

ANEXO I (ejercicios del 101 al 105)

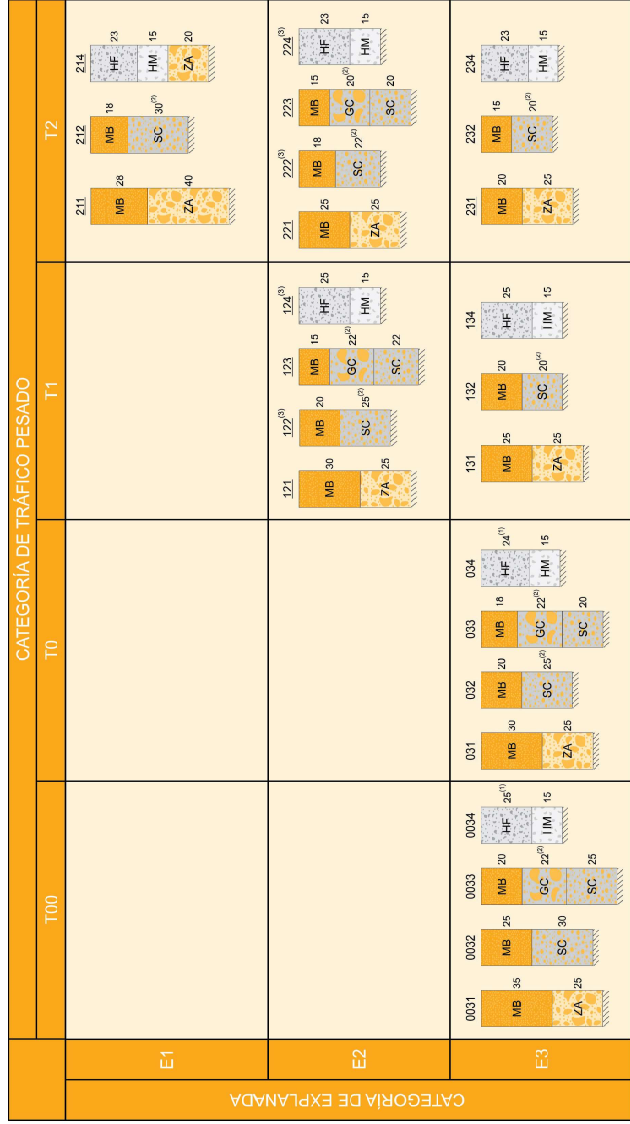


FIGURA 2.1. CATÁLOGO DE SECCIONES DE FIRME PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2. EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA DE EXPLANADA

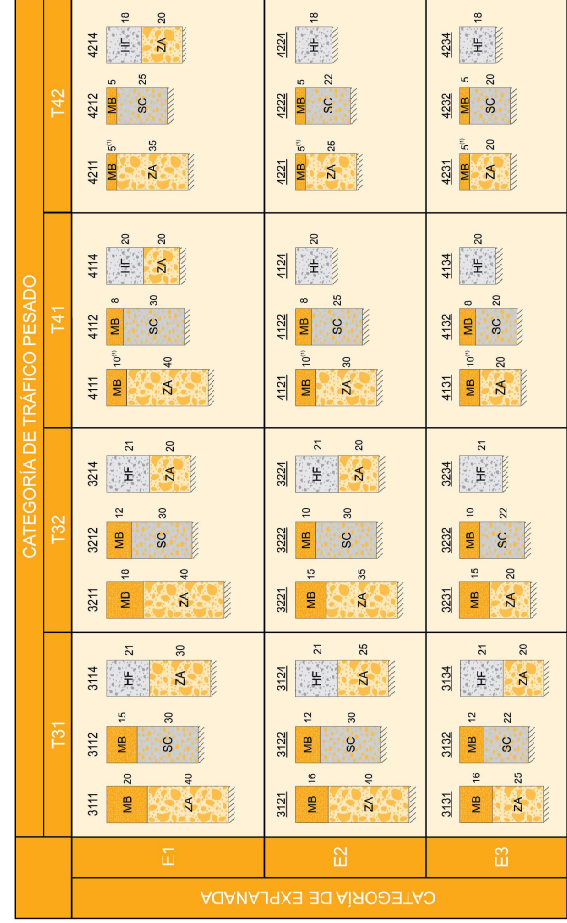


FIGURA 2.2. CATÁLOGO DE SECCIONES DE FIRME PARA LAS CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 (T31 Y T32) Y T4 (T41 Y T42). EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA DE EXPLANADA

6.2.1. MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Para la elección del tipo de ligante bituminoso, así como para la relación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral, se tendrá en cuenta la zona térmica estival definida en la figura 3.

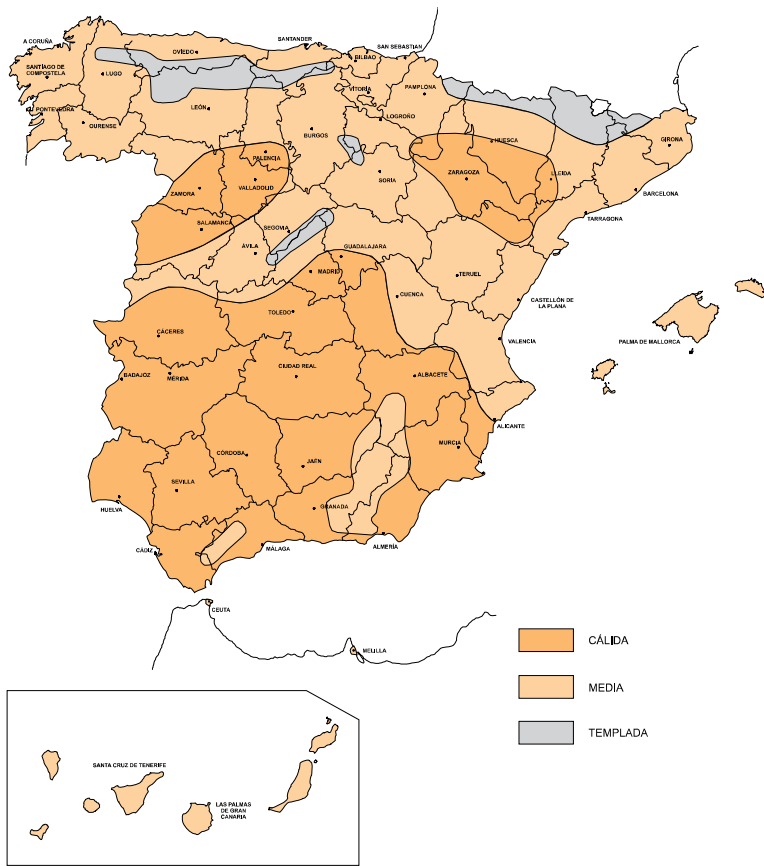


FIGURA 3. ZONAS TÉRMICAS ESTIVALES

6.2.1.1. ESPESOR DE LAS CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA

Los espesores de cada capa vendrán determinados por los valores dados en la tabla 6. Salvo justificación en contrario las secciones de firme se proyectarán con el menor número de capas posible compatible con los valores de dicha tabla, al objeto de proporcionar una mayor continuidad estructural del firme.

En las secciones en las que haya más de una capa de mezcla bituminosa el espesor de la capa inferior será mayor o igual al espesor de las superiores.

TABLA 6. ESPESOR DE CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2 y T31	T32 y T4 (T41 y T42)
Rodadura	PA	4		
	M	3	2-3	
	F		2-3	
	D y S		6-5	5
Intermedia	D y S	5-10(**)		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

(*) Ver definiciones en tabla 5 o artículos 542 y 543 del PG-3.
 (**) Salvo en arcones, para los que se seguirá lo indicado en el apartado 7.

En las secciones 123, 223, 232 y 3112, cuando se opte por una capa de rodadura constituida por una mezcla bituminosa drenante (PA), se podrá proyectar bajo dicha capa una intermedia de 11 cm de espesor, siempre que se pueda garantizar una adecuada regularidad superficial durante la puesta en obra.

Para la categoría de tráfico pesado T41 en las secciones con un espesor total de mezcla bituminosa de 8 cm, cuando se opte por una capa de rodadura tipo D o S se podrá proyectar una única capa, siempre que se pueda garantizar una adecuada regularidad superficial durante la puesta en obra.

6.2.1.2. CAPAS DE RODADURA DE MEZCLA BITUMINOSA

La capa de rodadura estará constituida por una mezcla bituminosa drenante (PA), definida en el artículo 542 del PG-3, por una mezcla bituminosa discontinua en caliente de tipo M o F, definida en el artículo 543 del PG-3, o por una mezcla bituminosa en caliente de tipo denso (D) o semidensa (S), definida en el artículo 542 del PG-3.

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T1 se emplearán las mezclas bituminosas discontinuas en caliente tipo M o bien las drenantes, según las condiciones pluviométricas y de intensidad de la circulación.

