

## Instrucción 5.2-IC Drenaje superficial



## Instrucción 5.2-IC Drenaje superficial

P.V.P.: 500 ptas.

Edita:  
Centro de Publicaciones  
Secretaría General Técnica  
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo  
Paseo de la Castellana, 67 - Madrid

NIPO: 151-90-070-7  
ISBN: 84-7433-653-8

Depósito Legal: M-21753-1990

Imprime: GRAFOFFSET, S.L.

# INDICE

## 1 CONSIDERACIONES GENERALES Y CRITERIOS BASICOS

1.1 Objeto y ámbito de aplicación .....	9
1.2 Criterios funcionales .....	9
1.3 Período de retorno .....	10
1.4 Riesgo de obstrucción .....	11
1.5 Daños .....	12
1.5.1 Daños en el elemento de drenaje superficial .....	12
1.5.2 Interrupción de la circulación .....	12
1.5.3 Daños a terceros .....	13
1.5.3.1 Daños no catastróficos .....	13
1.5.3.2 Daños catastróficos .....	13
1.6 Beneficios .....	13

## 2 CALCULO DE LOS CAUDALES DE REFERENCIA

2.1 Planteamiento general .....	15
2.2 Fórmula de cálculo (método hidrometeorológico) .....	15
2.3 Intensidad media de precipitación .....	16
2.4 Tiempo de concentración .....	17
2.5 Escorrentía .....	17

## 3 DRENAJE DE LA PLATAFORMA Y MARGENES. CRITERIOS DE PROYECTO

3.1 Condiciones generales .....	23
3.1.1 Factores a considerar .....	23
3.1.2 Punto de desagüe .....	23
3.2 Plataforma .....	24
3.2.1 Carreteras de calzada única .....	24
3.2.2 Carreteras de calzadas separadas .....	26
3.2.2.1 Mediana estricta .....	26
3.2.2.2 Mediana amplia .....	27
3.3 Márgenes de la plataforma: explanaciones .....	28
3.3.1 Desmontes .....	28
3.3.2 Terraplenes .....	28
3.4 Elementos superficiales .....	29
3.4.1 Generalidades .....	29
3.4.2 Intersecciones y enlaces .....	30
3.4.3 Aparcamientos y otras zonas llanas .....	30
3.5 Obras de paso, muros y túneles .....	30
3.5.1 Obras de paso .....	30
3.5.2 Muros y estribos .....	32
3.5.3 Túneles .....	32

3.6 Dispositivos de recogida y evacuación de aguas .....	32
3.6.1 Condiciones generales .....	32
3.6.2 Caces .....	33
3.6.3 Cunetas .....	34
3.6.4 Sumideros e imbornales .....	36
3.6.5 Colectores .....	39
3.6.5.1 Generalidades .....	39
3.6.5.2 Resistencia a presión e impermeabilidad .....	40
3.6.5.3 Resistencia mecánica .....	40
3.6.6 Arquetas .....	40
3.6.7 Bajantes .....	41

#### **4 DRENAJE DE LA PLATAFORMA Y MARGENES. CAPACIDAD DE DESAGUE**

4.1 Introducción .....	43
4.2 Elementos lineales .....	43
4.2.1 Fórmula de Manning-Strickler .....	43
4.2.2 Caces y cunetas .....	45
4.2.3 Colectores .....	45
4.3 Sumideros e imbornales .....	47
4.3.1 En puntos bajos .....	47
4.3.1.1 Sumidero lateral .....	47
4.3.1.2 Sumidero horizontal .....	47
4.3.1.3 Sumideros mixtos .....	47
4.3.2 Sumideros con rasante inclinada .....	47

#### **5 DRENAJE TRANSVERSAL**

5.1 Introducción .....	49
5.2 Criterios de proyecto .....	49
5.2.1 Generalidades .....	49
5.2.2 Pequeñas obras de drenaje transversal .....	50
5.2.2.1 Planta .....	50
5.2.2.2 Perfil .....	52
5.2.2.3 Sección .....	53
5.2.2.4 Embocaduras .....	53
5.3 Condiciones de desagüe .....	54
5.3.1 Puentes .....	54
5.3.1.1 Sobre-elevación del nivel del agua .....	54
5.3.1.2 Erosiones en los apoyos .....	57
5.3.2 Pequeñas obras de drenaje transversal .....	57
5.3.2.1 Sobre-elevación del nivel del agua .....	57
5.3.2.2 Aterramientos .....	64
5.3.2.3 Erosiones .....	65
5.3.2.3.1 Erosión evolutiva .....	65
5.3.2.3.2 Erosión localizada .....	66
5.4 Materiales para pequeñas obras de drenaje transversal .....	70
5.4.1 Generalidades .....	70
5.4.2 Resistencia a presión e impermeabilidad .....	70
5.4.3 Durabilidad .....	70
5.4.4 Resistencia mecánica .....	70

## 6 CONSTRUCCION Y CONSERVACION

6.1 Construcción .....	71
6.1.1 Condiciones generales .....	71
6.1.2 Elementos enterrados .....	71
6.1.3 Elementos superficiales .....	71
6.1.4 Drenaje de la obra durante su construcción .....	72
6.2 Conservación .....	72
6.2.1 Consideraciones generales .....	72
6.2.2 Elementos enterrados .....	72
6.2.3 Elementos superficiales .....	72
<b>ANEXO</b> .....	<b>75</b>

## CONSIDERACIONES GENERALES Y CRITERIOS BASICOS

### 1.1 OBJETO Y AMBITO DE APLICACION

El objeto de la presente instrucción es facilitar normas y recomendaciones para proyectar, construir y conservar adecuadamente los elementos del drenaje superficial de una carretera.

El drenaje superficial comprende:

- La recogida de las aguas —pluviales o de deshielo— procedentes de la plataforma y sus márgenes, mediante caces, cunetas y sus imbornales y sumideros.
- La evacuación de las aguas recogidas —eventualmente a través de arquetas y colectores longitudinales— a cauces naturales, a sistemas de alcantarillado o a la capa freática, bien sea directamente, bien sea a través de obras de desagüe transversal o canalizaciones a cielo abierto o enterradas.
- La restitución de la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera, mediante su eventual acondicionamiento y la construcción de obras de drenaje transversal.

La presente instrucción no proporciona información sobre:

- El drenaje profundo, relativo a las aguas subterráneas.
- El drenaje del firme, relativo a las aguas en él infiltradas.
- Los problemas específicos de hidráulica fluvial o costera.

### 1.2 CRITERIOS FUNCIONALES

Los elementos del drenaje superficial se elegirán teniendo en cuenta:

- Las soluciones técnicamente disponibles.
- La facilidad de su obtención.
- Sus precios.
- Las posibilidades y coste de su construcción y conservación.
- Los daños que su presencia pueda producir.

Al pasado del caudal de referencia (Capítulo 2) cuyo período de retorno se define en el Apartado 1.3, y habida cuenta —en su caso— del riesgo de obstrucción (Apartado 1.4) se deberán cumplir las condiciones siguientes:

#### A. Velocidad de la corriente

En los elementos del drenaje superficial la velocidad del agua no deberá causar daños por erosión ni por aterramiento (Apartado 1.5.1).

El diseño, dimensionamiento e implantación de las obras de drenaje transversal deberá evitar el depósito de sedimentos en su interior, y reducir todo lo posible la perturbación de las condiciones de desagüe del cauce a que correspondan, causa de erosiones y aterramientos (Capítulo 5).



## B. Nivel del agua

En relación con la posibilidad de interrupción del funcionamiento de la propia carretera o de vías contiguas (Apartado 1.5.2), el máximo nivel de la lámina de agua deberá guardar, respecto de la superficie de la plataforma de aquélla, un resguardo no inferior al especificado en la Tabla 1-1:

TABLA 1-1

### RESGUARDO MINIMO (m) ENTRE EL MAXIMO NIVEL DE LA LAMINA DE AGUA Y LA SUPERFICIE DE LA PLATAFORMA

Tipo de elemento	IMD afectada		
	Alta 2.000	Media	Baja 250
Drenaje superficial de la plataforma .....		0	(*)
Obras de drenaje transversal .....	0,5	0	

(\*) En el caso de baja intensidad de circulación podrán admitirse láminas de agua de hasta 0,30 m por encima del firme, valorando la interrupción de la circulación por esta causa.

## C. Sobreelevación del nivel de la corriente

Los daños materiales a terceros producibles por la inundación de zonas aledañas a la carretera debido a la sobreelevación del nivel de la corriente en un cauce, provocada por la presencia de una obra de desagüe transversal, no deberán tener la consideración de catastróficos (Apartado 1.5.3.2) y, entre los que no la tengan, deberán ser admisibles (Apartado 1.5.3.1).

Donde las circunstancias de un terraplén lo hagan posible, habrá que comprobar si el desnivel de la lámina de agua entre ambos lados de él rebasa o no los ocho metros. En caso afirmativo deberá analizarse el riesgo de un fallo en el terraplén —con efectos similares al de la rotura de una presa— si resultasen catastróficos los daños aguas abajo que de ello pudieran derivarse.

## 1.3 PERIODO DE RETORNO

La selección del caudal de referencia (Capítulo 2) para el que debe proyectarse un elemento del drenaje superficial está relacionada con la frecuencia de su aparición, que se puede definir por su período de retorno: cuanto mayor sea éste, mayor será el caudal.

Se dice que el período de retorno de un caudal es T cuando, como media, es superado una vez cada T años. Sin embargo, el riesgo de que ese caudal sea excedido alguna vez durante un cierto intervalo de tiempo —como, por ejemplo, la vida útil de una obra— depende también de la duración del intervalo. Así, un caudal que tenga un período de retorno de cincuenta años tiene una probabilidad de un 2 por 100 de que en cualquier año de dicho período aparezca al menos un caudal igual o mayor; pero la probabilidad de tal aparición en un período cualquiera de diez años consecutivos sube al 18 por 100; de veinticinco años, al 38 por 100; de cincuenta años, al 64 por 100; de cien años, al 86 por 100 y, en general, de C años, al

$$1 - [1 - (1 / T)]^C$$

En principio se recomienda adoptar períodos de retorno no inferiores a los que se indican en la Tabla 1-2. No obstante, se podrán adoptar otros valores debidamente justificados, habida cuenta del coste del elemento de drenaje superficial y de los daños (Apartado 1.5), producibles por el caudal de

referencia (Capítulo 2); especialmente si una ligera alteración de las magnitudes deducidas de un determinado valor del período de retorno tuvieran una brusca repercusión en el coste o en los daños.

Para la comprobación de las condiciones de desagüe de una obra de drenaje transversal donde haya posibilidad de daños catastróficos (Apartado 1.5.3.2), o para la comprobación de la erosión en apoyos de puentes (Apartado 5.3.1.2) con cimientos difíciles o costosos, el período de retorno se tomará hasta de quinientos años.

Las condiciones de funcionamiento de los elementos del drenaje superficial pueden verse alteradas por su obstrucción, debida a cuerpos arrastrados por la corriente.

Entre los elementos del drenaje superficial de la plataforma este riesgo es especialmente acusado en los sumideros y colectores enterrados, debido a la presencia de basura (especialmente plásticos) o aterramientos. Para evitarlo se necesita un adecuado diseño, un cierto sobredimensionamiento y una eficaz conservación.

## 1.4 RIESGO DE OBSTRUCCION

TABLA 1-2

### MINIMOS PERIODOS DE RETORNO (años)

Tipo de elemento de drenaje	IMD en la vía afectada (*)		
	Alta 2.000	Media 500	Baja
Pasos inferiores con dificultades para desaguar por gravedad .....	50	25	(**)
Elementos del drenaje superficial de la plataforma y márgenes .....	25	10	
Obras de drenaje transversal		100	(***)

(\*) (Ver Apartado 1.5.2). Si la comunicación interrumpida por el corte de la carretera no pudiera restablecerse por rutas alternativas, o éstas revistieran especial dificultad, se aumentará en un grado la categoría basada en la IMD, si no fuera ya "Alta". A efectos del revestimiento de caces y cunetas se podrá rebajar en un grado la categoría basada en la IMD, si no fuera ya "Baja".

(\*\*) Estos casos cubren una extensa gama, en la que los límites que razonablemente cabría imponer a las condiciones de desagüe varían ampliamente (por debajo de los límites de la categoría superior) en función de las circunstancias locales: por lo que se dejan a criterio del proyectista.

(\*\*\*) Deberá comprobarse que no se alteran sustancialmente las condiciones de desagüe del cauce con el caudal de referencia correspondiente a un período de retorno de diez años.

El riesgo de obstrucción de las obras de drenaje transversal —fundamentalmente por vegetación arrastrada por la corriente dependerá de las características de los cauces y zonas inundables, y puede clasificarse en las categorías siguientes:

Alto: existe peligro de que la corriente arrastre árboles u objetos de parecido tamaño.

Medio: pueden ser arrastradas cañas, arbustos y objetos de dimensiones similares, en cantidades importantes.

Bajo: no es previsible el arrastre de objetos de tamaño y en cantidad suficiente como para obstruir el desagüe.

Si el riesgo fuera alto, deberá procurarse que las obras de drenaje transversal no funcionen a sección llena, dejando entre su intradós y el nivel máximo del agua un resguardo mínimo de 1,5 m, mantenido en una anchura

no inferior a 12 m. Si el riesgo fuera medio, las cifras anteriores podrán reducirse a la mitad. De no cumplirse estas condiciones, deberá tenerse en cuenta la sobreelevación del nivel del agua que pueda causar una obstrucción, aplicando en los cálculos una reducción a la sección teórica de desagüe; también se podrá recurrir a dispositivos especiales para retener aguas arriba a los flotantes, siempre que se garantice su conservación.

## 1.5 DAÑOS

A efectos de la presente instrucción únicamente se considerarán como daños a las diferencias en los efectos producidos por el caudal de referencia (Capítulo 2), entre las situaciones correspondientes a la presencia de la carretera y de sus elementos de drenaje superficial y a su ausencia.

Estos daños pueden clasificarse en las categorías siguientes:

- Los producidos en el propio elemento de drenaje o en su entorno inmediato (aterramientos, erosiones, roturas).
- Las interrupciones en el funcionamiento de la propia carretera o de vías contiguas, debidas a inundación de su plataforma.
- Los daños materiales a terceros por inundación de las zonas aledañas. Estos daños, a su vez, podrán considerarse catastróficos o no. No dependen del tipo de carretera ni de la circulación que ésta soporte, sino de su emplazamiento.

### 1.5.1 Daños en el elemento de drenaje superficial

Se podrá considerar que la corriente no producirá daños importantes por erosión de la superficie del cauce o conducto si su velocidad media no excede de los límites fijados en la Tabla 1-3, en función de la naturaleza de dicha superficie:

TABLA 1-3

#### VELOCIDAD MAXIMA DEL AGUA

Naturaleza de la superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Arena fija o limo (poca o ninguna arcilla) .....	0,20-0,60
Arena arcillosa dura, margas duras .....	0,60-0,90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación .....	0,60-1,20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal .....	1,20-1,50
Hierba .....	1,20-1,80
Conglomerados, pizarras duras, rocas blandas .....	1,40-2,40
Mampostería, rocas duras .....	3,00-4,50
Hormigón .....	4,50-6,00

Si la corriente pudiera arrastrar materias en suspensión (limo, arena, etc.), se cuidará de que una reducción de la velocidad no provoque su sedimentación, o se dispondrán depósitos (areneros) para recogerlas, los cuales deberán ser de fácil limpieza y conservarse de forma eficaz.

### 1.5.2 Interrupción de la circulación

A efectos de la presente instrucción, se admitirá que la intensidad de circulación de vehículos es alta si la IMD excediera de 2.000, y baja si no alcanzara los 250.

### 1.5.3 Daños a terceros

#### 1.5.3.1 Daños no catastróficos

Donde los daños a terceros no se consideren catastróficos (Apartado 1.5.3.2), siendo fundamentalmente agrícolas, se podrán considerar admisibles los niveles de inundación, sin otra justificación, si se cumpliera al menos una de las condiciones siguientes:

- Que la sobreelevación del nivel de la corriente provocada por la presencia de la carretera no exceda de 50 cm.
- Que la superficie afectada negativamente por la diferencia de inundación, debida a la citada sobreelevación, no exceda de la dada por la fórmula.

$$S = K \cdot L$$

siendo:

- S: superficie (ha), sin contabilizar la parte de ella en que los daños pueden considerarse irrelevantes.
- L: luz total (m) de la obra de drenaje transversal.
- K: coeficiente que normalmente podrá tomarse igual a 0,1, pero que, según la importancia de los daños medios previsibles por unidad de superficie, podrá elevarse hasta 0,2 si éstos fueran singularmente bajos, o reducirse a 0,05 si fueran singularmente altos. Además, si el área de la cuenca (Apartado 2.2) fuera inferior a 1.000 Km<sup>2</sup>, estos valores de K podrán mayorarse hasta en un 50 por 100, al ser previsible una menor duración de la inundación.

Si no se cumpliera ninguna de las dos condiciones anteriores deberá realizarse un análisis comparativo de daños y costes para las posibles soluciones alternativas, cuyo detalle guardará relación con la importancia y dificultad del caso.

No obstante lo anterior, deberá comprobarse que la carretera no constituya un obstáculo que retenga las aguas desbordadas y prolongue de forma apreciable la inundación después del pasado de una crecida. Especial atención deberá prestarse a este problema en cauces con márgenes más altos que los terrenos circundantes, y en llanuras de inundación.

#### 1.5.3.2 Daños catastróficos

Los daños a terceros se considerarán catastróficos cuando se dé alguna de las circunstancias siguientes:

- Riesgo de pérdida de vidas humanas o graves daños personales.
- Afecciones a núcleos poblados o industriales.

En los casos en que no resulte evidente la imposibilidad de daños catastróficos —evidencia que se deberá justificar razonadamente— se deberá realizar un detallado análisis de la situación, habida cuenta —en su caso— del riesgo de obstrucción (Apartado 1.4). Si de dicho análisis se dedujera riesgo de daños catastróficos se adoptarán las medidas oportunas para evitarlos. A estos efectos puede resultar útil la información de que disponen las Confederaciones Hidrográficas.

## 1.6 BENEFICIOS

Todo análisis de las afecciones a terceros causadas por la presencia de una carretera deberá incluir, además de los daños (Apartado 1.5), también las eventuales de carácter beneficioso, debidas a la reducción de niveles de inundación en algunas zonas aguas abajo, o a otras razones.

## 2.1 PLANTEAMIENTO GENERAL

El método de estimación de los caudales asociados a distintos períodos de retorno depende del tamaño y naturaleza de la cuenca aportante.

Para cuencas pequeñas son apropiados los métodos hidrometeorológicos contenidos en la presente instrucción, basados en la aplicación de una intensidad media de precipitación a la superficie de la cuenca, a través de una estimación de su escorrentía. Ello equivale a admitir que la única componente de esa precipitación que interviene en la generación de caudales máximos es la que escurre superficialmente. En las cuencas grandes estos métodos pierden precisión y, por tanto, la estimación de los caudales es menos correcta; pero, por otra parte, en estas cuencas suele disponerse de información directa sobre niveles o caudales de avenidas. La frontera entre cuencas grandes y pequeñas, a efectos de la presente instrucción, corresponde aproximadamente a un tiempo de concentración (Apartado 2.4) igual a seis horas.

La naturaleza de la cuenca aportante influye en los métodos hidrometeorológicos, según que el tiempo de recorrido del flujo difuso sobre el terreno sea relativamente apreciable (plataforma de la carretera y márgenes que a ella viertan) o no (cauces definidos). Especialmente en zona urbana, representa una singularidad la presencia de sumideros que desagüen a una red de canalizaciones y que absorban una parte de la escorrentía. También representan casos especiales la presencia de lagos, embalses y planas inundables, que laminen o desvíen la escorrentía. Se podrán, asimismo, tener en cuenta aportaciones procedentes del deshielo de la nieve: salvo casos excepcionales, su contribución no se considerará superior al 10 por 100.

El resultado de los métodos hidrometeorológicos deberá, en lo posible, contrastarse con la información directa de que se disponga sobre niveles o caudales de avenida.

## 2.2 FORMULA DE CALCULO (método hidrometeorológico)

El caudal de referencia Q en el punto en el que desagüe una cuenca o superficie se obtendrá mediante la fórmula

$$Q = C \cdot A \cdot I / K$$

siendo:

- C: el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada (Apartado 2.5).
- A: su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumideros, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse debidamente.
- I: la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración (Apartado 2.3).
- K: un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A, y que incluye un aumento del 20 por 100 en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Su valor está dado por la Tabla 2.1.

