

El proyecto deberá evaluar expresamente en los anejos correspondientes, la necesidad de introducción de elementos específicos de drenaje subterráneo, de acuerdo con los principios enunciados en este documento, en función, al menos, de los siguientes factores:

- **Climáticos:** pluviometría, régimen de heladas, etc.
- **Terreno natural:** condiciones hidrogeológicas, coeficientes de permeabilidad, susceptibilidad frente al agua, etc.
- **Geometría de la carretera:** pendientes longitudinales y transversales, transiciones desmonte-terraplén, etc.
- **Sección transversal:** sección de firme de calzada y arcenes, materiales para la constitución de medianas y bermas, tipo de explanada, materiales constitutivos de los rellenos, etc.

A continuación se indican los criterios básicos que deben seguirse en el proyecto del drenaje subterráneo de una carretera.

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

2.1.1. INFILTRACIÓN

La infiltración puede producirse principalmente de los siguientes modos:

- Infiltración vertical, en la que predomina la componente vertical del flujo de agua.
- Infiltración horizontal, en la que predomina la componente horizontal del flujo de agua.

2.1.1.1. Infiltración vertical

Infiltración a través del pavimento de la calzada y arcenes

En las carreteras para las que resulta de aplicación este documento (véase apartado 1.1), debe considerarse que el pavimento, en calzada y arcenes, es esencialmente impermeable.

De este modo, las aguas de lluvia que caigan sobre el pavimento, escurrirán según la línea de máxima pendiente en cada punto. Su evacuación quedará garantizada cuando se cumplan las prescripciones sobre pendiente longitudinal y transversal, establecidas en las normas 3.1 IC Trazado y 5.2 IC Drenaje superficial, o aquellas que las sustituyan.

No obstante, en caso de que en carreteras en servicio con pavimento bituminoso existieran juntas abiertas, desnivelaciones del perfil longitudinal o transversal, fisuras, grietas, u otro tipo de discontinuidades en la superficie pavimentada, éstas se llenarían de agua, produciéndose en general, la infiltración del agua retenida. En estos supuestos los actuales criterios sobre conser-

vación preventiva, además de los incluidos como técnicas de rehabilitación superficial o estructural en la norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes, correctamente interpretados y llevados a la práctica, deben ser suficientes para el restablecimiento de las condiciones de impermeabilidad superficial necesarias.

En pavimentos de hormigón, lo referente a la necesidad de sellado de las juntas en calzadas y arcenes se abordará de conformidad con lo especificado en las normas 6.1 IC Secciones de firme y 6.3 IC Rehabilitación de firmes. Adicionalmente a lo establecido en dichas normas, deberán sellarse las juntas transversales en zonas poco lluviosas (zonas pluviométricas 5 a 7 de la figura 2.2) en los siguientes casos:

- Cuando se encuentren sobre rellenos o fondos de desmante, constituidos por suelos tolerables con un contenido de yesos, según NLT 115, mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3.
- Cuando haya una transición de desmante a relleno, en sentido descendente de la pendiente longitudinal, se sellarán las juntas situadas en el tramo comprendido desde cincuenta metros (50 m) aguas arriba de la transición hasta veinte metros (20 m) aguas abajo de la misma (véase figura 2.1).

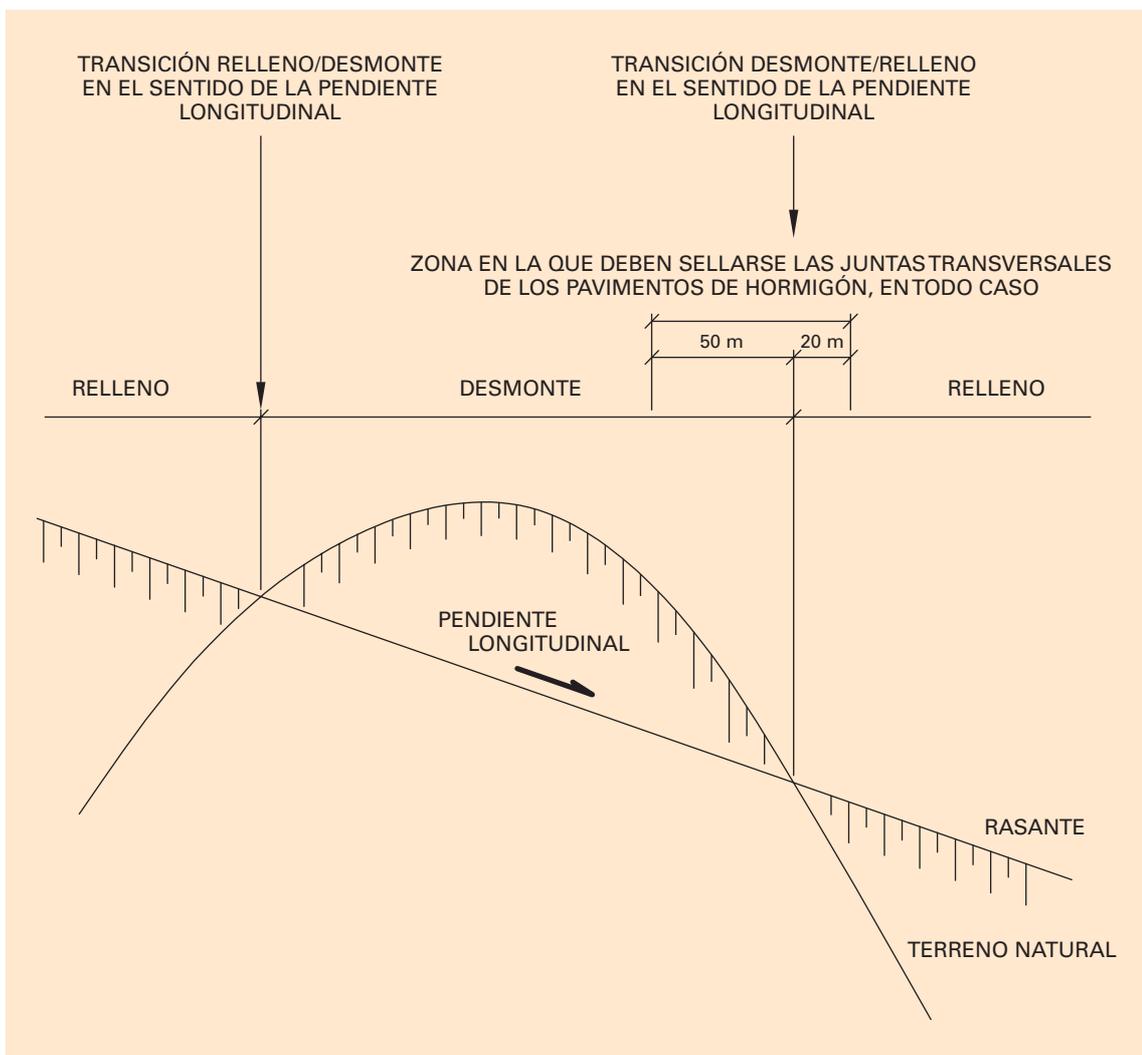


FIGURA 2.1. SELLADO DE JUNTAS TRANSVERSALES EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN TRANSICIONES DESMONTE-RELLENO

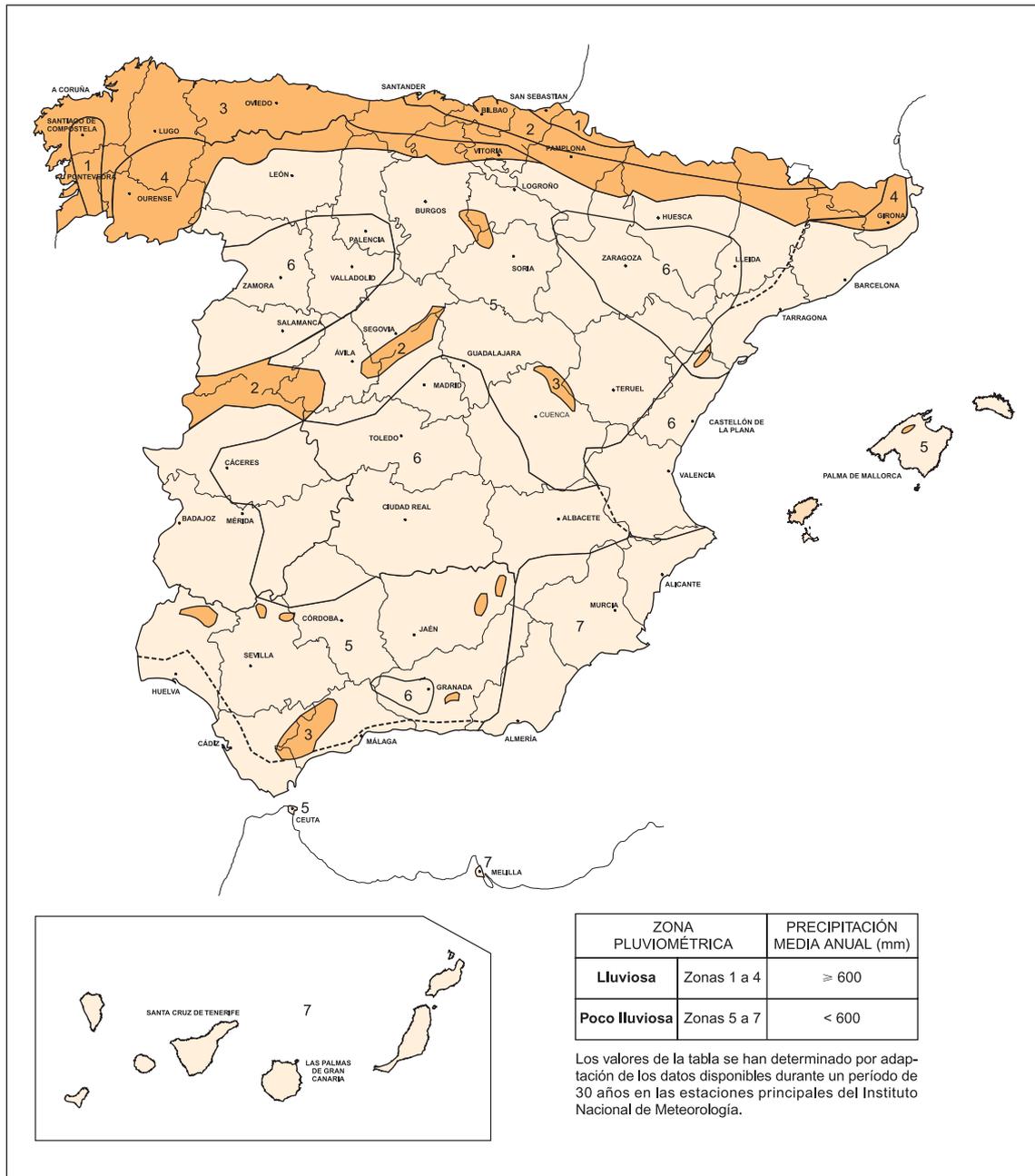


FIGURA 2.2. ZONAS PLUVIOMÉTRICAS

Infiltración a través de arcenes no pavimentados, bermas y otras superficies comprendidas entre la plataforma y los taludes de las explanaciones

En caso de arcenes no pavimentados y siempre de acuerdo con lo establecido en la norma 6.1 IC Secciones de firme, el proyecto determinará su comportamiento frente a la infiltración, definirá las características de los materiales a emplear y la adopción, en su caso, de medidas adecuadas para tratar de proteger la zona bajo calzada de eventuales aportes de agua provenientes del arcén.

Las bermas sin revestir y las demás superficies comprendidas entre la plataforma y los taludes de las explanaciones —cuando existieran—, que completan la sección transversal de la carretera, pueden constituir una vía de infiltración, especialmente en el borde alto de secciones peraltadas, puntos bajos del perfil longitudinal, transiciones de peralte, etc.

Por ello, al objeto de procurar su impermeabilización, cuando las bermas y demás superficies, se formen mediante rellenos de materiales diferentes de los del firme, estarán constituidas en su parte más superficial, en un espesor igual o superior a veinte centímetros (20 cm), por suelos cuyo cernido, o material que pasa por el tamiz 0,080 UNE, sea superior al veinticinco por ciento en peso ($\# 0,080 > 25\%$), bien de tipo tolerable —con un contenido de sales solubles, incluido el yeso, inferior a dos décimas porcentuales (0,2%)—, adecuado o seleccionado. En lo sucesivo, y a los efectos de aplicación de este documento, este tipo de relleno se denominará **relleno para impermeabilización de bermas**.

Cuando por las características geométricas de la sección no sea posible disponer el espesor mínimo indicado de relleno para impermeabilización de bermas, el proyecto estudiará la conveniencia de revestir la berma o de adoptar otras medidas con el fin de impedir la infiltración de agua.