Las mezclas drenantes sólo podrán aplicarse en carreteras sin problemas de nieve o de formación de hielo, cuyos accesos estén pavimentados, con tráfico suficiente (IMD ≥ 5 000 vehículos/día) y con un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite su limpieza. No se utilizarán sobre tableros de estructuras que no estén debidamente impermeabilizados y en todo caso deberán preverse sistemas específicos de captación y de eliminación del agua infiltrada a través de la superficie del pavimento.

A los efectos de aplicación de esta norma, y salvo justificación en contrario, no deberán proyectarse pavimentos con mezcla drenante en altitudes superiores a los 1 200 m, ni cuando el tramo a proyectar esté comprendido en la zona pluviométrica poco lluviosa. La figura 4 recoge las zonas pluviométricas lluviosa y poco lluviosa.

En la zona pluviométrica poco lluviosa podrá excepcionalmente utilizarse mezcla drenante en tramos de pequeña pendiente longitudinal (inferior a 1,5%) en los que además el régimen de precipitación sea corto, pero intenso, durante un número significativo de días al año; la longitud pavimentada con mezcla drenante no deberá ser inferior a 500 m.

Con el fin de mejorar la seguridad y la comodidad en tiempo de lluvia, en autopistas y auto-vías urbanas y periurbanas con intensidad de tráfico superior a diez mil vehículos al día (IMD > 10 000 vehículos/día), podrán utilizarse mezclas drenantes, previa justificación, teniendo en cuenta los criterios establecidos anteriormente, y siempre que las características climáticas, de trazado y de tráfico lo aconsejen.

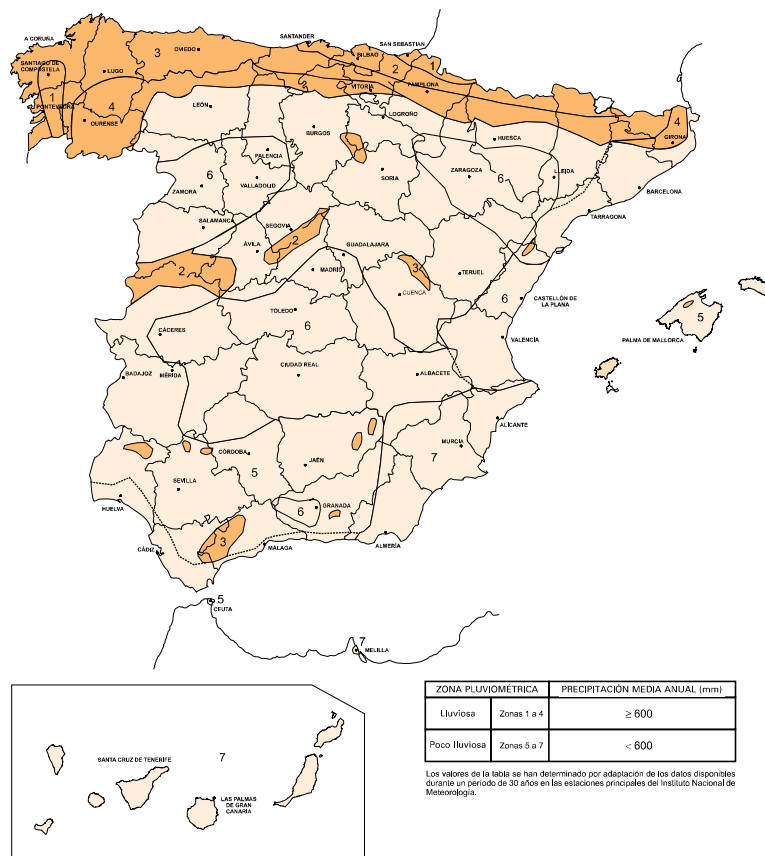


FIGURA 4. ZONAS PLUVIOMÉTRICAS

- Transporte al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

542.2 MATERIALES

542.2.1 Consideraciones generales

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones, y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE permitan deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados.

542.2.2 Ligantes hidrocarbonados

Salvo justificación en contrario, el ligante hidrocarbonado deberá cumplir las especificaciones de los correspondientes artículos de este Pliego, o en su caso, la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear, que se seleccionará entre los que se indican en las tablas 542.1.a, 542.1.b y 542.1.c, en función de la capa a que se destine la mezcla bituminosa, de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico

pesado, definidas en las vigentes Norma 6.1 IC Secciones de firme o en la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes.

TABLA 542.1.a - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN CAPA DE RODADURA Y SIGUIENTE (*) (Artículos 211 y 212 de este Pliego, y reglamentación específica vigente DGC)

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
CÁLIDA	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70	
MEDIA	35/50 BC35/50 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70
TEMPLADA	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60			BC50/70	

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

TABLA 542.1.b - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN CAPA DE BASE, BAJO OTRAS DOS (*) (Artículos 211 y 212 de este Pliego, y reglamentación específica vigente DGC)

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2 y T3
CÁLIDA		35/50 BC35/50 PMB 25/55-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70	50/70 BC50/70
MEDIA				50/70 70/100 BC50/70
TEMPLADA			50/70 70/100 BC50/70	70/100

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso.

Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este Pliego.

TABLA 542.1.c - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR EN MEZCLAS DE ALTO MÓDULO (Artículos 211 y 212 de este Pliego)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2
INTERMEDIA	PMB 10/40-70		15/25	
BASE			15/25	

Para las categorías de tráfico pesado T00 y T0, en las mezclas bituminosas a emplear en capas de rodadura se utilizarán exclusivamente betunes asfálticos modificados que cumplan el artículo 212 de este Pliego.

542.3 TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

La designación de las mezclas bituminosas, según la nomenclatura establecida en la norma UNE-EN 13108-1, se complementará con información sobre el tipo de granulometría que corresponda a la mezcla, con el fin de poder diferenciar mezclas con el mismo tamaño máximo de árido pero con husos granulométricos diferentes. Para ello, a la designación establecida en la norma UNE-EN 13108-1 se añadirá la letra D, S o G después de la indicación del tipo de ligante, según se trate de una mezcla densa, semidensa o gruesa, respectivamente.

La designación de las mezclas bituminosas seguirá, por lo tanto, el esquema siguiente:

AC	D	surf/bin/base	ligante	granulometría
----	---	---------------	---------	---------------

donde:

- AC** indicación relativa a que la mezcla es de tipo hormigón bituminoso.
- D** tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90% y 100%) del total del árido.
- surf/bin/base** abreviaturas relativas al tipo de capa de empleo de la mezcla, rodadura, intermedia o base, respectivamente.
- ligante** tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
- granulometría** designación mediante las letras D, S o G del tipo de granulometría correspondiente a una mezcla densa (D), semidensa (S) o gruesa (G), respectivamente. En el caso de mezclas de alto módulo se añadirán además las letras MAM.

Cuando la mezcla bituminosa sea semicaliente, se añadirá esta palabra al final de la designación de la mezcla.

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos

fijados en la tabla 542.8, según el tipo de mezcla. El análisis granulométrico se hará conforme a la norma UNE-EN 933-1.

TABLA 542.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (*)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)										
	45	32	22	16	8	4	2	0,500	0,250	0,063	
DENSA	AC16 D			100	90-100	64-79	44-59	31-46	16-27	11-20	4-8
	AC22 D		100	90-100	73-88	55-70		31-46	16-27	11-20	4-8
SEMIDENSA	AC16 S			100	90-100	60-75	35-50	24-38	11-21	7-15	3-7
	AC22 S		100	90-100	70-88	50-66		24-38	11-21	7-15	3-7
GRUESA	AC32 S	100	90-100		68-82	48-63		24-38	11-21	7-15	3-7
	AC22 G		100	90-100	65-86	40-60		18-32	7-18	4-12	2-5
	AC32 G	100	90-100		58-76	35-54		18-32	7-18	4-12	2-5

(*) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye sólo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite por tanto la indicación de la capa del firme y del tipo de betún).

- Para la formulación de mezclas bituminosas en caliente de alto módulo (MAM) se empleará el huso AC22S con las siguientes modificaciones, respecto a dicho huso granulométrico: tamiz 0,250 mm: 8-15%; y tamiz 0,063 mm: 5-8%.

El tipo de mezcla bituminosa a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, se definirá en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, de acuerdo con la tabla 542.9.

TABLA 542.9 - TIPO DE MEZCLA EN FUNCIÓN DEL TIPO Y ESPESOR DE LA CAPA

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (cm)
	DENOMINACIÓN. NORMA UNE-EN 13108-1(*)	
RODADURA	AC16 surf D AC16 surf S	4 – 5
	AC22 surf D AC22 surf S	> 5
INTERMEDIA	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC 22 bin S MAM (**)	5-10
BASE	AC32 base S AC22 base G AC32 base G AC 22 base S MAM (***)	7-15
ARCENES(****)	AC16 surf D	4-6

(*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

(**) Espesor mínimo seis centímetros (6 cm).

(***) Espesor máximo trece centímetros (13 cm).