TABLA 2.1  
VALORES DE K

Q en	A en		
	Km <sup>2</sup>	Ha	m <sup>2</sup>
m <sup>3</sup> /s .....	3	300	3.000.000
l/s .....	0,003	0,3	3.000

### 2.3 INTENSIDAD MEDIA DE PRECIPITACION

La intensidad media  $I_t$  (mm/h) de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se podrá obtener por medio de la siguiente fórmula, representada en la Figura 2.1:

$$\frac{28^{0.1 - t^{0.1}}}{28^{0.1} - 1}$$

$$(I_t / I_d) = (I_1 / I_d)$$

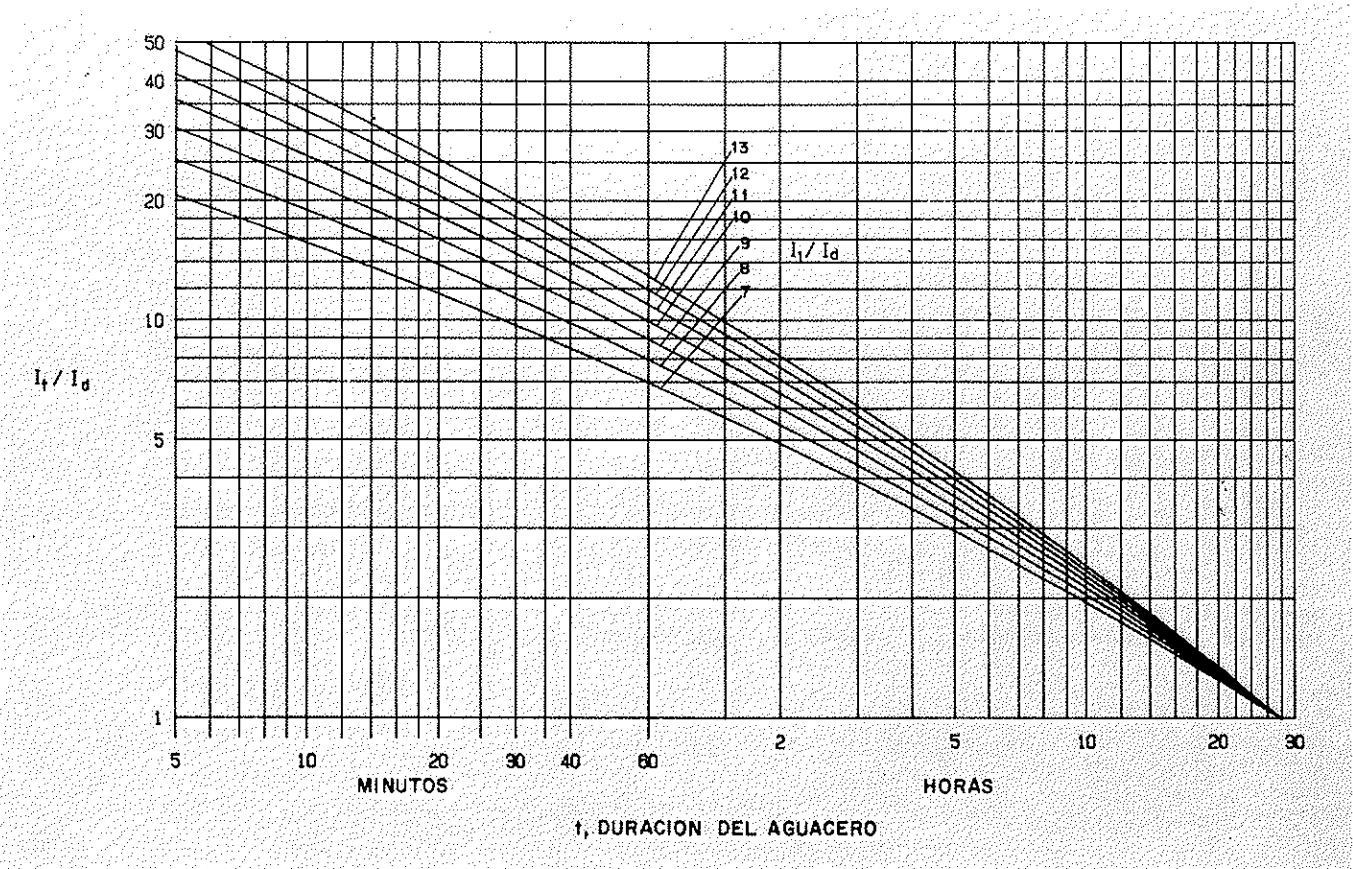


Fig. 2.1

siendo:

- $I_d$  (mm/h): la intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno (Capítulo 1) considerado. Es igual a  $P_d/24$ .
- $P_d$  (mm): la precipitación total diaria correspondiente a dicho período de retorno, que podrá tomarse de los mapas contenidos en la publicación «Isolíneas de precipitaciones máximas previsible en un día», de la Dirección General de Carreteras, o a partir de otros datos sobre lluvias, los cuales deberán proceder preferentemente del Instituto Nacional de Meteorología.

- $I$  (mm/h): la intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho periodo de retorno. El valor de la razón  $I1/I0$  se podrá tomar de la Figura 2.2.
- $t$  (h): la duración del intervalo al que se refiere  $I$ , que se tomará igual al tiempo de concentración (Apartado 2.4).

## 2.4 TIEMPO DE CONCENTRACION

En el caso normal de cuencas en las que predomine el tiempo de recorrido del flujo canalizado por una red de cauces definidos, el tiempo de concentración  $T$  (h) relacionado con la intensidad media de la precipitación se podrá deducir de la fórmula.

$$T = 0,3 * [(L / J^{1/4})^{0,76}]$$

siendo:

- $L$  (km): la longitud del cauce principal.
- $J$  (m/m): su pendiente media.

Si el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno fuera relativamente apreciable, como es el caso de la plataforma de la carretera y de los márgenes que a ella vierten, la fórmula anterior no resulta aplicable. Si el recorrido del agua sobre la superficie fuera menor de treinta minutos, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de cinco minutos. Este valor se podrá aumentar de cinco a diez minutos al aumentar el recorrido del agua por la plataforma de treinta a ciento cincuenta minutos; para márgenes se podrá hacer uso del ábaco de la Figura 2.3.

## 2.5 ESCORRENTIA

El coeficiente  $C$  de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad  $I$ , y depende de la razón entre la precipitación diaria  $Pd$  correspondiente al periodo de retorno (Apartado 1.3) y el umbral de escorrentía  $Po$ , a partir del cual se inicia ésta.

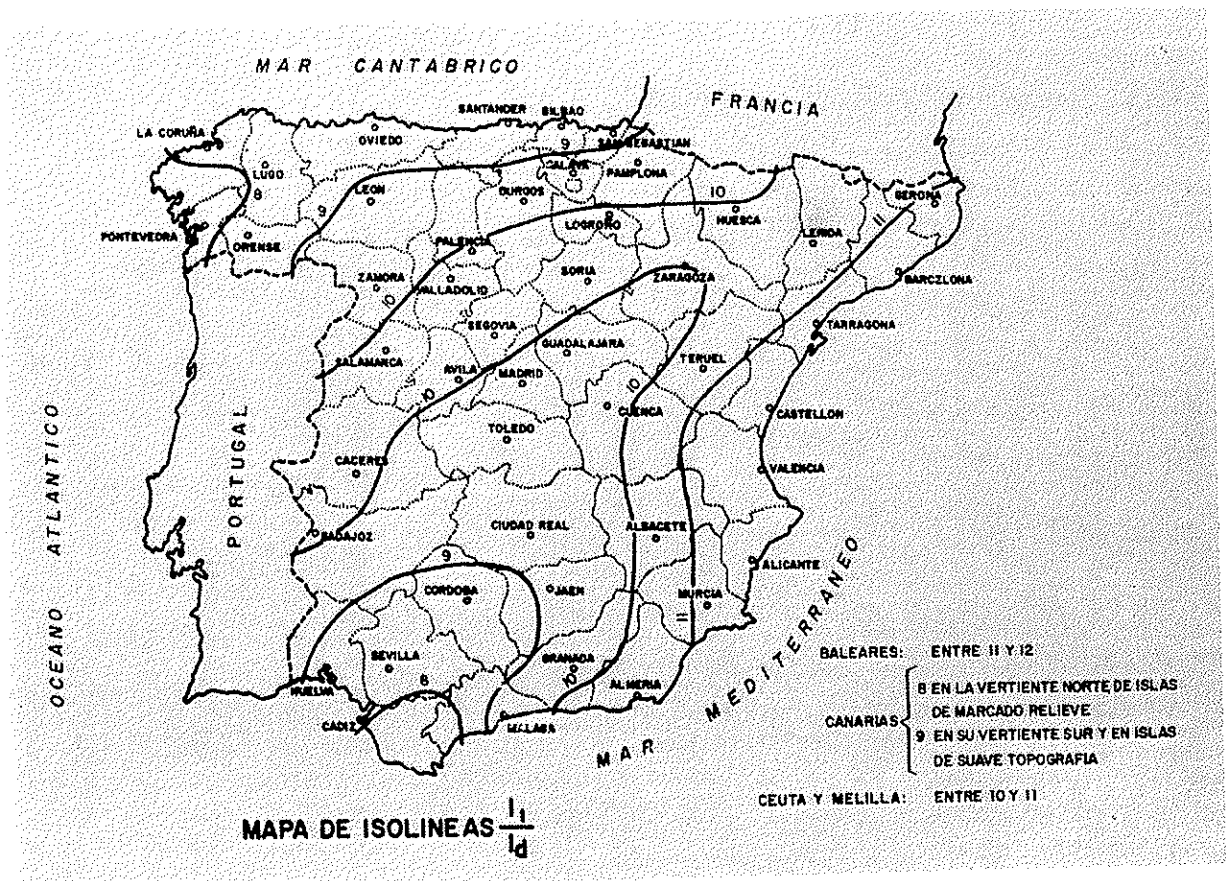


Fig. 2.2

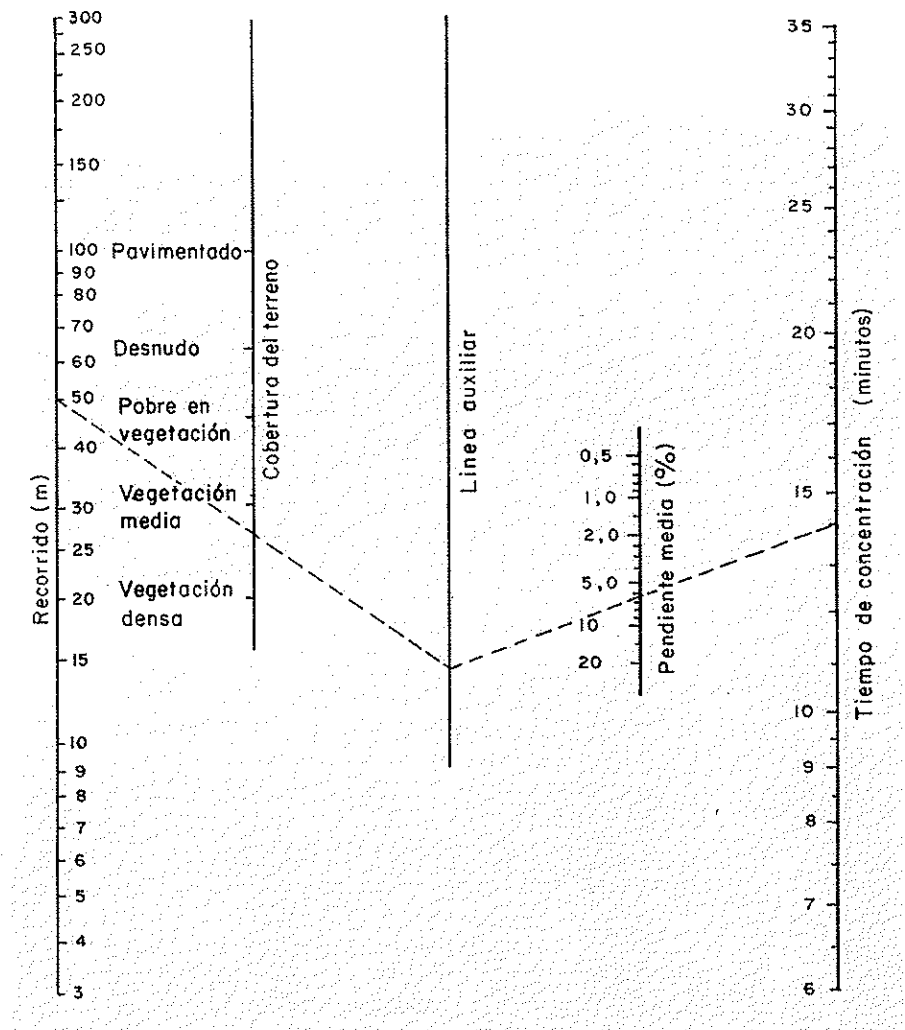


Fig. 2.3. TIEMPO DE CONCENTRACION PARA MARGENES DE LA PLATAFORMA O LADERAS

Si la razón Pd/Po fuera inferior a la unidad, el coeficiente C de escorrentía podrá considerarse nulo. En caso contrario, el valor de C podrá obtenerse de la fórmula (representada en la Figura 2-4).

$$C = \frac{[(Pd/Po) - 1] + [(Pd/Po) + 23]}{[(Pd/Po) + 11]^2}$$

Las cuencas heterogéneas deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado, reemplazando luego el término C \* A de la fórmula de cálculo (Apartado 2.2), por Σ(C \* A).

El umbral de escorrentía Po se podrá obtener de la Tabla 2-1, multiplicando los valores en ella contenidos por el coeficiente corrector dado por la Figura 2-5. Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos, e incluye una mayoración (del orden del 100 por 100) para evitar sobrevaloraciones del caudal de referencia a causa de ciertas simplificaciones del tratamiento estadístico del método hidrometeorológico: el cual ha sido contrastado en distintos ambientes de la geografía española. Para el uso de la Tabla 2-1 los suelos se clasificarán en los grupos de la Tabla 2-2, en cuya definición interviene la textura definida por la Figura 2.6.



TABLA 2-1

ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA  $P_0$  (mm)

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	$\geq 3$	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	$< 3$	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	$\geq 3$	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	$< 3$	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	$\geq 3$	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	$< 3$	R/N	34	21	14	12

Nota: N: denota cultivo según las curvas de nivel.  
R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

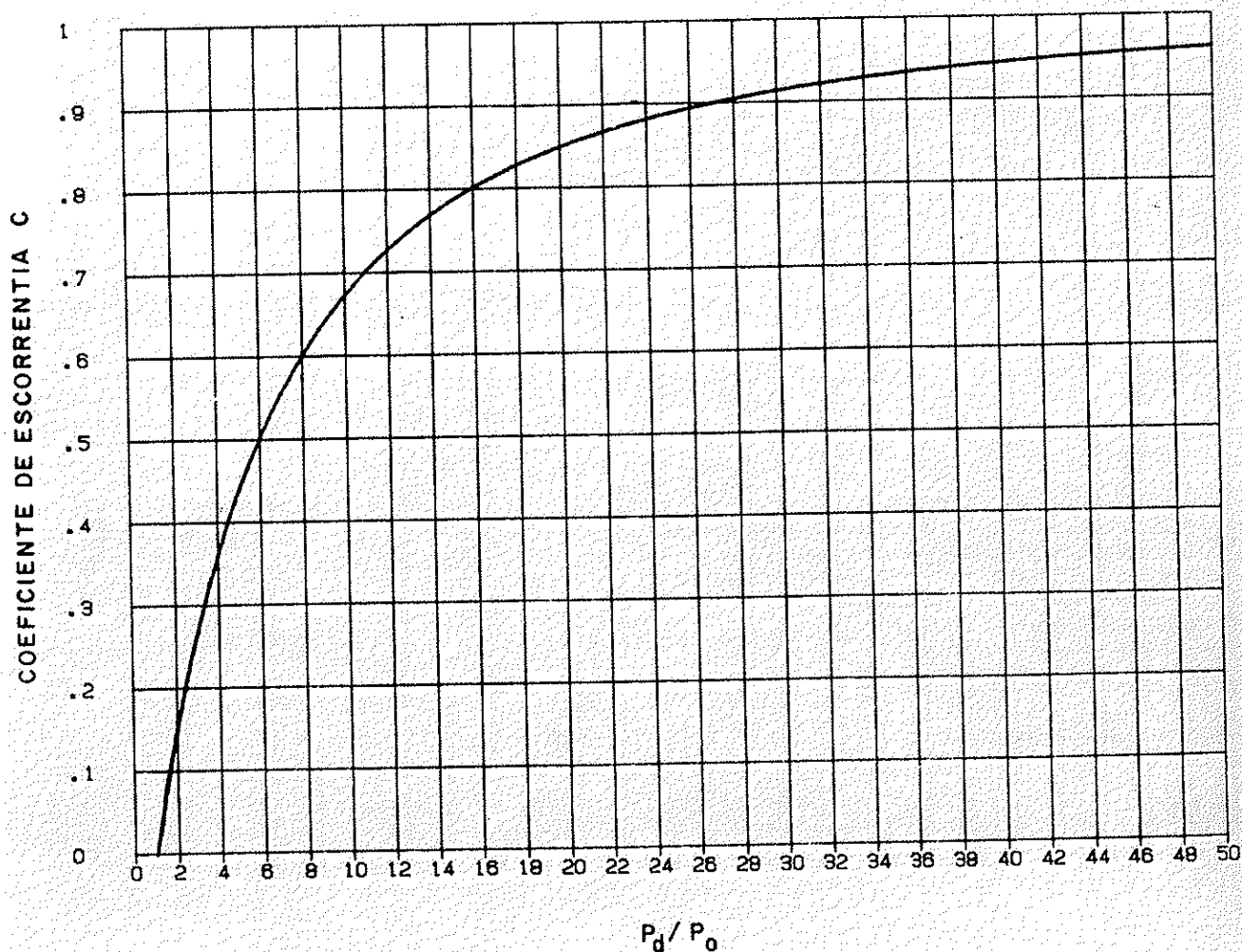


Fig. 2.4



Fig. 2.5. MAPA DEL COEFICIENTE CORRECTOR DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA

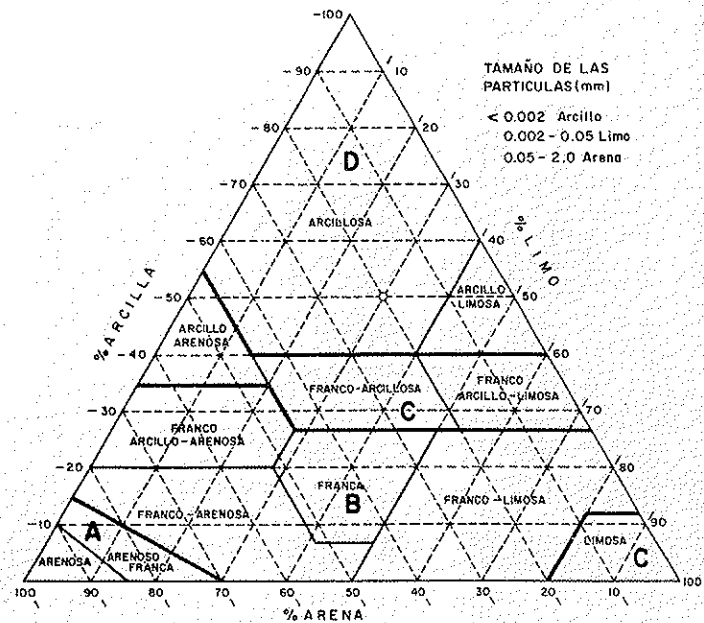


Fig. 2.6. DIAGRAMA TRIANGULAR PARA DETERMINACION DE LA TEXTURA

TABLA 2-1 (Continuación)

ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA Po (mm)

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
Rotación de cultivos pobres	< 3	R/N	30	19	13	10
		R	37	20	12	9
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
Rotación de cultivos densos	< 3	R/N	47	25	16	13
		Pobre	24	14	8	6
Praderas	≥ 3	Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Muy buena	*	*	25	16
		Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
	< 3	Buena	*	42	22	15
		Pobre	*	34	19	14
		Media	*	42	22	15
Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)	< 3	Buena	*	50	25	16
		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
Muy espesa	*	65	43	33		
Notas: 1. N: denota cultivo según las curvas de nivel. R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente. 2. *: denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida. 3. Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100.						
Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentia (mm)				
Rocas permeables	≥ 3	3				
	< 3	5				
Rocas impermeables	≥ 3	2				
	< 3	4				
Firmes granulares sin pavimento		2				
Adoquinados		1,5				
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1				

TABLA 2-2

**CLASIFICACION DE SUELOS A EFECTOS DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA**

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa- arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo- limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre
Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.				

Los núcleos urbanos, edificaciones rurales, caminos, etc., no se tendrán en cuenta donde representen una proporción despreciable del área total. En su caso, deberán diferenciarse las proporciones de los distintos tipos de suelo, atribuyendo a cada una el valor correspondiente de  $P_o$ . Deberán tenerse en cuenta las modificaciones futuras previsibles en la cuenca, tales como urbanizaciones, repoblaciones, cambios de cultivos, supresión de barbechos, etc.

Si no se requiriera gran precisión, podrá tomarse simplícidamente un valor conservador de  $P_o$  (sin tener que multiplicarlo luego por el coeficiente de la Figura 2-5) igual a 20 mm, salvo en cuencas con rocas o suelos arcillosos muy someros, en las que se podrá tomar igual a 10 mm. Especial interés práctico tiene la estimación indirecta de  $P_o$  basada en información sobre crecidas ordinarias; en relación con este método, conviene tener en cuenta que:

- Se puede determinar el orden de magnitud de los caudales en función de los niveles del agua en el cauce al paso de avenidas habituales, conocidos —en general— por los ribereños al menos de forma aproximada. Datos de esta naturaleza muy característicos son —en algunos casos— el número de años en los que permanece seco el curso del agua, o bien la frecuencia con la que se producen desbordamientos del cauce principal.
- Los resultados del cálculo de caudales de avenidas habituales —o de pequeño período de retorno— son muy sensibles a las variaciones de  $P_o$ , y por ello es suficiente una información aproximada de dichas avenidas para determinar satisfactoriamente  $P_o$ .

## DRENAJE DE LA PLATAFORMA Y MARGENES. CRITERIOS DE PROYECTO

### 3.1 CONDICIONES GENERALES

#### 3.1.1 Factores a considerar

El drenaje superficial deberá proyectarse como una red o conjunto de redes que recoja la escorrentía superficial —y, en algunos casos, las aguas subterráneas— procedente de la plataforma de la carretera y de los márgenes que viertan hacia ella, y las conduzca a un desagüe. Además del coste, deberán tenerse en cuenta factores:

Topográficos: altitud, posición de la explanación respecto al terreno contiguo, espacio disponible, origen y posible punto de desagüe de cada red, situación de obras de drenaje transversal o de paso previstas o necesarias, transiciones de peralte, presencia de mediana, puntos altos y bajos.

Climatológicos: régimen seco con chubascos, régimen de lluvias continuas.

Hidrológicos: presencia, nivel y caudal de aguas subterráneas: aportación y desagüe de aguas superficiales, escorrentía.

Geotécnicos: naturaleza y condiciones de los suelos, posibilidad de corrimientos y erosión; permeabilidad.

Se procurará definir tramos homogéneos, en relación con estos factores, a los que se pueda dotar de redes de drenaje superficial del mismo tipo.

Se prestará especial atención a la posibilidad de modificar el trazado donde la inclinación de la línea de máxima pendiente de la plataforma resulte muy baja (Apartado 3.2.1), y a las repercusiones de algunos elementos del drenaje superficial —tales como las cunetas de guarda y las balsas laminadoras de crecidas— en las necesidades de ocupación de terrenos.

Se recomienda elegir soluciones que, además de eficientes, sean sencillas, robustas y de fácil mantenimiento.