En general la parte inferior de la sección de la berma deberá permitir la evacuación de las aguas infiltradas, disponiendo pendientes y materiales de características específicas, según se indica en el apartado 2.1.2.2 de este texto.

En los detalles de drenaje que constituyen los apéndices 2 a 4 de estas recomendaciones, se indican los materiales que se deben emplear en las distintas zonas que componen la berma. Respecto a la posible extensión de tierra vegetal, deberá estarse asimismo a lo especificado en dichos detalles de drenaje.

La puesta en obra de los materiales de las bermas se definirá conforme a lo especificado en el apartado 330.4 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), para los espaldones de los rellenos de tipo terraplén.

Cuando los detalles de los apéndices 2 a 4 no fueran de aplicación, de acuerdo con lo indicado en el apartado 2.1.2.5, el proyecto deberá estudiar y definir las secciones tipo para la construcción de las bermas, respetando las hipótesis y criterios de infiltración y evacuación de las aguas que, en términos generales, se establecen en este documento.

En las zonas pluviométricas 1 a 4 de la figura 2.2 y excepcionalmente en el resto de zonas, cuando la cuneta esté revestida, el proyecto estudiará la conveniencia de revestir las bermas entre cuneta y pavimento, en función de su anchura.

Infiltración a través de la mediana

En carreteras de calzadas separadas, las zonas de mediana sin revestir pueden constituir la vía de infiltración más importante a las capas del firme y la explanada, por lo que su diseño en lo referente al objeto de este documento, resulta de gran importancia para el adecuado comportamiento de la carretera.

Respecto a las características de los suelos y sus requisitos de puesta en obra para la formación de medianas, se estará, salvo justificación expresa en contra del proyecto, a lo especificado en el epígrafe anterior para las bermas. Además de dichos materiales se podrán emplear, en su parte más superficial, suelos que no cumplan las condiciones como relleno de impermeabilización de bermas únicamente por superar el límite de contenido de materia orgánica, siempre que este sea inferior al cinco por ciento (5%).

Si la cuneta de mediana no estuviera revestida y la pendiente longitudinal de la misma fuese pequeña, podrían producirse zonas de acumulación e infiltración de agua. Para evitarlo, en la fase de proyecto se analizará la necesidad de revestimiento de la cuneta, según los criterios especificados en la norma 5.2 IC Drenaje superficial o aquella que la sustituya.

Si la pendiente longitudinal de la cuneta revestida fuera inferior a cinco décimas porcentuales (0,5%) y no existiese algún sistema de drenaje subterráneo bajo la misma, se prescribirá el sellado de sus juntas o la disposición bajo ella de una lámina impermeable, salvo justificación en contra del proyecto.

2.1.1.2. Infiltración horizontal

En determinadas circunstancias, tras episodios de lluvia, se pueden producir migraciones laterales de agua infiltrada verticalmente, desde márgenes no revestidos hacia zonas de la carretera pavimentadas o revestidas. Ello puede suponer un aumento de humedad bajo el pavimento, perjudicial para su comportamiento estructural.

El proyecto deberá contemplar la posibilidad de que se produzca este fenómeno en zonas llanas, según se definen en la norma 3.1 IC Trazado, donde la diferencia de cotas entre la explanada y el terreno natural sea inferior a un metro (1 m), excepto cuando se produzca alguna de las siguientes circunstancias:

- La distancia, medida en planta, entre el borde de la calzada y el límite de la zona revestida, sea igual o superior a dos metros (2 m).
- La carretera se encuentre en la zona pluviométrica 7 de la figura 2.2.
- El sustrato esté constituido por roca, o bien por suelos cuyo cernido por el tamiz 0,080 UNE sea inferior al diez por ciento ($\# 0,080 < 10\%$).

Cuando, de acuerdo con los criterios expuestos, sea previsible la infiltración horizontal, el proyecto estudiará la conveniencia de efectuar un revestimiento adicional, interponer pantallas o elementos drenantes junto a la calzada (véase apartado 2.1.2.4), o adoptar otras medidas convenientemente justificadas.

2.1.2. EVACUACIÓN DE LAS AGUAS INFILTRADAS

Las aguas infiltradas presentarán circulación vertical hasta que lleguen a una capa de baja permeabilidad sobre la que se pueda suponer flujo subhorizontal. Si todas las capas atravesadas fueran suficientemente permeables, el flujo vertical continuaría, atravesando la explanada, hasta encontrar un material más impermeable en profundidad.

Cuando se hubieran infiltrado aguas bajo zonas pavimentadas, éstas podrían aumentar el contenido de humedad de las capas del firme o de la explanada.

Para evacuar las aguas infiltradas se deberá garantizar el drenaje:

- Vertical hacia capas inferiores.
- Subhorizontal, hacia los espaldones (en rellenos) o por vertido directo a cuneta (en medianas y secciones en desmonte), en determinadas circunstancias.
- Subhorizontal hacia los drenes proyectados, en su caso.

Con este planteamiento básico se establecen en 2.1.2.1, diferentes casos de recorrido de las aguas infiltradas, dependiendo de la capa por la que predominantemente circulen. Se determinará que caso corresponde a cada circunstancia concreta siguiendo un diagrama de flujo basado en el contraste de permeabilidades entre capas.

En los casos en que se produzca circulación subhorizontal, se proyectarán medidas que favorezcan el flujo lateral de salida, según se especifica en 2.1.2.2.

En los apartados 2.1.2.3 y 2.1.2.4, se relacionan los principales tipos de drenes y sus ubicaciones más habituales.

Las clasificaciones efectuadas anteriormente, permiten la definición, en el apartado 2.1.2.5, de una serie de detalles tipo de drenaje transversal de aplicación general a secciones transversales en desmonte o relleno y a medianas, que se enumeran en la tabla 2.1, y que constituyen, bien directamente o bien con variantes, los apéndices 2 a 4 de estas recomendaciones.

2.1.2.1. Recorrido de las aguas infiltradas

En el proyecto se deberán estudiar, para cada una de las secciones transversales tipo de la carretera, los posibles recorridos de las aguas infiltradas tanto vertical (fundamentalmente a partir de las vías de entrada especificadas en el apartado 2.1.1.1), como horizontalmente en su caso (véase apartado 2.1.1.2).

Definición de los casos F, E, S

A los efectos del análisis del recorrido de las aguas infiltradas, deberá suponerse uno de los tres casos siguientes (véase figura 2.3), que se denominan por la inicial del nombre de la capa o conjunto de capas por la que discurren principalmente estas aguas.

- F: Explanada de baja permeabilidad:** el agua infiltrada circula subhorizontalmente —según la línea de máxima pendiente— tanto por el firme (F), a través de las interfaces entre sus capas, como fundamentalmente por la superficie de contacto entre éste y la explanada.
- E: Explanada permeable y suelo de la explanación (desmontes) o de la obra de tierra subyacente (rellenos) de baja permeabilidad:** el agua infiltrada circula subhorizontalmente —según la línea de máxima pendiente— por la explanada (E), fundamentalmente por la superficie de contacto con el suelo de la explanación u obra de tierra subyacente.

Este caso presenta una variante (caso E con capa inferior de baja permeabilidad) cuando la explanada está constituida por dos capas de materiales diferentes, y la inferior es de baja permeabilidad. En dichas circunstancias, el agua infiltrada circula subhorizon-

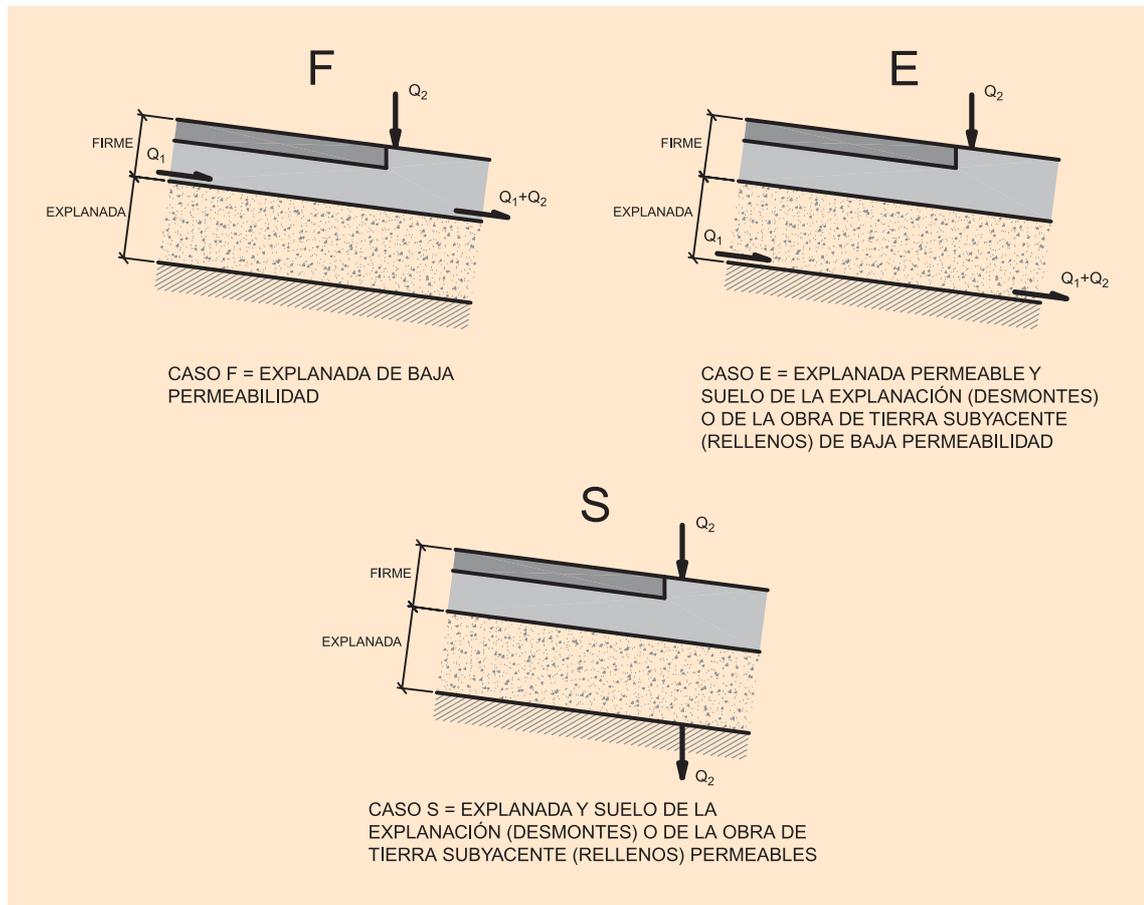


FIGURA 2.3. RECORRIDO DE LAS AGUAS INFILTRADAS. CASOS F, E, S

talmente —según la línea de máxima pendiente— fundamentalmente por la superficie de contacto entre ambas capas.

- S: Explanada permeable y suelo (S) de la explanación (desmontes) o de la obra de tierra subyacente (rellenos) permeable:** el agua infiltrada circula verticalmente, atravesando la explanada y suelos subyacentes hasta que encuentre algún material más impermeable.

Criterios para la determinación del caso de aplicación F, E, S

Para la selección del caso de aplicación, se deberá seguir el diagrama de flujo que constituye la figura 2.4.

La sistemática expuesta en forma de diagrama en la figura 2.4, puede describirse como sigue:

- Si la capa superior de la explanada estuviera constituida por materiales estabilizados con cal o cemento, según se definen en la norma 6.1 IC Secciones de firme y en el artículo 512 del PG-3, se considerará el caso F.
- Si no fuera así, se distinguirá si la capa inferior del firme (situada inmediatamente sobre la explanada) es zahorra artificial (ZA), o no.
 - Si la capa inferior del firme fuera zahorra artificial (ZA) y la capa superior de la explanada no cumpliera ninguna de las siguientes condiciones, se considerará el caso F:
 - Cernido por el tamiz 0,080 UNE menor que el doce por ciento ($\# 0,080 < 12\%$), e índice de plasticidad inferior a veinte ($IP < 20$).
 - Cernido por el tamiz 0,080 UNE menor que el cinco por ciento ($\# 0,080 < 5\%$).

Si la explanada estuviera formada por una capa superior que cumpliera alguna de las dos condiciones anteriores, y por una capa inferior constituida por un material distinto que no cumpliera ninguna, se considerará el caso E con circulación de las aguas por la capa superior de la explanada, (caso E con capa inferior de baja permeabilidad).

Si, por el contrario, la explanada estuviera constituida en todo su espesor por materiales que cumplieran alguna de las dos condiciones enunciadas, se deberán analizar las características del suelo de la explanación (desmontes) o de la obra de tierra subyacente (rellenos).