(****) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la dotación mínima de ligante hidrocarbonado de la mezcla bituminosa que, en cualquier caso, deberá cumplir lo indicado en la tabla 542.10, según el tipo de mezcla y de capa.

9.1. PLANTEAMIENTO BÁSICO

Entre las posibles soluciones de rehabilitación estructural de firmes que tengan pavimento bituminoso, básicamente se considerarán los tipos de actuación siguientes entre los indicados en el apartado 7.2:

- Eliminación parcial de una parte del firme existente y reposición con mezcla bituminosa hasta la misma cota que la superficie original del pavimento existente.
- Recrecimiento mediante mezclas bituminosas o mediante pavimento de hormigón.
- Combinación de los dos tipos de actuación anteriores, incluyendo las técnicas de reciclado de materiales de acuerdo con lo expuesto en el apartado 7.4.

Por consideraciones ambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a 70 000 m², se deberán tener en cuenta en el análisis de las soluciones las técnicas de reciclado con las limitaciones y prescripciones indicadas en el apartado 7.4.

No se considerará como solución general de rehabilitación estructural la demolición y reconstrucción total del firme en toda la longitud, que deberá reservarse sólo para zonas o tramos muy excepcionales.

Los tres tipos de solución se dimensionarán siguiendo lo establecido en los apartados 9.3, 9.5 y 9.6.

Previamente a la ejecución de cualquier tipo de rehabilitación generalizada, se sanearán los blandones y zonas singulares de longitud inferior a 100 m, de acuerdo con lo que se indica en el apartado 9.2. También se cumplirá lo dispuesto en el apartado 9.4 sobre el sellado de las grietas de reflexión o de otro origen no estructural.

Los recrecimientos podrán también realizarse con materiales distintos a las mezclas bituminosas en determinados casos, de acuerdo con lo indicado en el apartado 9.7.

9.2. REPARACIÓN PREVIA DE LAS ZONAS SINGULARES

9.2.1. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS SINGULARES

Son zonas singulares las que presentan una falta de capacidad estructural que afecta a la explanada o tiene su origen en ella. Suelen presentarse superficialmente como deterioros localizados, de pequeña longitud (inferior a 100 m) y con un aspecto visual sensiblemente diferente al existente con carácter general en el resto del tramo.

A efectos prácticos, si no se dispusiera de un estudio específico del tramo que demuestre lo contrario, se entenderá que el agotamiento estructural afecta a la explanada no sólo en las zonas localizadas de blandones, detectadas visualmente, sino también cuando para la categoría de tráfico pesado correspondiente, el valor de la deflexión patrón en un punto determinado supere los valores indicados en la tabla 2.

TABLA 2. UMBRALES DEL VALOR PUNTUAL DE LA DEFLEXIÓN PATRÓN (10^{-3} mm) PARA LOS QUE SE CONSIDERA QUE EL AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL AFECTA A LA EXPLANADA

2.A – FIRMES FLEXIBLES Y SEMIFLEXIBLES

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
T00	T0	T1	T2	T3	T4
100	125	150	200	250 (*)	300 (*)

(*) Excepto en antiguas carreteras que actualmente son vías de servicio de autopistas y autovías interurbanas, cuyo umbral será 200.

2.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 y T0	T1 y T2	T3 y T4
75	100	125 (**)

(**) Excepto en antiguas carreteras que actualmente son vías de servicio de autopistas y autovías interurbanas, cuyo umbral será 100.

Las zonas singulares de longitud mayor o igual a 100 m, en las que las deflexiones superen los valores indicados en la tabla 2, se considerarán, a todos los efectos, zonas de estudio especial a las que será aplicable el apartado 9.9.

En el caso de firmes semirrígidos, si se detectase surgencia de finos a través de las grietas o de las juntas del pavimento o movimiento de las losas, se procederá a la reparación de las zonas afectadas hasta la profundidad necesaria, o bien se estabilizarán las losas mediante inyección.

9.2.2. CRITERIOS DE PROYECTO

Debe tenerse en cuenta que, en la mayoría de las ocasiones, las deflexiones excesivas en zonas de desmonte suelen tener su origen en defectos de drenaje, situación que también se puede producir en terraplenes en zonas bajas donde no tienen salida las aguas; en ambos casos deberá corregirse el drenaje previamente a la rehabilitación. Por otra parte, puede que, aunque no se tengan valores excesivos de deflexión, existan deficiencias generalizadas de drenaje (por lo menos, en lo que al drenaje superficial se refiere) que podrían repercutir negativamente a corto plazo en la capacidad resistente del firme y que, en consecuencia, habría que corregir también.

Las zonas singulares, de longitud inferior a 100 m, en las que el agotamiento estructural afecte a la explanada, se sanearán demoliendo la totalidad del firme y excavando una profundidad de 80 cm por debajo de la cota de la explanada. En todos los casos en los que sea necesario, se actuará sobre el drenaje, asegurando la salida del agua que pudiera acumularse en el fondo de la zona excavada.

La superficie de la explanada deberá quedar al menos 60 cm por encima del nivel más alto previsible de la capa freática donde el suelo sea seleccionado, 80 cm donde sea adecuado, 100 cm donde sea tolerable y 120 cm donde sea inadecuado o marginal. A tal fin se adoptarán medidas tales como la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc., y se asegurará la evacuación del agua infiltrada a través del firme de la calzada y de los arcenes o a través de la junta entre éstos y aquélla. En todo caso, se tendrán en cuenta los criterios indicados en la normativa vigente sobre drenaje.

En el caso de que la técnica escogida para la rehabilitación del firme sea la de eliminación parcial y reposición, en firmes semirrígidos la excavación realizada se rellenará con zahorra artificial hasta la cota de la explanada, y sobre ella se extenderá una mezcla bituminosa hasta enrasar con

la superficie del pavimento. En firmes flexibles y semiflexibles se rellenará con zahorra artificial hasta la cota inferior de la mezcla bituminosa del firme adyacente y sobre ella se extenderá una mezcla bituminosa hasta alcanzar la superficie del pavimento.

En todos los casos, se preverá el drenaje necesario para la salida del agua que se pueda acumular en el fondo de la zona excavada y, si se juzga necesario, se completará la solución con medidas de prevención de una posible contaminación por finos arcillosos.

Otro tipo de reparaciones sólo podrá utilizarse previo estudio y justificación de su idoneidad y con la aprobación expresa de la Dirección General de Carreteras.

9.3. ELIMINACIÓN PARCIAL Y REPOSICIÓN DEL FIRME EXISTENTE

9.3.1. CRITERIOS GENERALES

Consistirá esta solución en la eliminación y retirada por medios mecánicos de los materiales que componen el firme hasta la profundidad precisa y su reposición con el mismo espesor de mezclas bituminosas. La eliminación parcial de las capas aglomeradas en firmes con pavimento bituminoso se realizará siempre mediante técnicas de fresado. En firmes muy flexibles con un espesor total de materiales bituminosos inferior a seis centímetros (6 cm), podría eventualmente considerarse el empleo de otros procedimientos.

La eliminación parcial y reposición alcanzarán a todas las zonas y capas del firme que presenten agotamiento estructural o vida residual insuficiente. Para la delimitación de la superficie y de la profundidad de esta solución se partirá de los valores de la deflexión patrón en los diferentes puntos de medida y de los resultados de una inspección visual detallada.

Se considerará que existe agotamiento estructural del firme cuando se observe en su superficie un agrietamiento de tipo estructural (zonas del carril cuarteadas en malla gruesa o fina y zonas de las rodadas con grietas longitudinales, ramificadas o no). En este caso, si no se conoce la profundidad del agrietamiento, se procederá a un reconocimiento más detallado del firme del carril mediante la extracción de testigos y la ejecución de calicatas escalonadas capa a capa. La eliminación parcial de firme y su posterior reposición deberá alcanzar la profundidad necesaria de acuerdo con lo indicado en el apartado 9.3.2, o hasta la capa cuya superficie no presente agrietamiento estructural. En todo caso, se eliminará la parte superior de la capa no eliminada (1 cm) cuando presente alteraciones que afecten a su integridad o no pueda quedar garantizada una buena adherencia con el material de reposición.

9.3.2. CRITERIOS DE PROYECTO

Se considerará que el firme tiene una vida residual insuficiente siempre que el valor de la deflexión patrón en un punto determinado supere los umbrales indicados en la tabla 3, salvo que un estudio y análisis más específico del estado de cada tramo homogéneo justifiquen la asignación de valores distintos para dichos umbrales.

TABLA 3. UMBRALES DEL VALOR PUNTUAL DE LA DEFLEXIÓN PATRÓN (10^{-2} mm) PARA EL AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL

3.A – FIRMES FLEXIBLES Y SEMIFLEXIBLES

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
T00 y T0	T1	T2	T3	T4
50	75	100	125	150 (*) 200 (**)

(*) Firmes con espesor de pavimento bituminoso \geq 5cm

(**) Firmes con espesor de pavimento bituminoso < 5cm

3.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
T00	T0 y T1	T2 y T3	T4
35	40	50	80

Según la categoría de tráfico pesado, la profundidad de eliminación parcial y de reposición del firme será la necesaria para que el espesor total de mezclas bituminosas nuevas sea, como mínimo, el indicado en la tabla 4.