Donde se considere aconsejable (por ejemplo, donde se dispongan balsas laminadoras de crecida), deberá comprobarse que el drenaje superficial de la plataforma y sus márgenes funciona satisfactoriamente también en régimen transitorio.

#### 3.1.2 Punto de desagüe

A fin de disminuir todo lo posible los caudales a evacuar, se desaguará la red de drenaje superficial siempre que sea posible, excepto en zonas muy sensibles a la contaminación donde convenga evitar todo vertido de aguas pluviales.

— En zona urbana, donde exista una red de alcantarillado y el uso del suelo conduzca a mayores coeficientes de escorrentía, será generalmente preciso recurrir a sumideros —a menudo mixtos en presencia de aceras— y colectores que desagüen al alcantarillado, cuya capacidad ante estas aportaciones deberá comprobarse. El agua procedente del drenaje superficial deberá llevarse separada de las aguas negras, salvo que el alcantarillado sea unitario y esté provisto de sifones.

- En zona periurbana, donde no se disponga de un sistema generalizado de alcantarillado —aunque haya un cierto uso urbano del suelo— no se podrá desaguar a cauces naturales sin antes comprobar su capacidad ante la aportación del drenaje superficial y, en su caso, prever las medidas a adoptar: acondicionamiento del cauce, colectores, balsas laminadoras de crecidas, etc.
- Fuera de poblado, el desagüe del drenaje superficial deberá hacerse, en general, a dónde y cómo iría normalmente el agua de no existir la carretera, o a cauces naturales o artificiales, dotados de las protecciones necesarias para evitar erosiones o sedimentaciones perjudiciales, disponiendo si es preciso dispositivos de disipación de energía, especialmente donde se vierta en régimen rápido o sea preciso desviar un cauce. En particular, las aguas procedentes de desmontes no deberán verterse por los terraplenes contiguos sin disponer las cunetas o protecciones necesarias.

Donde sea preciso desaguar por infiltración a un terreno permeable se distribuirá el caudal de forma que la velocidad sea reducida, para facilitar aquélla.

## 3.2 PLATAFORMA

Al proyectar la sección transversal de la plataforma de la carretera, tanto en su geometría como en su constitución, deberá tenerse en cuenta su red de drenaje superficial. La escorrentía superficial, en flujo difuso, será recogida y evacuada —en general— por caces y cunetas longitudinales que, al mismo tiempo, recogerán y evacuarán la de los márgenes de la carretera que desagüen hacia ésta.

### 3.2.1 Carreteras de calzada única

La pendiente de la plataforma deberá asegurar el drenaje superficial del agua que caiga sobre la calzada y arcenes, de manera que su profundidad en flujo difuso no rebase el límite a partir del cual los neumáticos puedan disminuir su rozamiento por fenómenos de hidropneumático, habida cuenta de la textura del pavimento y de la velocidad de los vehículos.

La línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no deberá tener una inclinación inferior al 0,5 por 100.

Para la pendiente transversal de la calzada en alineaciones rectas se procurará adoptar los valores más elevados de la Instrucción 3.1-IC compatibles con la seguridad de la circulación (peligro de formación de hielo, etc.). En alineaciones curvas la calzada deberá tener una pendiente transversal única (peralte) hacia el interior, constante en las alineaciones circulares.

Las transiciones de peralte entre curvas en S no deberán disponerse en tramos cuya rasante tenga una inclinación menor del 0,5 por 100, salvo que se adopten precauciones especiales como las representadas en la Figura 3-1. Donde esas transiciones sean largas se podrá abreviar parte de ellas cuyo peralte no rebase el 2 por 100 en valor absoluto, sin que la extensión de esa parte abreviada baje de la necesaria para que el peralte varíe a una velocidad no superior a la máxima admisible (Figura 3-2). En tramos rectos cortos entre curvas del mismo signo se considerará la conveniencia de mantener en ellos el menor de los peraltes de aquéllas.

Donde se empleen pavimentos drenantes o dotados de ranuras transversales se podrá prescindir de algunas de las precauciones anteriores, siempre que se justifiquen sus condiciones de desagüe.

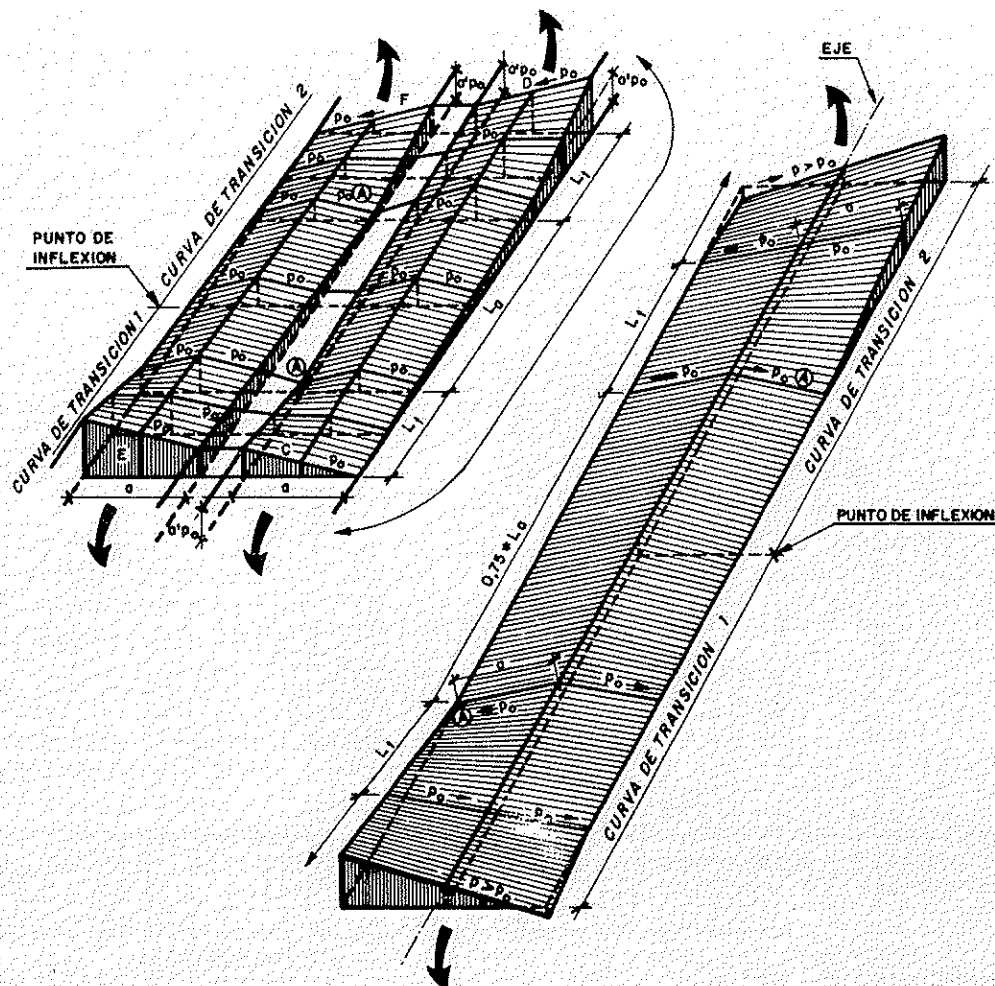
Los arcenes podrán tener igual o mayor pendiente transversal que la parte contigua de la calzada, donde ésta vierta hacia el exterior; donde vierta hacia el interior, el arcén deberá ser prolongación de ella y, además, tener un pavimento impermeable.

Las bermas deberán verter hacia el exterior de la plataforma, y su pendiente transversal no deberá rebasar 1/6; sus aristas deberán redondearse con un radio mínimo de 10 m.

La pendiente transversal de las aceras elevadas deberá estar comprendida entre el 2,5 por 100 y el 3 por 100 hacia la calzada.

Deberán evitarse las aportaciones superficiales de agua precipitada sobre zonas contiguas; en ningún caso se permitirá que se produzcan arrastres de tierra hacia la calzada.

Donde fueran de temer nevadas, será preciso tener en cuenta que los quitanieves pueden acumularla en los bordes de la calzada, impidiendo el funcionamiento normal del drenaje superficial. Ello requerirá una prolongación de los imbornales o sumideros hacia el interior de la calzada, o un despeje adicional.



NOTAS: LOS PUNTOS MARCADOS (A) PUEDEN SER PUNTOS BAJOS  
 SE ADAPTARA LA SOLUCION A LA POSICION DEL EJE DE GIRO DE LA SECCION TRANSVERSAL.  
 $L_0(m) \approx$  VELOCIDAD (km/h).  
 $L_1 \approx 6 \text{ ó } 8$  VECES  $a$  (m)  
 $p_0$ : PENDIENTE TRANSVERSAL EN RECTA (m/m)  
 EF Y CD TIENEN UNA PENDIENTE UNIFORME  $\frac{a' p_0}{L_0 + 2L_1}$

Fig. 3.1. PRECAUCIONES PARA LA TRANSICION DEL PERALTE EN CURVAS EN S CON PENDIENTE LONGITUDINAL  $< 0,5\%$  (Con tejadillo intermedio)

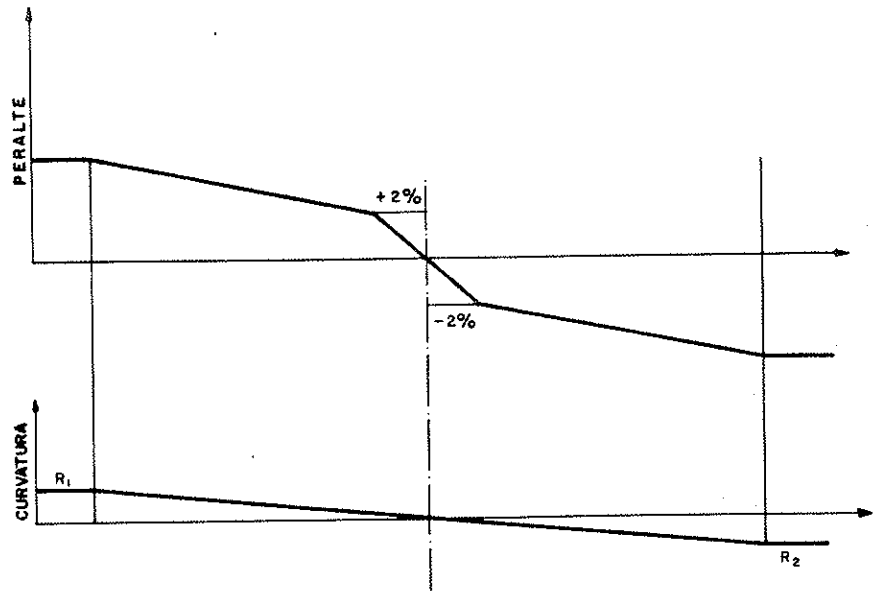


Fig. 3.2. MEDIDAS PARA FACILITAR EL DRENAJE EN EL CASO DE TRANSICIONES LARGAS ENTRE CURVAS EN S

### 3.2.2 Carreteras de calzadas separadas

Además de a las necesidades de cada una de las plataformas, con arreglo al Apartado 3.2.1, el drenaje superficial deberá adaptarse al tipo de mediana, teniendo en cuenta la influencia que sobre el diseño de ésta y de su drenaje superficial tiene la posición relativa de aquéllas, con efectos también sobre su aspecto y sobre el volumen de las explanaciones.

No deberá desaguar directamente una plataforma sobre la otra, excepto en ciertas intersecciones en las que, en todo caso, deberán evitarse acumulaciones localizadas de agua. Donde la mediana sea de tierra será preciso evitar que el agua la arrastre a las calzadas.

La implantación de una red de drenaje superficial en la mediana estará especialmente indicada en tramos con peralte. Los dispositivos de recogida de agua deberán situarse lo más lejos posible de los bordes de calzada, para evitar tener que reconstruirlos o recrecerlos al reforzarla; también se deberá evitar situarlos en correspondencia con los postes de barreras de seguridad deformables. Donde haya plantaciones en la mediana y se utilicen fundentes para mantener libre de hielo la calzada, deberá recogerse la escorrentía de ésta antes de que alcance a aquéllas.

Deberán evitarse infiltraciones en los puntos bajos o tramos con poca pendiente, revistiendo la mediana o desaguándola.

#### 3.2.2.1 Mediana estricta

Este tipo de mediana deberá pavimentarse (Figura 3-3). En tramos peraltados donde haya barreras rígidas o bordillos, el agua que drene hacia la mediana no deberá atravesarlos, por lo que se deberá disponer un caz —eventualmente complementado por un colector— cuyo borde podrá coincidir con el de aquéllos. En tramos sin peralte podrá prescindirse del



caz, pero será preciso acondicionar —previniendo los sumideros necesarios— las transiciones entre unos y otros tramos.

Donde no haya bordillo, pero sí una barrera de seguridad montada sobre postes, para evitar que el agua pase de una a otra plataforma en los tramos peraltados el caz se dispondrá en el lado bajo de la mediana, especialmente en zonas de clima riguroso en las que la fusión del cordón de nieve pueda entrañar la formación de placas de hielo en la calzada más baja.

### 3.2.2.2 Mediana amplia

Además del drenaje superficial de cada semiplataforma por separado, deberán resolverse los problemas que se presenten en el espacio entre ellas —especialmente en la unión de taludes— cuidando de que se pueda evacuar el agua de dicho espacio, considerado como un margen de la plataforma (Figura 3-4).

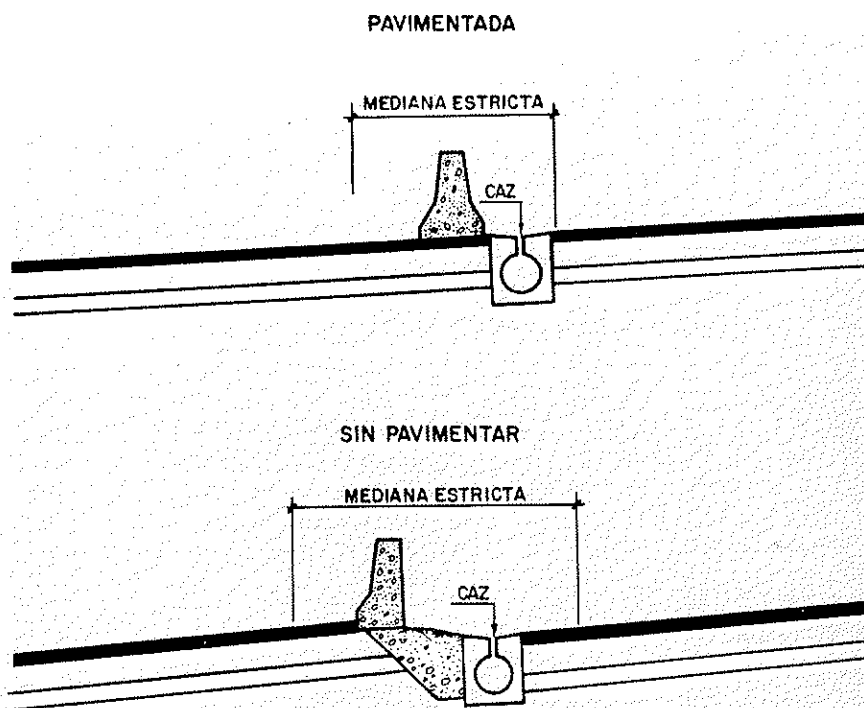


Fig. 3.3. MEDIANA ESTRICTA EN TRAMOS CON PERALTE

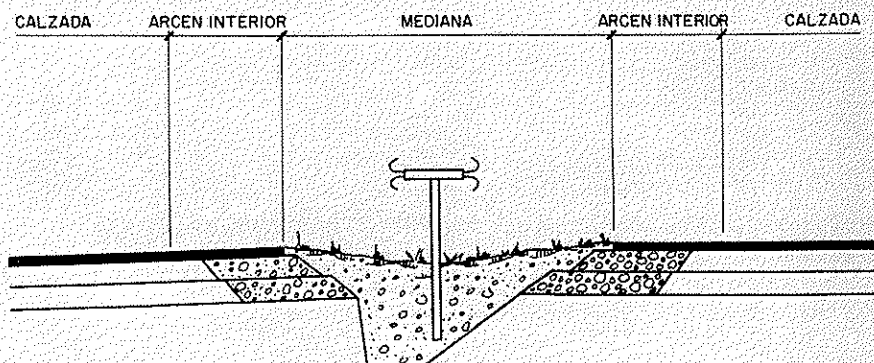


Fig. 3.4. MEDIANA AMPLIA EN RECTA

### 3.3 MARGENES DE LA PLATAFORMA: EXPLANACIONES

En general, en tramos peraltados el caz o cuneta se deberá colocar del lado de la mediana contiguo a la calzada exterior, y pavimentar la zona entre ellos y el arcén (Figura 3-5).

Se recomienda prever, construir y mantener cunetas provisionales profundas durante la construcción de las explanaciones.

Donde su naturaleza o la aridez del clima no lo impidan, se procurará sembrar los taludes, bermas y cunetas para evitar su erosión; en este caso, podrá ser necesario disponer protecciones provisionales (mallas biodegradables, tepes), en su superficie o coronación, durante la nascencia de las semillas.

#### 3.3.1 Desmontes

La escorrentía de los taludes del desmonte (Figura 3-6) se recogerá mediante caces (Apartado 3.6.2) y cunetas (Apartado 3.6.3), eventualmente complementados por colectores (Apartado 3.6.5).

En taludes que reciban escorrentías importantes por su coronación o por eventuales banquetas, podrá ser necesaria la implantación de cunetas de guarda y, en su caso, bajantes (Apartado 3.6.7). Deberá tenerse en cuenta que las infiltraciones por la cuneta de guarda pueden comprometer la estabilidad del talud: en cuyo caso la cuneta deberá revestirse. Su borde deberá distar entre uno y dos metros de la coronación del talud, y para el paso de los equipos de conservación deberá preverse acceso y espacio entre ella y el límite de la zona de dominio público.

#### 3.3.2 Terraplenes

Donde la escorrentía de la plataforma hacia el talud del terraplén sea importante, podrá ser necesario disponer —incluso provisionalmente durante la construcción— un caz de coronación (Figura 3-7) que desagüe a unas bajante, para evitar erosiones y cárcavas en el terraplén, donde la altura de éste sea superior a un límite comprendido entre dos metros en zonas muy lluviosas y erosionables, y cuatro metros en zonas áridas y poco erosionables. Este caz deberá ir limitado por un bordillo montable cuya altura no deberá exceder de 10 cm, colocado a menos de 10 cm delante de la barrera de seguridad, si la hubiere, y de forma que un impacto sobre ella no la deteriore. La separación entre bajantes estará comprendida entre 30 m en zonas de clima mediterráneo y 50 m en zonas de clima continental; en todo caso, deberán colocarse en los puntos bajos del caz.

Donde los caudales procedentes de la plataforma y el terraplén no puedan evacuarse directamente al terreno sin daños a los colindantes, o donde el

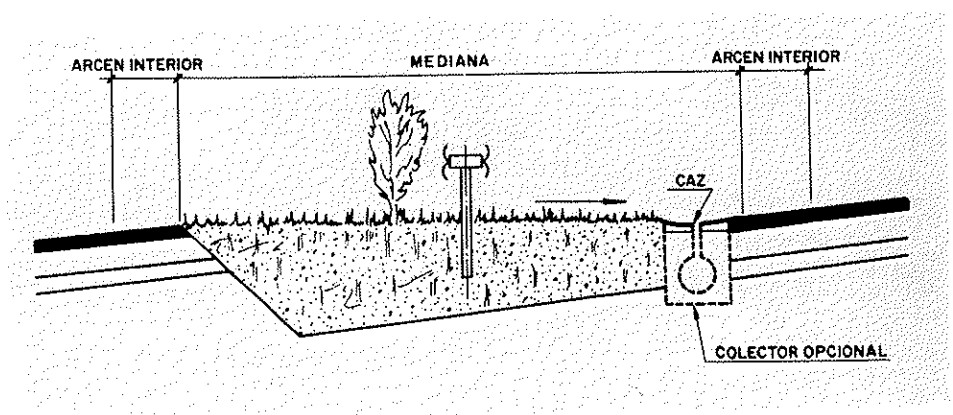


Fig. 3.5. MEDIANA AMPLIA EN TRAMOS CON PERALTE

terreno contiguo vierta hacia la carretera. deberá disponerse una cuneta de pie, la cual se colocará a una distancia mínima de 1,5 m (mínimo absoluto 1 m) del pie del talud y, donde no exista barrera de seguridad su sección transversal deberá tener en cuenta la seguridad de los vehículos que la puedan atravesar (Apartado 3.6.3).

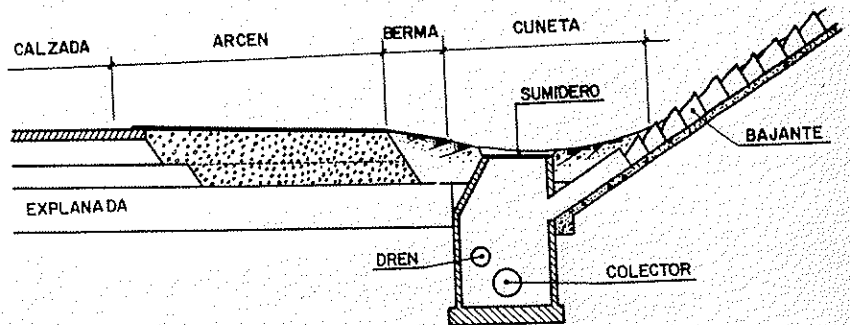
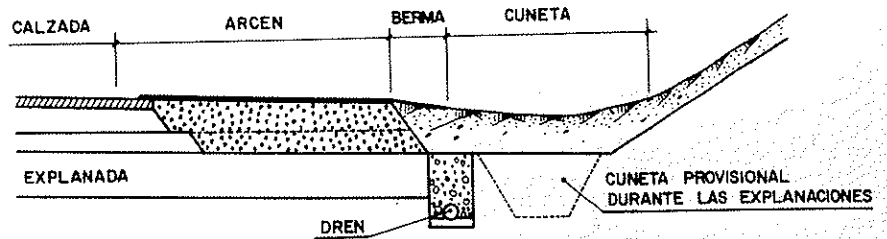


Fig. 3.6. DRENAJE SUPERFICIAL EN DESMONTES

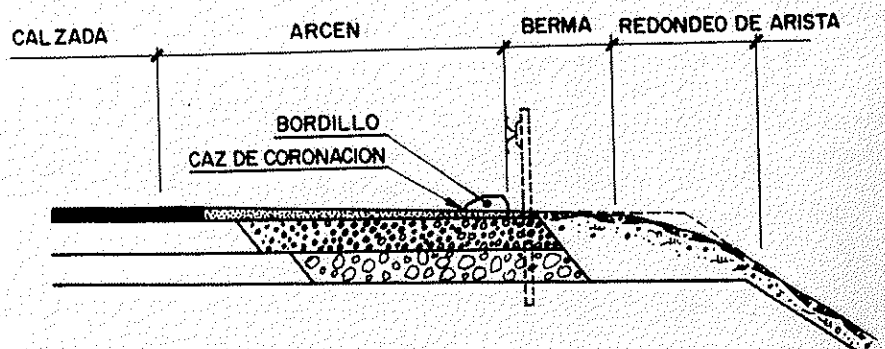


Fig. 3.7. DRENAJE SUPERFICIAL EN TERRAPLENES

### 3.4 ELEMENTOS SUPERFICIALES

#### 3.4.1 Generalidades

Los caces y elementos enterrados del drenaje superficial deberán proyectarse de forma que no se mantengan durante la construcción de las explanaciones y firme de zonas de gran superficie (intersecciones, enlaces,

aparcamientos, etc.). Las arquetas y sumideros deberán acoplarse a su situación definitiva una vez terminada dicha construcción.