- Si la capa inferior del firme no fuera zahorra artificial, y la capa superior de la explanada cumpliera alguna de las tres condiciones que se citan a continuación, se considerará el caso F:
 - Simultáneamente, el cernido por el tamiz 0,080 UNE es mayor que el veinte por ciento ($\# 0,080 > 20\%$), y el cernido por el tamiz 2 UNE es mayor que el cuarenta por ciento ($\# 2 > 40\%$).
 - Simultáneamente, el cernido por el tamiz 0,080 UNE es mayor que el doce por ciento ($\# 0,080 > 12\%$), el cernido por el tamiz 2 UNE es mayor que el cuarenta por ciento ($\# 2 > 40\%$), y el índice de plasticidad es superior a 7 ($IP > 7$).
 - El coeficiente de permeabilidad determinado según ISO/DIS 17313, es menor que diez elevado a menos seis metros por segundo ($k < 10^{-6}$ m/s).

Si la capa superior de la explanada no cumpliera ninguna de las tres condiciones anteriores, y la capa inferior de la explanada estuviera constituida por un material distinto, que cumpla alguna de ellas, se considerará el caso E con circulación de las aguas por la capa superior de la explanada (caso E con capa inferior de baja permeabilidad).

Si, por el contrario, la explanada estuviera constituida en todo su espesor por materiales que no cumplan ninguna de las condiciones enunciadas, se deben analizar las características del suelo de la explanación (desmontes) o de la obra de tierra subyacente (rellenos).

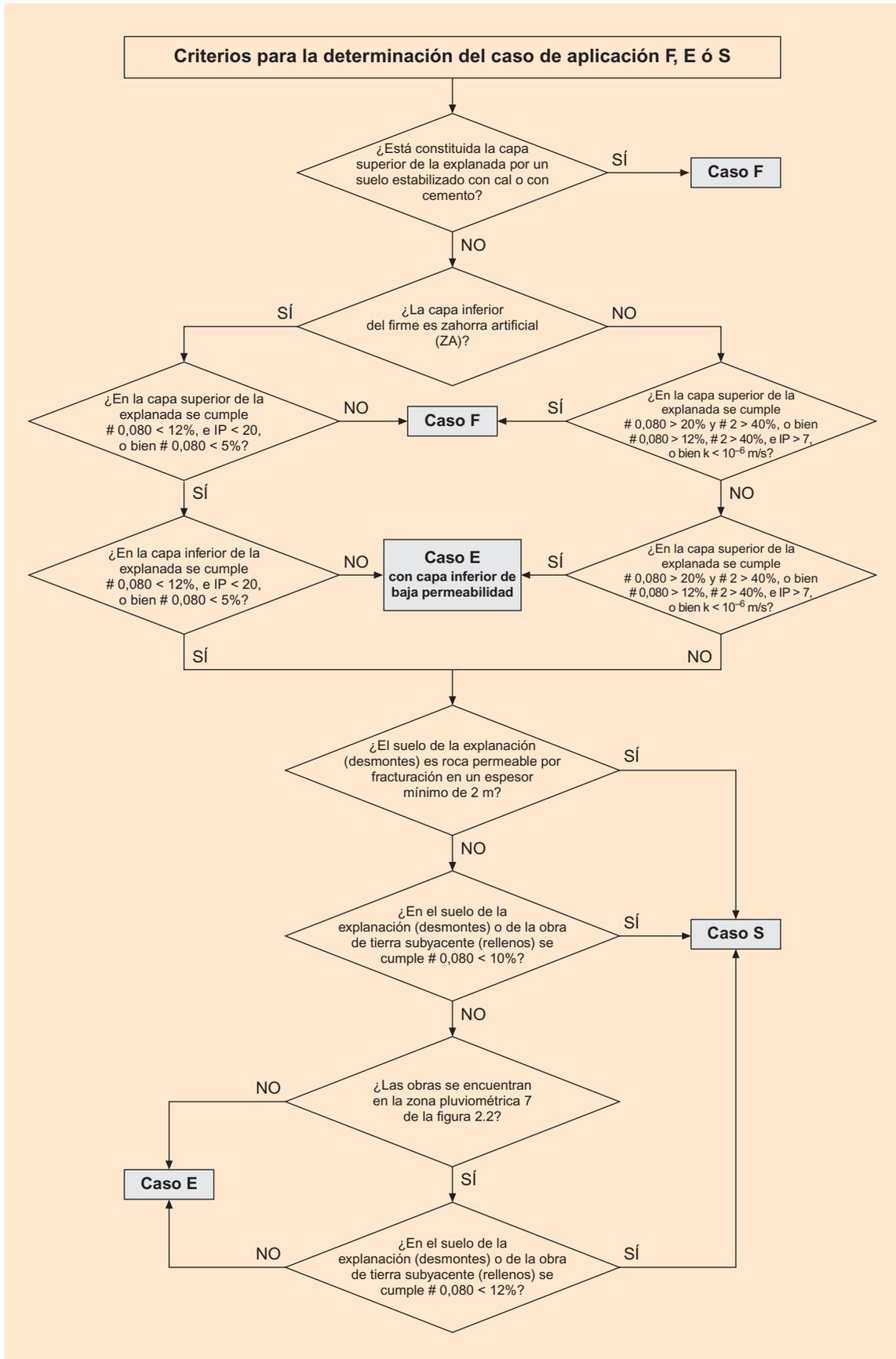


FIGURA 2.4. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CASO DE RECORRIDO DE LAS AGUAS INFILTRADAS F, E, S

- En caso de que efectuadas las comprobaciones anteriores, no haya resultado de aplicación el caso F, o el caso E con capa inferior de baja permeabilidad, si el suelo de la explanación (desmontes) o de la obra de tierra subyacente (rellenos) cumpliera alguna de las siguientes condiciones, se considerará el caso S:
 - Estar constituido por suelos cuyo cernido por el tamiz 0,080 UNE sea menor que el diez por ciento ($\# 0,080 < 10\%$).
 - Estar constituido por suelos cuyo cernido por el tamiz 0,080 UNE sea menor que el doce por ciento ($\# 0,080 < 12\%$), y encontrarse en la zona pluviométrica 7 de la figura 2.2.
 - El suelo de la explanación (desmontes) está constituido por roca que se puede considerar permeable por fracturación —se requiere justificación expresa del proyecto— en un espesor mínimo de dos metros (2 m).

Si no se cumple ninguna de las tres condiciones anteriores, se considerará el caso E.

Comprobación del recorrido de las aguas infiltradas

Una vez determinado el caso de aplicación de entre los propuestos, deberá efectuarse el análisis del recorrido de las aguas infiltradas comprobando que no se producen acumulaciones o retenciones de agua, y que se obtiene, partiendo del punto más alto de cada sección transversal, alguno de los siguientes tipos de flujo:

- Vertical hacia el suelo de la explanación (desmontes) u obra de tierra subyacente (rellenos) permeable.
- Lateral de tipo subhorizontal, hacia los espaldones (en rellenos), o vertido directo a cuneta (en medianas y secciones en desmonte), en determinadas circunstancias.
- Lateral de tipo subhorizontal, hacia los drenes proyectados en su caso. En las inmediaciones del dren, la componente vertical de este flujo puede incrementarse.

El recorrido de las aguas infiltradas, determinado según los criterios recién enunciados, no podrá discurrir por suelos tolerables con un contenido de yesos, según NLT 115, mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3.

El proyecto deberá disponer las medidas oportunas en este sentido, entre las que pueden citarse una adecuada selección y disposición de los materiales que constituyen la sección transversal, la interposición de láminas u otros productos de impermeabilización, etc.

La elección de secciones transversales tipo a las que resulten de aplicación los casos F ó E no implica necesariamente que la totalidad de las aguas infiltradas discurra por la capa que define el modelo. Así, el proyecto deberá analizar de modo expreso la necesidad de adopción de medidas específicas para evitar la infiltración en los materiales sensibles al agua, aún en capas inferiores a la que determina el caso de aplicación.

2.1.2.2. Medidas para favorecer el flujo lateral de salida

Cuando se produzca flujo subhorizontal, para favorecer la salida de las aguas se dispondrá una pendiente transversal mínima de la capa que se considera de baja permeabilidad, igual o superior al dos por ciento (2%), una vez terminada y refinada.

Las zonas de cambio de signo del valor de la pendiente transversal, donde no es posible mantener la pendiente mínima anterior, deberán definirse en el proyecto con la menor longitud posible.

Para que el agua infiltrada por el borde alto en secciones peraltadas no penetre bajo calzada, deberá dotarse a la explanada de una contrapendiente transversal mínima, hacia el exterior de la

plataforma, del dos por ciento (2%), que debe iniciarse un metro (1 m) hacia el interior del borde pavimentado —medido según secciones transversales al eje de la carretera—, según se especifica en la figura 2.5. En carreteras de calzadas separadas, la prescripción anterior será asimismo de aplicación hacia la mediana.

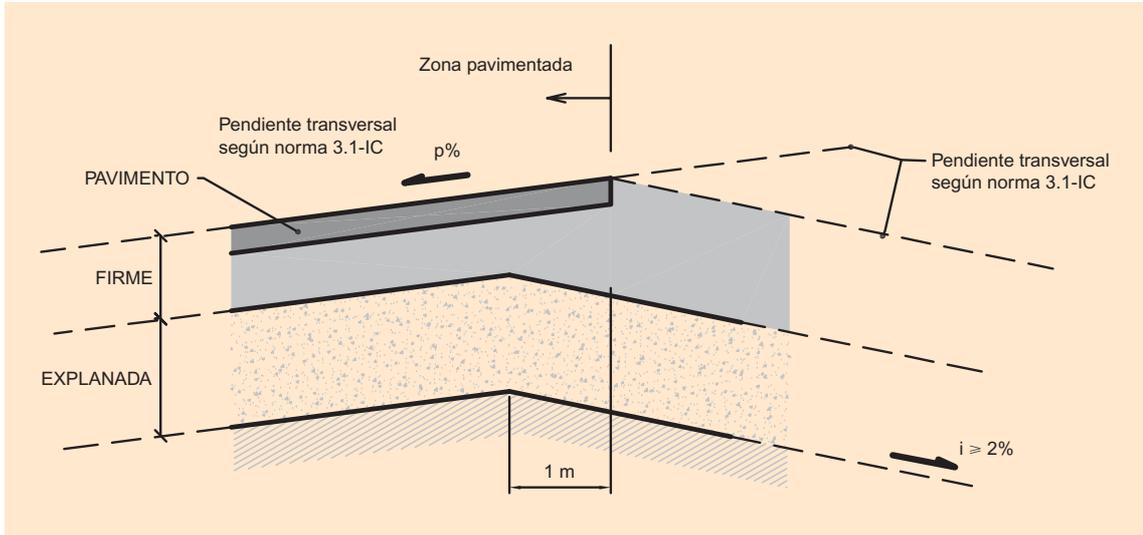


FIGURA 2.5. CONTRAPENDIENTE DE LA EXPLANADA BAJO EL BORDE ALTO EN SECCIONES PERALTADAS

Para permitir el flujo subhorizontal de las aguas infiltradas según el recorrido previsto en el proyecto (véase apartado 2.1.2.1) sin que se produzcan acumulaciones, se precisa, además de la disposición de pendientes favorables, que los materiales atravesados tengan coeficientes de permeabilidad iguales o crecientes en la dirección del flujo, según se especifica en la figura 2.6.