TABLA 4. ESPESOR TOTAL (cm) DE MEZCLA BITUMINOSA NUEVA

4.A – FIRMES FLEXIBLES, SEMIFLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS EN LOS QUE SE ELIMINAN TOTAL O PARCIALMENTE LAS CAPAS TRATADAS CON CEMENTO

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
T00	T0	T1	T2	T3	T4
35	30	25	20	– (*)	– (*)

(*) Para antiguas carreteras que actualmente sean vías de servicio de autopistas y autovías interurbanas: 15 cm para T3 y 5 cm para T4.

4.B – FIRMES SEMIRRÍGIDOS EN LOS QUE SE CONSERVA TOTALMENTE ALGUNA CAPA TRATADA CON CEMENTO

Capa que se mantiene	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2	T3	T4
Gravacemento	20	18	18	15	12	–
Suelocemento	27	25	20	15	12	–

En el caso en que, después de eliminar las capas agrietadas, queden mezclas bituminosas con suficiente vida útil, los espesores de éstas deberán considerarse, a efectos de dimensionamiento, si no presentan fisuración, como espesores de mezclas bituminosas nuevas, aplicando a su espesor real el coeficiente de equivalencia de 0,75.

9.4. SELLADO DE GRIETAS

Aunque el sellado de grietas en la superficie del pavimento debe considerarse como una actuación específica de conservación, puede darse el caso de que en las zonas no tratadas según los criterios indicados en los apartados 9.2 y 9.3 existan grietas reflejadas o de otro origen no estructural. En este caso, se sellarán siempre que la longitud de sellado sea inferior a 3 km por kilómetro de calzada, incluso si estuviera previsto un recrecimiento en dichas zonas.

En el caso de que la longitud de sellado en el tramo fuera superior a los 3 km por kilómetro de calzada, se realizará un estudio especial para determinar sus causas y su previsible evolución, con objeto de decidir si técnica y económicamente es aconsejable sellar o es necesaria la eliminación y reposición de la capa objeto de estudio.

En los casos de firmes semirrígidos, si en las capas no eliminadas del firme existieran grietas de retracción o de reflexión de éstas, además de sanearlas y de sellarlas, se deberá estudiar la conveniencia de utilizar un sistema antirreflexión de grietas para minimizar el efecto perjudicial de dicha reflexión en la superficie del firme rehabilitado.

9.5. RECRECIMIENTO DEL FIRME EXISTENTE

9.5.1. RECRECIMIENTO CON MEZCLAS BITUMINOSAS

El recrecimiento consistirá en la extensión de una o varias capas de mezcla bituminosa sobre el firme existente. La actuación se extenderá a todo el tramo definido como homogéneo y de comportamiento uniforme de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 6.

Previamente, se procederá a la reparación de los blandones y de las zonas singulares de longitud inferior a 100 m en las que las medidas de la deflexión superen los valores de la tabla 2, de acuerdo con lo indicado en el apartado 9.2, y a sellar las grietas que eventualmente pudieran existir, de acuerdo con el apartado 9.4.

Una vez realizadas las eventuales reparaciones y sellados de grietas, se procederá al recrecimiento con el espesor de mezcla bituminosa indicado en la tabla 5 en función de la deflexión de cálculo (d_c) y de la categoría de tráfico pesado.

Si se considera conveniente, como medio de optimización de las soluciones de rehabilitación estructural, la división de las categorías de tráfico pesado T3 y T4 en las subcategorías (T31, T32, T41 y T42) indicadas en el apartado 5.3, el espesor mínimo de recrecimiento con mezcla bituminosa para cualquier tipo de firme existente será el indicado en la tabla 5.C.

TABLA 5. ESPESOR (*) (cm) DE RECRECIMIENTO CON MEZCLA BITUMINOSA

5.A – FIRMES FLEXIBLES Y SEMIFLEXIBLES

DEFLEXIÓN DE CÁLCULO (d_c) (10^{-2} mm)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2	T3	T4
0-40	10	ZONA DE ACTUACIÓN PREVENTIVA				
40-60	12	10	8			
60-80	15	12	10	8		
80-100	18	15	12	10	5	
100-125		18	15	12	8	5
125-150			18	15	10 ^(**)	6 ^(**)
150-200				18	12 ^(**)	8 ^(**)
> 200	ZONA DE ESTUDIO ESPECIAL					

(*) Valor mínimo en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

(**) Ver apartado 9.7.

ANEXO II (ejercicios del 106 al 109)

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Superficie: 3,79 km²

Cauces principales detectados:

	Longitud (m)	Desnivel (m)
Cauce 1	10050	1650
Cauce 2	8730	1105
Cauce 3	9620	1235

Valores del Coeficiente de Escorrentía a adoptar en función del Periodo de Retorno:

	Periodo de retorno (años)			
	10	25	50	100
C	0,24 0	0,31 7	0,37 1	0,422

Umbral de Escorrentía, Po = 28

Coefficiente de Variación Cv=0,50

Valor medio de la Máxima Precipitación diaria anual P=50 mm/día

Índice de Torrencialidad = 9

$$Y = P / \bar{P}$$

sigue idéntica distribución de frecuencia en toda la región considerada. Los parámetros de dicha distribución, una vez seleccionado el modelo de ley, son obtenidos a partir del conjunto de datos de las estaciones de la región, mientras que el valor local de la media \bar{P} se estima exclusivamente a partir de los datos de cada una de las estaciones.

La estimación de los cuantiles locales X_t (P_T en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” de 1997) en un determinado punto se reduce a reescalar los cuantiles regionales Y_t (denominados Factores de Amplificación K_T en la referida publicación) con la media local \bar{P} según la siguiente expresión:

$$X_t = Y_t \cdot \bar{P} \quad (3.1)$$

3.2 ESTIMACIÓN REGIONAL DE CUANTILES

La primera etapa de la estimación regional de cuantiles consistió en agrupar las 1545 estaciones “básicas”, con 30 o más años de registro, en 26 regiones geográficas (fig. 3.1). Las regiones fueron definidas tratando de agrupar zonas del territorio con características meteorológicas comunes y analizando de forma complementaria los C_v (coeficientes de variación) muestrales. Posteriormente la homogeneidad de las regiones fue contrastada mediante un test estadístico de χ^2 .

La segunda etapa consistió en la estimación regional de los parámetros y cuantiles de los siguientes 4 modelos de función de distribución cuya formulación puede consultarse en la tabla 3.1.:

- Valores Extremos Generalizados (GEV)
- Log-Pearson III (LP3)
- Valores Extremos con dos Componentes (TCEV)
- SQRT-ET max

Distribución	$f(x)$ ó $F(x)$	Parámetros
GEV	$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x-u}{\alpha} \right)^{1/k} \right] \right\}$	u, α, k
LP3	$f(x) = \frac{\left(\frac{\log_{10} x - u}{\alpha} \right)^{k-1}}{x \alpha \Gamma(k)} \exp \left\{ - \left(\frac{\log_{10} x - u}{\alpha} \right)^k \right\}$	u, α, k
TCEV	$F(x) = \exp(-\alpha_1 e^{-x\theta_1} - \alpha_2 e^{-x\theta_2})$	$\alpha_j, \theta_j, j = 1, 2$
SQRT-ET max	$F(x) = \exp[-k(1 + \sqrt{\alpha x}) \exp(-\sqrt{\alpha x})]$	α, k

Tabla 3.1. -Funciones de distribución seleccionadas

Un análisis de los cuantiles regionales Y_t estimados, con los cuatro modelos de ley seleccionados en las 26 zonas adoptadas, muestran diferencias prácticamente inexistentes para bajos y medios periodos de retorno (2,5, 10 y 25 años), y sólo cuando los períodos de retorno son mayores, existen ligeras diferencias siempre inferiores al 8% para 500 años.

Este hecho, reduce en cierto modo la trascendencia del proceso de selección del modelo de ley, siendo la ley SQRT-ET max la finalmente seleccionada por las siguientes razones:

- Es el único de los modelos analizados de la ley de distribución, que ha sido propuesto específicamente para la modelación estadística de máximas lluvias diarias.
- Está formulada con sólo dos parámetros lo que conlleva una completa definición de los cuantiles en función exclusivamente del coeficiente de variación con lo que se consigue una mayor facilidad de presentación de resultados.
- Por la propia definición de la ley proporciona resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel.
- Conduce a valores más conservadores que los otros modelos de ley analizados para las 17 regiones con cuantiles menores, mostrando unos resultados similares en el resto de las regiones.
- Demuestra una buena capacidad para reproducir las propiedades estadísticas observadas en los datos, lo que se comprobó mediante técnicas de simulación de Montecarlo.