Será preciso indicar en los planos de drenaje hacia dónde va el agua que proviene de cada superficie, a fin de evitar errores de diseño o construcción que causen profundidades excesivas del agua en zonas de escasa pendiente.

### **3.4.2 Intersecciones y enlaces**

En intersecciones complicadas se recomienda trazar un plano con curvas de nivel de 5 en 5 ó 10 en 10 cm, por ser muy difícil sin él compaginar en fase de proyecto las pendientes longitudinales, peraltes y contornos de isletas de modo que el conjunto drene y sea satisfactorio para la circulación.

Se evitará en particular que los ramales o vías de giro secundarias viertan a carriles donde se pueda circular a gran velocidad, disponiendo el entronque en ligera contrapendiente o colocando antes de él un sumidero continuo en la carretera secundaria.

Se estudiará la posibilidad de utilizar las isletas y espacios entre ramales para fines accesorios (balsas de laminación de crecidas, separadores de aceites...).

### **3.4.3 Aparcamientos y otras zonas llanas**

Estos elementos deberán tener formas y pendientes que aseguren su drenaje, y nunca podrán verter a la carretera. Donde sean muy anchas será preciso disponerlos en tejadillo, o en cubetas con sumideros. Su línea de máxima pendiente no deberá tener una inclinación menor del 1 por 100. Donde la anchura sea menor de 20 m y dicha inclinación no sea inferior al 1,5 por 100 se podrá prescindir de los sumideros interiores, vertiendo a cunetas o sumideros perimetrales.

Donde sean de temer vertidos de aceites y carburantes (estaciones de servicio, talleres, reparación de vehículos), se estudiará la necesidad —según el mayor o menor riesgo de vertido y el tipo de perjuicios posibles (contaminación de aguas potables o estanques)— de disponer un separador de aceites en el punto de desagüe. Donde el vertido de estos productos sea frecuente será necesario aislar y proteger la zona en que se produzca, de modo que no se dañen los pavimentos.

## **3.5 OBRAS DE PASO, MUROS Y TUNELES**

### **3.5.1 Obras de paso (Figura 3-8)**

No deberán proyectarse pasos inferiores donde sea difícil el desagüe por gravedad del caudal de referencia, en las condiciones previstas en los Apartados 1.2.B y 1.5.2. Excepcionalmente y con las debidas justificaciones de necesidad, posibilidades de explotación segura y economía, se podrán proyectar sistemas de desagüe por bombeo.

Salvo que sea inevitable conducirla a lo largo de la obra de paso, el agua del drenaje superficial deberá desagüarse antes de alcanzarla, especialmente en terrenos agresivos.

Los tableros de los pasos superiores pueden ser más propicios a la formación del hielo que los pavimentos contiguos, lo que puede aumentar la necesidad de evacuar de ellos rápidamente el agua y, donde se prevea el uso de fundentes, de extremar la prevención de infiltraciones o retenciones de agua, especialmente perjudiciales. Se cuidará que el agua no penetre por las juntas, utilizando modelos impermeables a todo lo ancho del tablero y evitando el paso de corrientes importantes sobre ellas.

Se evitará que el agua escurra por los paramentos, disponiendo en éstos rebordes o goterones y, especialmente, encauzándola mediante bordillos y desaguándola cada 10 a 20 m, bien por vertido libre a través de imbornales, bien a través de sumideros a colectores que la lleven a unas bajantes: aunque este último sistema puede presentar inconvenientes —posibilidad de obstrucciones y corrosiones—, y por tanto no siempre resulta recomendable.

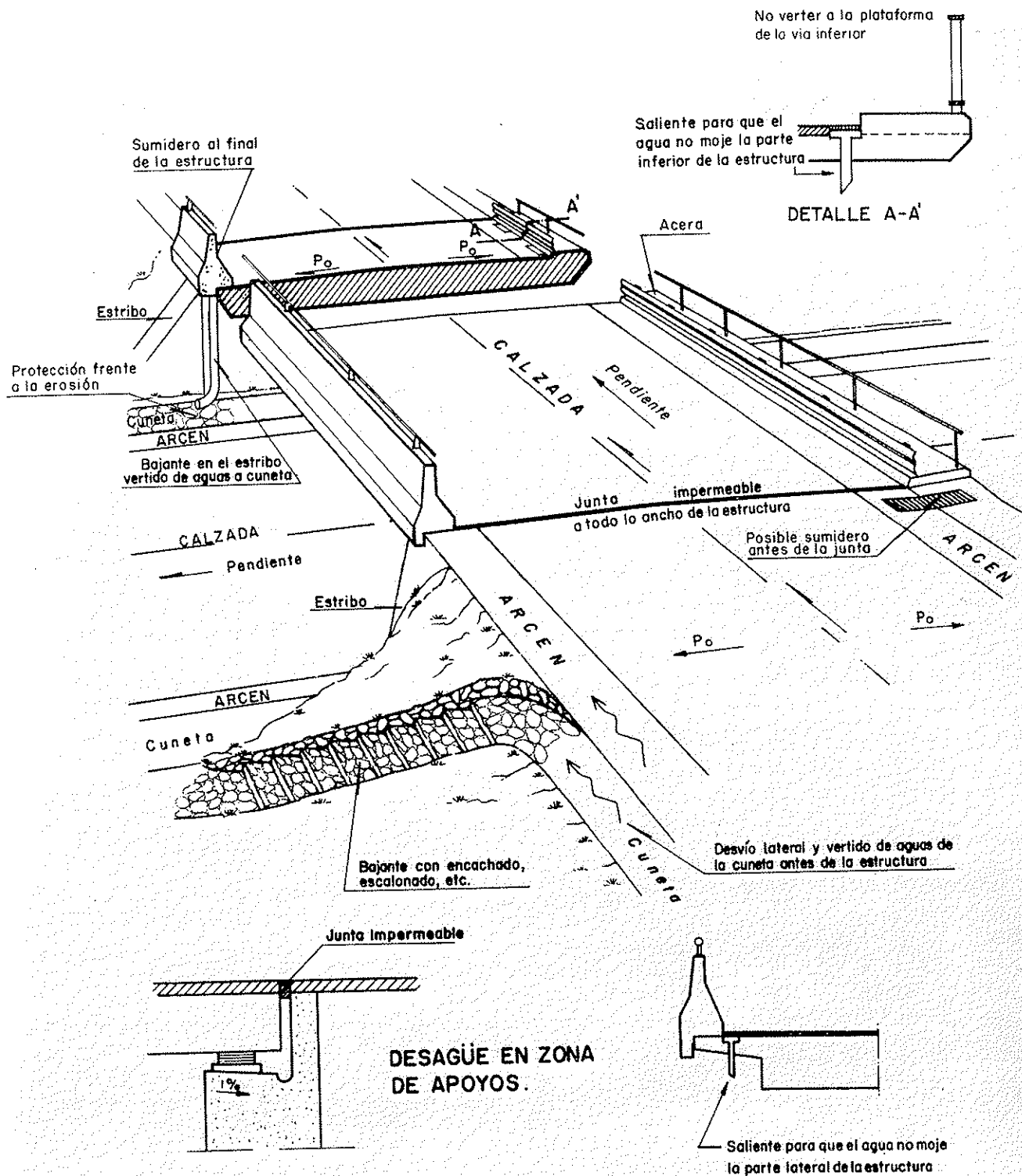


Fig. 3.8. DRENAJE EN OBRAS DE PASO

No deberán verterse aguas libremente a otras vías o zonas habitadas, exceptuándose caudales inferiores a unos 21 m, y siempre que no caigan directamente sobre calzadas. En todo vertido libre será preciso evitar daños por la caída del agua, protegiendo la zona de impacto —con la extensión adicional que pueda requerir la influencia del viento— y aumentando el número de puntos de vertido para disminuir el caudal de cada uno de ellos.

Los colectores (Apartado 3.6.5) deberán poder ser conservados fácilmente, a través de arquetas o puntos de limpieza y un diseño poco propicio a atascarse o almacenar agua, especialmente donde sean de tener heladas; en particular, no deberán tener puntos más bajos que los desagües. Los tubos deberán ser impermeables y duraderos, y no tener menos de 15 cm de diámetro. Los sumideros tendrán rejillas adecuadas para prevenir la entrada de residuos de tamaño excesivo; y se recomienda disponer aliviaderos que permitan verter el agua libremente fuera del tablero si alguno de ellos se atascara.

Los colectores podrán disponerse debajo de caces, bordillos o aceras, de modo que éstas se puedan levantar sin perjudicar a la estructura en caso de tener que arreglarlos; pero no podrán disponerse a lo largo de vigas, arcos, pilas, ni otros lugares en que su eventual deterioro pueda perjudicar la estructura. Los colectores que atraviesen juntas de la estructura deberán permitir sus movimientos relativos sin pérdida de su estanqueidad.

### **3.5.2 Muros y estribos**

En muros y estribos será preciso evitar que las aguas superficiales se infiltren por su trasdós y asegurar su evacuación.

Los colectores que se dispongan en muros o estribos deberán poder limpiarse fácilmente con agua a presión, disponiéndose los registros y arquetas oportunos. Donde se teman depósitos calizos será preciso extremar la posibilidad de limpieza (Apartado 3.6.5.1).

### **3.5.3 Túneles**

Deberá preverse la recogida, por medio de caces, de las aguas que caigan a la superficie de la plataforma y, en especial, de los vertidos procedentes de los vehículos, sin dejarlas correr una distancia excesiva. Para ello se desaguarán aquéllos, a través de sumideros frecuentes, a unos colectores. Podrá desaguar la plataforma hacia un solo lado.

Las arquetas necesarias irán separadas 100 m como máximo y preferiblemente 50 m, y se adaptarán a la sección del túnel. Sus tapas no podrán situarse en la calzada, salvo justificación en contrario. Su profundidad será suficiente para recoger también el drenaje profundo.

## **3.6 DISPOSITIVOS DE RECOGIDA Y EVACUACION DE AGUAS**

### **3.6.1 Condiciones generales**

Al ser relativamente constantes la sección y pendiente de un dispositivo de recogida y evacuación de aguas, y ser su caudal de referencia aproximadamente proporcional a la longitud de carretera desaguada (contada desde el origen de la red), dicha longitud no podrá rebasar un cierto límite máximo sin que deje de cumplirse alguna de las condiciones expuestas en el Apartado 1.2 y resulte necesario cambiar de sección o de pendiente, o desaguar a otro dispositivo o al punto de desagüe de la red.

Se utilizarán preferentemente dispositivos superficiales —caces y cunetas—, cuyos costes de construcción y conservación son inferiores a los de los dispositivos enterrados (sumideros y colectores); y en caso alguno ni unos ni otros podrán constituir un peligro para los vehículos que los atraviesen al salirse de la plataforma. Si la capacidad de desagüe de los dispositivos superficiales se viera rebasada antes de llegar al punto de desagüe de la

red, deberán complementarse por colectores a los que viertan a través de sumideros.

Se procurará tipificar estos dispositivos, a fin de conseguir economías por ejecución en serie o por prefabricación. Se escogerán dispositivos que puedan conservarse fácilmente, no causen riesgos a la circulación y sean robustos. Donde hiele, serán preferibles los revestimientos de hormigón a los de mampostería.

Se proyectarán los detalles precisos para pasar de un tipo de dispositivo a otro, tales como empalmes en arquetas, partidores, etc. Será fundamental asegurar la continuidad de cada elemento de la red de drenaje superficial de la plataforma y sus márgenes, que no deberá interrumpirse por estructuras u obras de paso.

Los cambios de dirección, de sección o de pendiente —salvo que sean pequeños— o las confluencias de conductos pueden provocar fenómenos hidráulicos no tenidos en cuenta por las fórmulas de pérdida de energía (Capítulo 4). Esos defectos se deberán corregir preferentemente mediante dispositivos locales: por ejemplo, una pérdida de energía podrá compensarse a veces por un aumento equivalente de desnivel, que evite la propagación aguas arriba de un remanso.

Se procurará evitar el depósito de arrastres en los elementos del drenaje superficial de la plataforma y sus márgenes, o a su entrada, salvo en los puntos de fácil limpieza en los que se provoquen esos depósitos, evitando el estancamiento en los puntos bajos y asegurando una velocidad mínima al agua.

Se deberá tener en cuenta que el refuerzo de un firme puede conducir a costosas reformas de los dispositivos de recogida y evacuación de aguas, especialmente si se hallan muy próximos al borde de la calzada.

### 3.6.2 Caces

Un caz es una franja estrecha longitudinal, en forma de canal revestido de muy poca profundidad, y generalmente situada al borde de la plataforma. Junto a aceras o medianas elevadas el caz está limitado por un bordillo o barrera. En la Figura 3-9 se representan diversos modelos de caz.

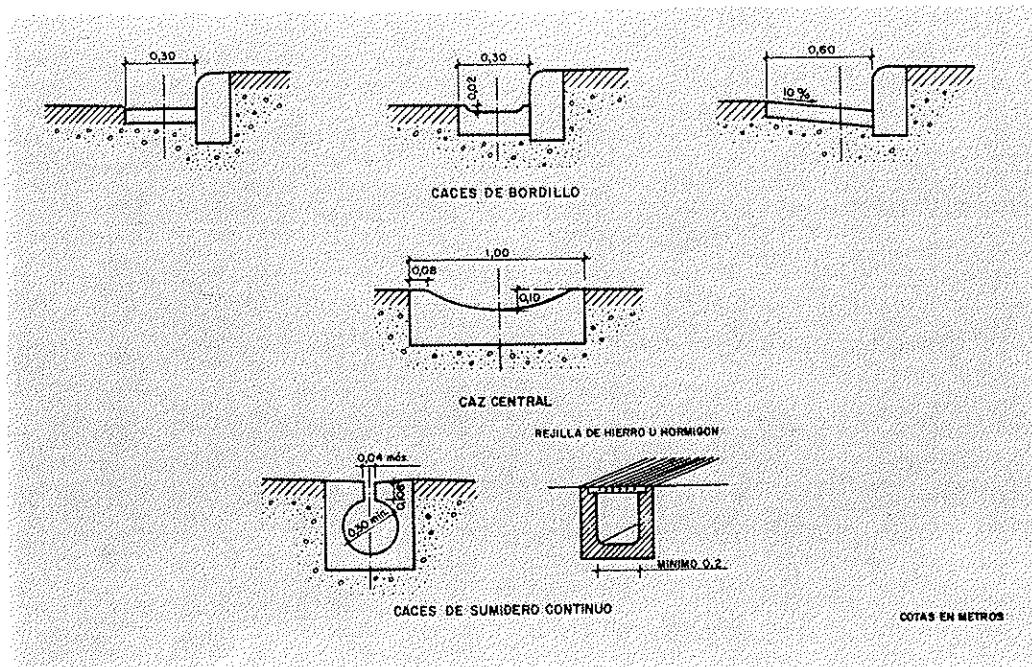


Fig. 3.9. CACES

La capacidad de desagüe, tanto del caz (Apartado 4.2.2) como de los sumideros a los que desagua (Apartado 4.3) depende de la profundidad de la corriente. Esta no puede ser muy grande sin recurrir a pendientes transversales peligrosas para la circulación (no debe rebasarse un 10 por 100, salvo junto a carriles de estacionamiento) o sin admitir una excesiva anchura de la lámina de agua (no debe ser superior a 30 cm); por lo que es preciso desaguar el caz frecuentemente a un colector, mediante un sumidero continuo o una serie de sumideros aislados (Apartado 3.6.4).

Especial cuidado deberá tenerse en acuerdos verticales cóncavos de parámetro superior a unos 4.000 m. Sobre todo, en zona urbana, los caces deberán desaguar antes de los cambios de peralte, para evitar que el agua cruce la calzada.

### 3.6.3 Cunetas

Una cuneta es una zanja longitudinal abierta en el terreno junto a la plataforma.

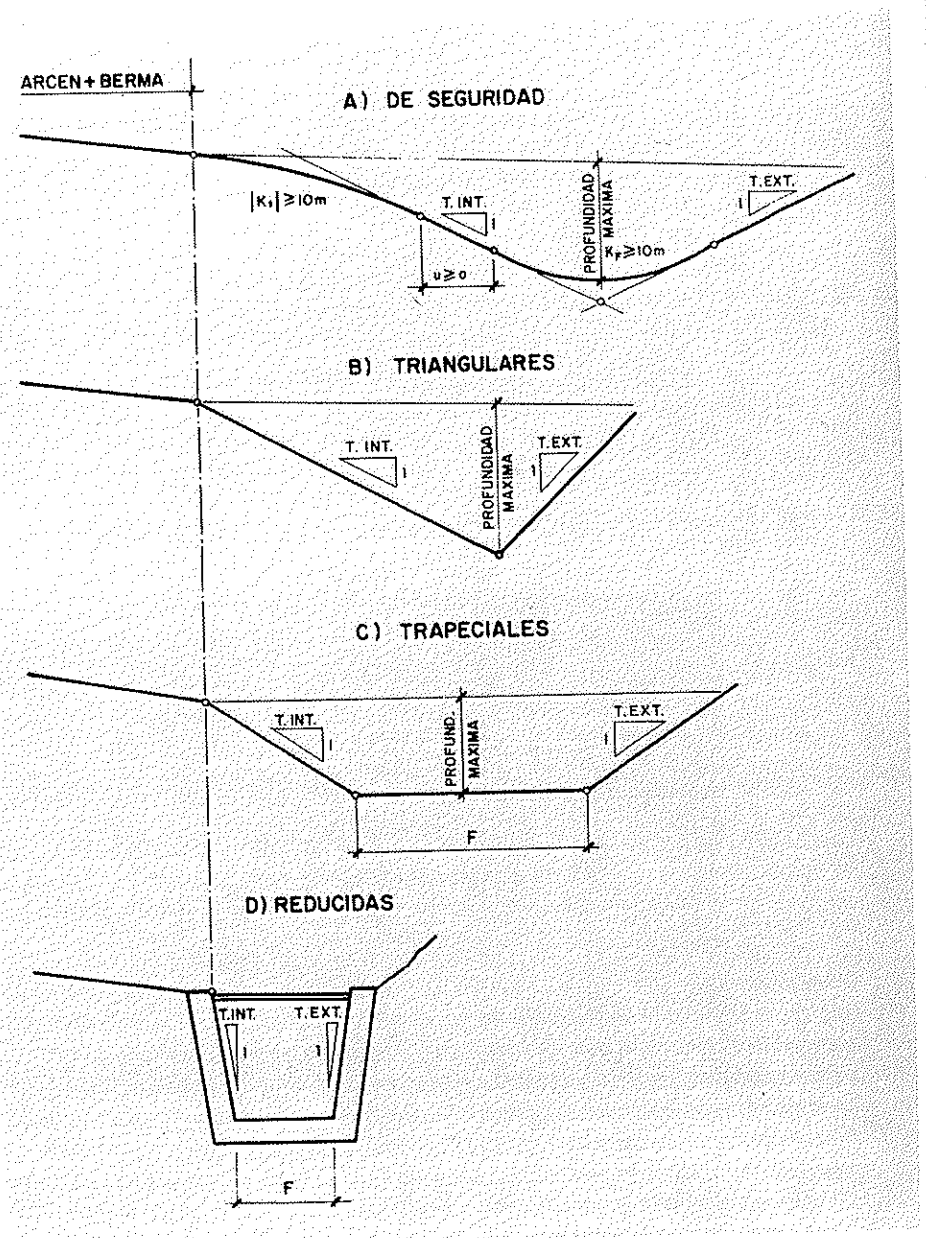


Fig. 3.10. CUNETAS



La cuneta tendrá igual pendiente longitudinal que la rasante de la carretera, salvo que se estime necesario ceñirse más al terreno o modificar dicha pendiente para mejorar la capacidad de desagüe.

Salvo justificación en contrario, se utilizará uno de los tipos de cuneta indicados en la Figura 3-10. La elección se hará basándose en los criterios siguientes:

- Siempre que consideraciones económicas o de espacio no lo impidan, deberá atenderse preferentemente a las condiciones de franqueamiento seguro del perfil transversal de la cuneta por los vehículos que se saigan de la plataforma. A estos efectos, se podrá considerar que se dan tales condiciones donde la inclinación de los taludes de la cuneta sea inferior a 1/6 y sus aristas estén redondeadas con un radio mínimo de 10 m; en caso contrario, podrán aplicarse los criterios expuestos en la Figura 3-11 para cunetas triangulares y trapeciales. Las cunetas reducidas sólo podrán emplearse en terreno accidentado, y deberán siempre cubrirse o protegerse con barreras de seguridad.

