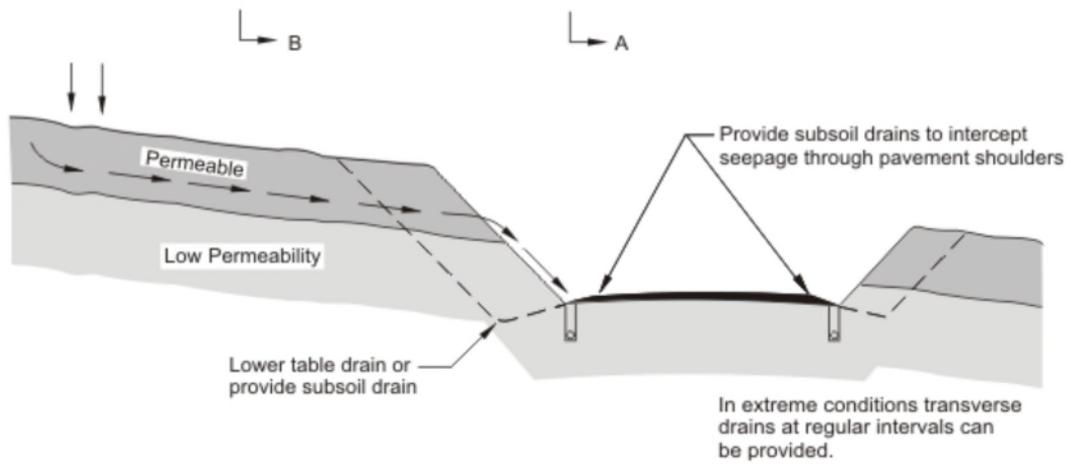
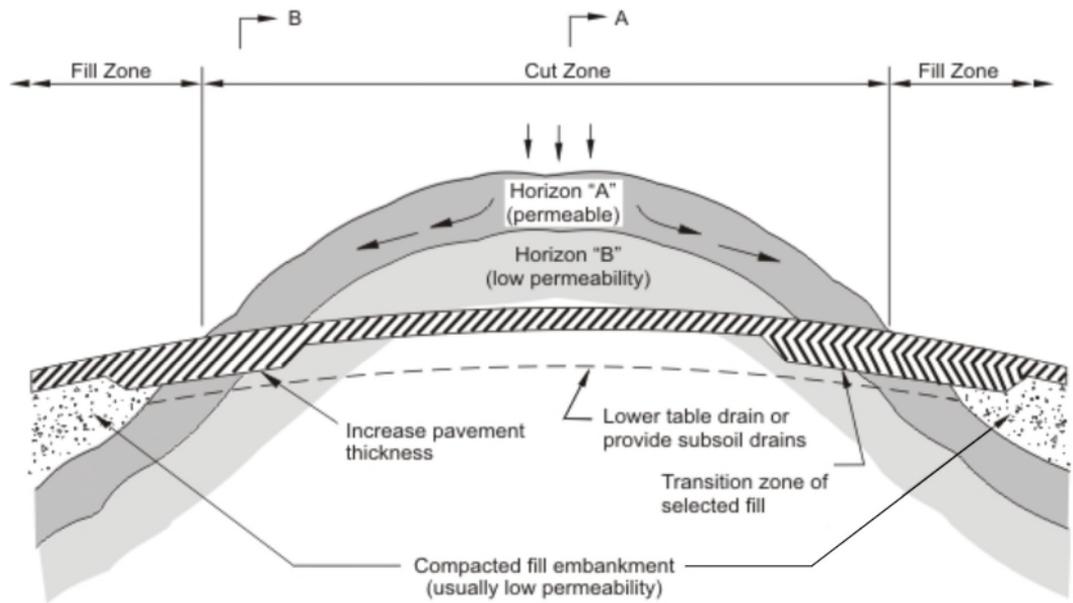
Además, el organismo de carreteras del estado de Australia Occidental MRWA, elaboró en 2015 un suplemento<sup>9</sup> al documento anterior que añade un caso al apartado 8.6.1, relativo en realidad a drenes sub-superficiales en este caso longitudinales, pero que aporta la Figura 10 donde se observa el concepto que nos ocupa (en un acuerdo cóncavo en desmonte), por medio de zonas de transición de mayor espesor, con selección de materiales y que comprende además la inclusión de una nota al pie sobre drenes transversales en la sección por A-A.

<sup>7</sup> Austroads toma la figura de uno de los detalles genéricos que comprenden el *Standard Drawing SD 1621, Subsurface Drain. Location* del organismo VicRoads del estado de Victoria

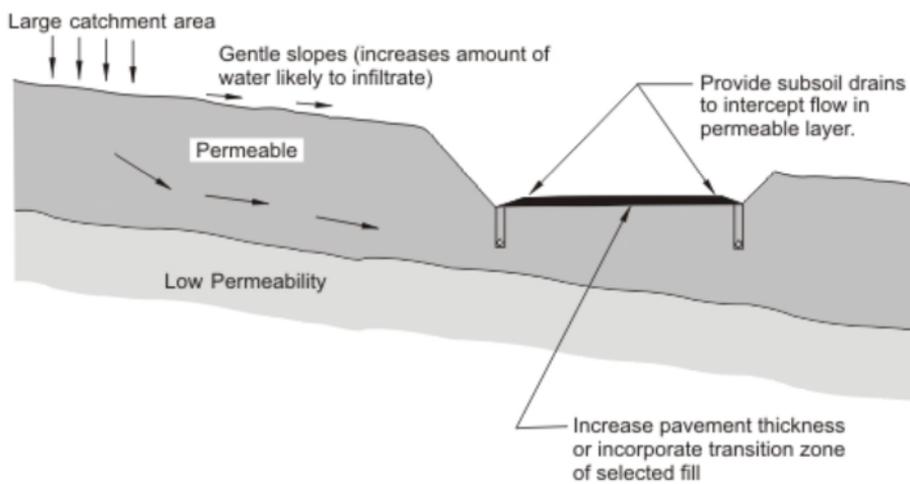
<sup>8</sup> El material de relleno de la zanja que se designa como *No fines concrete* se define en el pliego general *VicRoads Standard Specification, Section 704 Subsurface Drainage* como una mezcla en central de material filtro granular grueso B4 (pases por # 26,5 mm:100%, # 19 mm: 70-100%, # 13,2 mm: 0-30%, # 9,5 mm: 0-10%, # 2,36 mm: 0-5%, # 0,075 mm (finos): 0-3%) con un 4% en masa de cemento y un 3,5% en masa de agua

<sup>9</sup> Main Roads Western Australia (2015): MRWA Supplement to Austroads Guide to Road Design - Part 5A. Disponible únicamente vía web como recurso electrónico:

<https://www.mainroads.wa.gov.au/technical-commercial/technical-library/road-traffic-engineering/guide-to-road-design/mrwa-supplement-to-the-austroads-guide-to-road-design-part-5a/?q=drainage&take=20&filter=&type=Guideline&page=1&sectionFilter=731&node=>



Section A-A



Section B-B

Figura 10.- Drenes subterráneos en desmontes (MRWA 2015, Fig 8.14)



## 6 Ejemplos en imágenes: fotografías y planos

### 6.1 Fotografías

Se recogen una serie de ejemplos en la Red de Carreteras del Estado



Foto 11.- Asiento en la transición desmonte-terraplén (véase la barrera metálica en la mediana) por existencia de acuerdo vertical cóncavo como se indica en el croquis. El talud en desmonte en la parte derecha de la imagen es bastante corto (no así el de la izquierda); no obstante, ello es suficiente para materializar una transición a sección completa con una importante componente longitudinal.

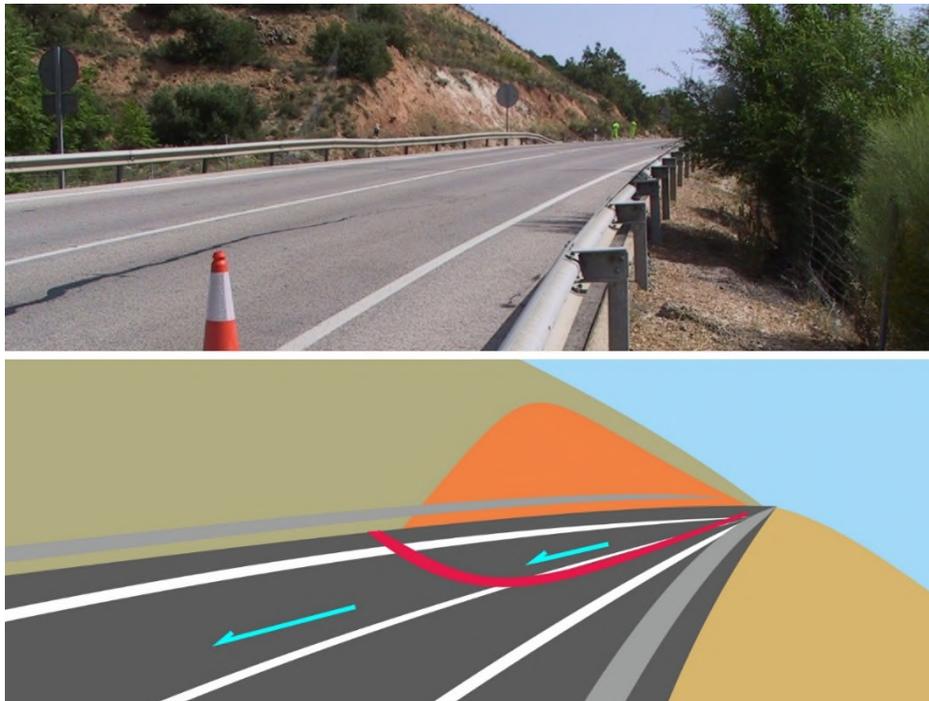


Foto 12.- Transición desde sección transversal a media ladera, a sección transversal en terraplén, en sentido descendente de la rasante. En esta situación el contacto entre desmonte y terraplén tiene la forma indicada en la figura. Obsérvese el asiento gracias en la barrera metálica junto al desmonte



Foto 13.- Al caso general objeto de esta nota se unen materiales margosos tanto en fondo de desmonte como en el núcleo del terraplén, lo que acentúa más la problemática de la transición, que se traduce en la formación de una onda larga perceptible en la barrera rígida de mediana



Foto 14.- En un caso bastante similar al de la Foto 13, los materiales del desmonte y del núcleo del terraplén son arcillas margosas con CBR bajo, lo que acrecienta el fenómeno objeto de esta nota



Foto 15.- Ejecución de zanja drenante transversal en la transición de un desmote hacia un terraplén de acceso a una estructura



Ortofoto 16.- Emplazamiento de la Foto 15. Nótese la gran longitud y fuerte pendiente (Plano 25) del desmote que antecede al terraplén de acceso al viaducto



Foto 17.- Vista del desmote que antecede al terraplén y de la parte superior de la Foto 15 durante su ejecución, en imagen tomada desde el terraplén que la sucede



Foto 18.- Profundidad de excavación de la zanja en la obra de la Foto 15



Foto 19.- Ejecución de la zanja de la obra de la Foto 15



Foto 20.- Vista del final del desmonte que antecede al terraplén y de la parte superior de la zanja de la Foto 15 durante su ejecución, tomada desde el final desmonte. Imagen inmediatamente posterior en el tiempo a la de la Foto 19.



Foto 21.- Detalles de ejecución de la zanja de la Foto 15. Geotextil de separación y filtro, tubería drenante, relleno de grava y excavación hacia punto de vertido



Foto 22.- Ejecución mediante zanjadora, de zanja drenante intermedia en desmonte de gran longitud



Foto 23.- Imagen de la Administración Francesa relativa a la ejecución de una zanja drenante en la transición de un desmonte (déblai), hacia un terraplén (remblai) en sentido descendente de la rasante  
[http://wiklimat.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Wikigeotech:Zone\\_de\\_transition](http://wiklimat.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Wikigeotech:Zone_de_transition)