El enfoque tradicional de los métodos regionales permite estimar el valor de los cuantiles regionales en un punto simplemente asignándole los valores obtenidos en la región en la que dicho punto está incluido, lo que presenta como principales inconvenientes tanto la incertidumbre existente respecto a los límites considerados en las regiones, como la indeseable discontinuidad que presentan los resultados en dichos límites. Para resolver estos problemas, se optó por presentar los resultados en forma "suavizada" trazando un mapa nacional de Isolíneas del coeficiente de variación (C_v) que se muestra en la fig. 3.2.

El C_v fue seleccionado como parámetro básico debido a su fácil comprensión al estar directamente relacionado con el valor de los cuantiles debido al modelo de ley y al método de estimación de parámetros adoptados.

3.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VALOR MEDIO COMO FACTOR DE ESCALA LOCAL

La estimación de cuantiles en un determinado punto es el resultado de aplicar la expresión (3.1), en la que la media \bar{P} de las series analizadas actúa como factor local.

El análisis de la distribución espacial de \bar{P} se abordó mediante interpolación espacial con técnicas de krigeado a partir de los valores medios de las series de 2231 estaciones, que incluyen las 1545 "básicas", ya empleadas en la modelación estadística y otras 686 "complementarias" con series de más de 20 años.

La técnica del krigeado presenta como ventaja fundamental, frente a otros métodos de interpolación (como la inversa de la distancia elevada a un exponente), la posibilidad de aprovechar directamente la información sobre correlación espacial existente en los propios datos, que queda reflejada en el denominado variograma muestral.

Para la aplicación del krigeado se consideraron 15 zonas geográficas con similar comportamiento de la variable analizada, caracterizado fundamentalmente por unas variaciones "bruscas" en zonas montañosas y "suaves" en el resto. En dichas zonas se calcularon los variogramas muestrales y se ajustaron variogramas teóricos. El proceso de obtención de los variogramas teóricos y de resolución de las ecuaciones básicas del krigeado se abordó mediante el software GEO-EAS¹, realizando una estimación de la variable sobre una malla cuadrada de 2500 m de lado.

¹ EPA (1988). GEO-EAS: Geostatistical Environmental Assessment Software. User's Guide U.S. Environmental Protection Agency

C _v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 7.1 - Cuantiles Y_T de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación K_T , en el "Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular" (1997).

2.2 Método racional

2.2.1 Fórmula general de cálculo

Siguiendo el método racional, el caudal máximo anual Q_T correspondiente a un período de retorno T , se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_T}{3,6}$$

donde:

- Q_T (m³/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca (figura 2.2).
- $I(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación (epígrafe 2.2.2) correspondiente al período de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c , de la cuenca.
- C (adimensional) Coeficiente medio de escorrentía (epígrafe 2.2.3)
- A (km²) Área de la cuenca o superficie considerada
- K_T (adimensional) Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación (epígrafe 2.2.5).

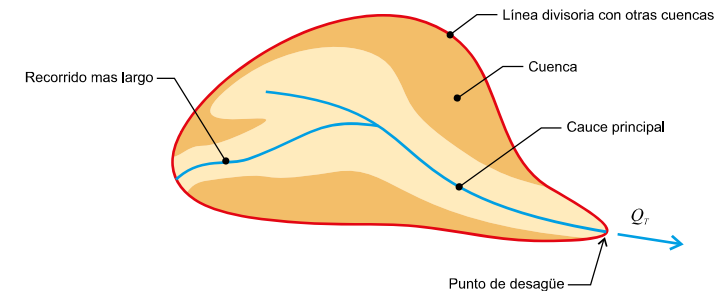


Figura 2.2 ESQUEMA DE CUENCA

La fórmula anterior es válida para cuencas homogéneas. En el epígrafe 2.2.4 se generaliza para cuencas heterogéneas.

Cuando las obras se ubiquen en el Levante y Sureste peninsular, se debe proceder según se especifica en el apartado 2.3.

En cualquier caso, e independientemente de la zona geográfica en la que se encuentren las obras, siempre que existan datos sobre caudales o referencias sobre inundaciones históricas se deben contrastar con los resultados obtenidos.

2.2.2 Intensidad de precipitación

2.2.2.1 Consideraciones generales

La intensidad de precipitación $I(T, t)$ correspondiente a un período de retorno T , y a una duración del aguacero t , a emplear en la estimación de caudales por el método racional, se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

$$I(T, t) = I_d \cdot F_{int}$$

donde:

$I(T, t)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente a un período de retorno T y a una duración del aguacero t .

I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T (epígrafe 2.2.2.2).

F_{int} (adimensional) Factor de intensidad (epígrafe 2.2.2.4).

La intensidad de precipitación a considerar en el cálculo del caudal máximo anual para el período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca Q_p , es la que corresponde a una duración del aguacero igual al tiempo de concentración ($t = t_c$) de dicha cuenca (epígrafe 2.2.2.5).

2.2.2.2 Intensidad media diaria de precipitación corregida

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T , se obtiene mediante la fórmula

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

donde:

I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T .

P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T .

K_A (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (epígrafe 2.2.2.3).

Para la determinación de la precipitación diaria correspondiente al período de retorno T , P_d , se debe adoptar el mayor valor de los obtenidos a partir de:

- Datos publicados por la Dirección General de Carreteras.
- Estudio estadístico de las series de precipitaciones diarias máximas anuales, medidas en los pluviómetros existentes en la cuenca, o próximos a ella.

Se debe ajustar a la serie de precipitaciones máximas registrada en cada pluviómetro, la función de distribución extremal más apropiada a los datos de la zona, considerando al menos las funciones Gumbel y SQRT ET-max.

A los efectos de esta norma, para la aplicación del método racional se toma como precipitación diaria P_d , la correspondiente al valor medio en la superficie de la

cuenca (media areal), que se obtiene mediante la interpolación espacial de los valores obtenidos en cada uno de los pluviómetros considerados.

2.2.2.3 Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca K_A , tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Si } A < 1 \text{ km}^2 & K_A = 1 \\ \text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2 & K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15} \end{aligned}$$

donde:

K_A (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

A (km²) Área de la cuenca (epígrafe 2.2.4).

2.2.2.4 Factor de intensidad F_{int}

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de:

- La duración del aguacero t
- El período de retorno T , si se dispone de curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF) aceptadas por la Dirección General de Carreteras, en un pluviógrafo situado en el entorno de la zona de estudio que pueda considerarse representativo de su comportamiento.

Se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

$$F_{int} = \max(F_a, F_b)$$

donde:

F_{int} (adimensional) Factor de intensidad

F_a (adimensional) Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_t/I_d)

F_b (adimensional) Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

a. Obtención de F_a

$$F_a = \left(\frac{I_t}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot I_t^{0,1}}$$

donde:

F_a (adimensional) Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_t/I_d). Se representa en la figura 2.3.

I_t/I_d (adimensional) Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica, a partir del mapa de la figura 2.4.

t (horas) Duración del aguacero.

Para la obtención del factor F_a , se debe particularizar la expresión para un tiempo de duración del aguacero igual al tiempo de concentración ($t = t_c$).

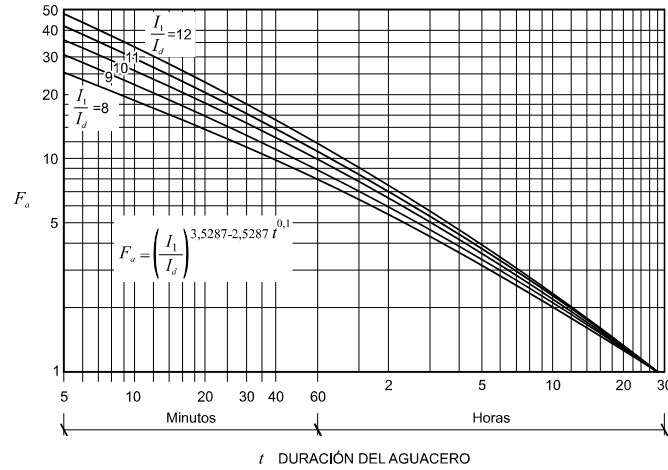


Figura 2.3 FACTOR F_a

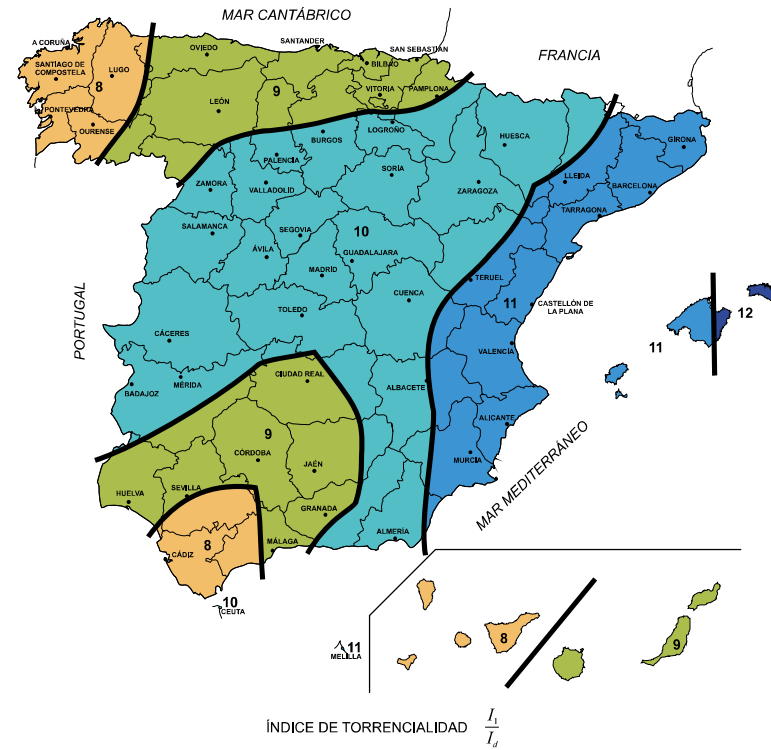


Figura 2.4 MAPA DEL ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD (I_t/I_d)

b. Obtención de F_b

$$F_b = k_b \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

donde:

F_b (adimensional) Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

$I_{IDF}(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y al tiempo de concentración t_c , obtenido a través de las curvas IDF del pluviógrafo (figura 2.5).