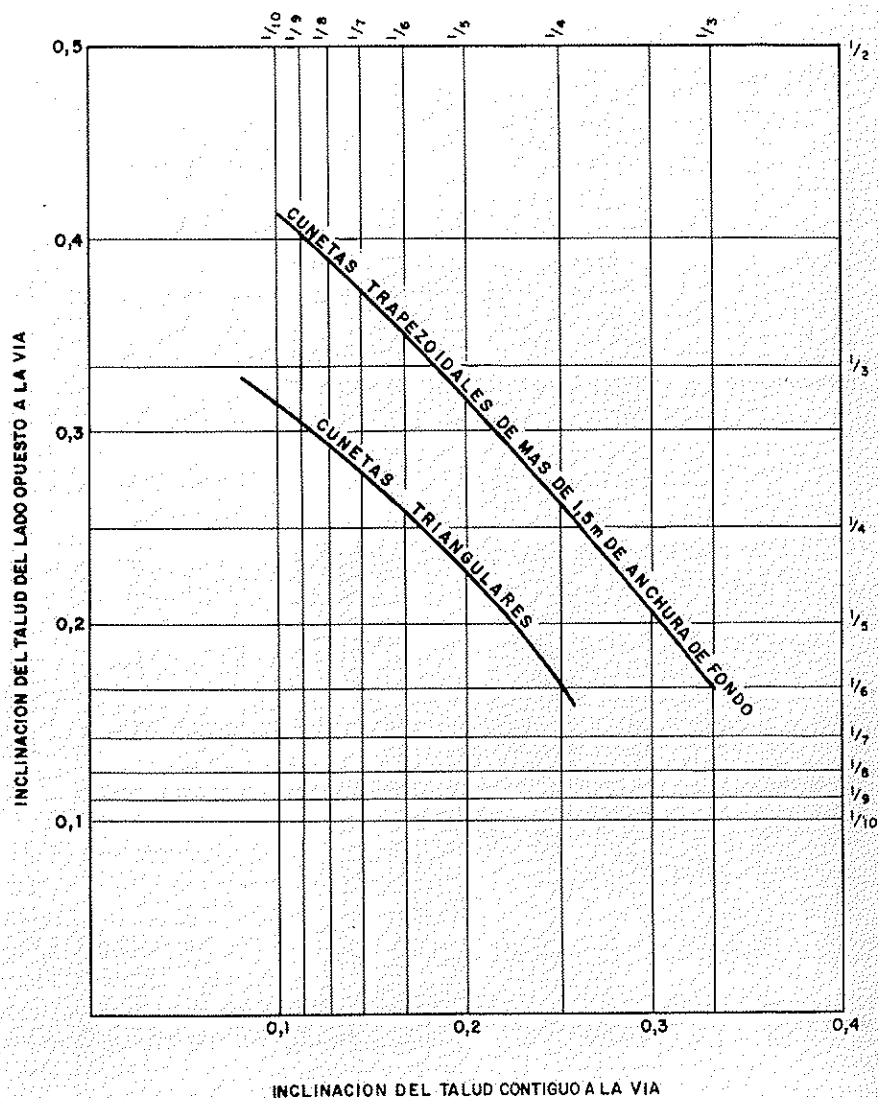


Fig. 3.11. TALUDES MAXIMOS PARA SEGURIDAD DE CUNETAS

- Las dimensiones y pendiente longitudinal de la cuneta deberán asegurar que, cuando desagüen el caudal de referencia (Capítulo 2) se cumplan las condiciones del Apartado 1.2. Si fueran de temer efectos perjudiciales sobre el firme por infiltración de las aguas de la cuneta,
  - el nivel de la lámina libre no deberá rebasar el de la explanada, o bien,
  - deberá disponerse un drenaje profundo bajo la cuneta y su superficie deberá impermeabilizarse revistiéndola con hormigón, piezas prefabricadas, encachados de piedra, o materiales bituminosos.

La necesidad de revestimiento será mayor:

- Donde la velocidad del agua sea elevada (Apartado 1.2). En zonas de clima de lluvias suaves (España húmeda), se podrá admitir que una cuneta no se erosiona si su pendiente no rebasa el 4 por 100; en zonas de clima más irregular (España seca), dicho límite se rebajará hasta el 3 por 100.
- Donde la velocidad del agua sea muy baja y se produzcan sedimentaciones. Se podrá admitir que esto ocurre donde la pendiente sea inferior al 1 por 100.
- Donde se desee evitar infiltraciones: explanadas susceptibles, cunetas de guarda, protección de un acuífero, etc.
- Donde la conservación resulte difícil o costosa, por ejemplo, en zonas urbanas.

Podrán revestirse únicamente las partes más bajas, dimensionadas para un período de retorno menor que el especificado en el Apartado 1.3, si se comprobase que el caudal de referencia no causa erosiones en el resto.

La siembra de especies herbáceas en las cunetas mejora sus condiciones de desagüe, al aumentar tanto el tiempo de concentración (Apartado 2.4) como el umbral de escorrentía (Apartado 2.5), y protege contra la erosión. Podrán emplearse dispositivos (mallas biodegradables, tepes) que eviten la erosión durante la nascencia de la siembra.

Para pendientes mayores del 7 por 100 será preciso adoptar precauciones especiales contra la erosión: disponer escalones para disipar la energía cinética del agua —protegiendo su pie para evitar socavaciones regresivas— o revestir las cunetas con paramentos irregulares. En este último caso, si funcionasen en régimen rápido (número de Froude superior a uno) habrá que disponer sobre-elevaciones de los cajeros en los cambios de dirección, debido a los resaltos y ondas que pudieran aparecer.

### 3.6.4 Sumideros e imbornales

Los sumideros e imbornales permiten el desagüe de dispositivos superficiales de drenaje (caces o cunetas), al exterior (imbornales) o a un colector (sumideros). El sumidero puede ser continuo o aislado y, en este último caso, se pueden distinguir los de tipo horizontal (desagüe por su fondo), lateral (desagüe por su cajero) y mixto. Cada sumidero aislado deberá tener debajo una arqueta (Apartado 3.6.6) de la que pasará el agua al colector. Donde éste pueda disponerse debajo de la arqueta se podrá simplificar ésta, asegurando la continuidad de aquél.

El tipo y el diseño de los sumideros e imbornales, aún antes que las consideraciones hidráulicas, deberá tener en cuenta la seguridad de la circulación y el peligro de su obstrucción por basura procedente de la plataforma.

Los sumideros aislados situados en puntos bajos serán generalmente del tipo horizontal (Figura 3-12), que tienen mayor capacidad de desagüe que los laterales, aunque pueden obstruirse más fácilmente. Para evitar la formación de balsas si se obstruyeran, deberá disponerse otro sumidero aguas arriba, a cinco centímetros por encima de ellos. No obstante, donde se asegure con precisión la situación del punto bajo —por ejemplo, construyendo el sumidero después de la superficie a desaguar— podrá reemplazarse el conjunto anterior por un sumidero mixto.

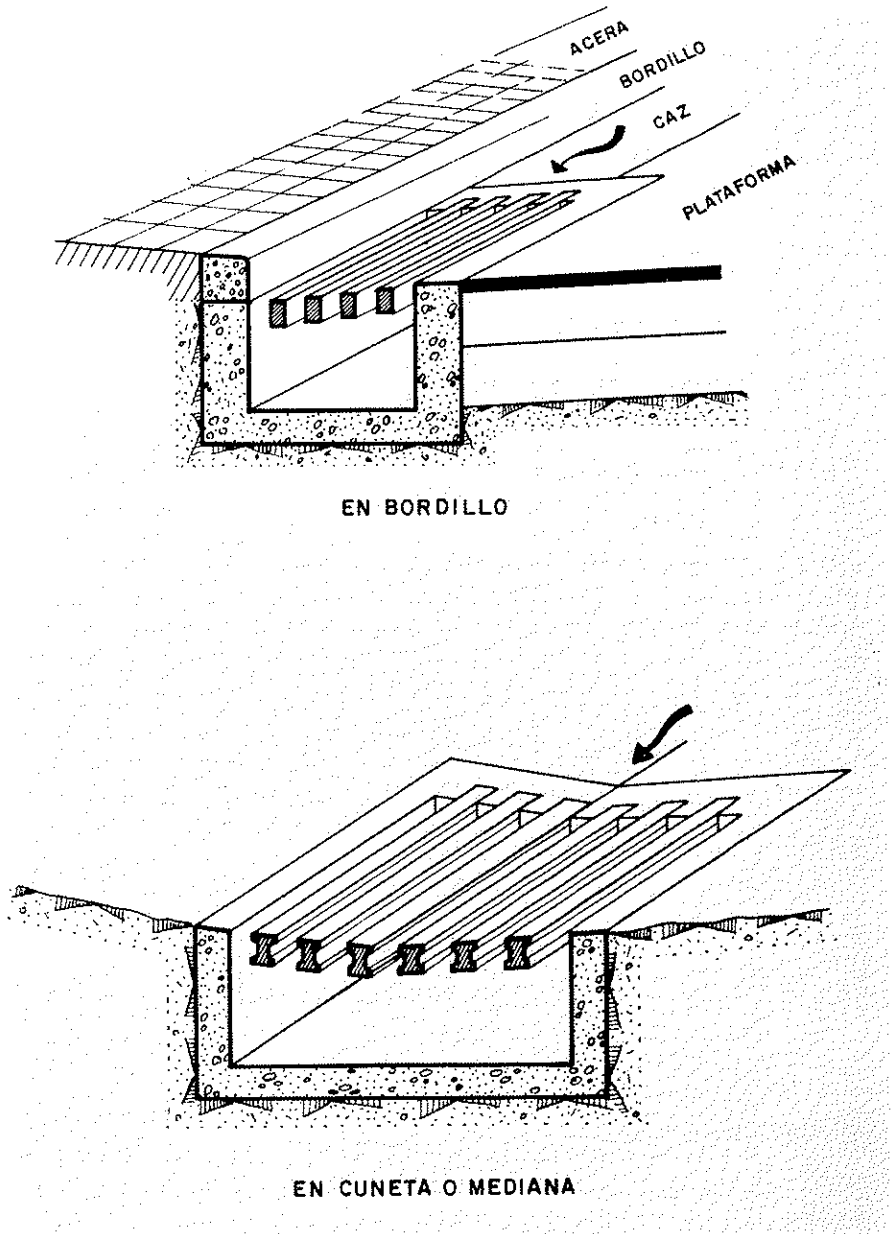


Fig. 3.12

Los sumideros aislados situados en rasantes inclinadas (salvo que su pendiente sea muy pequeña) serán generalmente también de tipo horizontal, interceptando el fondo de la cuneta o caz, y con sus barras preferentemente en la dirección de la corriente. Su separación será función de la capacidad de caz o cuneta. Su capacidad de desagüe aumenta con su longitud y con la profundidad de la corriente y por tanto con su pendiente transversal; pero un aumento de la velocidad del agua (debido a una fuerte pendiente longitudinal) disminuye esa profundidad.

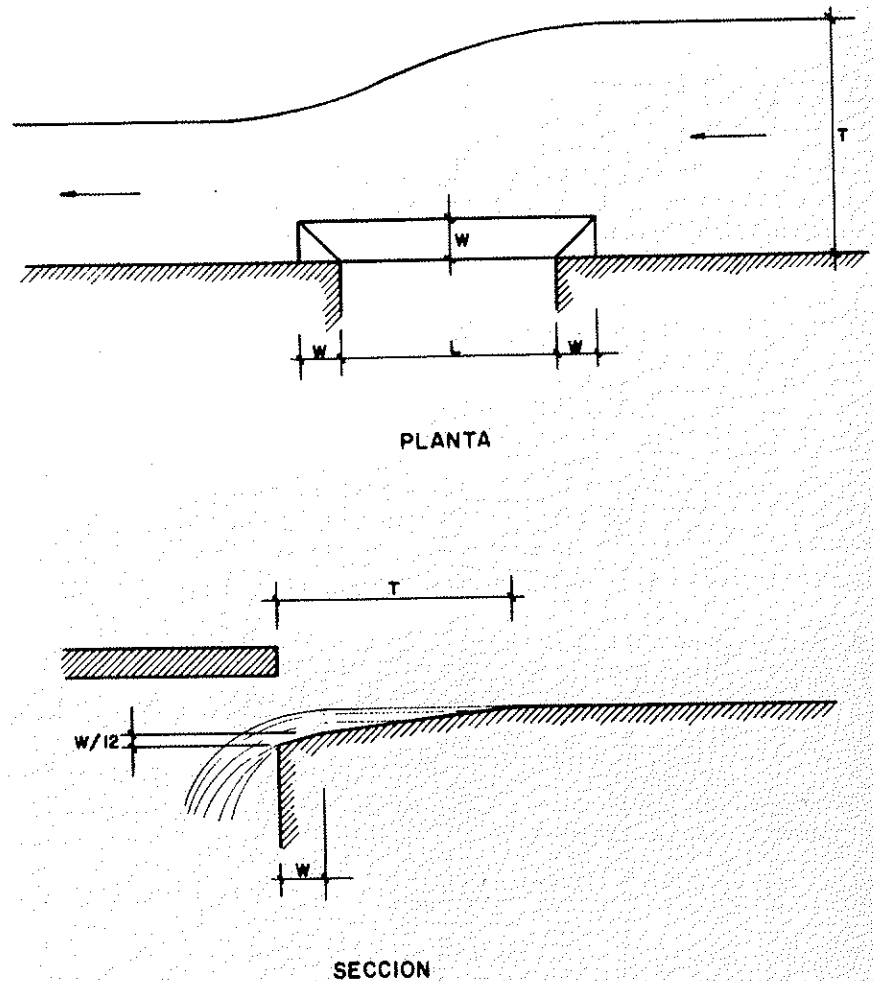


Fig. 3.13. SUMIDERO LATERAL

Para que un sumidero horizontal pueda interceptar todo el caudal que pase sobre él será necesario que la longitud libre  $L$  (cm) de las barras —donde éstas sean paralelas a la corriente— no sea inferior a la dada por la fórmula.

$$L = 9 \cdot (H + D)^{1/2} \cdot V \leq 30 \text{ cm}$$

siendo:

- $H$  (cm): la profundidad del agua sobre las barras.
- $D$  (cm): el canto de una barra.
- $V$  (m/s): la velocidad del agua en el caz o cuneta.

Donde las barras sean perpendiculares a la dirección de la corriente, salvo justificación en contrario, se podrá emplear la fórmula.

$$L \geq 15 \cdot (H + D)^{1/2} \cdot V$$

En un sumidero lateral (Figura 3-13) se podrá aumentar su capacidad de desagüe aumentando su longitud (que no deberá ser inferior a  $T \cdot \sqrt{p/2}$ ), siendo p (tanto por 100) la pendiente longitudinal) o su profundidad (mediante una depresión cuya anchura deberá estar comprendida entre el 10 y el 30 por 100 de la anchura T del caz, con un mínimo de cinco centímetros, y cuya profundidad deberá ser igual a la doceava parte de su anchura). Disponer soportes intermedios para disminuir la luz de la abertura reduce mucho la capacidad de desagüe.

Los sumideros situados en la plataforma no deberán perturbar la circulación sobre ella, por lo que:

- En carreteras de circulación rápida deberán disponerse al borde de la plataforma, y no en su interior.
- Su superficie deberá ser suficientemente regular y deberá cuidarse el acabado del firme o zona contigua, de modo que el agua no pase al lado del sumidero sin entrar en él.
- No deberá constituir un peligro para los vehículos de dos ruedas: la anchura del sumidero continuo no deberá exceder de 4 cm, y la separación entre barras de rejilla se atenderá a la Norma UNE 41-300 (EN 14), Apartado 7.9.
- La rejilla será difícilmente movable y tendrá buen asiento; deberá tener la resistencia necesaria para soportar a los vehículos que pasen sobre ella (Norma UNE 41-300 [EN 14] Apartado 8).

Donde no resulte probable el paso de vehículos sobre el sumidero podrán disponerse depresiones y planos inclinados para facilitar el encauzamiento del agua, los cuales podrán ser tanto más acusados cuanto menor sea la probabilidad de paso de vehículos.

### 3.6.5 Colectores

#### 3.6.5.1 Generalidades

Salvo justificación en contrario, los colectores estarán formados por tubos de los materiales siguientes, solos o combinados:

- Piezas prefabricadas de hormigón.
- Fibrocemento.
- Acero corrugado galvanizado.

Deberá indicarse en el Pliego de prescripciones técnicas particulares el tipo de junta a emplear entre tubos contiguos o entre éstos y sus extremos o arquetas; y para cada tipo de tubo, las características de su asiento, espaldones y recubrimiento. Los tubos rígidos deberán ir apoyados sobre una superficie apisonada y limpia, preferiblemente una cama de hormigón. Los tubos flexibles —de acero corrugado— deberán evitar apoyarse sobre lechos rígidos, y requerirán una compactación cuidadosa y simétrica de sus espaldones, así como evitar que se aplasten durante la construcción.

El recubrimiento de los tubos deberá ser suficiente para evitar daños en ellos al paso de la circulación. Si fuera necesario se preverán dichos recubrimientos para el paso provisional de vehículos de obra. En zonas de heladas intensas los tubos tendrán la profundidad que sea necesaria para evitar averías por esta causa.

Los colectores no podrán tener en ningún caso diámetros inferiores a 30 cm, recomendándose que los menores sean de 40 cm de diámetro. Deberá

estudiarse la posibilidad de formación de depósitos calizos u otros y, en ese caso, habrá que dejar previsto el colector para su limpieza con agua a presión.

Se evitarán en los colectores los puntos bajos o tramos con poca pendiente, favorables al depósito de sedimentos, salvo que resulten inevitables y se dispongan los oportunos areneros. Si los puntos bajos pudieran ser debidos a asentos se dará una contraflecha a los tubos, igual al asiento previsible.

En todo caso, se recomienda adaptar los colectores a su limpieza por agua a presión.

#### *3.6.5.2 Resistencia a presión e impermeabilidad*

Se especificará en el Pliego de prescripciones técnicas particulares la presión que deba resistir el colector, si se previera su entrada en carga. En caso contrario se especificará únicamente la impermeabilidad del tubo y de sus juntas.

#### *3.6.5.3 Resistencia mecánica*

La resistencia mecánica del colector se adaptará a las cargas de construcción y de servicio, distinguiendo entre los casos en que las resista por sí solo y aquellos en que sirva solamente de encofrado perdido al hormigonado de la zanja en que va alojado.

### **3.6.6 Arquetas**

Se dispondrán las arquetas necesarias para poder asegurar la inspección y conservación de los dispositivos enterrados de desagüe. Las arquetas deberán permitir su fácil limpieza, sobre todo de los que atraviesen la carretera; a este efecto, su distancia no deberá exceder de 50 m, salvo donde los equipos de limpieza disponibles permitan alcanzar distancias mayores.

Se dispondrán arquetas especialmente en puntos tales como sumideros, confluencia de tubos, dispositivos de ruptura de carga, separadores de aceite, areneros, desagües por infiltración al terreno, etc. Se proscriben las arquetas ciegas o no registrables.

Las dimensiones mínimas de la arqueta en planta, si su profundidad no excediera de 1,5 m, serán de 80 cm (en el sentido de la corriente) por 40 cm. Para profundidades mayores, la arqueta deberá ser visitable: su tapa deberá tener un diámetro mínimo de 80 cm, y su menor dimensión interior no deberá ser inferior a un metro.

El fondo de la arqueta deberá adaptarse a las necesidades hidráulicas y, en su caso, de visitabilidad. Se deberá asegurar la continuidad de la corriente de agua que atraviese las arquetas, para evitar pérdidas de carga. Se dispondrán areneros donde sea necesario; caso de no existir, la salida de las aguas de la arqueta se dispondrá de modo que se arrastren los sedimentos.

La embocadura de la arqueta será diseñada de modo que quede bien enrasada con el firme o zona adyacente, sin sobresalir de ella. Deberá soportar adecuadamente la tapa o rejilla, que se deberá disponer de modo que no se presenten problemas a la circulación por encima de ella, y que resista una rueda de seis t aplicada sobre un área cuadrada de 625 cm<sup>2</sup>. Se tomarán precauciones para evitar su robo o desplazamiento, por su peso o materiales.

### **3.6.7 Bajantes**

Las bajantes revestidas en las que el agua discurra a gran velocidad no deberán tener quiebros, salvo que se tomen en ellos precauciones —tales como anclajes, etc.— para evitar la formación de saltos de agua o de ondas, o el arranque del quiebro. Puede resultar conveniente escalonar su perfil.

# DRENAJE DE LA PLATAFORMA Y MARGENES. CAPACIDAD DE DESAGUE

## 4.1 INTRODUCCION

En todo punto de la red de drenaje superficial de la plataforma y sus márgenes deberá cumplirse que, para el caudal de referencia (Capítulo 2) a él correspondiente, tanto el calado como la velocidad de la corriente a él asociada respeten las limitaciones funcionales exigidas en el Apartado 1.2.

En relación con la capacidad de desagüe, se deberá distinguir entre elementos lineales (caces, cunetas y colectores) y elementos puntuales (sumideros e imbornales). En los primeros resulta determinante el rozamiento con las paredes del cauce o conducto y podrá aplicarse, salvo justificación en contrario, la fórmula de Manning-Strickler (Apartado 4.2.1). Los segundos podrán asimilarse a vertederos u orificios, según los casos (Apartado 4.3).

En una red de drenaje superficial, los calados de elementos contiguos deberán resultar compatibles: las insuficiencias de capacidad de desagüe de unos repercutirán en aumentos del calado en otros.