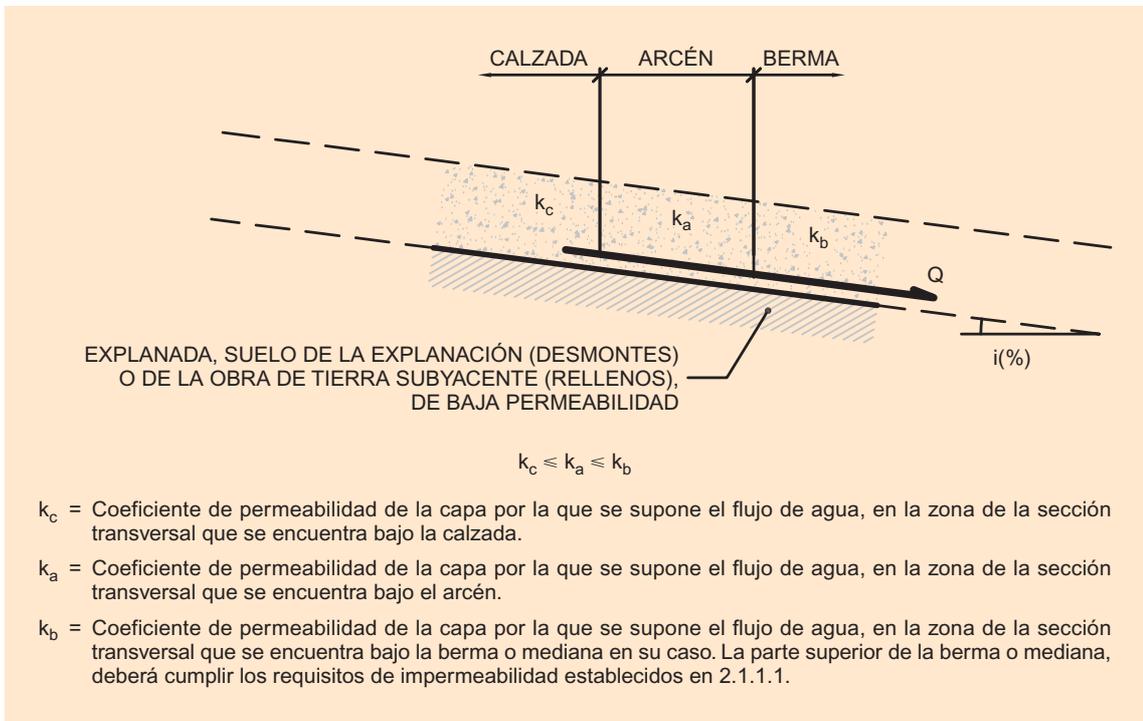


FIGURA 2.6. RELACIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD DE LAS CAPAS POR DONDE CIRCULAN LAS AGUAS INFILTRADAS BAJO CALZADA, ARCÉN, Y BERMA O MEDIANA EN SU CASO

A los efectos de este documento, se considerará que las capas inferiores del firme utilizadas en la norma 6.1 IC Secciones de firme, pueden ordenarse en sentido decreciente de su coeficiente de permeabilidad de acuerdo con la siguiente relación:

- Zahorra artificial drenante, según el artículo 510 del PG-3, (ZAD).
- Zahorra artificial, según el artículo 510 del PG-3, (ZA).
- Materiales tratados con cemento, según el artículo 513 del PG-3 (GC y SC).

Es decir, $k_{ZAD} > k_{ZA} > k_{GC} \approx k_{SC}$.

Cuando para efectuar las comparaciones entre coeficientes de permeabilidad sea necesario su determinación experimental, esta se efectuará siempre que sea posible según UNE 103403. En caso de que, por las características del material, no fuera aplicable, se seguirá el procedimiento de la norma ISO/DIS 17313.

2.1.2.3. Tipos de drenes para la evacuación de las aguas infiltradas

Para la recogida de las aguas infiltradas, los principales tipos de drenes considerados en este documento, según su tipología, son los siguientes:

- Zanjas drenantes (véase apartado 3.1).
- Pantallas drenantes (véase apartado 3.2).
- Otros sistemas de entre los especificados en los apartados 3.3 a 3.16 de este documento.

Cuando se trate de sistemas diferentes de los anteriores, el proyecto justificará su adecuación y efectuará su definición completa, según se indica en el apartado 3.17 de estas recomendaciones.

Debido a que, normalmente, los caudales provenientes de escorrentía o de los elementos o sistemas de drenaje superficial suelen ser muy superiores a los que de ordinario circulan por los de drenaje subterráneo, no deberán verterse en ningún caso a estos últimos, aguas procedentes de escorrentía o del drenaje superficial de las obras, ni aún cuando dichas obras tuvieran la consideración de provisionales o auxiliares.

Estos caudales de escorrentía o drenaje superficial, podrían originar fallos en los sistemas de drenaje subterráneo que, además de inutilizarlos como tales, provocaran una inversión en su funcionamiento, introduciendo agua en zonas de donde pretende evacuarse.

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

En pie de desmante

Los drenes situados al pie de los desmontes podrán consistir en zanjas drenantes ubicadas generalmente bajo la cuneta de pie, o en el lugar que disponga el proyecto en cada caso (véase la norma 5.2 IC Drenaje superficial o aquella que la sustituya, y los apéndices 2 y 3 de estas recomendaciones).

Cuando esté justificado por razones de espacio, constructivas u otras, el proyecto podrá sustituir los drenes en zanja por pantallas drenantes (véase apéndice 4), previa justificación del proyecto de que no van a captarse aguas subterráneas, ni provenientes del rebajamiento de niveles freáticos.

El proyecto deberá evaluar la estabilidad del talud en desmante, considerando la presencia de la zanja o pantalla drenante en su caso, tanto en la situación definitiva, como en las provisionales de obra.

En mediana

En carreteras de calzadas separadas, los drenes bajo mediana, cuando existan, se podrán colocar en una zanja drenante generalmente bajo la cuneta, o en el lugar que disponga el proyecto en cada caso (véase la norma 5.2 IC Drenaje superficial o aquella que la sustituya, y los apéndices 2 y 3 a estas recomendaciones).

Cuando esté justificado por razones de espacio, constructivas u otras, el proyecto podrá sustituir los drenes en zanja por pantallas drenantes u otros sistemas, previa justificación de que no van a captarse aguas subterráneas ni provenientes del rebajamiento de niveles freáticos.

En márgenes

Para tratar de evitar la infiltración horizontal (véase apartado 2.1.1.2), se podrán disponer en las proximidades de la calzada, zanjas o pantallas drenantes. Salvo justificación expresa en contra del proyecto, se encontrarán fuera de la zona pavimentada o arcenes sin pavimentar en su caso, y en superficie serán lo suficientemente impermeables como para impedir la entrada de agua superficial a las mismas.

Cuando se trate de efectuar un rebajamiento del nivel freático, en general deberán disponerse zanjas drenantes.

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, arcenes, 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).

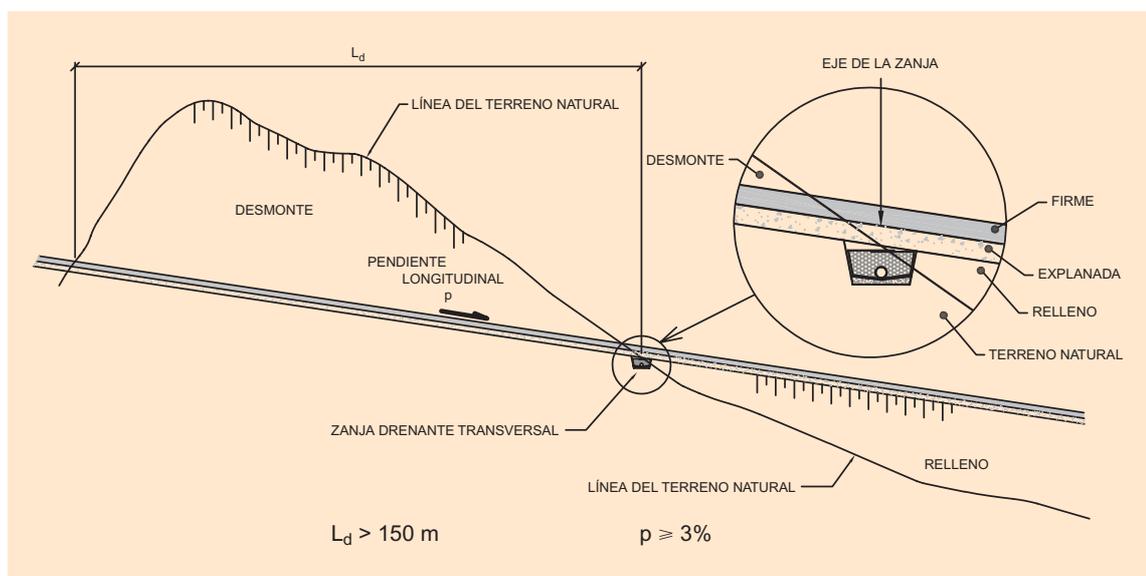


FIGURA 2.7. CAPTACIÓN DE FLUJOS LONGITUDINALES EN LA TRANSICIÓN DESMONTE-RELLENO

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.

Para pavimentos de hormigón

En pavimentos de hormigón puede resultar necesario, en ciertos casos, facilitar la evacuación del agua proveniente de las capas de firme de la calzada. El proyecto deberá estudiar la conveniencia de instalar sistemas específicos de drenaje para este tipo de pavimentos, que pueden consistir en uno o varios de entre los que se citan a continuación:

- Utilización de zahorra artificial drenante como capa de firme bajo arcén, conforme a lo especificado en la instrucción 6.1 IC Secciones de firme y en el artículo 510 del PG-3.
- Empleo de tubos ranurados, longitudinales al trazado, emplazados bajo arcén, embebidos en material drenante en su caso, con desagüe en los puntos bajos y al menos cada cincuenta metros (50 m) según el eje de la carretera. La separación entre salidas de tubos será inferior cuando la pendiente longitudinal del tubo sea menor del uno por ciento (1%).

Estos sistemas constarán de tramos de funcionamiento independiente, los cuales presentarán una longitud total máxima de doscientos metros (200 m), con codos de radio superior a un metro (1 m), para facilitar su limpieza.

Para la elección del diámetro interior de los tubos deberá tenerse en cuenta el tipo de limpieza previsto, estableciéndose en todo caso como valor mínimo para el mismo, el de setenta y cinco milímetros (75 mm).

El proyecto podrá justificar la elección de parámetros diferentes, basándose en las necesidades de conservación y limpieza del sistema.

- Otros sistemas que el proyecto deberá justificar convenientemente, de conformidad con lo especificado en el apartado 3.17 de este texto.

2.1.2.5. Detalles de drenaje para el proyecto de secciones transversales tipo

El proyecto deberá contemplar cada una de las secciones transversales tipo de la carretera, estudiando de modo expreso el funcionamiento del drenaje subterráneo conforme a lo especificado en este documento.

La sistematización efectuada, tanto para el recorrido de las aguas infiltradas, como para las topologías y ubicaciones más habituales de los drenes, permite el establecimiento de detalles de drenaje de aplicación para el proyecto de un buen número de secciones transversales tipo, de aparición frecuente.

Estos detalles se basan tanto en el proyecto de drenes de los tipos especificados en 2.1.2.3, como en la selección y disposición de materiales que, sin formar parte de la estructura del firme,

procuran evitar la infiltración y favorecer la salida de las aguas de la sección transversal. Salvo en lo especificado para la mediana, los detalles resultan aplicables tanto para carreteras de calzadas separadas, como de calzada única.

La relación de detalles de drenaje que se adjunta no resultará, en general, de aplicación a los casos de secciones transversales con calzadas a distinto nivel, medianas reducidas, calzadas junto a lechos de frenado, obras soportadas por muros de sostenimiento y cualesquiera otras circunstancias singulares, que a criterio del proyecto justifiquen la conveniencia y necesidad de adopción de otras diferentes. Tampoco resultan de aplicación directa —sin perjuicio de lo especificado en las correspondientes notas al pie de cada detalle— cuando deban rebajarse niveles freáticos, o proyectarse medidas de drenaje de estabilización.

En la tabla 2.1 se establece una relación de los detalles analizados, clasificados según el caso que resulte de aplicación para la evacuación de las aguas infiltradas —F, E ó S del apartado 2.1.2.1—, y según que el detalle en cuestión sea relativo a una sección en desmonte (D), relleno (R), o mediana (M).

Se establece una nomenclatura para los detalles de drenaje, formada por dos letras y dos dígitos:

- La primera letra se refiere al caso que resulte de aplicación para la evacuación de las aguas infiltradas, según el criterio del apartado 2.1.2.1: F, E ó S.
- La segunda letra indica si el detalle en cuestión es relativo a una sección en desmonte, relleno o mediana: D, R ó M.
- El primer dígito será un 1 si la pendiente de la calzada es favorable al vertido hacia el sistema propuesto, y un 0 si existe contrapendiente.
- El segundo dígito alude al caso particular contemplado.

Las figuras que definen los detalles propiamente dichos, constituyen el apéndice 2 a este documento.

En el apéndice 3 se incluyen las variantes a los detalles del caso E con capa inferior de baja permeabilidad.

El apéndice 4 recoge variantes con pantalla drenante (véase apartado 3.2) a los detalles de los apéndices precedentes, en algunos de los casos de aplicación más frecuente de esta técnica.

Las dimensiones reflejadas en las figuras que constituyen dichos apéndices, únicamente responderán a valores que deban observarse necesariamente, cuando aparezcan acotados de manera expresa, no pudiendo deducirse a partir de dichas cotas otras magnitudes, ni aún de la misma figura.

2.2. DRENAJE DE LAS EXPLANACIONES

Durante la fase de proyecto, y aún antes si fuese posible, se estudiarán las condiciones hidrogeológicas de la zona de las obras, prestando especial atención a la determinación de niveles freáticos, flujos de agua subterránea, existencia de acuíferos, zonas inundables, carstificaciones, etc. Debe tenerse en cuenta que durante los periodos secos prolongados, los indicios de presencia de aguas subterráneas tales como manantiales, fuentes, humedades en taludes, etc., pueden resultar de difícil detección.