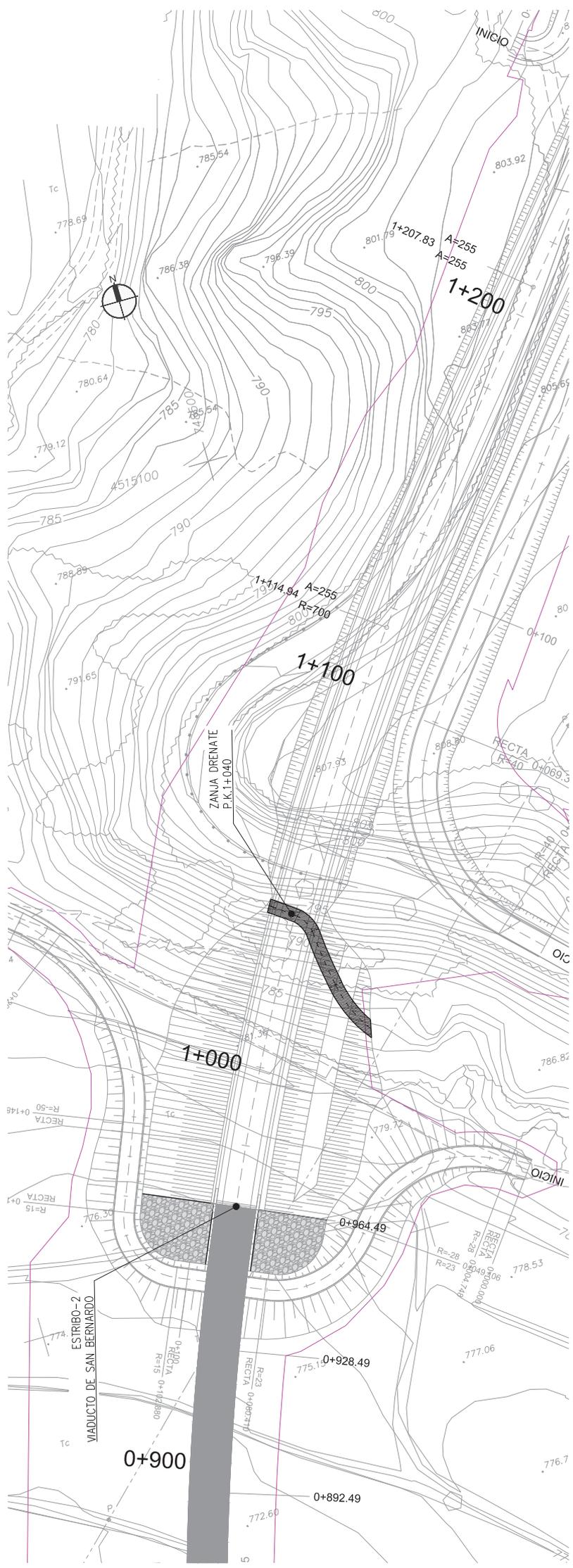
Foto 24.- Ejemplo de ejecución a posteriori, con la carretera en servicio

## 6.2 Planos

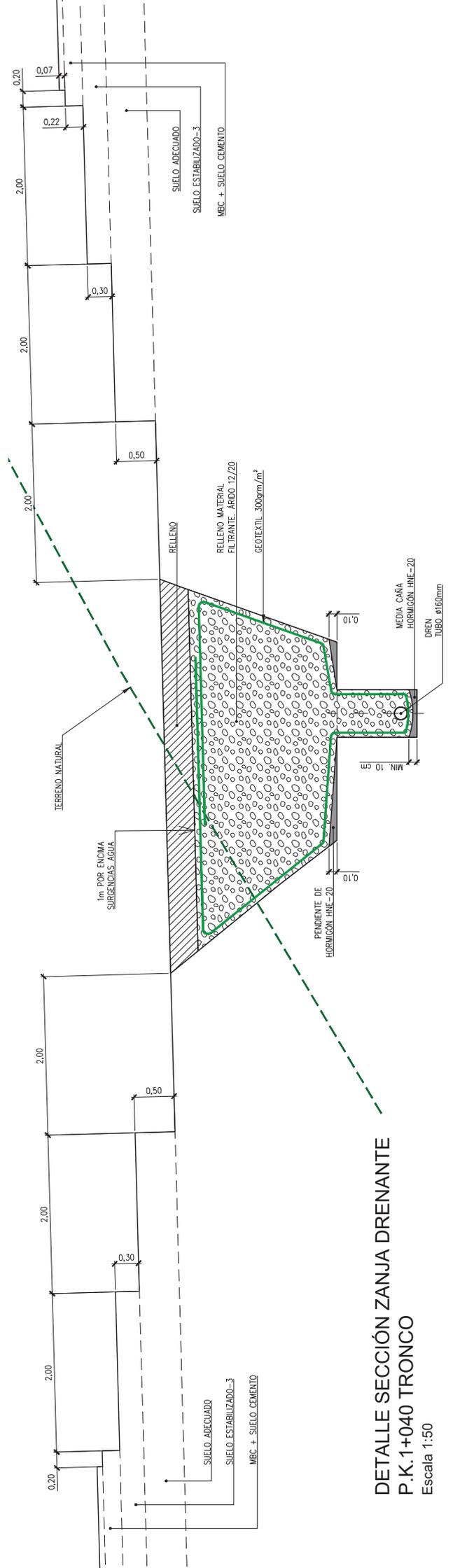
### 6.2.1 Ejecución como obra nueva

Plano 25.- Ejecución como obra nueva: Planta, perfil longitudinal y sección, de la zanja de la Foto 15

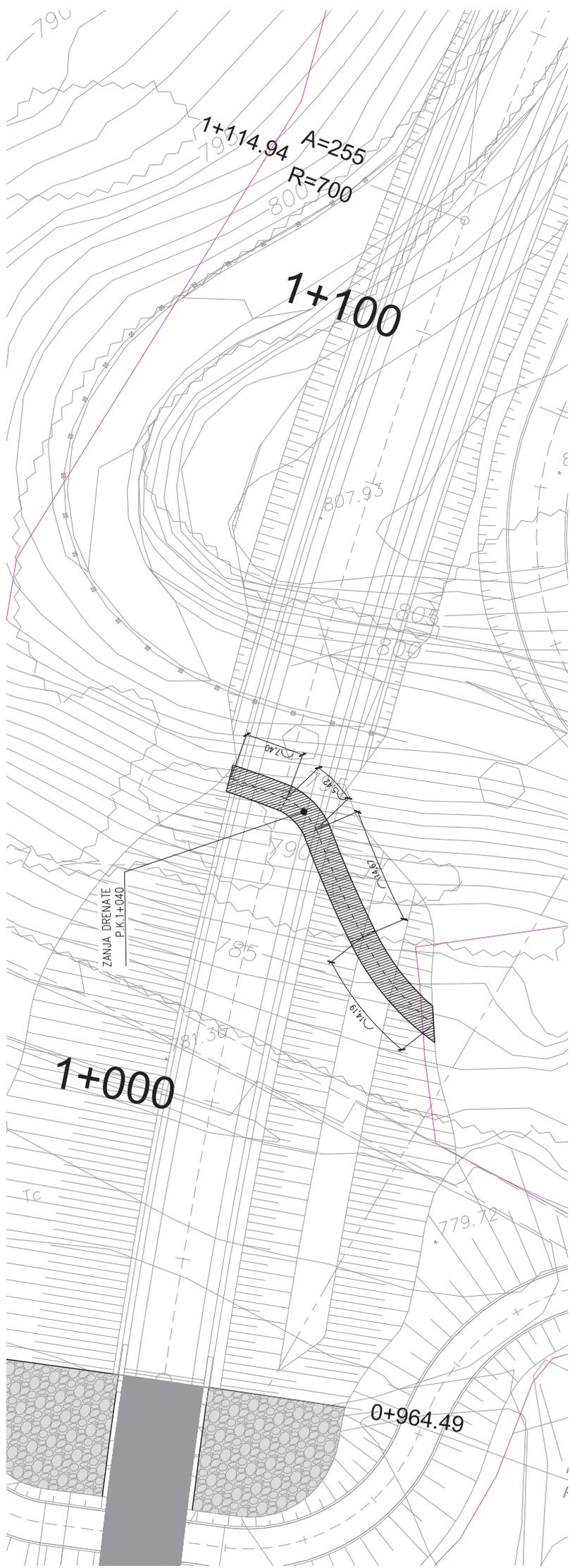
Consta de dos hojas que se incluyen a continuación