## 4.2 ELEMENTOS LINEALES

### 4.2.1 Fórmula de Manning-Strickler

Salvo justificación en contrario, para estimar la capacidad de desagüe en elementos donde la pérdida de energía sea debida al rozamiento con cauces o conductos de paredes rugosas en régimen turbulento se utilizará la fórmula de Manning-Strickler (Figura 4.1).

$$Q = V \cdot S = S \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot K \cdot U$$

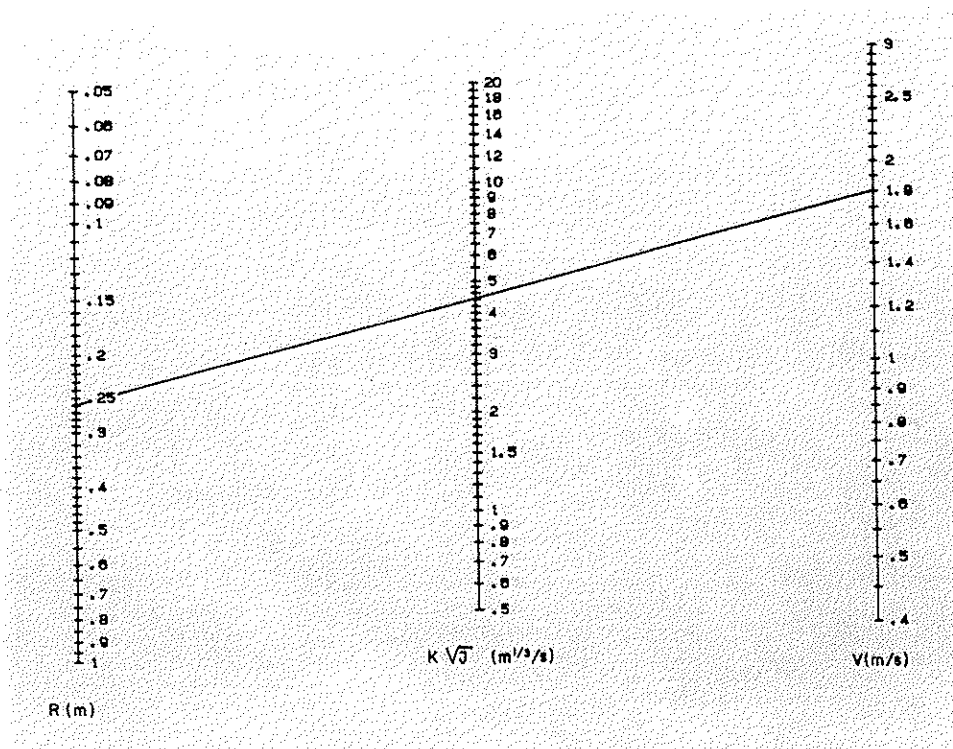


Fig. 4.1. FORMULA DE MANNING-STRICKLER



siendo:

- V: la velocidad media de la corriente.
  - Q: el caudal desaguado.
  - S: el área de su sección.
  - R: S/p su radio hidráulico,
  - p: el perímetro mojado.
- } variables con el calado.
- J: la pendiente de la línea de energía. Donde el régimen pueda considerarse uniforme se tomará igual a la pendiente longitudinal del elemento.
  - K: un coeficiente de rugosidad, dado por la Tabla 4.1, salvo justificación en contrario.
  - U: un coeficiente de conversión, que depende de las unidades en que se midan Q, S y R, dado por la Tabla 4.2.

TABLA 4-1

**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD K ( $m^{1/3}/s$ ) A UTILIZAR EN LA FORMULA DE MANNING-STRICKLER**

En tierra desnuda: Superficie uniforme .....	40-50
Superficie irregular .....	30-50
En tierra: Con ligera vegetación .....	25-30
Con vegetación espesa .....	20-25
En roca: Superficie uniforme .....	30-35
Superficie irregular .....	20-30
Fondo de grava: Cajeros de hormigón .....	50-60
Cajeros encachados .....	30-45
Encachado .....	35-50
Revestimiento bituminoso .....	65-75
Hormigón proyectado .....	45-60
Tubo corrugado: Sin pavimentar .....	30-40
Pavimentado .....	35-50
Tubo de fibrocemento: Sin juntas .....	100
Con juntas .....	85
Tubo de hormigón .....	60-75

Nota: Los valores superiores de la Tabla 4.1 se refieren a un conducto corto recién construido, mientras que los inferiores tienen en cuenta su envejecimiento, pequeñas irregularidades, ligeros defectos de limpieza, pequeños cambios de dirección y forma, así como el paso de conductos a través de arquetas cuyo fondo tenga una forma favorable al flujo del agua (por conservar la sección del conducto en su parte inferior), siempre que estos obstáculos sean locales y limitados, el conducto no sea muy corto y la velocidad no sea muy grande. Estos valores inferiores pueden valer también para empalmes con conductos menores, siempre que se procure que el agua llegue por arriba y, a ser posible, oblicuamente de modo que se incorpore en la dirección del conducto principal.

TABLA 4-2

**COEFICIENTE DE CONVERSION**

Q	S	R	U
$m^3/s$	$m^2$	m	1
$l/s$	$dm^2$	dm	464.159

Para pendientes  $J$  superiores al 0,5 por 100, podrá admitirse que la sección más desfavorable del elemento —donde el calado resulta mayor— es la de aguas abajo. Para pendientes inferiores (Figura 4-2) podrá admitirse que la altura de la lámina de agua en el punto de desagüe se va incrementando hacia aguas arriba, con un crecimiento suave atenuado por una eventual reducción progresiva del caudal aportado. En estas condiciones los mayores calados se presentarán en la sección inicial (aguas arriba), y su estimación se podrá hacer sumando al calado en la sección final (aguas abajo), calculado por la fórmulas de Manning-Strickler con  $J = 0,005$ , un incremento igual a

$$\alpha * L * (0,005 - J)$$

siendo:

- $L$ : la longitud del elemento.
- $\alpha$ : un coeficiente cuyo valor es 0,5 en los casos ordinarios en que el caudal se va incorporando progresivamente a lo largo del elemento, y 1 si todo el caudal entra por su extremo de aguas arriba.

#### 4.2.2 Caces y cunetas

En el Anexo 1 figuran ábacos para determinar las capacidades de desagüe de diversos tipos de caces y cunetas según la fórmula de Manning-Strickler.

El factor limitativo de la capacidad de desagüe de las cunetas no revestidas —excepto donde la pendiente sea muy pequeña— suele ser la velocidad del agua (Apartado 1.5.1).

#### 4.2.3 Colectores

En el presente Apartado se ha supuesto que el conducto es único. Para conductos múltiples, si la distribución de la corriente fuera uniforme se podrá aplicar el mismo método a la fracción del caudal que pase por cada uno; si se previera una acusada falta de uniformidad en el reparto del caudal, habrá que justificar las hipótesis adoptadas.

En los casos normales podrá admitirse que la capacidad de desagüe de un colector corresponde a su funcionamiento a sección llena sin entrar en carga, con  $J$  igual a la pendiente longitudinal del colector. Si ésta fuera

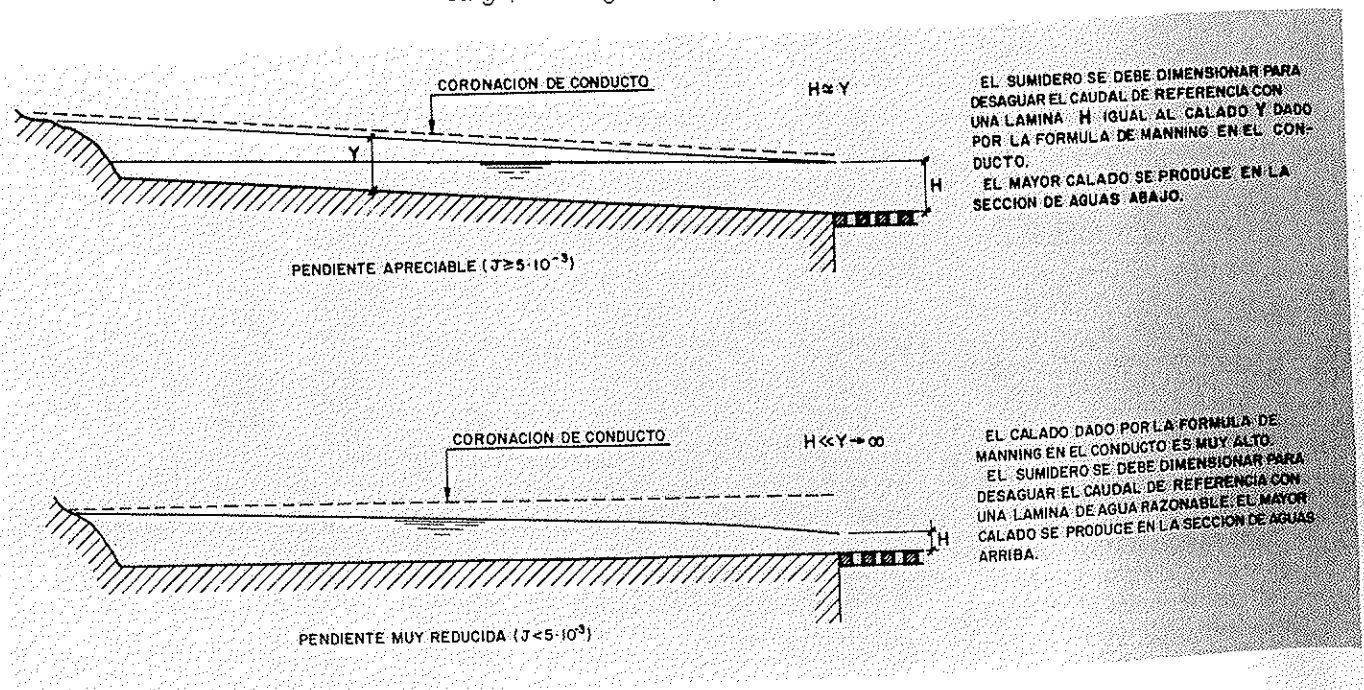


Fig. 4.2

superior al 4 por 100, deberá comprobarse si la capacidad de desagüe está determinada por las condiciones a su entrada, como si se tratara de una pequeña obra de drenaje transversal (Apartado 5.3.2), o bien determinar la capacidad de desagüe con  $J = 4$  por 100. Se deberá comprobar que las condiciones en los extremos del colector sean compatibles con el funcionamiento supuesto. En todo caso, la línea de energía no deberá quedar a menos de 30 cm por debajo de las tapas de las arquetas o de las rejillas de los sumideros.

Si no pudiera justificarse que el valor del coeficiente  $K$  dado por la Tabla 4.1 incluye también pérdidas de carga singulares (arquetas, etc.), deberá disminuirse dicho valor.

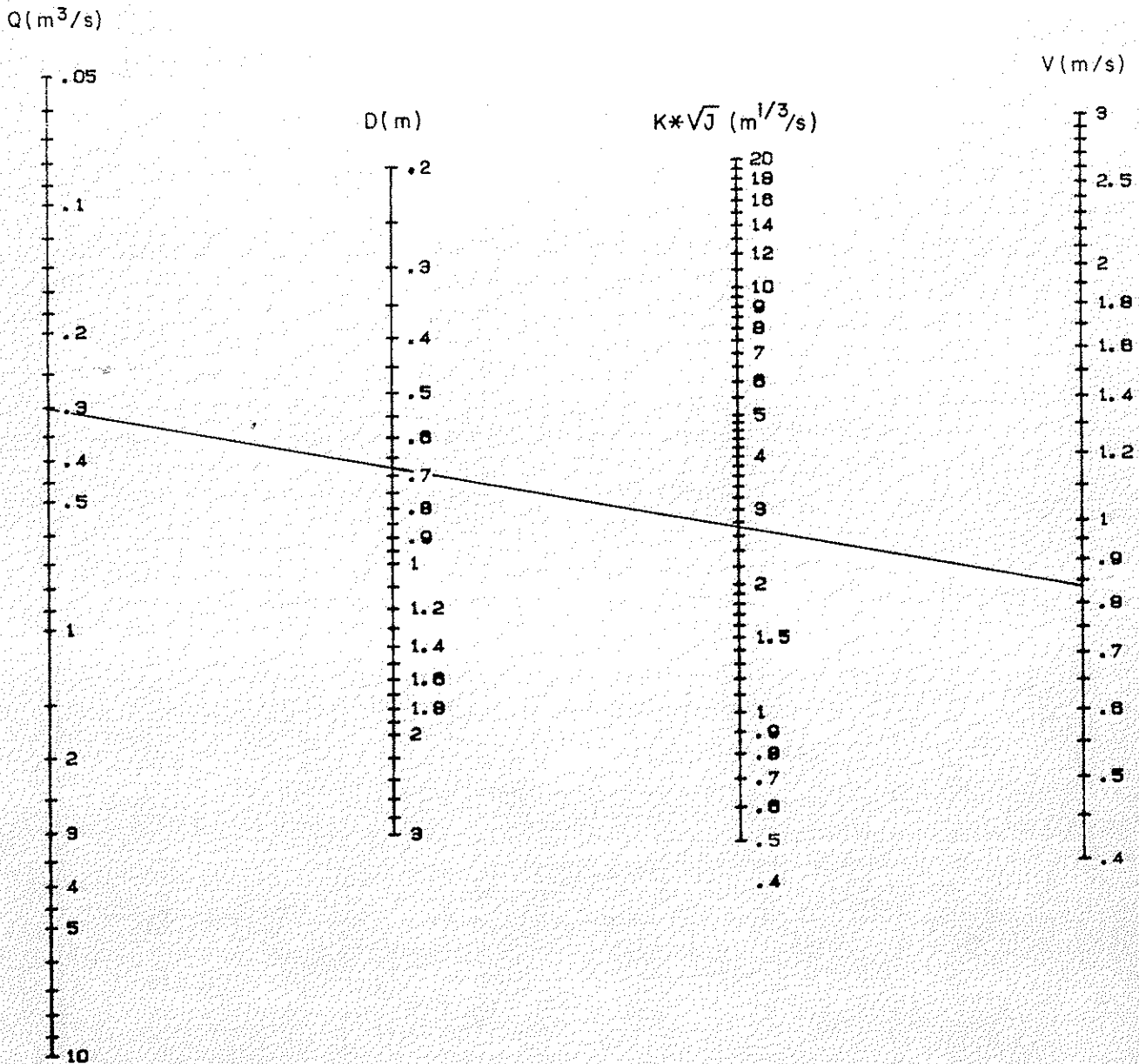


Fig. 4.3. DESAGÜE DE TUBOS EN CARGA

Para simplificar el cálculo de tubos podrá utilizarse el nomograma de la Figura 4-3.

## 4.3 SUMIDEROS E IMBORNALES

### 4.3.1 En puntos bajos

La capacidad de desagüe de un conjunto de sumideros o imbornales situado en un punto bajo no deberá ser inferior al doble del caudal de referencia (Capítulo 2), en previsión de obstrucciones o perturbaciones del flujo.

#### 4.3.1.1 Sumidero lateral

Se podrá aplicar la fórmula del vertedero

$$Q \text{ (l/s)} = L * H^{3/2} / 60$$

siendo:

- H (cm): la profundidad del agua desde el borde inferior de la abertura, medida en su centro.
- L (cm): la anchura libre.

Para que sea válida esta fórmula, H no deberá ser mayor de 1,4 veces la altura de la abertura; en caso contrario, podrá emplearse la fórmula del orificio.

$$Q \text{ (l/s)} = 300 * S * [H - (D/2)]^{1/2}$$

siendo:

- S (m<sup>2</sup>): el área del sumidero.
- H (cm): la profundidad del agua.
- D (cm): la altura de la abertura.

#### 4.3.1.2 Sumidero horizontal

Donde la profundidad del agua sea menor de 12 cm se podrá usar la fórmula del vertedero (sustituyendo la anchura libre por el perímetro exterior de la rejilla supuesta desprovista de barras); y donde resulte mayor de 40 cm se podrá usar la fórmula del orificio (Apartado 4.3.1.1). En casos intermedios se podrá interpolar linealmente entre las dos fórmulas.

#### 4.3.1.3 Sumideros mixtos

Sólo podrá contarse con la capacidad de desagüe correspondiente a su parte horizontal, calculada según se ha expuesto en el Apartado 4.3.1.2.

### 4.3.2 Sumideros con rasante inclinada

Su eficacia se ve mermada por la componente longitudinal de la corriente, por lo que la capacidad de desagüe dada por las fórmulas anteriores (Apartado 4.3.1) deberá afectarse de un coeficiente igual a

$$\frac{1}{1 + 15 * J}$$

siendo:

- J (m/m): la pendiente longitudinal.

La capacidad de desagüe de cada sumidero deberá ser tal, que pueda absorber al menos el 70 por 100 del caudal de referencia que circule por el caz o la cuneta, sin que la profundidad o anchura de la corriente rebase el límite admisible —con un resguardo del 15 por 100— a fin de permitir que, cuando un sumidero esté ocluido, el agua que deje de entrar en él pueda recogerse en los siguientes aguas abajo.

## 5.1 INTRODUCCION

La presencia de una carretera interrumpe la red de drenaje natural del terreno (vaguadas, cauces, arroyos, ríos). El objeto principal del drenaje transversal es restituir la continuidad de esa red, permitiendo su paso bajo la carretera en condiciones tales, que se cumplan los criterios funcionales del apartado 1.2.

También se aprovechan las obras de drenaje transversal para desaguar el drenaje de la plataforma y sus márgenes (Capítulos 3 y 4). Si estuvieran muy alejados entre sí, podrá ser necesario disponer obras de drenaje transversal exclusivamente para ese desagüe, siempre que se le pueda dar salida.

Donde concurren cruces de la carretera —por ejemplo, con cañadas— con obras de drenaje transversal cuyo tamaño lo permita, se podrán emplear éstas para ambos fines, en las condiciones previstas en el Apartado 1.2. A este respecto, conviene tener en cuenta que puede presentar problemas el paso de ganado por obras de acero corrugado.

Las obras de drenaje transversal incluidas en el ámbito de la presente Instrucción pueden dividirse en dos grupos:

- Las conocidas comúnmente por «pequeñas obras de desagüe», como las incluidas en la Colección de pequeñas obras de paso 4.2-IC, aprobada por Orden Ministerial de 3 de junio de 1986, u otras análogas, cuya sección resulta determinante para el desagüe del cauce, y que están generalmente provistas de una solera.
- Los puentes, viaductos y, en general, las obras de paso de grandes dimensiones —relacionadas con cauces y caudales más importantes y permanentes, mayor altura, etc.— cuya sección no resulta determinante para el desagüe del cauce, pero que presenta otros problemas (sobre-elevaciones de la lámina de agua, erosiones bajo apoyos, etc.). No suelen tener solera.

## 5.2 CRITERIOS DE PROYECTO

### 5.2.1 Generalidades

Las obras de drenaje transversal deberán perturbar lo menos posible la circulación del agua por el cauce natural, sin excesivas sobre-elevaciones del nivel del agua —que pueden provocar aterramientos aguas arriba— ni aumentos de la velocidad —que pueden provocar erosiones aguas abajo, pudiendo peligrar su estabilidad de no adoptarse medidas adecuadas.

Las condiciones del cauce —sin la presencia de la carretera y de sus obras de drenaje transversal— al evacuar el caudal de referencia deberán ser comprobadas, sobre todo aguas abajo, por si hubiera obstáculos o circunstancias determinantes de las cotas de agua, tales como presas, azudes, cruces con vías de comunicación, estrechamientos bruscos del cauce, confluencia con otras corrientes, etc. En ausencia de tales circunstancias, y si el cauce fuera razonablemente uniforme, se podrá estimar la relación entre el nivel del agua y el caudal desaguado utilizando la fórmula de Manning-Strickler (Apartado 4.2.1), para la que podrán usarse los coeficientes de la Tabla 5.1. Si en la sección transversal representativa del cauce se diferenciase netamente un canal principal y un cauce de avenidas, deberán estimarse por separado los caudales correspondientes a ambos, para obtener por suma el caudal total que corresponda a la cota de agua considerada.

TABLA 5-1

**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD K ( $m^{1/3}/s$ ) A UTILIZAR EN LA FORMULA DE MANNING-STRICKLER**

Trazado y lecho regulares:	
Alguna vegetación en las márgenes, pero sin invadir el cauce	35-40
Vegetación en las márgenes que penetra algo en el cauce .....	20-25
Trazado sinuoso, con depresiones y barras en el lecho:	
Alguna vegetación en las márgenes, pero sin invadir el cauce	25-35
Vegetación en las márgenes que penetra algo en el cauce .....	15-20
Trazado irregular con acusada interferencia de la vegetación ..	10-15

Al proyectar obras de drenaje transversal se deberán tener en cuenta los criterios funcionales del Apartado 1.2, y además los siguientes:

- La posibilidad de distribuir la anchura del cauce entre varios vanos o conductos. Una obra de drenaje transversal única suele ser preferible a un conjunto de obras más pequeñas, que aumenta la sobre-elevación del nivel del agua (Apartados 5.3.1.1 y 5.3.2.1) y las posibilidades de obstrucción (Apartado 1.4); pero debe recordarse que con la luz crece el canto de la estructura, y por tanto donde la altura disponible sea escasa (como suele ocurrir en planas inundables) se resta altura útil a la sección de desagüe.
- La cota roja sobre el fondo del cauce, habida cuenta del espesor mínimo (firme y explanación o tablero) necesario sobre la clave del conducto de la obra de drenaje transversal, y del resguardo (Apartado 1.2 B) requerido. Donde esta cota sea muy grande, puede condicionar el tipo, forma y dimensiones de la obra de drenaje transversal (altura de pilas o posibilidad de un arco en puentes, cargas sobre el conducto en pequeñas obras de drenaje).
- Las condiciones de cimentación. Los conductos deformables pueden resultar preferibles si fueran de prever asentamientos diferenciales.
- Las posibilidades de aterramiento (Apartados 5.2.2 y 5.3.2.2) o de erosión (Apartados 5.3.1.2 y 5.3.2.3).

Especial atención deberá prestarse a las obras de drenaje transversal donde el camino cruce una plana inundable, ya que los caudales de referencia propios de las diferentes cuencas que la componen no podrán tratarse aisladamente si, una vez desbordado su cauce, pudieran entremezclarse.

En estos casos deberá efectuarse un estudio especial del esquema de flujo antes y después de la construcción de la carretera, tanto para ubicar racionalmente las obras de drenaje transversal como para repartir los caudales entre ellas. Además, las limitaciones a la sobre elevación del nivel de la corriente (Apartado 1.2 C) serán, en general, más severas al ser mayores las zonas inundables: por lo que, al restringirse la altura de la lámina de agua también se restringen los caudales que pueden desaguarse por unidad de anchura de la obra de drenaje transversal.