$I_{IDF}(T, 24)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a veinticuatro horas ($t = 24$ h), obtenido a través de curvas IDF (figura 2.5).

k_b (adimensional) Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un periodo de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico se puede tomar $k_b = 1,13$.

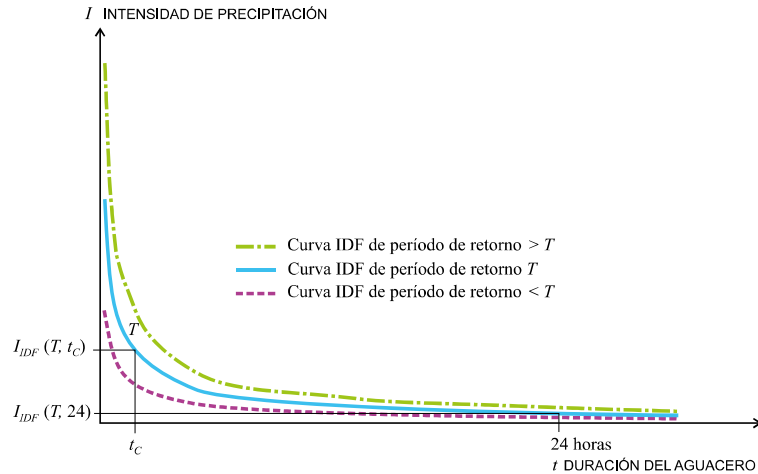


Figura 2.5 OBTENCIÓN DEL FACTOR F_b

2.2.2.5 Tiempo de concentración

Tiempo de concentración t_c , es el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe. Se obtiene calculando el tiempo de recorrido más largo desde cualquier punto de la cuenca hasta el punto de desagüe, mediante las siguientes formulaciones:

- Para cuencas principales (apartado 1.4):

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}$$

donde:

- t_c (horas) Tiempo de concentración
- L_c (km) Longitud del cauce
- J_c (adimensional) Pendiente media del cauce

Dado que el tiempo de concentración depende de la longitud y pendiente del cauce escogido, deben tantearse diferentes cauces o recorridos del agua, incluyendo siempre en los tanteos los de mayor longitud y menor pendiente. El cauce (o recorrido) que debe escogerse es aquél que da lugar a un valor mayor del tiempo de concentración t_c .

En aquellas cuencas principales de pequeño tamaño en las que el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno sea apreciable respecto al tiempo de recorrido total no será de aplicación la fórmula anterior, debiendo aplicarse las indicaciones que se proporcionan a continuación para cuencas secundarias. Se considera que se produce esta circunstancia cuando el tiempo de concentración calculado mediante la fórmula anterior sea inferior a cero coma veinticinco horas ($t_c \leq 0,25h$).

- Para cuencas secundarias (apartado 1.4), el tiempo de concentración se debe determinar dividiendo el recorrido de la escorrentía en tramos de característica homogéneas inferiores a trescientos metros de longitud (300 m) y sumando los tiempos parciales obtenidos, distinguiendo entre:

- ▶ Flujo canalizado a través de cunetas u otros elementos de drenaje: se puede considerar régimen uniforme y aplicar la ecuación de Manning (capítulo 3).
- ▶ Flujo difuso sobre el terreno:

$$t_{dif} = 2 \cdot L_{dif}^{0,408} \cdot n_{dif}^{0,312} \cdot J_{dif}^{-0,209}$$

donde:

- t_{dif} (minutos) Tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno.
- n_{dif} (adimensional) Coeficiente de flujo difuso (tabla 2.1)
- L_{dif} (m) Longitud de recorrido en flujo difuso
- J_{dif} (adimensional) Pendiente media

TABLA 2.1. VALORES DEL COEFICIENTE DE FLUJO DIFUSO n_{dif}

Cobertura del terreno		n_{dif}
Pavimentado o revestido		0,015
	Sin vegetación	0,050
No pavimentado ni revestido	Con vegetación escasa	0,120
	Con vegetación media	0,320
	Con vegetación densa	1,000

El valor del tiempo de concentración t_c , a considerar se obtiene de la tabla 2.2:

TABLA 2.2. DETERMINACIÓN DE t_c EN CONDICIONES DE FLUJO DIFUSO

t_{dif} (minutos)	t_c (minutos)
≤ 5	5
$5 \leq t_{dif} \leq 40$	t_{dif}
≥ 40	40

2.2.3 Coeficiente de escorrentía

2.2.3.1 Fórmula de cálculo

El coeficiente de escorrentía C , define la parte de la precipitación de intensidad $I(T, t_e)$ que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

El coeficiente de escorrentía C , se obtendrá mediante la siguiente fórmula, representada gráficamente en la figura 2.6

$$\text{Si } P_d \cdot K_A > P_0 \quad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2}$$

$$\text{Si } P_d \cdot K_A \leq P_0 \quad C = 0$$

donde:

C (adimensional) Coeficiente de escorrentía

P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado (epígrafe 2.2.2.2).

K_A (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (epígrafe 2.2.2.3).

P_0 (mm) Umbral de escorrentía (epígrafe 2.2.3.2).

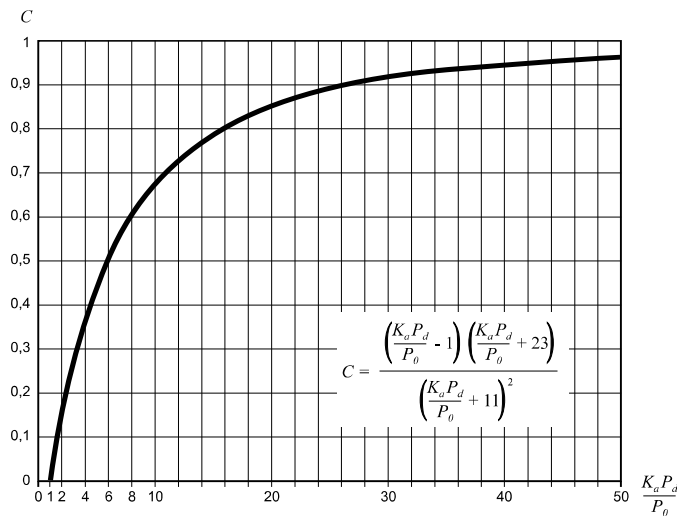


Figura 2.6 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

2.2.3.2 Umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía P_0 , representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

donde:

P_0 (mm) Umbral de escorrentía

P_0^i (mm) Valor inicial del umbral de escorrentía (epígrafe 2.2.3.3).

β (adimensional) Coeficiente corrector del umbral de escorrentía (epígrafe 2.2.3.4).

2.2.3.3 Valor inicial del umbral de escorrentía

El valor inicial del umbral de escorrentía P_0^i , se determinará como se refiere a continuación, a partir de:

- Series de datos o mapas publicados por la Dirección General de Carreteras, en los que se obtenga directamente el valor de P_0^i para una determinada localización geográfica. Normalmente, dicho valor en cada punto se obtendrá como promedio en la cuenca vertiente al punto de cálculo de una determinada discretización espacial llevada a cabo sobre el territorio.
- Tabla 2.3, en las siguientes circunstancias:
 - ▶ Cuando la información referida en el párrafo precedente no se encuentre disponible.
 - ▶ Cuando el tamaño de la cuenca sea similar (o inferior) al tamaño de la discretización espacial efectuada.
 - ▶ En problemas específicos de escorrentía urbana.
 - ▶ Para la definición del drenaje de plataforma y márgenes
 - ▶ Cuando se tenga constancia de cambios de uso del suelo con posterioridad a la elaboración de las series de datos o mapas a que se hace referencia en el párrafo anterior.
 - ▶ Para la realización de cálculos en que se supongan modificaciones de los usos del suelo, respecto a lo reflejado en las mencionadas series de datos o mapas.