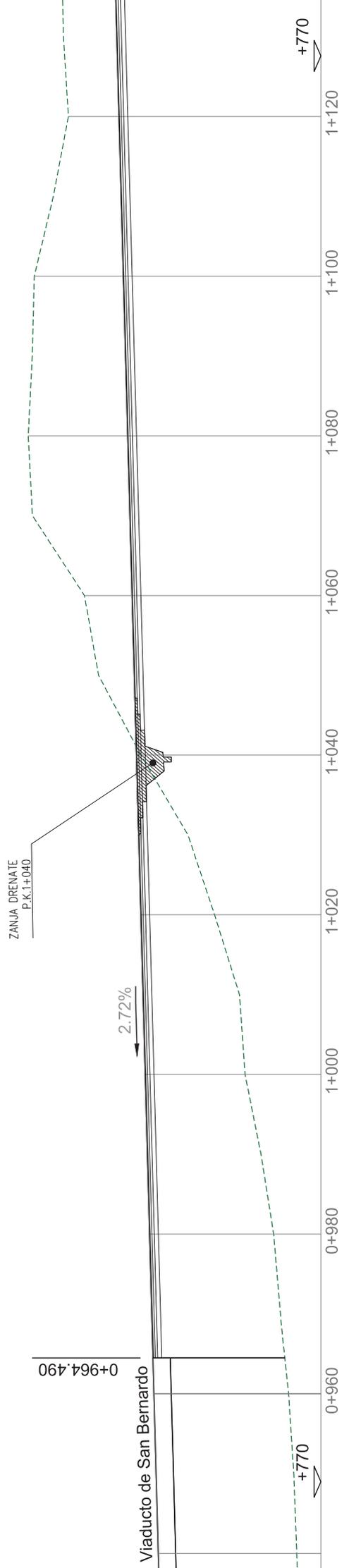
**PLANTA GENERAL**  
Escala 1:1000



**DETALLE SECCIÓN ZANJA DRENANTE**  
P.K.1+040 TRONCO  
Escala 1:50



PLANTA DE DETALLE  
Escala 1:500



PERFIL LONGITUDINAL TRONCO  
Escala 1:500

## 6.2.2 Ejecución a posteriori, con la carretera en servicio

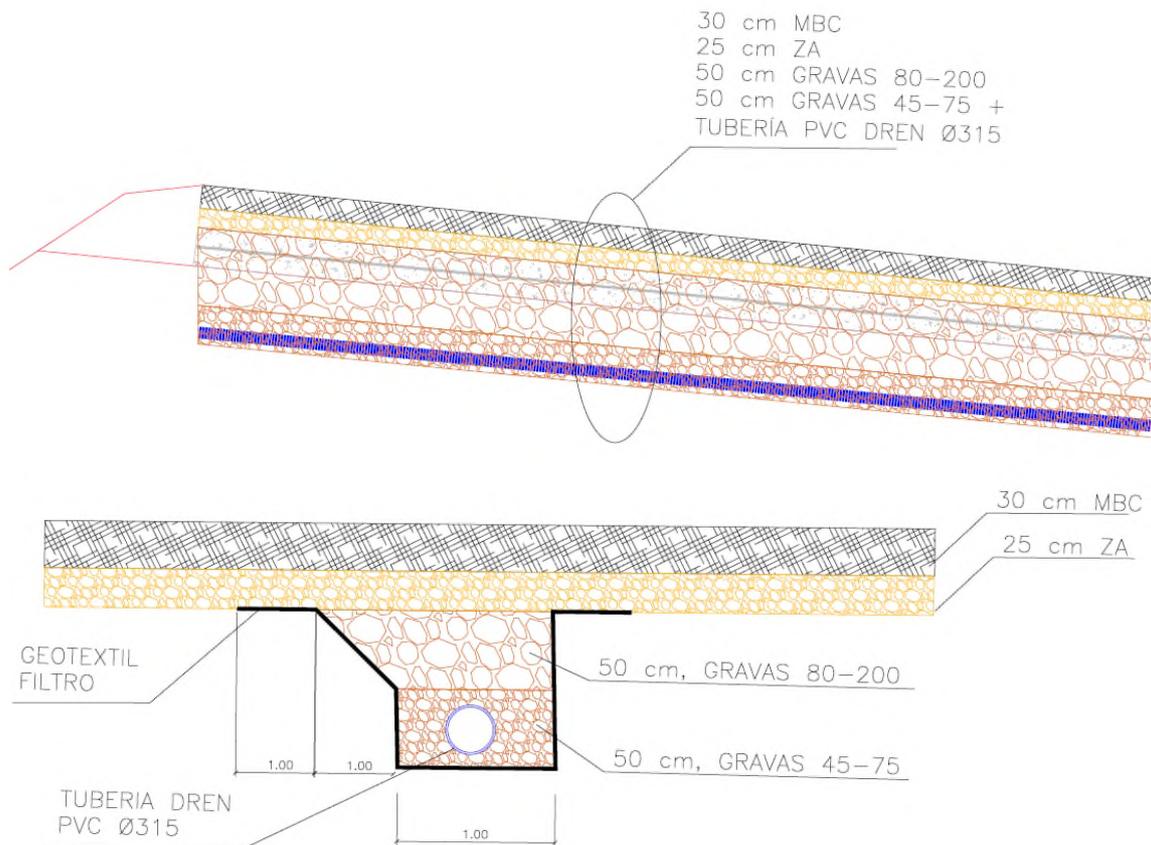


Figura 26.-Ejecución a posteriori: secciones transversal y longitudinal a la carretera, detalles de la zanja de la Foto 24

## 7 Cuestiones particulares

### 7.1 Introducción

Los apartados precedentes han tratado de arrojar luz, de manera general, sobre una unidad de obra que pretende la mitigación de un fenómeno relativamente habitual, que puede identificarse de manera sencilla.