## **5.2.2 Pequeñas obras de drenaje transversal**

### *5.2.2.1 Planta*

Con independencia de la sinuosidad del cauce natural, una pequeña obra de drenaje transversal suele cruzar la carretera con una planta recta en la zona de explanación, normal o esviada respecto de su eje (Figura 5-1). La implantación mejor es la coincidente con el cauce natural. Si ello resultase en una longitud excesiva del conducto, podrá modificarse el cauce: pero esto ha de hacerse sin cambios bruscos de alineación, porque de lo contrario:

- Las conexiones con la obra de desagüe podrían resultar desfavorables.
- Una curvatura fuerte tiende a erosionar y sedimentar los márgenes exterior e interior, respectivamente, del recodo (esto desaconseja situar la entrada en el interior del mismo, especialmente en conductos múltiples).
- Un cambio brusco de dirección a la salida puede producir desbordamientos e inundación de las zonas colindantes.
- Aumenta la probabilidad de aterramientos en el interior del conducto.
- Puede erosionarse el pie de la explanación de la carretera.

En cursos de agua permanentes en los que la obra de drenaje transversal se implante en su cauce, se tendrá en cuenta el mantenimiento de la corriente, por ejemplo, mediante un desvío provisional.

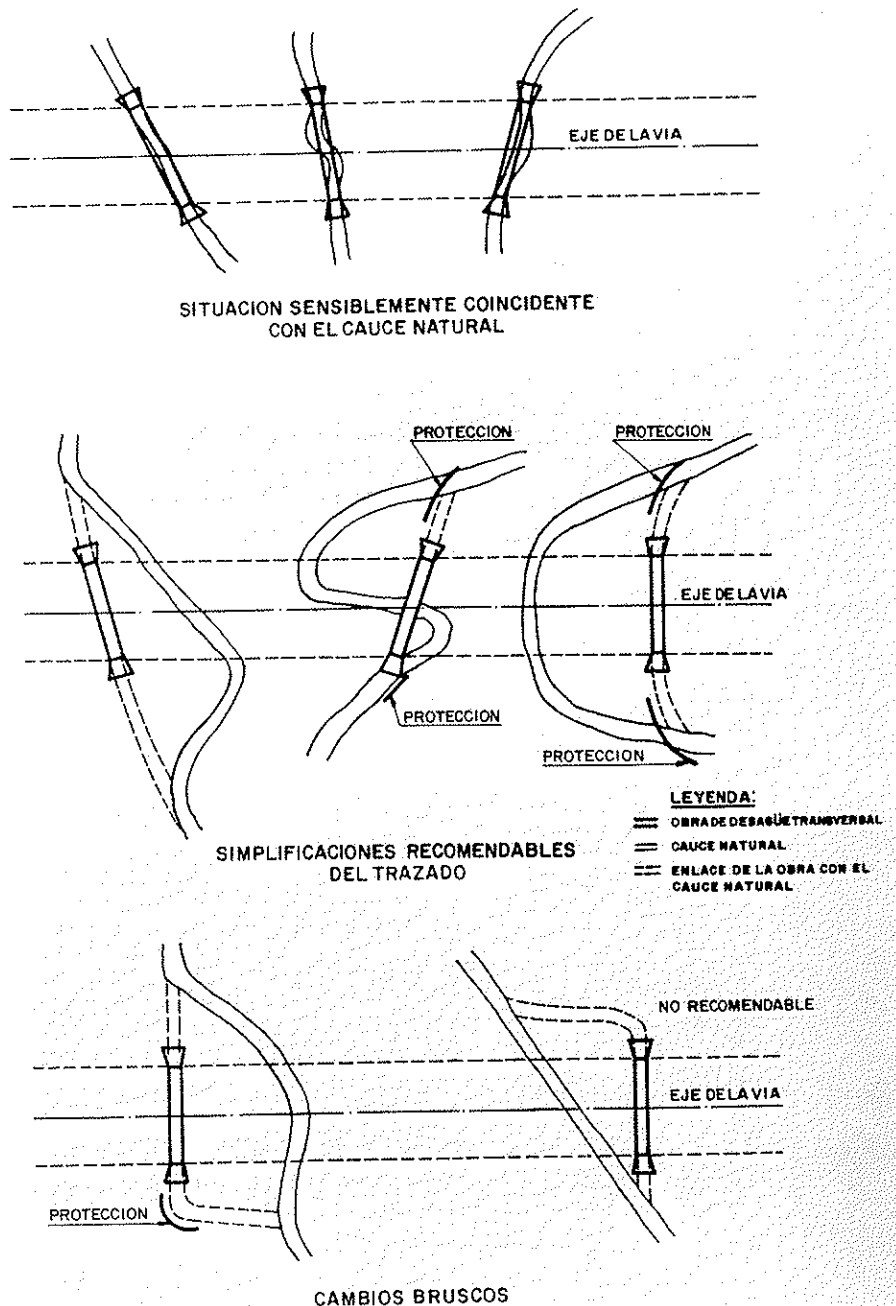


Fig. 5.1. PLANTA DE PEQUEÑAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

### 5.2.2.2 Perfil

La mayoría de las pequeñas obras de drenaje transversal se ajustan al perfil del lecho del cauce y, en general, los eventuales cambios van asociados a un acortamiento del trazado en planta que genera un incremento de la pendiente.

Aunque el perfil puede tener cierta influencia en las condiciones de desagüe (Apartado 5.3.2), se suele relacionar —no siempre justificadamente— con problemas de aterramiento por insuficiencia de pendiente, y de erosión por exceso de ella.

Aun con fuertes pendientes, se recomienda que el perfil de las pequeñas obras de drenaje transversal se ajuste al del cauce (o a una rectificación en planta de éste). Sólo si se comprobare la presencia de problemas de importancia (por ejemplo, deslizamiento de la obra, erosiones a la salida, etc.), se recurrirá a diseños más complejos (rebaje de la entrada, caídas a la salida, etc.), comprobando que se logran las ventajas pretendidas al paso del caudal de referencia (Capítulo 2). Para reducir la velocidad a la salida del conducto puede resultar ventajoso el empleo de tubos corrugados, o escalonar la solera de los conductos rectangulares, siempre que el control no sea de salida (Apartado 5.3.2.1).

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

$$i = \frac{L}{H} * (J - j)$$

siendo:

- L: la longitud del conducto.
- H: la altura del conducto.
- j: la pendiente del conducto.
- J: la pendiente de equilibrio, estimada por

$$J = J_0 * \alpha$$

siendo:

- $J_0$ : la pendiente del cauce.
- $\alpha$ : ( $\geq 1$ ) la razón (directa o inversa) entre la anchura del cauce y la del conducto. En general, la pendiente de un cauce y su anchura son covariantes si el transporte sólido se realiza predominantemente en suspensión (arenas muy finas, limos, arcillas) y contravariantes si predomina el acarreo de bolos y gravas sin superar el límite de decantación (como, por ejemplo, en conos de deyección); si ambas modalidades de transporte coexisten, la anchura no influye en la pendiente. Al tomar  $\alpha \geq 1$ , se está del lado de la seguridad.

Si, como es habitual,  $i < 0,1$ , se podrá considerar que la pendiente no influye en los posibles aterramientos, aunque éstos puedan producirse por otras causas (Apartado 5.3.2.2). En caso contrario, deberán estudiarse las condiciones de desagüe (Apartado 5.3.2), considerando que la altura del conducto se reduce, respecto de la real, en una proporción igual a  $i$ .

Si un asiento de su cimiento pudiera disminuir la pendiente del conducto, se le dará una contraflecha igual al asiento previsible.



En planas inundables, a veces se disponen badenes o tramos de carretera a menor cota, especialmente preparados para que las aguas —a partir de un cierto caudal— lo desborden, ayudando así a las pequeñas obras de drenaje transversal.

### 5.2.2.3 Sección

Se procurará respetar las dimensiones del cauce natural, y no provocar fuertes estrechamientos. A estos efectos podrá considerarse que la anchura de un conducto circular es igual al 60 por 100 de su diámetro, por lo que no resulta adecuado para cauces muy amplios; a veces se recurre a un sobredimensionamiento (Figura 5-2).

La mínima dimensión de una pequeña obra de drenaje transversal no deberá ser inferior a la siguiente, en función de su longitud:

Longitud (m) .....	3	4	5	10	15	
Mínima dimensión (m) .....	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8

### 5.2.2.4 Embocaduras

Permiten acoplar el conducto al terreno, tanto del cauce como de la carretera. Su disposición influye en las condiciones de desagüe (Apartado 5.3.2.1).

Donde la embocadura se sitúe bajo un terraplén, el conducto podrá (Figura 5-3):

- Acoplarse al talud. Esta disposición es frecuente con tubos metálicos; debe protegerse su perímetro contra la erosión.
- Quedar exento del talud. Esta solución no sólo tiene mal aspecto, sino que es desaconsejable si no se toman medidas para evitar sifonamientos y erosiones.
- Terminar en un plano vertical, generalmente paralelo a la carretera, que obliga a disponer un elemento de contención del talud (muro de acompañamiento o aletas). El ángulo de las aletas con la corriente en la embocadura de entrada deberá estar comprendido entre 15 y 75°. Si el conducto no fuera perpendicular al eje de la carretera, deberán acoplarse las aletas (tanto a la entrada como a la salida) a los taludes del terraplén, para evitar aterramientos o erosiones.

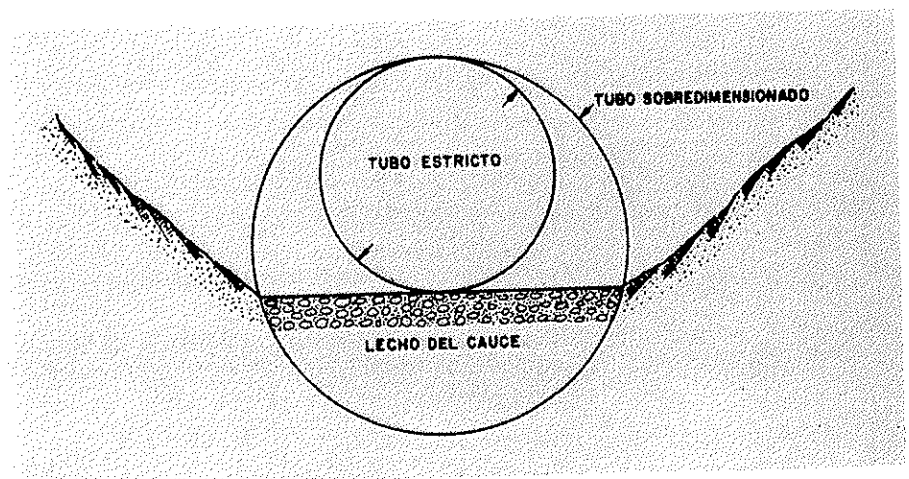


Fig. 5.2. TUBO SOBREDIMENSIONADO Y ENTERRADO PARA RESPETAR LA ANCHURA DEL CAUCE

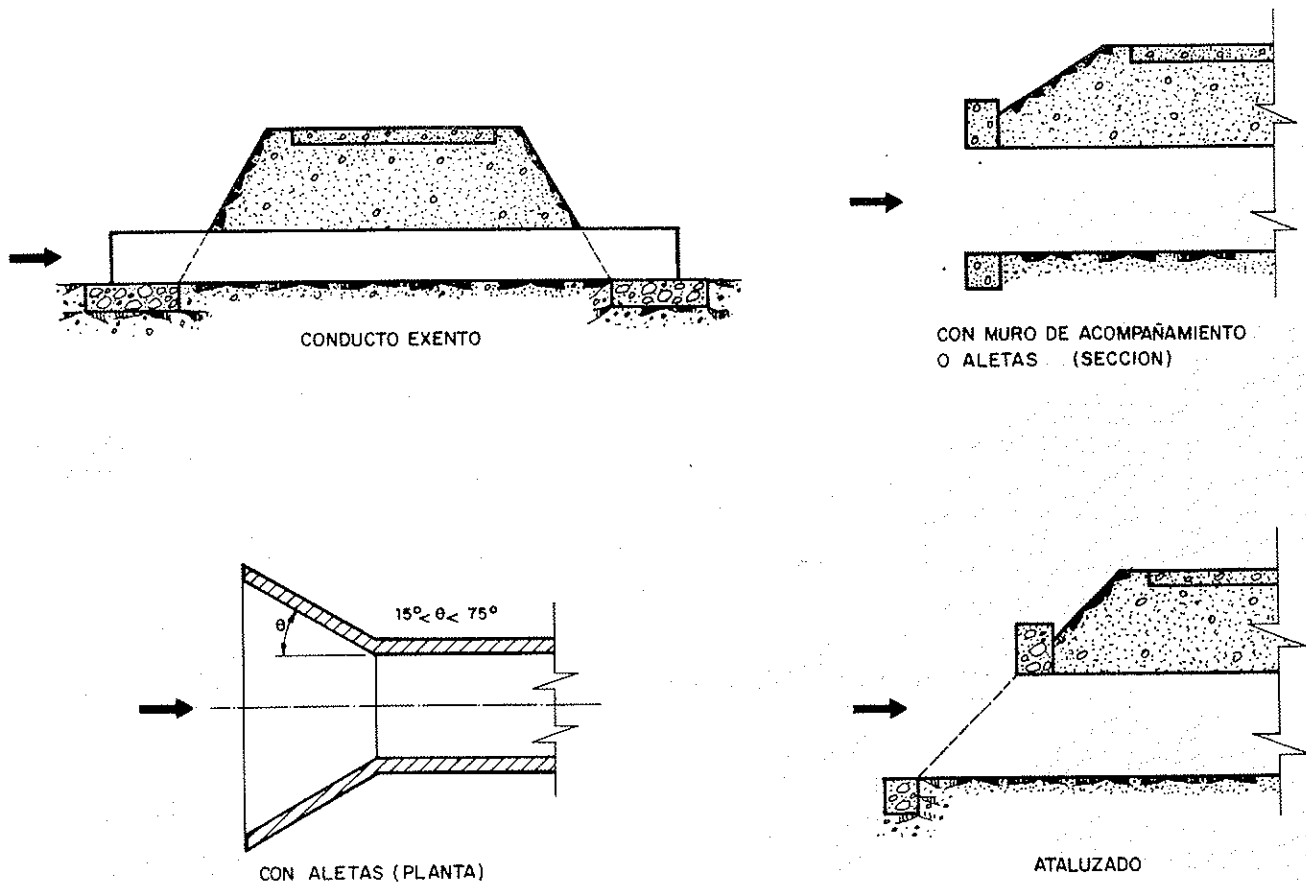


Fig. 5.3. TIPOS DE EMBOCADURAS BAJO TERRAPLEN

Las embocaduras de entrada correspondientes a una sección en desmonte suelen consistir en una arqueta a la que desagua (a través de un sumidero) el drenaje superficial de la carretera.

## 5.3 CONDICIONES DE DESAGUE

### 5.3.1 Puentes

#### 5.3.1.1 Sobre-elevación del nivel del agua

En la presente instrucción sólo se proporciona información sobre uno de los casos más sencillos y habituales:

- Puente único.
- Cauce rectilíneo.
- Corriente en régimen lento (número de Froude inferior a 1).
- Sin poner en carga la estructura.
- Sin tener en cuenta el efecto de las erosiones del lecho.
- Sin diques que guíen la corriente a la entrada del puente.

El no considerar las dos últimas circunstancias proporciona resultados del lado de la seguridad, pues tanto el efecto de la erosión como la presencia de diques tienden a reducir la sobre-elevación del nivel del agua. Donde la presencia de terrapienes de acceso al puente, o sus estribos y pilas supongan una importante reducción de la sección de desagüe del cauce y el lecho de éste sea erosionable, la aplicación del método expuesto puede

proporcionar unas sobre-elevaciones tan grandes, que se desvirtúe el verdadero orden de magnitud del fenómeno: en estos casos deberán emplearse otros sistemas de estimación sancionados por la experiencia, que tengan en cuenta la erosión del cauce.

La sobre-elevación sobre el nivel existente aguas abajo del puente puede estimarse para el caso simplificado arriba expuesto, igual a

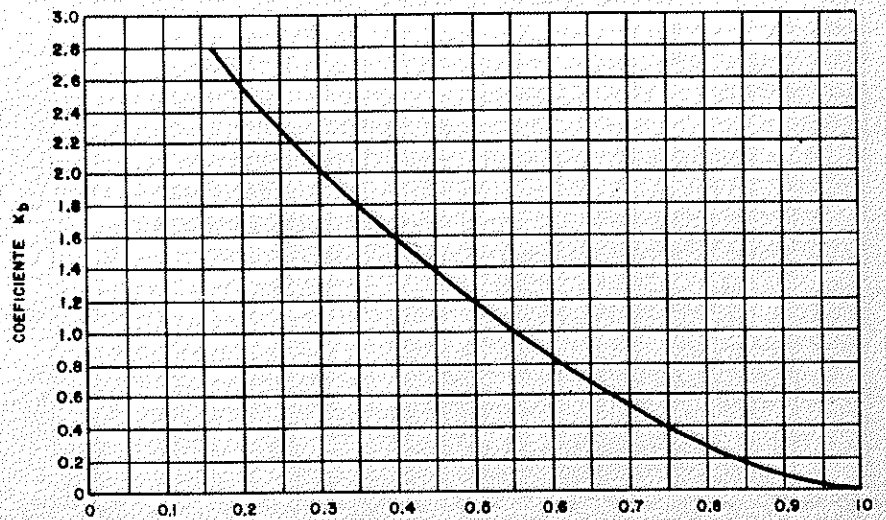
$$K + V^2 / (2 * g)$$

siendo:

- $V = Q/A$  la velocidad media del agua.
- $Q$ : el caudal desaguado.
- $A$ : el área libre bajo el puente correspondiente al nivel, sin tener en cuenta la presencia de eventuales pilas.
- $K$ : un coeficiente que depende de la relación entre el puente y el cauce, dado por la suma de cuatro coeficientes parciales:

$$K = K_b + K_p + K_e + K_i$$

- $K_e$ : depende de la proporción del caudal total que pasa libremente bajo el puente, y está dado por la Figura 5-4.



$Q_p/Q$  PROPORCIÓN DEL CAUDAL TOTAL QUE PASA LIBREMENTE BAJO EL PUENTE

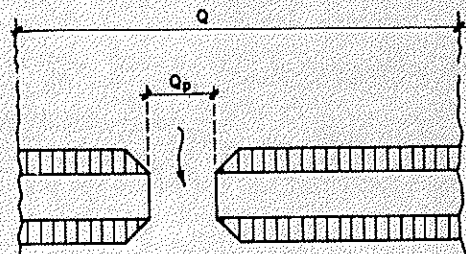


Fig. 5.4. INFLUENCIA DEL ESTRANGULAMIENTO DEL CAUCE

- $K_p$ : representa el efecto de las pilas (número, forma, tamaño y orientación) y se obtiene como producto de dos coeficientes: uno dado por la Figura 5-5 en función del tipo de pilas y de la proporción del área  $A$ , que corresponde a la proyección de las pilas perpendicularmente a la corriente; y otro dado por la Figura 5-6 en función del tipo de pila y de la proporción del caudal total que pasa libremente bajo el puente.

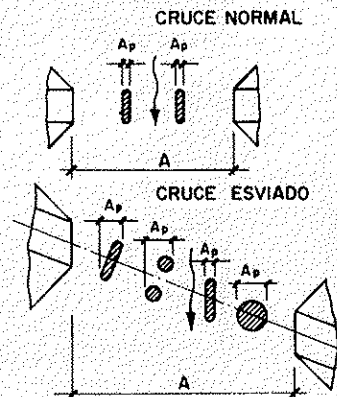
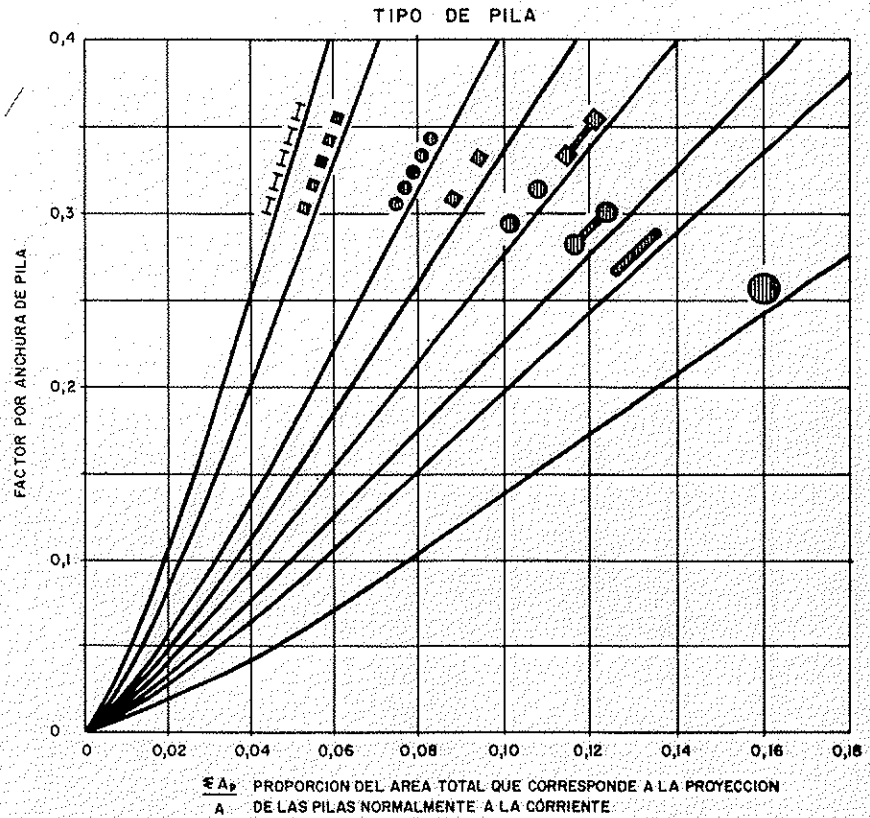


Fig. 5.5. INFLUENCIA DE LA ANCHURA Y TIPO DE PILA EN  $K_p$

- $K_e$ : representa el efecto de excentricidad o falta de simetría de los terraplenes de acceso al puente, definida por la razón entre el menor de los caudales interceptados por uno de ellos y el otro (siempre que sea inferior a 0,20), y está dado por la Figura 5-7 en función de dicha excentricidad y de la proporción del caudal total que pasa libremente bajo el puente.
- $K_i$ : representa el efecto del esvaje del puente respecto del cauce, dado por la Figura 5-8 en función de su ángulo, de la configuración de los estribos y de la proporción del caudal total que pasa libremente bajo el puente.