La determinación de los grupos hidrológicos de suelo presentes en la cuenca se debe realizar a partir del mapa de la figura 2.7. Cuando se disponga de información más detallada, en el proyecto se puede justificar el cambio del grupo hidrológico de suelo en alguna cuenca concreta, según los criterios de la tabla 2.4 y la figura 2.8.

Cuando se considere oportuno, se pueden diferenciar las proporciones de los distintos tipos y usos del suelo existentes en la cuenca, atribuyendo a cada uno el valor correspondiente de P_0^i (epígrafe 2.2.4) que se indica en la tabla 2.3.

2.2.3.4 Coeficiente corrector del umbral de escorrentía

La formulación del método racional efectuada en los epígrafes precedentes requiere una calibración con datos reales de las cuencas, que se introduce en el método a través de un coeficiente corrector del umbral de escorrentía β .

Se pueden distinguir los siguientes casos, en función de los datos disponibles:

- Cuando se disponga de una calibración específica para una cuenca concreta, el valor del coeficiente corrector a aplicar es, directamente, el obtenido en ella.
- Cuando se disponga de datos sobre caudales suficientemente representativos para una cuenca concreta o cuencas próximas similares, se debe efectuar una calibración por comparación entre datos reales y resultados del método racional, de tal forma que los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno obtenidos a partir del análisis estadístico de los datos de caudal, coincidan sensiblemente con los obtenidos mediante la aplicación del método.
- Cuando no se disponga de información suficiente en la propia cuenca de cálculo o en cuencas próximas similares, para llevar a cabo la calibración, se puede tomar el valor del coeficiente corrector a partir de los datos de la tabla 2.5, correspondientes a las regiones de la figura 2.9.

En este último caso, se debe proceder como se indica a continuación:

- En las cuencas del Levante y Sureste peninsular se debe estar a lo especificado en el apartado 2.3
- En el resto de las cuencas se debe proceder como sigue, atendiendo al tipo de obra de que en cada caso se trate:
 - ▶ Drenaje transversal de vías de servicio, ramales, caminos, accesos a instalaciones y edificaciones auxiliares de la carretera y otros elementos anejos (siempre que el funcionamiento hidráulico de estas obras no afecte a la carretera principal) y drenaje de plataforma y márgenes: Se debe aplicar el producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía por un factor dependiente del periodo de retorno T , considerado para el caudal de proyecto en el elemento de que en cada caso se trate:

$$\beta^{PM} = \beta_m \cdot F_T$$

- ▶ Drenaje transversal de la carretera (puentes y obras de drenaje transversal): producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía corregido por el valor correspondiente al intervalo de confianza del cincuenta por ciento, por un factor dependiente del periodo de retorno T considerado para el caudal de proyecto, es decir:

$$\beta^{DT} = (\beta_m - \Delta_{50}) \cdot F_T$$

donde:

β^{PM} (adimensional) Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje de plataforma y márgenes, o drenaje transversal de vías auxiliares

β^{DT} (adimensional) Coeficiente corrector del umbral de escorrentía para drenaje transversal de la carretera

β_m (adimensional) Valor medio en la región, del coeficiente corrector del umbral de escorrentía (tabla 2.5)

F_T (adimensional) Factor función del periodo de retorno T (tabla 2.5)

Δ_{50} (adimensional) Desviación respecto al valor medio: intervalo de confianza correspondiente al cincuenta por ciento (50 %)

En el proyecto se puede justificar la conveniencia de adoptar, en algún caso concreto, un intervalo de confianza superior al definido con carácter general en los párrafos precedentes.

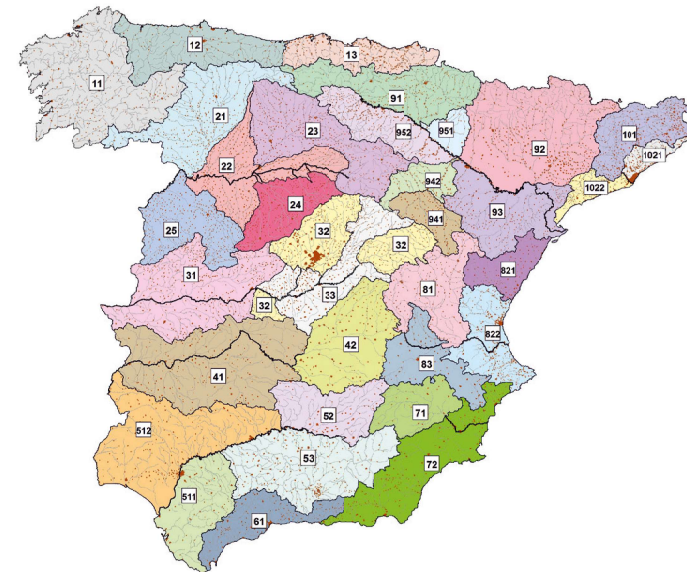


Figura 2.9 REGIONES CONSIDERADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

TABLA 2.5. COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA: VALORES CORRESPONDIENTES A CALIBRACIONES REGIONALES

Región	Valor medio, β_m	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Período de retorno T (años), F_T				
		50% Δ_{50}	67% Δ_{67}	90% Δ_{90}	2	5	25	100	500
		11	0,90	0,20	0,30	0,50	0,80	0,90	1,13
12	0,95	0,20	0,25	0,45	0,75	0,90	1,14	1,33	1,56
13	0,60	0,15	0,25	0,40	0,74	0,90	1,15	1,34	1,55
21	1,20	0,20	0,35	0,55	0,74	0,88	1,18	1,47	1,90
22	1,50	0,15	0,20	0,35	0,74	0,90	1,12	1,27	1,37
23	0,70	0,20	0,35	0,55	0,77	0,89	1,15	1,44	1,82
24	1,10	0,15	0,20	0,35	0,76	0,90	1,14	1,36	1,63
25	0,60	0,15	0,20	0,35	0,82	0,92	1,12	1,29	1,48
31	0,90	0,20	0,30	0,50	0,87	0,93	1,10	1,26	1,45
32	1,00	0,20	0,30	0,50	0,82	0,91	1,12	1,31	1,54
33	2,15	0,25	0,40	0,65	0,70	0,88	1,15	1,38	1,62
41	1,20	0,20	0,25	0,45	0,91	0,96	1,00	1,00	1,00
42	2,25	0,20	0,35	0,55	0,67	0,86	1,18	1,46	1,78
511	2,15	0,10	0,15	0,20	0,81	0,91	1,12	1,30	1,50
512	0,70	0,20	0,30	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
52	0,95	0,20	0,25	0,45	0,89	0,94	1,09	1,22	1,36
53	2,10	0,25	0,35	0,60	0,68	0,87	1,16	1,38	1,56
61	2,00	0,25	0,35	0,60	0,77	0,91	1,10	1,18	1,17
71	1,20	0,15	0,20	0,35	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
72	2,10	0,30	0,45	0,70	0,67	0,86	1,00	-	-
81	1,30	0,25	0,35	0,60	0,76	0,90	1,14	1,34	1,58
821	1,30	0,35	0,50	0,85	0,82	0,91	1,07	-	-
822	2,40	0,25	0,35	0,60	0,70	0,86	1,16	-	-
83	2,30	0,15	0,25	0,40	0,63	0,85	1,21	1,51	1,85
91	0,85	0,15	0,25	0,40	0,72	0,88	1,19	1,52	1,95
92	1,45	0,30	0,40	0,70	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
93	1,70	0,20	0,25	0,45	0,77	0,92	1,00	1,00	1,00

tabla 2.5 continúa ▶

Región	Valor medio, β_m	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Período de retorno T (años), F_T				
		50% Δ_{50}	67% Δ_{67}	90% Δ_{90}	2	5	25	100	500
		941	1,80	0,15	0,20	0,35	0,68	0,87	1,17
942	1,20	0,15	0,25	0,40	0,77	0,91	1,11	1,24	1,32
951	1,70	0,30	0,40	0,70	0,72	0,88	1,17	1,43	1,78
952	0,85	0,15	0,25	0,40	0,77	0,90	1,13	1,32	1,54
101	1,75	0,30	0,40	0,70	0,76	0,90	1,12	1,27	1,39
1021	1,45	0,15	0,25	0,40	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00
1022	2,05	0,15	0,25	0,40	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00

En Ceuta y Melilla se adoptarán valores similares a los de la región 61.

Pueden obtenerse valores intermedios por interpolación adecuada a partir de los datos de esta tabla

En todos los casos $F_{T=1,00}$

2.2.4 Área de la cuenca

A los efectos de esta norma se considera como área de la cuenca A , la superficie medida en proyección horizontal (planta) que drena al punto de desagüe (figura 2.2).