Asimismo deberá recabarse la información disponible de los Organismos competentes en gestión de recursos hidráulicos, acerca del régimen de explotación de los acuíferos, y de cuantas otras cuestiones pudieran resultar de interés para el proyecto.

El proyecto deberá analizar específicamente las condiciones geológicas locales que pueden dar lugar a la afluencia de agua hacia la carretera, por ejemplo existencia de charnelas sinclinales, alternancias entre estratos permeables e impermeables con buzamiento hacia la calzada, coluviones

TABLA 2.1. RELACIÓN DE FIGURAS QUE CONFORMAN EL APÉNDICE 2, A ESTE DOCUMENTO

	RELLENO (R)	MEDIANA (M)	DESMONTE (D)	
EXPLANADA DE BAJA PERMEABILIDAD (F)	Pendiente transversal de la calzada a favor. FR11	Dren profundo bajo cuneta. FM11	Dren profundo bajo cuneta. FD11	
		Pendiente transversal de la calzada a favor	Vertido directo a cuneta. FM12	Dren profundo bajo capa de firme. FD12
			Infiltración al terreno. FM13	Supresión del dren profundo. FD13
	Contrapendiente. FR01	Contrapendiente	Dren profundo bajo cuneta. FM01	Vertido directo a cuneta. FD14
			Vertido directo a cuneta. FM02	Infiltración al terreno. FD15
			Infiltración al terreno. FM03	Dren profundo bajo cuneta. FD01
EXPLANADA PERMEABLE Y SUELO DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (RELLENOS) DE BAJA PERMEABILIDAD (E)	Pendiente transversal de la calzada a favor. ER11	Pendiente transversal de la calzada a favor. EM11	Dren profundo bajo capa de firme. FD02	
			Supresión del dren profundo. FD03	
			Vertido directo a cuneta. FD04	
	Contrapendiente. ER01	Contrapendiente. EM01	Infiltración al terreno. FM03	Infiltración al terreno. FD05
			Pendiente transversal de la calzada a favor. SM11	Dren profundo bajo cuneta. ED11
				Contrapendiente. SM01
Pendiente transversal de la calzada a favor. SR11	Pendiente transversal de la calzada a favor. SM11	Contrapendiente. SM01	Supresión del dren profundo. ED13	
			Contrapendiente. SR01	Dren profundo bajo cuneta. ED01
EXPLANADA PERMEABLE Y SUELO DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (RELLENOS) PERMEABLE (S)	Contrapendiente. SR01	Contrapendiente. SM01	Dren profundo bajo explanada. ED02	
			Supresión del dren profundo. ED03	

sobre roca o fondo impermeable, existencia de zonas cársticas, flujos a través de diaclasas en macizos rocosos, fallas y zonas fracturadas, etc.

En los sondeos que se efectúen, se medirán los niveles freáticos, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos son indicativos únicamente del punto en cuestión y del momento de la realización de la lectura. Estos niveles varían estacionalmente e incluso con periodos más largos. En consecuencia, aquellos sondeos de proyecto, de los que pueda deducirse la presencia de niveles susceptibles de aportar agua a la carretera, deberán instrumentarse convenientemente, de modo que puedan efectuarse lecturas con posterioridad. En la figura 2.8 se muestran algunos ejemplos de situación de niveles freáticos.

Al menos deberá llevarse a cabo una lectura de niveles piezométricos al final del periodo húmedo más prolongado posible, durante el tiempo en que dichos sondeos se encuentren practicable (esto puede ocurrir con cierta frecuencia al final del invierno, aunque no en todos los casos). Asimismo se efectuarán observaciones periódicas de afloramientos de agua en taludes, que se registrarán convenientemente.

Cuando sea necesario para el cálculo de los elementos de drenaje subterráneo, se efectuarán ensayos in situ en la fase de proyecto para conocer los valores de los coeficientes de permeabilidad de los terrenos.

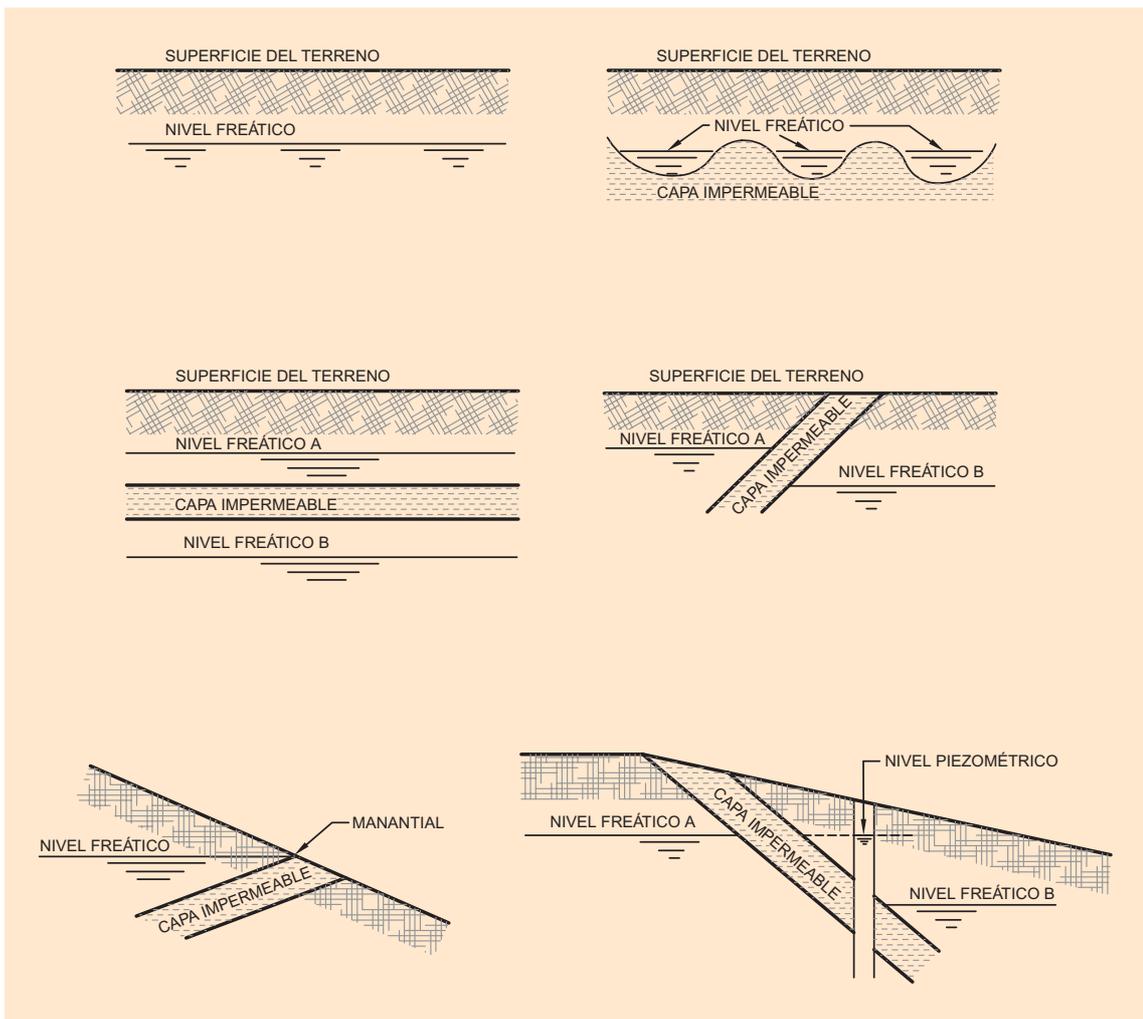


FIGURA 2.8. EJEMPLOS DE SITUACIÓN DE NIVELES FREÁTICOS

2.2.1. PROXIMIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Cuando el nivel freático se encuentre próximo a la explanada, podría alcanzarla por ascenso capilar. Respecto a las distancias mínimas a respetar entre la cota de la explanada y el nivel más alto previsible de la capa freática, en función del tipo de materiales que constituyen el terreno de apoyo, se estará a lo especificado al respecto en la norma 6.1 IC Secciones de firme.

Para asegurar estas distancias mínimas, desde el punto de vista del drenaje subterráneo de las obras, en general es preferible la elevación de la rasante al rebajamiento del nivel freático.

El material del relleno que se emplee en su caso para la elevación de la rasante, no deberá ser susceptible al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos, según NLT 115, mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3). Además de las prescripciones anteriores, no deberán emplearse suelos tolerables en aquellas partes de los rellenos tipo terraplén que puedan encontrarse bajo el nivel freático.

Las prescripciones para la ejecución de estos rellenos —para elevación de rasante— se formularán de acuerdo con los correspondientes artículos del PG-3, en función de las unidades de obra de que se trate.

En casos excepcionales, en los que la parte inferior de los rellenos pueda estar durante periodos de tiempo prolongados bajo niveles de agua con lámina libre, esta deberá ser una zona especial de los mismos, según la definición de los apartados 331.2 y 333.2 del PG-3.

En caso de que así se justifique en el proyecto, el nivel freático se podrá rebajar mediante la realización de zanjas, pozos, u otros sistemas que deberán estudiarse específicamente en el mismo, según lo indicado en el capítulo 3 de estas recomendaciones. La evacuación de las aguas recogidas se efectuará preferiblemente por gravedad, o por bombeo en caso necesario. Asimismo se deberá estudiar la conveniencia de proyectar un manto drenante, con el fin de interrumpir el ascenso capilar.

2.2.2. DRENAJE DE ESTABILIZACIÓN

Las aguas subterráneas pueden aflorar en las explanaciones de la carretera y ocasionar inestabilidades, erosiones y otros fenómenos perjudiciales, fundamentalmente en los taludes y fondos de desmonte, o en los cimientos de los rellenos. El objeto del denominado drenaje de estabilización, es mejorar el comportamiento de las explanaciones, evitando en lo posible dichos aportes.

En la fase de proyecto se intentará detectar los posibles puntos de afluencia de agua hacia los taludes y fondos de desmonte y hacia el cimiento de los rellenos, estudiando la conveniencia de disponer medidas específicas de drenaje subterráneo.

Se deberá prestar especial atención a las transiciones desmonte-relleno y a los rellenos cimentados sobre laderas. En estos casos se adoptarán las medidas especificadas en los apartados 320.3.8 y 330.6.1 del PG-3.

El proyecto de las medidas de drenaje de estabilización debe venir precedido de un adecuado conocimiento geológico e hidrogeológico de la zona, ya que este tipo de actuaciones debe adaptarse a la singularidad de cada emplazamiento. En consecuencia, no pueden efectuarse recomendaciones válidas para todos los casos, sino una enumeración de las medidas, elementos o sistemas más habituales, sus principales características y posibles aplicaciones.

Así, en el capítulo 3, se incluyen los tratamientos de drenaje de estabilización de más frecuente utilización en obras de carretera. El proyecto deberá tener en cuenta las recomendaciones formuladas para cada uno de los elementos en cuestión, pudiendo, mediante justificación expresa, adoptar bien prescripciones adicionales o bien incluso actuaciones, elementos o sistemas no contemplados en este documento, que deberán cumplir lo especificado en el apartado 3.17.

2.3. CÁLCULO HIDRÁULICO DE TUBERÍAS DRENANTES

2.3.1. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

2.3.1.1. Tubería drenante por encima del nivel freático

Cuando la tubería drenante se encuentre por encima del nivel freático, y no sea previsible la afluencia de otros caudales, se considerarán a efectos de cálculo, los de infiltración provenientes fundamentalmente de bermas y mediana en su caso, que podrán estimarse a partir de los valores indicados en la tabla 2.2.

TABLA 2.2. CAUDALES UNITARIOS DE INFILTRACIÓN PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DRENANTES

ESTADO DE IMPERMEABILIDAD SUPERFICIAL	ALTO	MEDIO	BAJO
Caudal unitario, q [l/(m ² ·s)]	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻²

Para la aplicación de esta tabla se considerarán los siguientes criterios:

Estado de impermeabilidad superficial alto

Se considerará el estado de impermeabilidad superficial alto, cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- Las cunetas estén revestidas.
- Las superficies no revestidas (véase apartado 2.1.1.1), representen menos de un quince por ciento (15%) del área de longitud L y anchura B, que se definen en el siguiente epígrafe.

Estado de impermeabilidad superficial medio

Se considerará el estado de impermeabilidad superficial medio, cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- Las cunetas estén revestidas en al menos un ochenta por ciento (80%) de la longitud analizada (L, en la figura 2.9).
- Las superficies no revestidas (véase apartado 2.1.1.1), representen menos de un treinta por ciento (30%) del área de longitud L y anchura B, que se definen en el siguiente epígrafe.