No obstante lo anterior, el problema de las transiciones objeto de esta nota no siempre se presenta de forma pura, sino que en ocasiones lo hace de manera más compleja, incluso confusa, por aparecer ligado a geometrías de transición complicadas, por constituir una pequeña parte de un problema global de drenaje del fondo de una trinchera, etc.

En este apartado se exponen algunas consideraciones sobre casos que encajan en el objeto de esta nota, pero que constituyen singularidades que deberían abordarse una vez se haya asimilado, plenamente, el contenido de los apartados precedentes. Se trata de casuísticas muy particulares que no deben empañar el panorama global hasta aquí expuesto.



## 7.2 Discusión sobre la cota de inserción de la zanja

En el detalle reflejado en la OC 17/2003 (Figura 1) la coronación de la zanja drenante se emplaza debajo de las capas para la formación de explanada. Aunque esta posición es muy habitual, no es la única posible

Tal y como se indica en el epígrafe 4.7.2 de esta nota, la cota de inserción de la zanja en la sección de la carretera, o de ubicación de su plano superior, es una cuestión que requiere una definición específica para cada caso, pues debe procurar simultáneamente una captación lo más directa posible de las aguas infiltradas y no suponer una banda de menor compacidad que el terreno que la rodea, que pueda presentar reflejo en la rodadura.

Lo ideal, desde el punto de vista del cumplimiento estricto de la OC 17/2003, sería proceder a la inserción de la zanja en el plano - interfaz por el que se define el caso de aplicación al análisis del recorrido de las aguas infiltradas<sup>10</sup> (E o S) que resulte de la aplicación del epígrafe 2.1.2.1 de dicha Orden.

Además de en la Figura 27, en los detalles de drenaje subterráneo para el proyecto de secciones transversales tipo que constituyen los apéndices 2 y 3 a la Orden, puede observarse la posición de las interfaces en cuestión: sobre ellas se incluyen unas flechas horizontales con la punta según la dirección del flujo, que para mayor claridad en nuestra exposición se han rodeado de circunferencias rojas en la Figura 28.

Figura 28.- Ejemplos de detalles de drenaje subterráneo: el plano-interfaz por el que se supone la mayor parte del flujo de agua infiltrada se representa mediante flechas, a las que se ha añadido una circunferencia roja (OC 17/2003, detalles FD03, EM11 y variante al EM11 con capa inferior de baja permeabilidad)

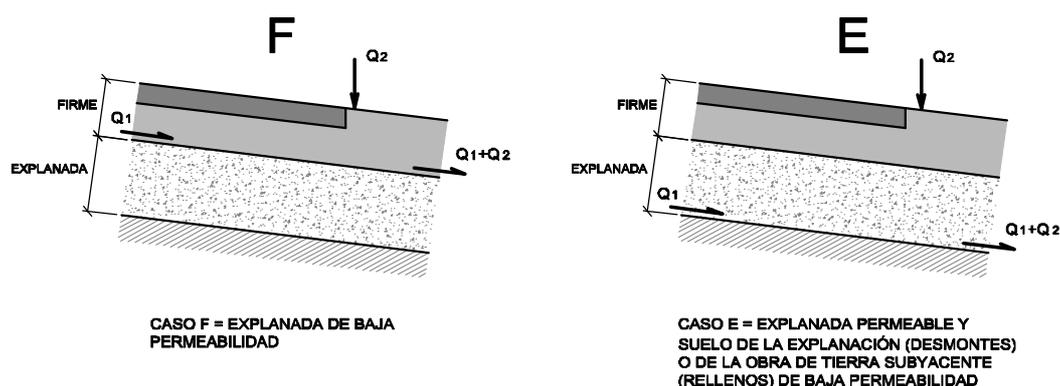


Figura 27.,. Casos F, E (OC 17/2003, extracto de la Fig 2.3)

<sup>10</sup> A efectos prácticos puede exceptuarse el caso S, sumamente infrecuente y que puede resolverse, respecto de la inserción de la zanja, como un caso E.