El método de cálculo expuesto en los apartados anteriores supone unos valores únicos de la intensidad de precipitación y del coeficiente de escorrentía para toda la cuenca, correspondientes a sus valores medios. Esta hipótesis sólo es aceptable en cuencas que sean suficientemente homogéneas, tanto respecto de la variación espacial de la precipitación como del coeficiente de escorrentía.

El caso más general, de cuencas heterogéneas, se debe resolver mediante su división en áreas parciales de superficie A_i , que puedan considerarse homogéneas respecto a los factores señalados, cuyos coeficientes de escorrentía C_i , e intensidades de precipitación $I(T, t_c)_i$, se calculan por separado. El caudal de proyecto se determinará sustituyendo en la fórmula general de cálculo (epígrafe 2.2.1) el producto de los tres factores por la correspondiente sumatoria de productos relativa a cada una de las áreas parciales, es decir:

$$Q_T = \frac{K_i}{3,6} \cdot \sum_i [I(T, t_c)_i \cdot C_i \cdot A_i]$$

En los casos más habituales, dado el pequeño tamaño de las cuencas a las que resulta de aplicación este método de cálculo, la causa de la heterogeneidad se debe a la variación espacial del coeficiente de escorrentía y no tanto de la intensidad de precipitación. En tales circunstancias se considera razonable adoptar un valor medio areal para la intensidad de precipitación en la cuenca $I(T, t_c)$ por lo que la expresión anterior resulta:

$$Q_T = \frac{K_i}{3,6} \cdot I(T, t_c) \cdot \sum_i [C_i \cdot A_i]$$

2.2.5 Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

El coeficiente K_t tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación. Se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

donde:

K_t (adimensional) Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

t_c (horas) Tiempo de concentración de la cuenca (epígrafe 2.2.2.5)

2.3 Método de cálculo para las cuencas pequeñas del Levante y Sureste peninsular

De conformidad con lo especificado en el apartado 2.1, en cuencas de área inferior a cincuenta kilómetros cuadrados ($A < 50 \text{ km}^2$) del Levante y Sureste peninsular (regiones 72, 821 y 822 de la figura 2.9), si la Administración Hidráulica no dispone de datos sobre caudales máximos, se debe aplicar el siguiente método:

- Si el período de retorno es inferior a o igual a veinticinco años ($T \leq 25$ años) el caudal máximo anual correspondiente Q_T , se debe determinar según el método racional (apartado 2.2).
- Si el período de retorno es superior a veinticinco años ($T > 25$ años) el caudal máximo anual correspondiente Q_T , se debe determinar como se indica a continuación:
 - ▶ A partir de un estudio específico, mediante métodos estadísticos o modelos hidrológicos, que tenga en cuenta la información sobre avenidas históricas o grandes eventos de precipitación, en la zona de estudio o en zonas próximas similares suficientemente representativas, bien para determinar directamente los caudales o bien para calibrar el modelo hidrológico.
 - ▶ Si no se efectúa el análisis anterior se utilizará el siguiente modelo regional que proporciona valores aproximados y generalmente conservadores:

$$Q_T = \varphi Q_{10}^\lambda$$

donde:

Q_T (m^3/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca (figura 2.2).

Q_{10} (m^3/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno de diez años en el punto de desagüe de la cuenca, calculado mediante el método racional (apartado 2.2.2.2).

Salvo justificación del proyecto, el valor del coeficiente corrector del umbral de escorrentía a adoptar en el cálculo se debe corresponder con el valor medio β_m recogido en la tabla 2.5, sin efectuar

correcciones asociadas al nivel de confianza del ajuste estadístico utilizado.

φ (adimensional) Coeficiente propio de la región y del período de retorno considerado (tabla 2.6)

λ (adimensional) Exponente propio de la región y del período de retorno considerado (tabla 2.6)

TABLA 2.6. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO EN CUENCAS PEQUEÑAS DEL LEVANTE Y SURESTE PENINSULAR ($T > 25$ AÑOS)

Región 72				
Período de retorno, T (años)	50	100	200	500
φ	3,0	4,0	7,6	13,3
λ	1,08	1,18	1,13	1,08
Regiones 821 y 822				
Período de retorno, T (años)	50	100	200	500
φ	3,0	4,0	6,5	10,4
λ	1,07	1,10	1,10	1,07

NOTAS a la tabla 2.6:

Para que pueda aplicarse esta tabla deben cumplirse simultáneamente las dos condiciones que siguen:

- El área de la cuenca debe ser inferior a cinco kilómetros cuadrados ($A < 5 \text{ km}^2$)
- El valor obtenido para el caudal correspondiente al periodo de retorno de cien años ha de ser inferior a cincuenta metros cúbicos por segundo ($Q_{100} < 50 \text{ m}^3/\text{s}$)

La superación de cualquiera de los dos valores inmediatamente anteriores implica la necesidad de realizar el estudio específico mediante métodos estadístico o modelos hidrológicos, requerido con carácter general en este mismo apartado, cuando el periodo de retorno supere los veinticinco años ($T > 25$ años).

En los casos en que, de acuerdo con los criterios precedentes, se decida la utilización de esta tabla, los caudales obtenidos mediante su aplicación deben compararse con los que resultan utilizando el método de cálculo del apartado 2.2, tomando $F_T = 1,00$ en el caso de los periodos de retorno superiores a veinticinco años ($T > 25$ años). El caudal que debe adoptarse es el mayor de entre ambos.

ANEXO III (ejercicios del 110 al 113)

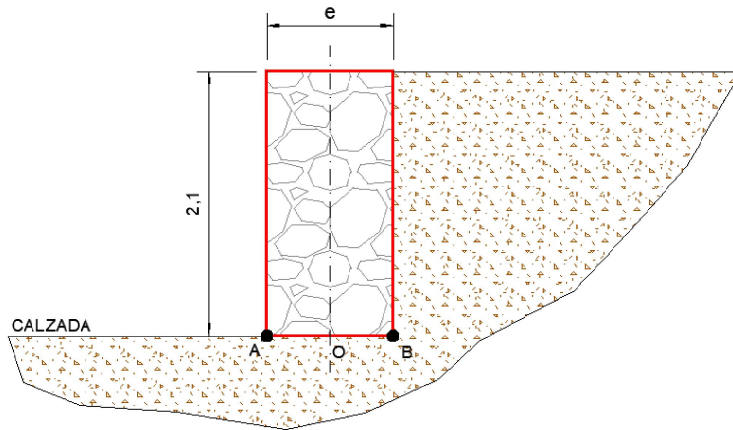
CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE CONTENCIÓN

Coefficientes de empuje del terreno:

- o $\lambda_h = 0,33$
- o $\lambda_v = 0,00$

Pesos específicos:

- o $\gamma_{\text{terreno}} = 1,80 \text{ T/m}^3$
- o $\gamma_{\text{muro}} = 2,40 \text{ T/m}^3$
- o $\gamma_{\text{agua}} = 1,00 \text{ T/m}^3$



ANEXO IV (ejercicios del 115 al 123)

CONTRATACIÓN DE LAS OBRAS

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

CAPITULOS	PRESUPUESTO
01 DEMOLICIONES Y DESMONTAJES	215.277,28
02 EXPLANACIONES	1.345.433,84
03 DRENAJE	538.489,38
04 FIRMES	1.802.705,37
05 SEÑALIZACIÓN, BALIZAMIENTO Y DEFENSAS	710.670,53
06 MEDIDAS CORRECTIVAS DE IMPACTO AMBIENTAL	269.836,40
07 OBRAS COMPLEMENTARIAS	48.364,12
08 AFECCIONES ELÉCTRICAS	14.290,18
09 SOLUCIONES PROPUESTAS AL TRÁFICO	192.605,75
10 SEGURIDAD Y SALUD	55.962,30
PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	5.193.635,15

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

PRECIO DESCOMPUESTO

C600a0a kg Acero B400S en barras para armado.

Acero en redondos para armadura pasiva tipo B400S, según normas UNE EN 10080 y UNE 36068, elaborado y colocado, incluso p.p. de solapes, calzos y separadores.

MO1000000	0,01 h	Capataz	26,03	0,03
MO2000003	0,04 h	Oficial 1ª Ferrallista	19,41	0,08
MO4000003	0,04 h	Ayudante Ferrallista	18,67	0,07
MQ1701a	0,001 h	Grúa móvil de 30 tn	67,32	0,07
MT0A10a	0,015	Alambre recocido de diámetro 1,3 mm	0,79	0,01
MT0B00a	1,050 kg	Barras corrugadas de acero soldable B400S	0,73	0,77
			Suma la partida	1,03
			Costes indirectos 6,00%	0,06
			TOTAL PARTIDA	1,09

DATOS DEL PADRÓN

AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
POBLACIÓN	3430	3415	3420	3477	3716	3906	4062	4137	4121	4125	4114	4147

ANEXO V (ejercicios del 156 al 158)

GRAFICO 1: FORMULA DE MANNING
RELACION ENTRE EL CAUDAL Y EL CALADO PARA CADA PENDIENTE
Ancho del canal=5 m
 $n=0,015$