Estado de impermeabilidad superficial bajo

Se considerará el estado de impermeabilidad superficial bajo, cuando no se cumpla alguno de los requisitos para poder considerarlo como medio.

Determinación del caudal de cálculo

El caudal de cálculo de la tubería drenante Q_L , se obtendrá como:

$$Q_L = q \cdot B \cdot L$$

donde:

Q_L = Caudal de cálculo de la tubería drenante.

q = Caudal unitario de infiltración, obtenido de la tabla 2.2.

L = Longitud entre arquetas o pozos de registro consecutivos en los que se produce el desagüe de la tubería drenante (véase figura 2.9).

B = Anchura de cálculo.

La anchura B puede ser variable a lo largo del tramo estudiado, por lo que el producto $B \cdot L$ podrá obtenerse como:

$$B \cdot L = \sum_{i=1}^n b_i \cdot l_i$$

donde:

n = Número de tramos que comprende la discretización.

l_i = Longitud del tramo i -ésimo, de anchura b_i (véase figura 2.9).

b_i = Anchura del tramo i -ésimo, de longitud l_i (véase figura 2.9).

2.3.1.2. Tubería drenante bajo el nivel freático

Cuando la tubería drenante se utilice además de para la captación de la infiltración según se especifica en 2.3.1.1, para el rebajamiento de niveles freáticos, bien subhorizontales bajo la explanada, o bien relacionados con la presencia de taludes en desmonte —en cuyo caso la carga hidrostática puede superar la altura de la carretera sobre el dren—, el proyecto deberá efectuar un cálculo específico del caudal de afluencia, como red de flujo.

Este cálculo deberá abordarse por métodos analíticos, numéricos, o previa justificación de su adecuación al caso, mediante la utilización de ábacos o tabulaciones. Para caracterizar el terreno se utilizarán preferiblemente parámetros determinados in situ.

2.3.1.3. Caudal a considerar

El caudal a considerar para los cálculos hidráulicos será:

- Tubería drenante por encima del nivel freático: el estimado conforme se especifica en 2.3.1.1.
- Tubería drenante bajo el nivel freático: la suma de los obtenidos conforme se especifica en 2.3.1.1 y 2.3.1.2.

Si se tuviera constancia de la afluencia, con carácter excepcional, de caudales adicionales, deberían sumarse a los especificados en la relación anterior, si bien no debe permitirse en ningún caso la entrada de aguas procedentes de escorrentía o de los sistemas de drenaje superficial de la carretera.

En el caso de pantallas drenantes ejecutadas al borde de la zona pavimentada (véase apéndice 4) y enrasadas con la misma, habrá de considerarse además, la infiltración por su parte superior que puede variar entre diez elevado a menos tres y diez elevado a menos uno litros por metro y por segundo (10^{-3} y 10^{-1} l/(m · s)), medidos longitudinalmente a la dirección de la pantalla, en función del tipo de impermeabilización de la pantalla y de la junta de ésta con el pavimento en su caso.

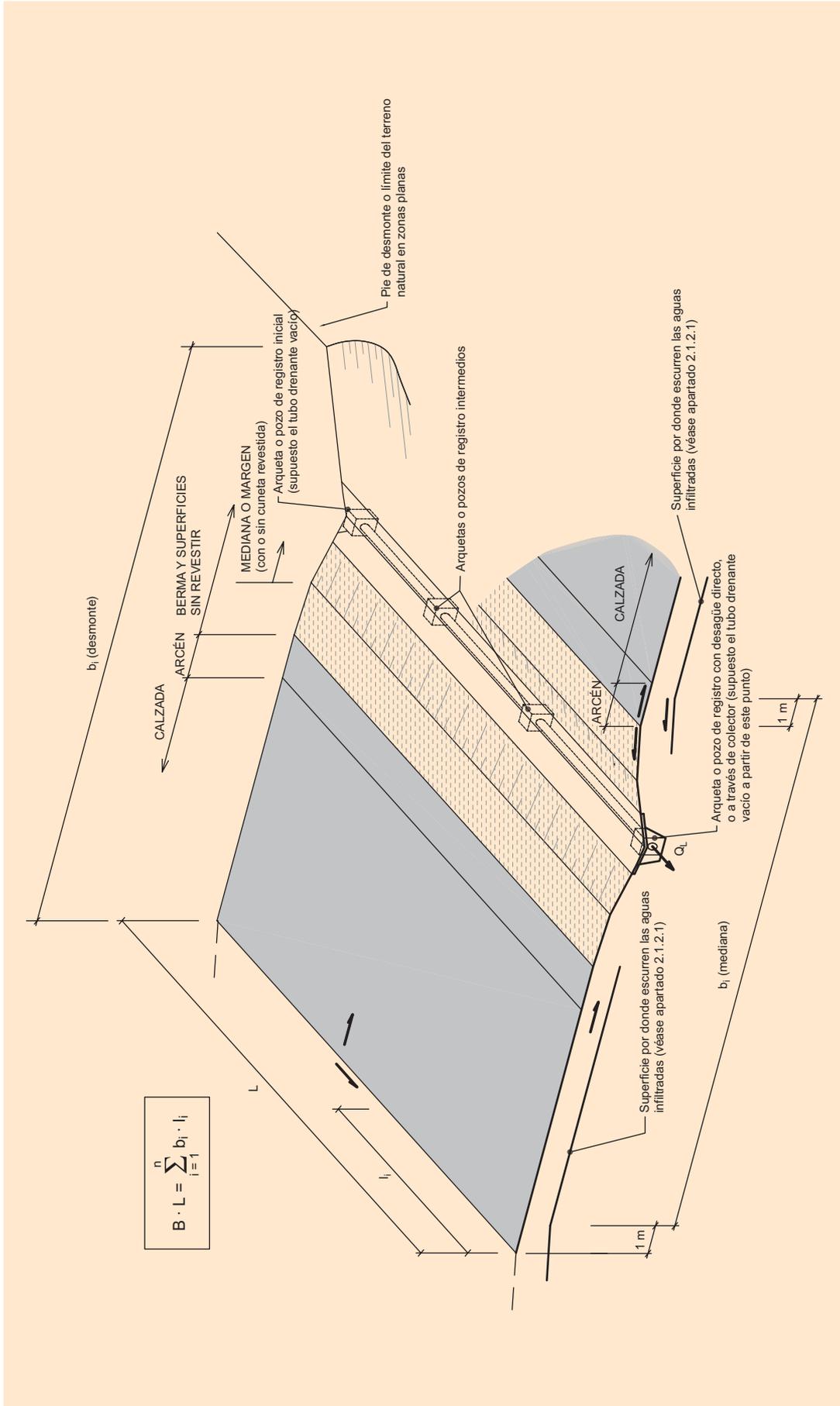


FIGURA 2.9. ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS DE INFILTRACIÓN

2.3.2. ELECCIÓN DE LAS TUBERÍAS DRENANTES

El cálculo hidráulico de las tuberías drenantes se efectuará a partir del caudal determinado en 2.3.1.3, con la metodología expuesta en la norma 5.2 IC Drenaje superficial o aquella que la sustituya.

Los valores del coeficiente de rugosidad K (equivalente al inverso del número n de Manning) que deben emplearse para la aplicación de la fórmula de Manning-Strickler, se obtendrán, salvo justificación expresa en contra del proyecto, de la tabla 2.3.

TABLA 2.3. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD K ($m^{1/3}/s$) A UTILIZAR EN LA FÓRMULA DE MANNING-STRICKLER

TIPO DE TUBERÍA	K ($m^{1/3}/s$)
Tubería drenante de material plástico (PEAD, PVC, etc.) con paredes interiores lisas	65-105
Tubería drenante de material plástico (PEAD, PVC, etc.) con paredes interiores corrugadas	40-55

Nota: Los valores inferiores tienen en cuenta pequeñas irregularidades, ligeros defectos de limpieza, pequeños cambios de dirección y forma, así como el paso de conductos a través de arquetas cuyo fondo conserve la sección de dichos conductos en su parte inferior.

El diámetro de la tubería a disponer, cumplirá tanto los valores determinados a partir de los cálculos hidráulicos mencionados, como los mínimos necesarios por cuestiones de limpieza y conservación (véanse apartados 3.1 y 3.4).

2.4. DRENAJE SUBTERRÁNEO EN ELEMENTOS SINGULARES

2.4.1. CANALIZACIONES PARA SERVICIOS

En los correspondientes anejos del proyecto, se estudiarán las condiciones de inserción de las canalizaciones para los servicios previstos en los planos de secciones transversales tipo, teniendo en cuenta su influencia en el drenaje subterráneo de la carretera.

Cuando las canalizaciones se construyan con la carretera en servicio, se garantizará que el sistema de drenaje subterráneo de la misma no resulte afectado, tanto en sus elementos constituyentes como en su funcionamiento, y que las obras en cuestión no supongan un aumento de la infiltración.

Las canalizaciones y sus correspondientes arquetas y pozos de registro no deberán constituir vías de infiltración. Para ello se impermeabilizará la parte superior de las zanjas y se evitará que las tapas de arquetas y pozos de registro constituyan puntos bajos. Se dispondrán tapas que no permitan la entrada de agua. Se estudiarán los perfiles longitudinales de las canalizaciones de los servicios para localizar puntos bajos en los que se proyectarán desagües, y se definirán las medidas adicionales que resulten necesarias.

Las canalizaciones, arquetas, etc., de los servicios en cuestión, estarán separadas de los sistemas de drenaje subterráneo de la carretera. Los cruces inevitables con los sistemas de drenaje requerirán un estudio especial que garantice su buen comportamiento.

El cruce de conducciones hidráulicas bajo la calzada deberá efectuarse mediante tuberías estancas dispuestas en el interior de otros tubos o estructuras, que permitan su reparación y el desagüe por gravedad de posibles fugas. Normalmente la dirección de cruce más conveniente será la ortogonal al eje de la vía, si bien el proyecto podrá justificar, de manera expresa, cruces esviados en su caso.

En general, cualquier otro cruce para servicios bajo calzada deberá ser ortogonal al eje de la carretera, salvo justificación expresa en contra del proyecto, impermeable y permitirá el desagüe por gravedad de las aguas que, por cualquier circunstancia extraordinaria, pudieran circular por su interior.

2.4.2. LECHOS DE FRENADO

Aunque muy puntuales por su implantación excepcional, los lechos de frenado constituyen, por su propia concepción, una zona de infiltración próxima a la plataforma de la carretera y de gran superficie. El proyecto deberá abordar de manera específica la evacuación de las aguas recogidas en los lechos de frenado y en caso necesario, resolver la incidencia de estas infiltraciones en la estabilidad de las explanaciones.

Deberá efectuarse un diseño geométrico del fondo del lecho que permita la evacuación de las aguas, dotando al mismo de una pendiente transversal del dos por ciento (2%) hacia el exterior del lecho.

En el punto bajo de la sección transversal del lecho, se dispondrá longitudinalmente una tubería drenante con un diámetro interior mínimo de doscientos milímetros (200 mm), y una pendiente longitudinal que preferentemente sea la del fondo del mismo. Si dicha pendiente longitudinal fuera inferior o igual al uno por ciento (1%), se adoptará este último valor como pendiente mínima de la tubería drenante, ubicándose en este caso en el interior de una zanja drenante a disponer en el borde exterior del lecho.

En el punto bajo del lecho se dispondrá un desagüe de la tubería drenante, por vertido a un colector a través de una arqueta. Si esta arqueta fuese interior al lecho se deberá señalar su posición de forma que se aprecie exteriormente.

El colector se calculará según lo especificado en la norma 5.2 IC Drenaje superficial o aquella que la sustituya, para un caudal que será la suma de las aportaciones de escorrentía exteriores que viertan al lecho, más la precipitación sobre el propio lecho, suponiendo en este último caso que se infiltra y es recogida por el colector en su totalidad.

Asimismo se estudiará la infiltración de las aguas desde el fondo del lecho hacia los materiales subyacentes. Cuando se trate de materiales susceptibles al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos, según NLT 115, mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua, según se especifica en los artículos 330, 331 y 333 del PG-3), las paredes y el fondo deberán constituir un recinto impermeable de hormigón.

2.5. CONSIDERACIÓN DE LA HELADA

Cuando las heladas actúan durante un número de días suficiente, se puede producir un aumento de la humedad en suelos susceptibles a este fenómeno, situados bajo la calzada.

Son suelos susceptibles a la helada, aquellos que cuando se congelan forman en su interior lentejones de hielo de disposición sensiblemente horizontal, originando un incremento de volumen en su estructura que puede llegar a reflejarse en la superficie de la carretera. El crecimiento de los lentejones se debe al movimiento capilar hacia los mismos del agua intersticial de los suelos circundantes.