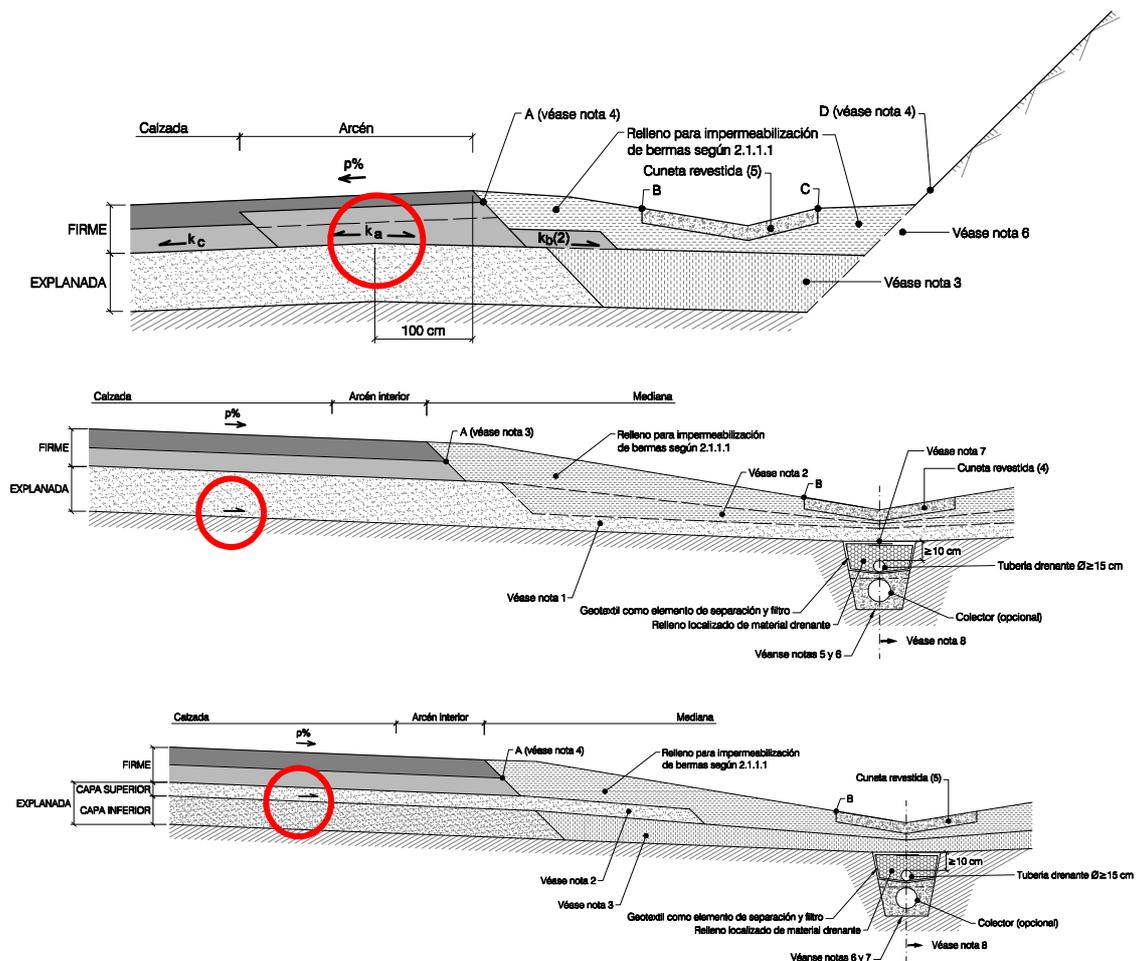


Figura 28.- Ejemplos de detalles de drenaje subterráneo: el plano-interfaz por el que se supone la mayor parte del flujo de agua infiltrada se representa mediante flechas, a las que se ha añadido una circunferencia roja (OC 17/2003, detalles FD03, EM11 y variante al EM11 con capa inferior de baja permeabilidad)

Así pues, cabrían hasta tres posibilidades teóricas de inserción, en obras de nueva planta (Figura 28):

- Inserción en el plano inferior de las capas para la formación de explanada, que resultaría de aplicación al caso E.
- Inserción en un plano-interfaz intermedio, dentro de las capas para la formación de explanada, cuando la explanada está constituida por dos capas de materiales diferentes y la inferior es de baja permeabilidad<sup>11</sup>. Se trataría de la variante al caso E, denominada *caso E con capa inferior de baja permeabilidad*.
- Inserción en el plano inferior de las capas de firme (o superior de las de formación de explanada), que resultaría de aplicación al caso F.

<sup>11</sup> Este caso resulta de aplicación, en la práctica, a un reducido número de secciones de las definidas en la 6.1 IC, por lo que resulta poco frecuente.



Existe un cuarto caso, cuando la zanja transversal se ejecute a posteriori, con la carretera en servicio, en que la zanja interseca tanto a las capas para la formación de explanada, como a las de firme.

En el momento de redacción de la OC 17/2003, la opción escogida para representar en la Figura 1 fue la primera de las enumeradas (caso E), aunque el texto no cierra su posición definiendo una ubicación concreta.

Es cierto que, con la disposición de la Figura 1, en los casos F que constan de secciones de firme constituidas por capas de firme granulares sobre explanadas formadas por capas de suelo estabilizado in situ, y por tanto de menor permeabilidad (por ejemplo ZA sobre S-EST3), pueden producirse flujos de circulación de agua por la parte superior de la sección que no llegarían a ser captados por la zanja drenante, si bien en estos casos, de forma general, la alteración de la transición desmonte-terraplén debiera ser menor que en un caso E, ya que el flujo continuaría (teóricamente) discurriendo por las capas de firme con poca infiltración a la explanada.

En los casos F en que se disponga GC o SC (bastante menos permeable que la ZA), el caso podría suponerse como un flujo, más o menos difuso, por toda la capa de firme o incluso únicamente por su parte superior.

Cuando se pretenda captar este flujo de agua en los casos F, se puede aumentar la cota superior de la zanja drenante hasta alcanzar las capas inferiores del firme, pero hay que ser consciente de que, en ese caso, se producirá una interrupción en las capas de formación explanada y que cuanto más superficial sea la zanja, mayor podría ser su reflejo en sentido transversal, sobre el pavimento, lo que no es óbice para que se proyecte cuando se considere adecuado atendiendo al contraste de permeabilidades entre capas.

Por todo lo anterior y dado que no existe una posición perfecta para la inserción de la zanja (nótese el caso extremo de la inserción *a posteriori*), puesto que ni siquiera en los casos E y F se puede suponer el 100% del flujo de agua infiltrada sobre la capa que define dicho modelo y que lo que es positivo atendiendo a unos factores, puede ser contraproducente para otros, hace que no exista un óptimo inequívoco a definir a priori y que las cuatro posibilidades recién apuntadas sean válidas cuando se reúnan sus requisitos de aplicación.

### **7.3 Afloramiento generalizado de aguas subterráneas en el fondo del desmonte**

Este fenómeno, habitual en un buen número de desmontes, puede provocar la circulación de agua por el interior de las capas para la formación de explanada y de firme. Se trata de una cuestión independiente del objeto de esta nota y muchas veces concomitante con él.

Así, al caso general de la infiltración de escorrentía superficial en la transición, que se ha definido por consideraciones puramente geométricas, puede añadirse la existencia de aguas en el fondo de una trinchera. Estas aguas, que deben estudiarse desde el punto de vista de la hidrogeología, pueden suponer volúmenes o caudales que superen los del fenómeno objeto de esta nota.

La transición desmonte-terraplén en sentido descendente de rasante puede resultar crítica por sumarse volúmenes o caudales de las dos procedencias y el tratamiento a dar al problema, en la transición propiamente dicha, no puede sino abundar en la misma idea general: la de la zanja transversal.

No obstante, en casos de afloramiento de agua freática en el fondo de una trinchera, el problema debe abordarse de manera global, a la luz de la OC 17/2003. En este caso se hace necesaria la definición de una red de drenaje subterráneo (transversal, longitudinal, bidimensional de gran ocupación en planta sobre el fondo de la trinchera, sobre los taludes) que garantice un rebajamiento suficiente del nivel freático.

La definición de esta red requiere un estudio específico en función de los puntos de afloramiento y de los caudales a evacuar y no puede quedar limitada a los contactos desmonte-terraplén. Esta problemática se resuelve generalmente mediante el empleo de mantos drenantes o drenes en espina de pez, cuya definición se encuentra recogida en los apartados 3.8 y 3.9 de la OC 17/2003, así como en actuaciones sobre los taludes en desmonte.

La posibilidad de combinar, en la transición propiamente dicha<sup>12</sup>, mantos drenantes con las zanjas que nos ocupan, llegando incluso a fundir ambos elementos en uno solo, está presente en la normativa francesa (Figura 6 y Figura 8) y australiana (parte superior de la Figura 10).

## **7.4 Afloramiento localizado de aguas subterráneas según alineaciones preferentes de flujo**

### **7.4.1 Fondo del desmonte**

Adicionalmente a las transiciones desmonte-terraplén, se pueden producir casos que generen patologías relativamente similares en otras zonas de la trinchera, en que existan una o varias alineaciones preferentes por las que se produce afloramiento o flujo de las aguas freáticas.

Estos casos se producen cuando se presenta una alternancia entre materiales del fondo, particularmente capas de roca de distinta composición y competencia, entre los que se produzca contraste de permeabilidad y rigidez. En condiciones desfavorables de buzamiento e hidrogeológicas, puede producirse la acumulación de agua en las capas más alterables del fondo de desmonte, lo que conlleva normalmente, pérdida de capacidad portante.

Puede ser el caso del relleno de una falla (por ejemplo, un plano de falla con relleno arenoso, que atraviesa el desmonte oblicuamente al eje de la carretera y que separa dos zonas de roca sana), de una zona fracturada en un fondo de roca sana, o de una banda de roca permeable entre otras más impermeables. Algunos de estas situaciones se recogen en la Figura 29.

---

<sup>12</sup> Nótese también el fenómeno habitual de alteración de la zona exterior del desmonte.

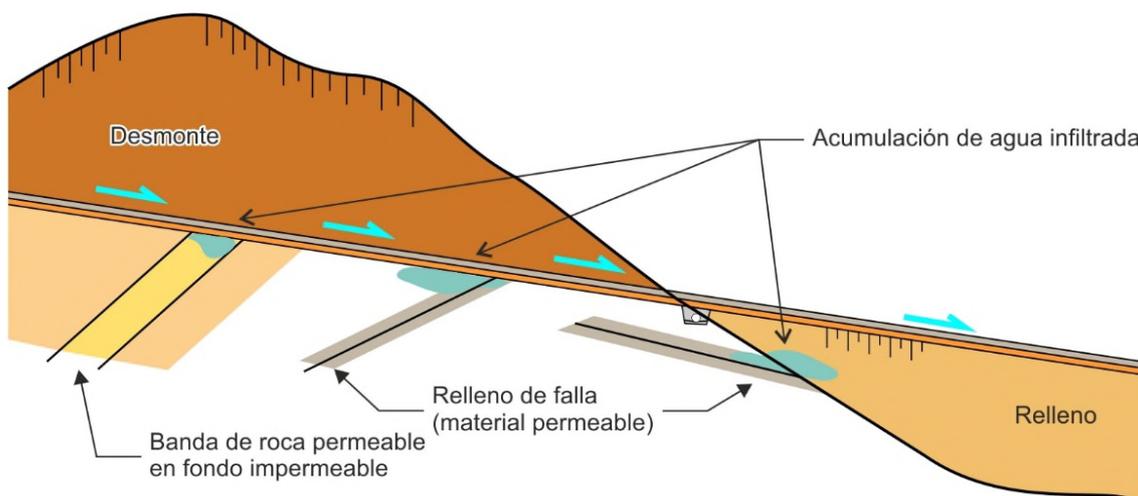


Figura 29.- Casos de afloramiento de agua según alineaciones preferentes de flujo

Estos casos particulares requieren de un estudio específico, a la vista de las condiciones del fondo de excavación, que concluya una definición específica de la red de drenaje subterráneo necesaria, que a menudo se traduce en zanjas drenantes transversales a la excavación (por ejemplo, zanjas drenantes sobre las bandas de roca permeables: Foto 30 y Foto 31), solución que guarda un importante parecido con el objeto de esta nota.

Estas zanjas incluso pueden conceptuarse dentro de las zanjas intermedias en los desmontes de gran longitud (apartado 4.5 y Figura 8), si bien no equiespaciadas o dispuestas de forma un tanto aleatoria, sino como captación de surgencias previamente detectadas.



Foto 30.- Ejecución de zanjas para captación de afloramientos según alineaciones



Foto 31.- Detalle de afloramiento de agua en una de las zanjas de la Foto 30

#### 7.4.2 Cimiento del relleno aledaño

En la Figura 29 se incluye también el caso en que una falla aportase agua al cimiento del relleno aledaño, lo que por razones geométricas se produce siempre a una cota más baja que la del fondo del desmonte y en las inmediaciones de la transición.

Esta situación es una de las que comprende el apartado 3.11.1 y la figura 3.7 de la OC 17/2003, que debiera corregirse mediante la ejecución de drenes de interceptación.

##### *“3.11 DRENES DE INTERCEPTACIÓN*

*Son zanjas drenantes provistas por lo general de tubería drenante en su parte inferior, que tienen por objeto la captación de aguas subterráneas, o el*



rebajamiento del nivel freático, y que se disponen transversalmente al flujo a captar.

Pueden situarse en cimientos de rellenos o al pie de los mismos, al pie o en coronación de los desmontes, en bermas intermedias, etc.

### 3.11.1 EN CIMIENTO DE RELLENOS

Cuando los rellenos estén cimentados sobre laderas naturales, y se prevea la presencia de agua en la zona de contacto del terreno con el relleno, se deberán proyectar las obras necesarias para mantener drenado dicho contacto, de acuerdo con lo especificado en el apartado 330.6.1 del PG-3.

... La pendiente longitudinal mínima de estos drenes será del uno por ciento (1%).

Al proyectar estos drenes, debe tenerse en cuenta que la construcción del relleno puede alterar la distribución de las zonas de afloramiento de las aguas en el terreno natural bajo el mismo, por la eliminación de zonas permeables superficiales, obstrucción de capas permeables profundas, etc.

Lo especificado en este apartado también será de aplicación general para el drenaje del cimiento de la transición desmonte-relleno (véase figura 3.7)"

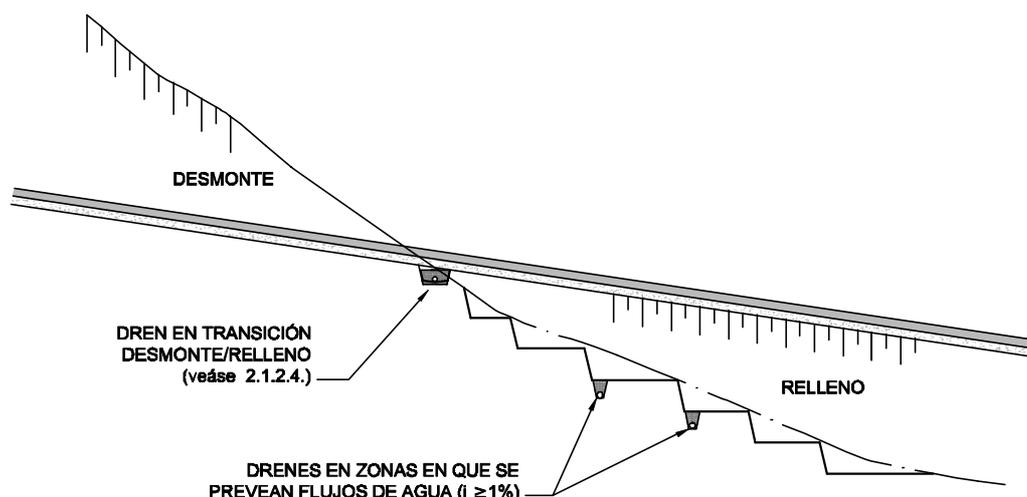


Figura 32.- Empleo de drenes de interceptación en una transición desmonte-relleno (OC 17/2003, Fig 3.7)