El aumento de humedad producido por este fenómeno se pone de manifiesto en el momento del deshielo cuando se funden dichos lentejones. Hasta el final del deshielo, el propio lentejón dificulta el drenaje por gravedad de las aguas fundidas en su parte superior. En esta zona puede alcanzarse la saturación del suelo.

La importancia de la acumulación de agua en un suelo susceptible a la helada depende de tres factores principales:

- Intensidad de la helada. Se puede caracterizar la intensidad de la helada por la profundidad que esta alcanza en el suelo. En la penetración de la helada influyen, su duración, la temperatura y la conductividad térmica de los materiales considerados.

Si el frente de helada alcanzara a un suelo susceptible a la misma, la formación de lentejones dependería fundamentalmente de la duración de la helada, ya que tanto la penetración de dicho frente, como los movimientos capilares del agua que alimentan la formación de los lentejones, son fenómenos lentos, que en todo caso implican varios días para su materialización.

- La mayor o menor susceptibilidad al hielo del propio suelo, que depende de su naturaleza, granulometría, porosidad y densidad.
- La humedad inicial del suelo y la posibilidad de alimentación de agua del frente de helada, que depende de la humedad de las zonas próximas no heladas.

Cuando las obras se encuentren en las zonas especificadas en el apartado 2.5.1, el proyecto dispondrá materiales no susceptibles al hielo en la profundidad afectada por el frente de helada, según se indica en el apartado 2.5.2.

De forma complementaria se podrá establecer, si fuera necesario, un sistema de drenaje subterráneo que mantenga reducida la humedad y dificulte la alimentación de agua al frente de helada.

Asimismo las tuberías drenantes, los colectores, etc., se dispondrán a una profundidad tal que no resulten dañados por el efecto de las heladas (véase apartado 2.5.3).

2.5.1. ZONAS DONDE DEBE TENERSE EN CUENTA EL EFECTO DE LAS HELADAS

Según se especifica en la norma 6.1 IC Secciones de firme, en los proyectos de carreteras situadas a una altitud superior a mil quinientos metros (1.500 m) se deberá tener en cuenta el efecto de las heladas.

Asimismo habrá de tenerse en cuenta el efecto de las heladas, cuando las obras, aún situadas a una altitud inferior a mil quinientos metros (1.500 m), se encuentren comprendidas en las zonas especificadas en los mapas que constituyen las figuras 2.10 a 2.14.

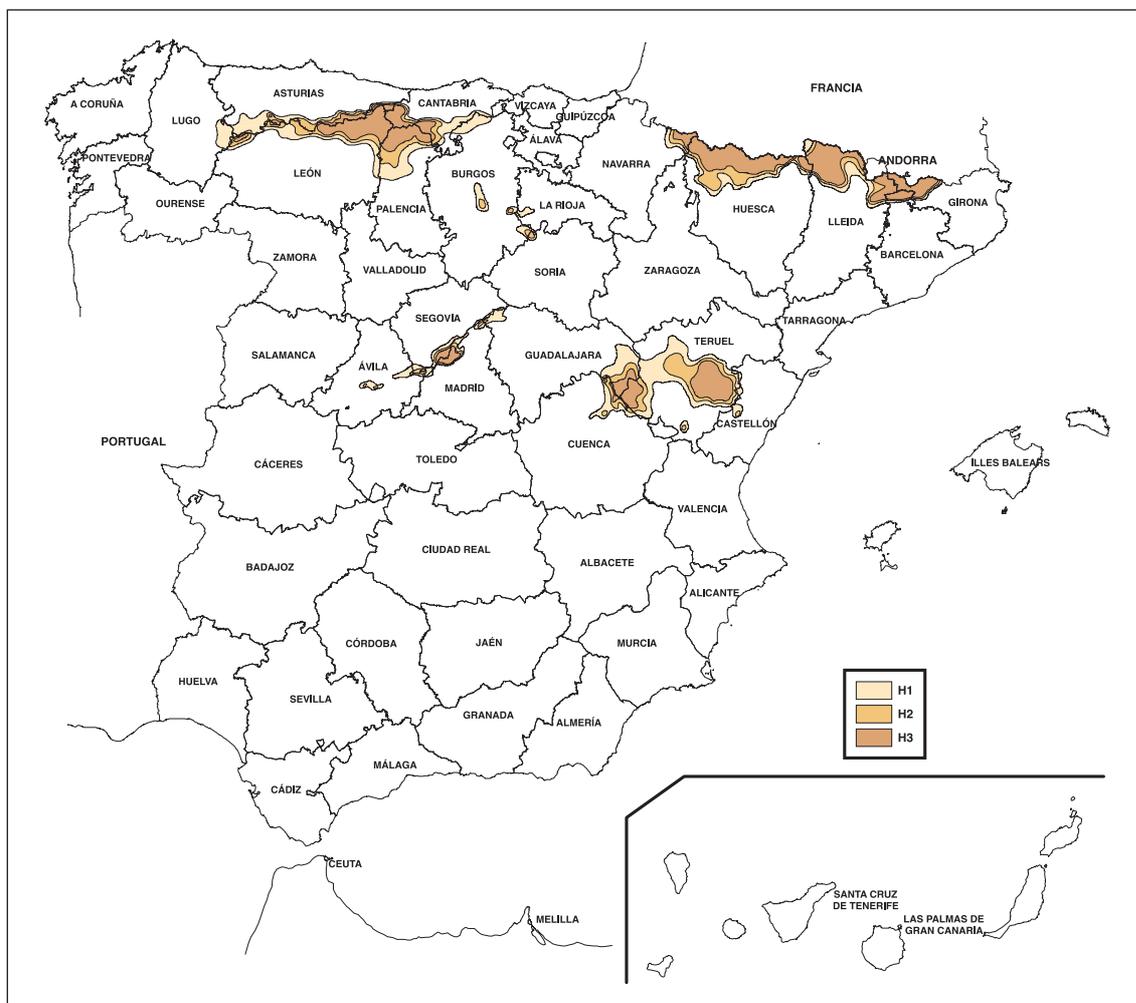


FIGURA 2.10. ZONAS EN LAS QUE DEBE TENERSE EN CUENTA EL EFECTO DE LAS HELADAS, INDEPENDIEMENTE DE SU ALTITUD. MAPA GENERAL

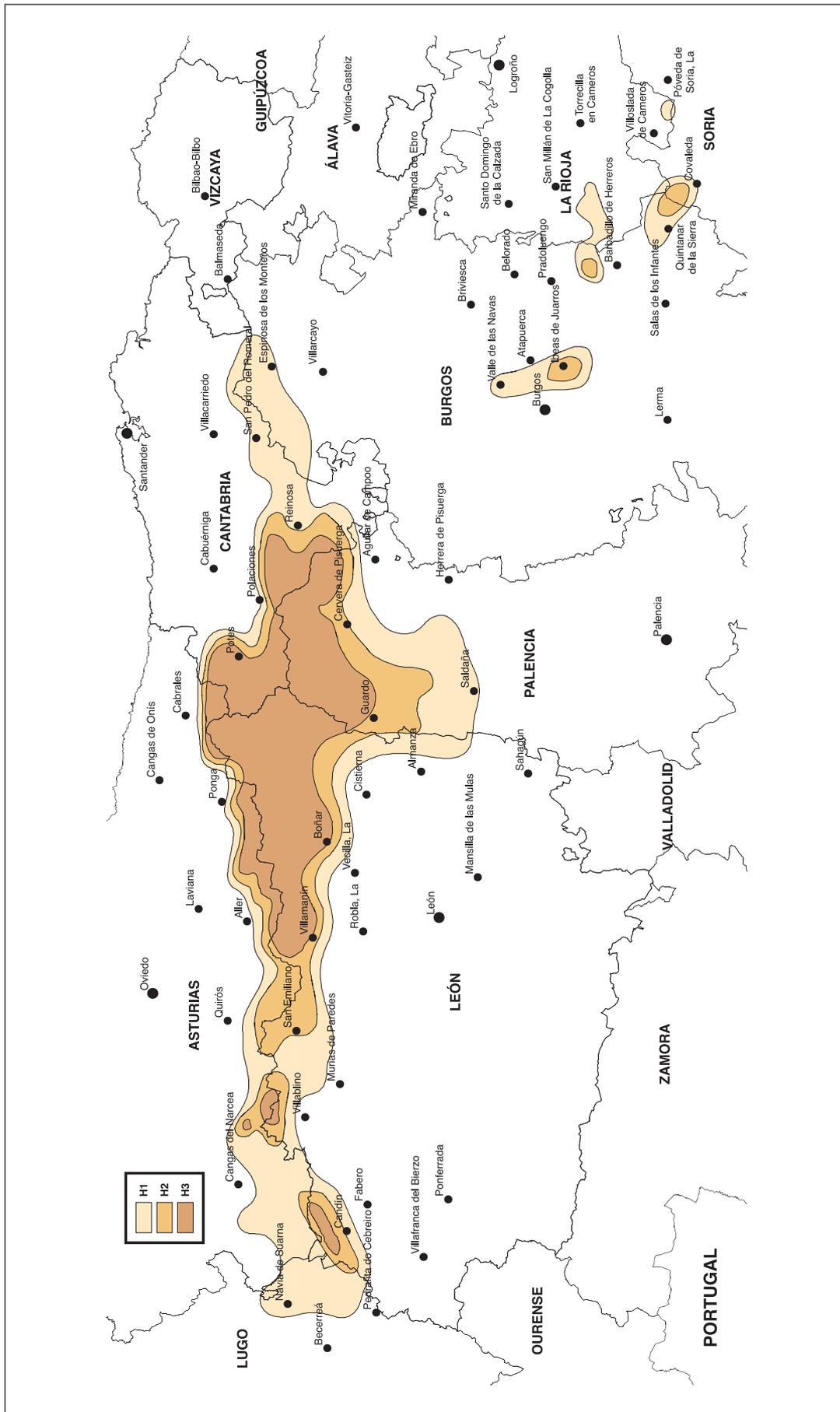


FIGURA 2.11. ZONAS EN LAS QUE DEBE TENERSE EN CUENTA EL EFECTO DE LAS HELADAS, INDEPENDIEMENTE DE SU ALTITUD. MAPA PARCIAL DE LA ZONA NORTE

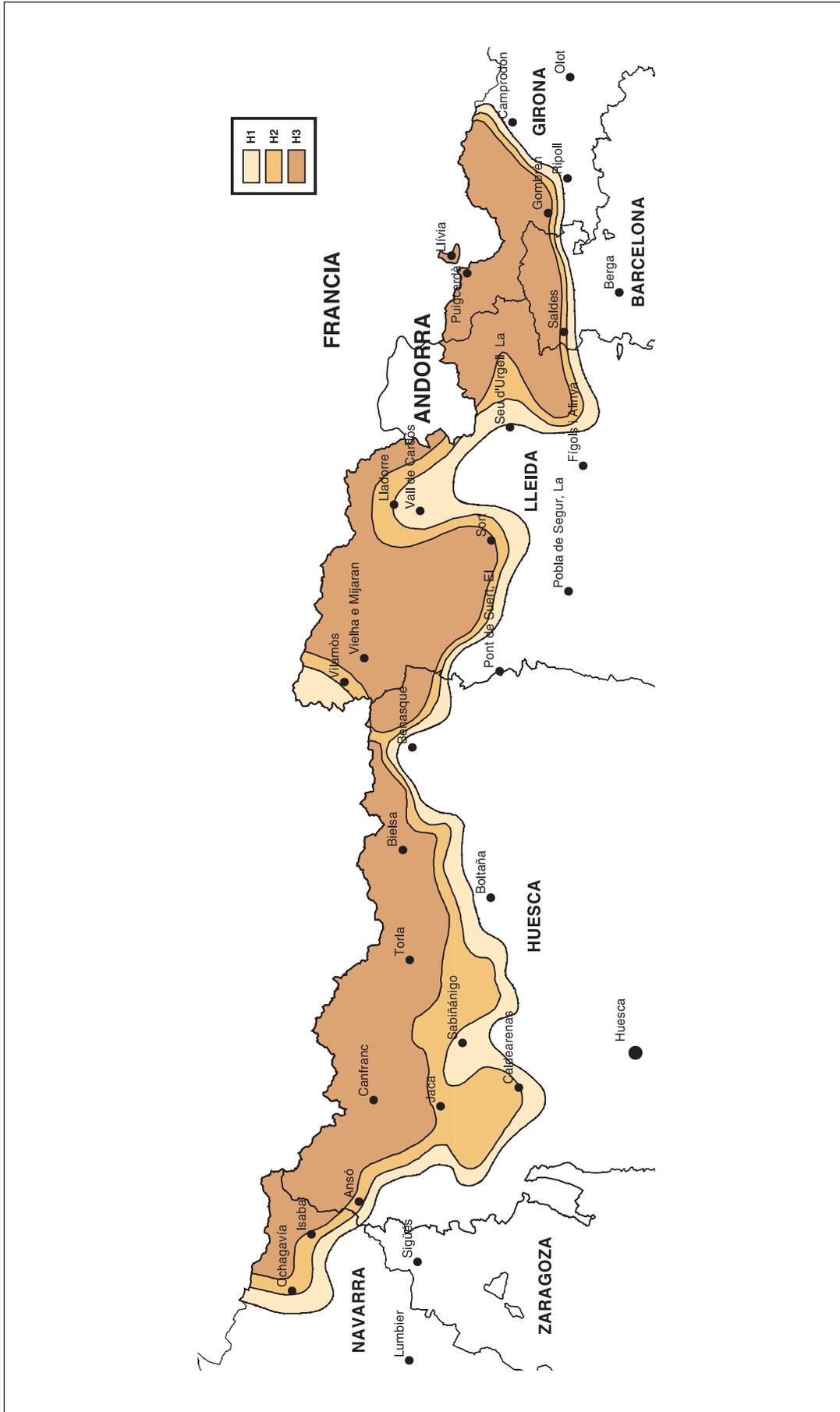


FIGURA 2.12. ZONAS EN LAS QUE DEBE TENERSE EN CUENTA EL EFECTO DE LAS HELADAS, INDEPENDIEMENTE DE SU ALTITUD. MAPA PARCIAL DE LA ZONA PIRENAICA