## 7.5 Zanjas auxiliares

En desmontes cuyo fondo está constituido por materiales de baja permeabilidad<sup>13</sup> (por ejemplo, suelos cohesivos homogéneos, sin presencia de otros materiales) pueden presentarse dificultades de drenaje. Dentro de ellos,

<sup>13</sup> En hidrogeología este concepto se conoce como *acuicludo*, que se define como el estrato o formación geológica de muy baja permeabilidad, capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua, incluso hasta la saturación, pero que no es capaz de transmitirla bajo gradientes hidráulicos comunes. Habría que añadir que en los sistemas hidrológicos subterráneos constituyen estratos o formaciones geológicas confinantes y que normalmente son de naturaleza arcillosa.

las transiciones hacia el terraplén en sentido descendente de la rasante, pueden resultar especialmente problemáticas.

En estos casos, la inspección visual puede llevar a engaño, al no apreciarse a simple vista la presencia de agua en la explanada de forma manifiesta, aunque el nivel de saturación esté próximo a la superficie, cuando no directamente en el fondo de caja del desmante.

Un sistema que se ha llevado a la práctica con éxito ha sido la ejecución de una serie de zanjas auxiliares, que crean líneas de alta permeabilidad dentro del nivel cohesivo del fondo del desmante, ayudando a sangrar sus últimos metros o incluso decámetros. Las zanjas auxiliares se llevan a la zanja drenante principal, situada en la transición desmante-relleno que constituye el objeto de esta nota (Figura 33).

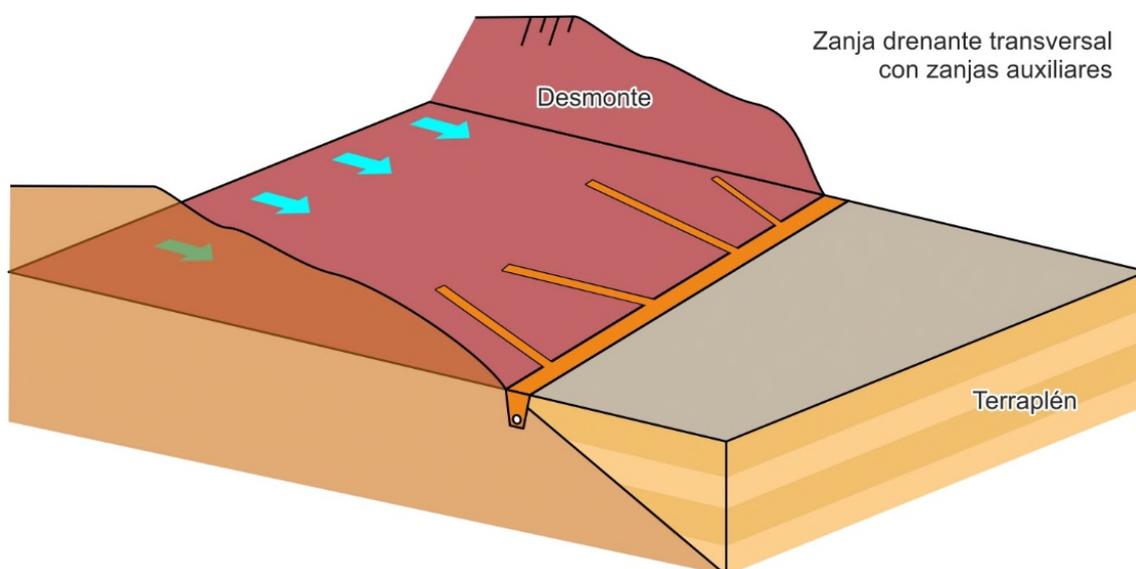


Figura 33.- Sistema de zanja transversal en la transición desmante-terraplén, con zanjas auxiliares para drenaje de fondo de desmante de baja permeabilidad

## 7.6 Generalización del objeto de esta nota a determinados casos de transiciones en secciones a media ladera

El concepto objeto de esta nota es susceptible de generalización *mutatis mutandis*, a cualquier tipo de transición por la que sea previsible la circulación de agua y que pueda ocasionar un reblandecimiento de los materiales compactados, con reflejo en la superficie de la carretera.

Un caso de generalización serían las transiciones entre semisecciones en desmante y en terraplén en secciones transversales a media ladera, en las que puede disponerse una zanja, cuyo trazado podría resultar fundamentalmente longitudinal.



En la Figura 34 se representa un caso real en una carretera con fuerte pendiente longitudinal y peralte hacia el desmonte, sin cama de hormigón en el fondo de zanja, por lo que se dispuso una lámina impermeabilizante.

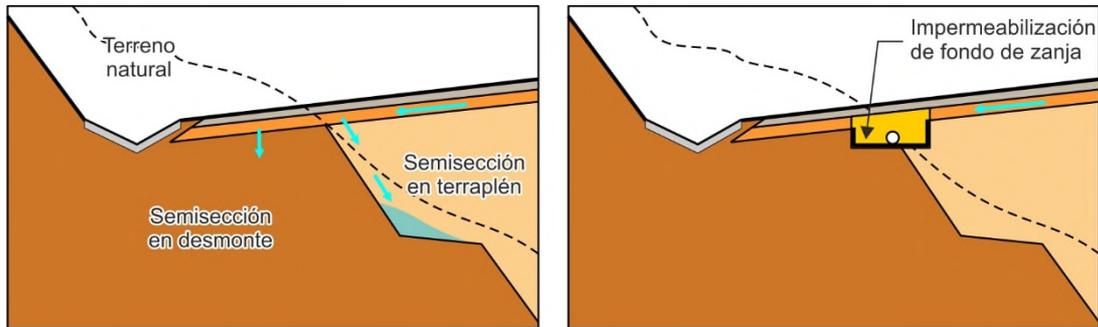


Figura 34.- Caso de zanja longitudinal en la transición de una sección transversal a media ladera. Se dispuso lámina de impermeabilización como fondo de zanja.

## 8 Referencias bibliográficas

- [1] Francia. Ministère des Transports-LCPC-Setra (1982): Recommandation pour l'assainissement routier
- [2] Francia. Setra (2006): Guide technique: Drainage routier
- [3] Australia y Nueva Zelanda. Austroads (2009 - 2019): Guide to Road Design