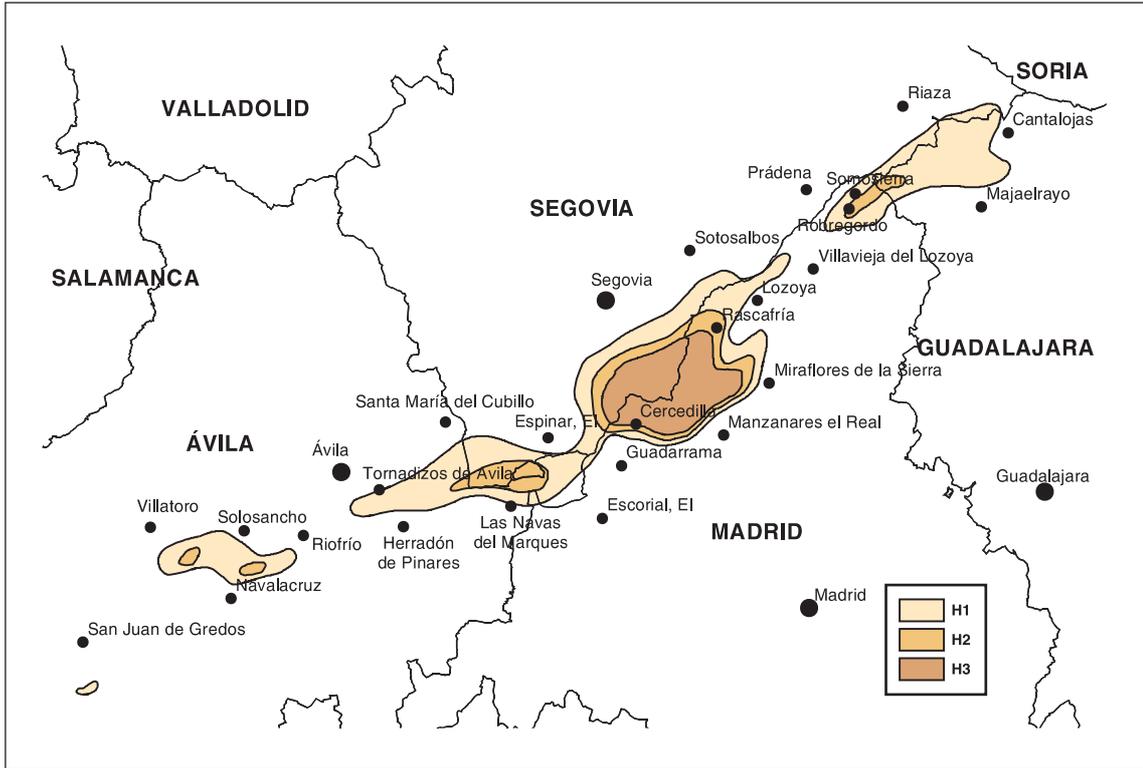


FIGURA 2.13. ZONAS EN LAS QUE DEBE TENERSE EN CUENTA EL EFECTO DE LAS HELADAS, INDEPENDIEMENTE DE SU ALTITUD. MAPA PARCIAL DE LA ZONA DEL SISTEMA CENTRAL

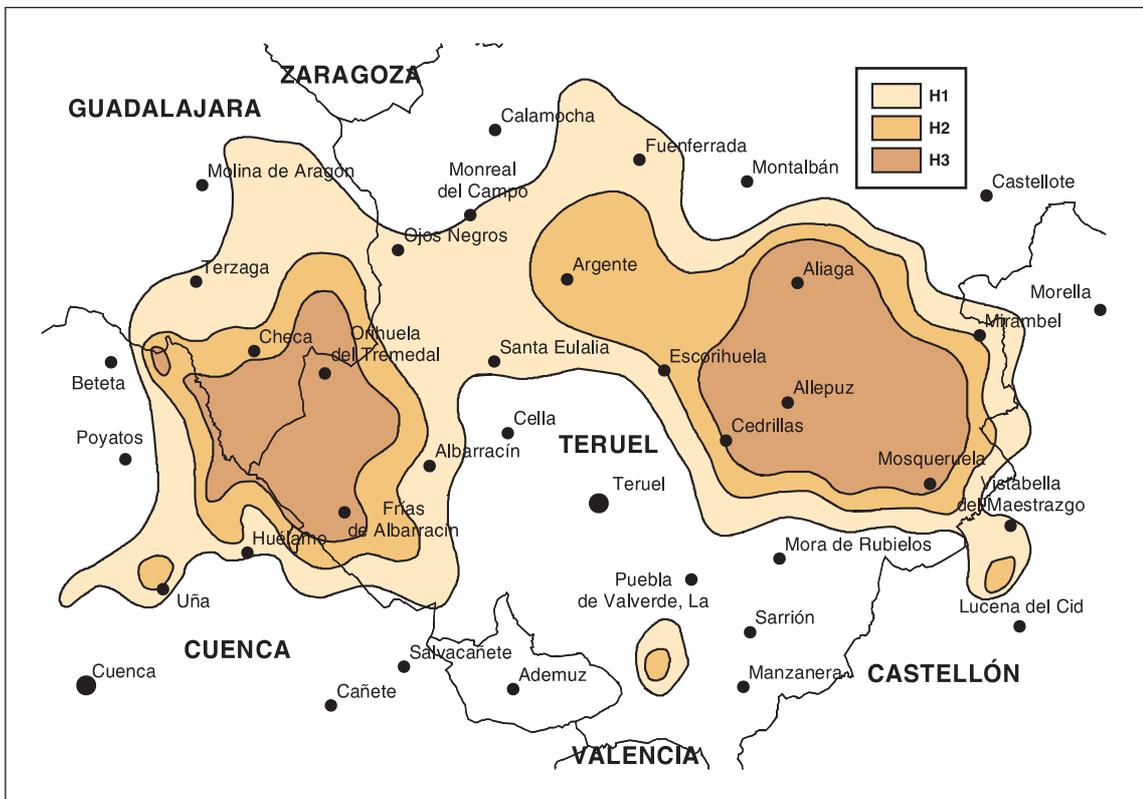


FIGURA 2.14. ZONAS EN LAS QUE DEBE TENERSE EN CUENTA EL EFECTO DE LAS HELADAS, INDEPENDIEMENTE DE SU ALTITUD. MAPA PARCIAL DE LA ZONA DEL SISTEMA IBÉRICO

En el interior de túneles situados en los lugares referidos anteriormente, el efecto de las heladas sólo deberá tenerse en cuenta en las proximidades de las boquillas, en una longitud de cien metros (100 m), salvo justificación expresa en contra del proyecto.

2.5.2. PROFUNDIDAD DE LOS SUELOS AFECTADOS POR LA HELADA. MATERIALES SUSCEPTIBLES AL HIELO

No deberán utilizarse suelos susceptibles al hielo, en las zonas especificadas en el apartado 2.5.1, en una profundidad (medida a partir de la rasante de la carretera) igual o inferior a la definida en la tabla 2.4. Si esta profundidad alcanzase el fondo de la explanación (desmontes), deberán sustituirse los materiales susceptibles afectados —bajo la misma—, en el espesor correspondiente.

TABLA 2.4. PROFUNDIDAD DE LOS SUELOS AFECTADOS POR LA HELADA (z_s)

ZONA DE HELADA*	z_s (m)
H1	0,70
H2	0,80
H3	1,00

* Véanse figuras 2.10 a 2.14.

Adicionalmente, en carreteras situadas a una altitud superior a mil quinientos metros (1.500 m) y no incluidas en las zonas de helada de la tabla 2.4, si no se dispusiese de datos locales más contrastados, podrá adoptarse un valor z_s igual a sesenta centímetros ($z_s = 0,60$ m).

El proyecto, mediante un estudio especial basado en las condiciones climáticas locales, características de la sección transversal, implantación de medidas especiales, etc., podrá justificar una profundidad de afección inferior al valor de z_s definido en este apartado.

A los efectos de aplicación de este documento, se consideran materiales susceptibles al hielo, los que cumplan alguna de las condiciones siguientes:

- Materiales granulares y suelos cuyo cernido por el tamiz 0,080 UNE esté comprendido entre el quince y el treinta y cinco por ciento ($15\% \leq \# 0,080 \text{ mm} \leq 35\%$).
- Suelos tolerables, marginales e inadecuados que cumplan simultáneamente que el cernido por el tamiz 0,080 UNE sea mayor que el treinta y cinco por ciento ($\#0,080 \text{ mm} > 35\%$), y que su índice de plasticidad sea inferior a veinticinco ($IP < 25$).
- Las rocas que, según los criterios establecidos en los apartados 331.4 y 333.4 del PG-3, no puedan considerarse como estables.
- Las rocas sedimentarias detríticas con granos cementados, tales como areniscas, limolitas, conglomerados, cretas, etc. La posible acción del hielo (que deberá evaluar el proyecto en cada caso), será tanto más importante cuanto más débil sea dicha cementación.

En general los suelos estabilizados in situ, conforme a lo especificado en el artículo 512 del PG-3, se pueden considerar, a priori, poco sensibles al hielo.

2.5.3. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS DE DRENAJE SUBTERRÁNEO

En las zonas indicadas en el apartado 2.5.1 el proyecto deberá evaluar, en su caso, la necesidad de adoptar medidas complementarias de drenaje subterráneo para mantener reducida la humedad y dificultar la alimentación de agua al frente de helada. Estas medidas podrán tomarse de

entre las incluidas en el capítulo 3 de este documento, o bien de entre aquellas otras no previstas específicamente en el mismo, cuyo estudio habrá de realizarse con las prescripciones mínimas que se fijan en el apartado 3.17.

Respecto a la disposición de elementos específicos de drenaje subterráneo, deberán tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Las pantallas o zanjas drenantes próximas a los extremos de calzada y arcenes, disminuyen la humedad bajo los mismos con carácter previo a la helada, evitan la continuidad de los lentejones de hielo que se puedan formar, y facilitan el posterior drenaje del agua proveniente del deshielo.
- Las tuberías drenantes de las zanjas, los dispositivos colectores de las pantallas, así como los colectores y otros elementos o sistemas de drenaje, deben proyectarse a una profundidad superior a la indicada en la tabla 2.5. Esta profundidad se medirá desde la superficie del terreno hasta la generatriz superior de la tubería o colector.

TABLA 2.5. PROFUNDIDAD MÍNIMA DE TUBERÍAS Y COLECTORES (z_d)

ZONA DE HELADA*	z_d (m)
H1	0,80
H2	0,90
H3	1,10

* Véanse figuras 2.10 a 2.14.

Adicionalmente, en carreteras situadas a una altitud superior a mil quinientos metros (1.500 m) y no incluidas en las zonas de helada de la tabla 2.5, si no se dispusiese de datos locales más contrastados, podrá adoptarse un valor z_d igual a setenta centímetros ($z_d = 0,70$ m).

El proyecto podrá justificar una profundidad de afección inferior al valor de z_d definido en este apartado mediante un estudio especial basado en las condiciones climáticas locales, implantación de medidas especiales, etc.