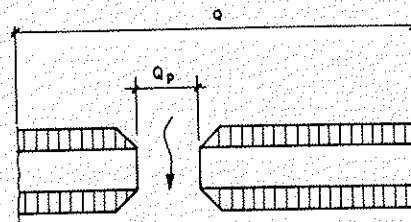
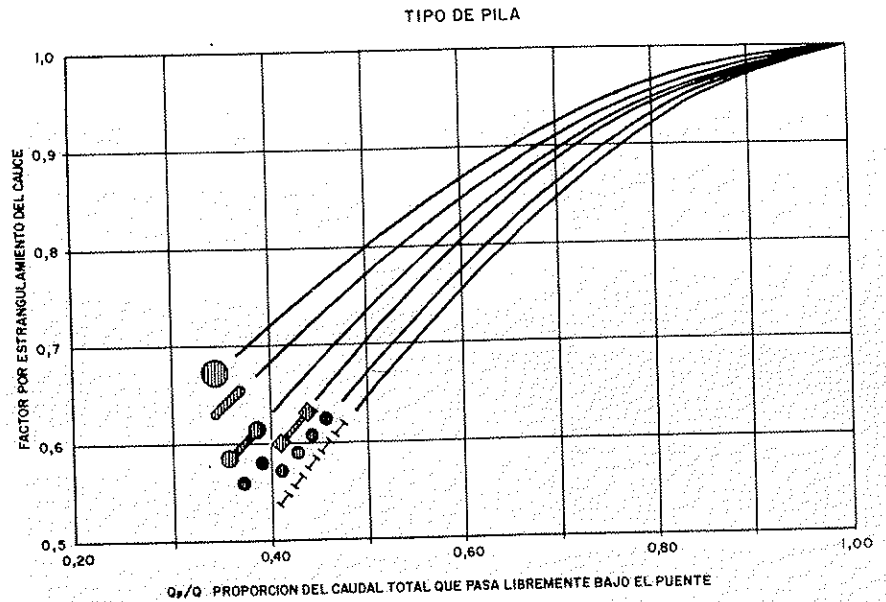


Fig. 5.6. INFLUENCIA DEL ESTRANGULAMIENTO DEL CAUCE EN  $K_p$

### 5.3.1.2 Erosiones en los apoyos

A no ser que el puente se cimente sobre roca firme, la socavación producida bajo sus pilas y estribos por el caudal de referencia puede poner en peligro su estabilidad: por lo que se deberá comprobar si la máxima erosión previsible afecta a los cimientos, y en caso afirmativo proyectar los dispositivos oportunos para controlarla.

Deberá tenerse en cuenta que la máxima erosión previsible será igual a la suma de la general que tenga lugar en el cauce —independientemente de la presencia del puente—, más la producida por ésta.

Entre los dispositivos de control se consideran muy eficaces las protecciones de escollera, para las que deberán justificarse su peso y dimensiones, cota de colocación respecto del lecho del cauce, espesor del manto y necesidad de filtro entre éste y el terreno.

## 5.3.2 Pequeñas obras de drenaje transversal

### 5.3.2.1 Sobre-elevación del nivel del agua

Cada conducto tiene una curva característica, que relaciona el caudal que desagua a través de él con la cota que alcanza la lámina de agua inmediatamente aguas arriba (normalmente medida a partir de la cota de la solera a su entrada). Si dicha cota rebasase la de la calzada o la de alguna de las divisorias con las cuencas vecinas, el caudal de referencia se repartirá entre el conducto y esas derivaciones.

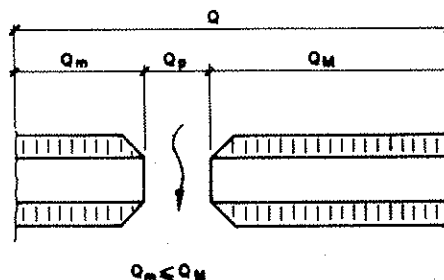
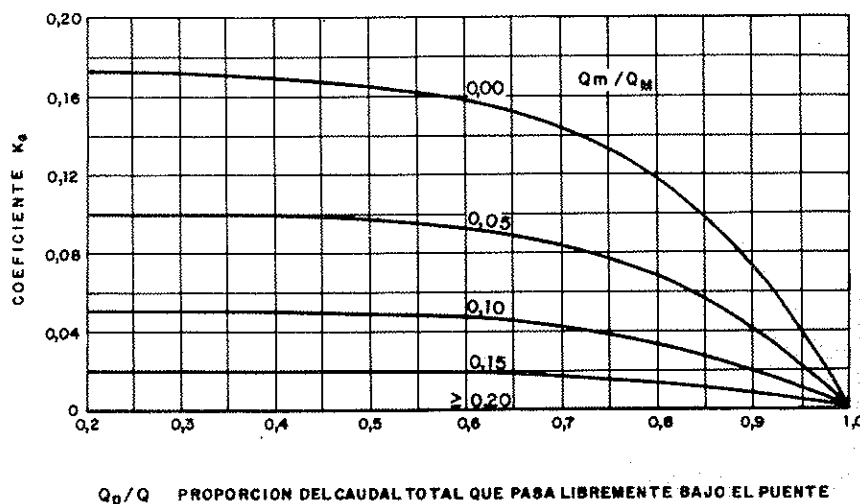
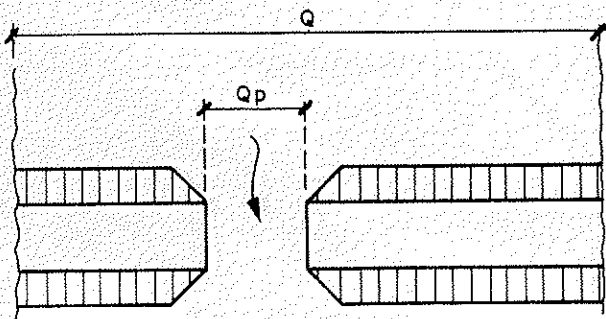
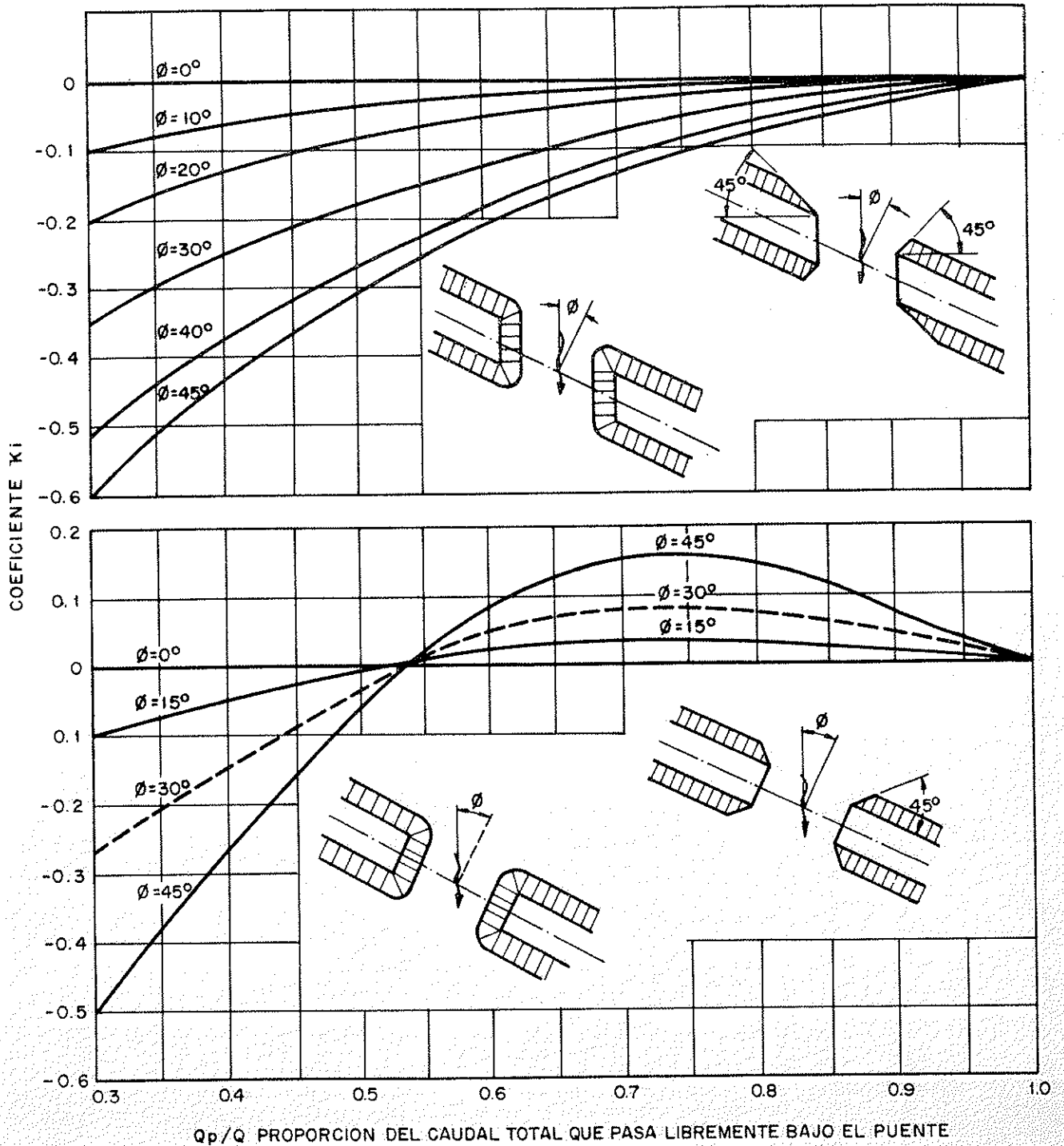


Fig. 5.7. INFLUENCIA DE LA ASIMETRÍA DE LOS TERRAPLENES DE ACCESO AL PUENTE

Para definir esa curva característica hay que diferenciar los dos tipos de control —o secciones determinantes— que pueden producirse en el régimen hidráulico del desagüe:

- Control de entrada, si la definición puede hacerse simplemente en función de las características de la entrada del conducto. En las Figuras 5-9 y 5-10 se contienen, de forma adimensional, las curvas características correspondientes a conductos circulares y rectangulares con diversos tipos de embocadura (Apartado 5.2.2.4). El empleo de ciertos tipos especiales de embocadura, sobre los que la presente Instrucción no facilita información, permite mejorar el desagüe siempre que el control no pase a ser de salida. Las pequeñas obras de drenaje transversal contenidas en la Colección de pequeñas obras de paso 4.2-IC, aprobada por Orden Ministerial de, 3 de junio de 1986, se podrán asimilar —a estos efectos— a conductos rectangulares de igual anchura y sección.
- Control de salida, si los niveles del agua en el cauce a la salida del conducto, o las características de éste (longitud, pendiente, rugosidad), influyen en los niveles aguas arriba, necesiéndose valores superiores a los deducibles por el control de entrada.

La curva característica correspondiente al control de entrada podrá considerarse definitiva, sin necesidad de comprobarla con el control de salida, si se reunieran las condiciones siguientes, que se presentan con frecuencia en la práctica:

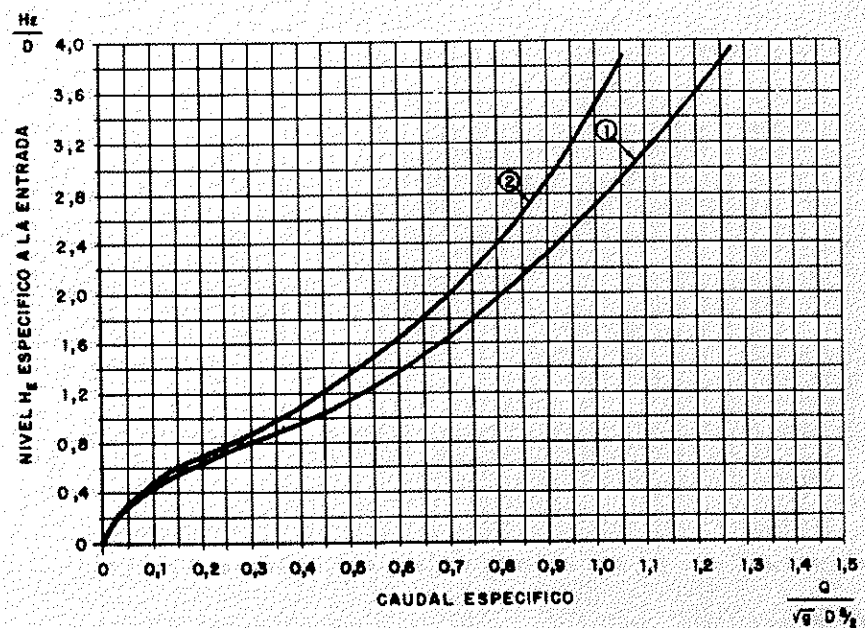


**NOTA:**  
 LOS VALORES NEGATIVOS RESULTAN DEL PROCESO DE CALCULO Y NO INDICAN NECESARIAMENTE QUE LA SOBREELEVACION SE REDUZCA AL INCLINAR EL PUENTE

Fig. 5.8. INFLUENCIA DEL ESVAJE DEL PUENTE

- El conducto es recto. y su sección y pendiente son constantes.
- La diferencia del nivel del agua en el cauce a la salida del conducto con la cota de la solera en ésta es inferior, tanto a la altura del conducto como al calado crítico en él. Para determinar este último podrá utilizarse la Figura 5-11.
- La relación entre la longitud  $L$  y la pendiente  $J$  del conducto es inferior a la indicada en las Figuras 5-12 a 5-14. Si la pendiente fuera inferior al 0,2 por 100 se podrán realizar los cálculos con este último valor, si bien el nivel del agua obtenido a la entrada deberá incrementarse en  $(0,002 - J) \cdot L$ .
- El nivel del agua a la entrada del conducto, resultante de los cálculos, no rebasa el señalado en la Figura 5-15.

Si no se cumplieran todas las condiciones anteriores, será preciso calcular el valor mínimo del nivel del agua a la entrada del conducto exigido por el posible control de salida, adoptándolo como definitivo si fuera mayor que el correspondiente al control de entrada. Para ello será preciso en algunos casos recurrir al análisis de las curvas de remanso; pero para la mayoría de los comprendidos en el ámbito de la presente Instrucción, se podrá aceptar el valor aproximado dado por la fórmula.



**EMBOCADURA**

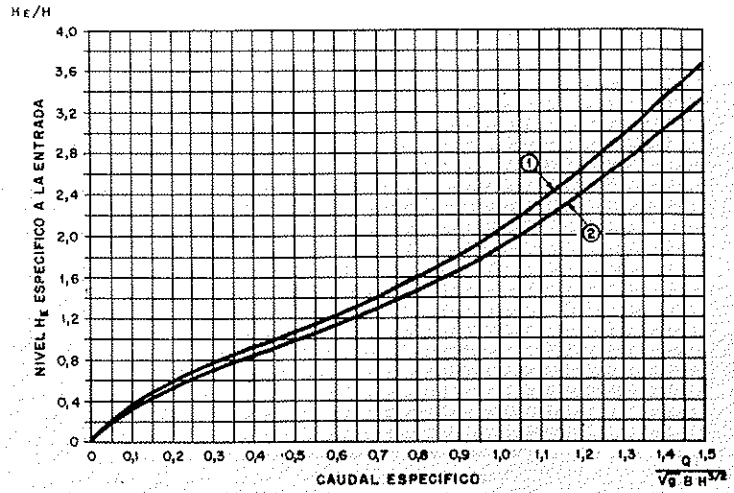
- CURVA ① - CON ALETAS O MURO DE ACOMPAÑAMIENTO
- CURVA ② - EXENTA O ATALUZADA

**NOTACION**

- $H_e$  = ALTURA DEL AGUA A LA ENTRADA (DESDE LA SOLERA).
- $D$  = DIAMETRO DEL TUBO
- $Q$  = CAUDAL DESAGUADO
- $g$  = ACELERACION DE LA GRAVEDAD

Fig. 5.9. CONTROL DE ENTRADA DE TUBOS





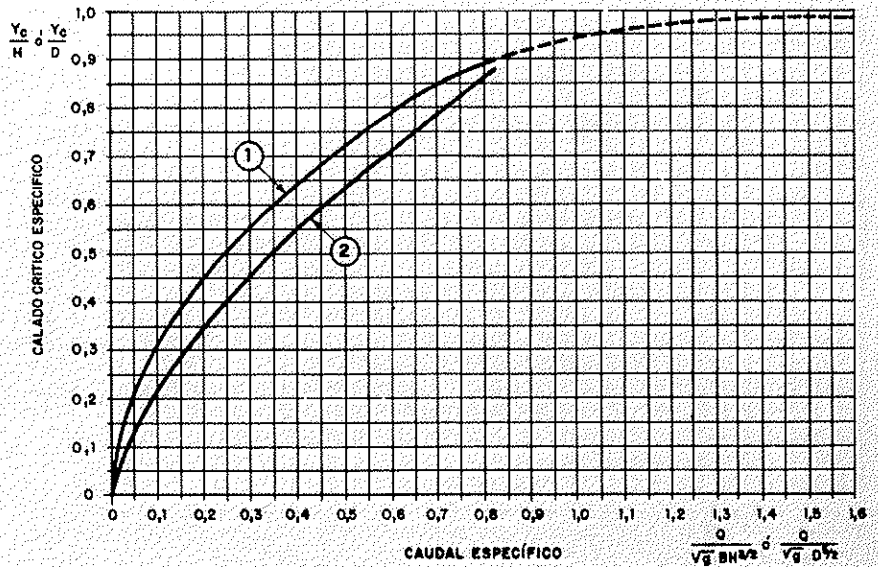
**EMBOCADURA**

- CURVA ① - CON ALETAS A MENOS DE 30° CON EJE DEL CONDUCTO
- CURVA ② - CON MURO DE ACOMPAÑAMIENTO O CON ALETAS A MAS DE 30° CON EL EJE DEL CONDUCTO

**NOTACION**

- $H_e$  = ALTURA DEL AGUA
  - $H$  = ALTURA DEL CONDUCTO
  - $B$  = ANCHURA DEL CONDUCTO
  - $Q$  = CAUDAL DESAGUADO
  - $g$  = ACELERACION DE LA GRAVEDAD
- } A LA ENTRADA (DESDE LA SOLERA)

Fig. 5.10. CONTROL DE ENTRADA EN CONDUCTOS RECTANGULARES



- CURVA ① - TUBOS
- CURVA ② - CONDUCTOS RECTANGULARES

**NOTACION**

- $Q$  = CAUDAL
- $Y_c$  = CALADO CRITICO
- $D$  = DIÁMETRO DEL TUBO
- $H$  = ALTURA DEL CONDUCTO
- $B$  = ANCHURA DEL CONDUCTO
- $g$  = ACELERACION DE LA GRAVEDAD

Fig. 5.11. REGIMEN CRITICO

- CURVA ① TUBO DE HORMIGON CON MURO DE ACOMPAÑAMIENTO O ALETAS  
 CURVA ② TUBO METALICO CORRUGADO CON EMBOCADURA EXENTA O ATALUZADA  
 CURVA ③ TUBO METALICO CORRUGADO CON MURO DE ACOMPAÑAMIENTO O ALETAS

NOTA: Si el tubo metálico corrugado se reviste con hormigon en un 25% de su perímetro se tomará una longitud igual al 75% de la real.

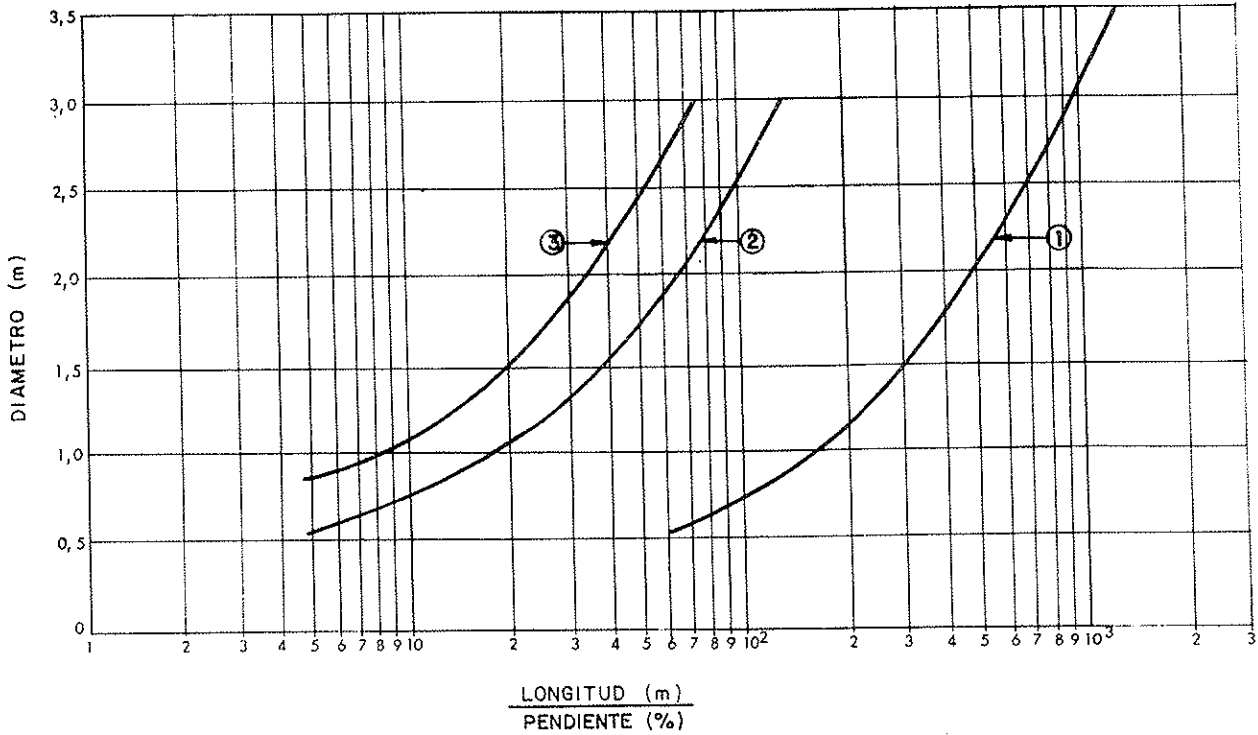


Fig. 5.12. LIMITE DE LA RAZON LONGITUD/PENDIENTE PARA CONTROL DE ENTRADA EN TUBOS

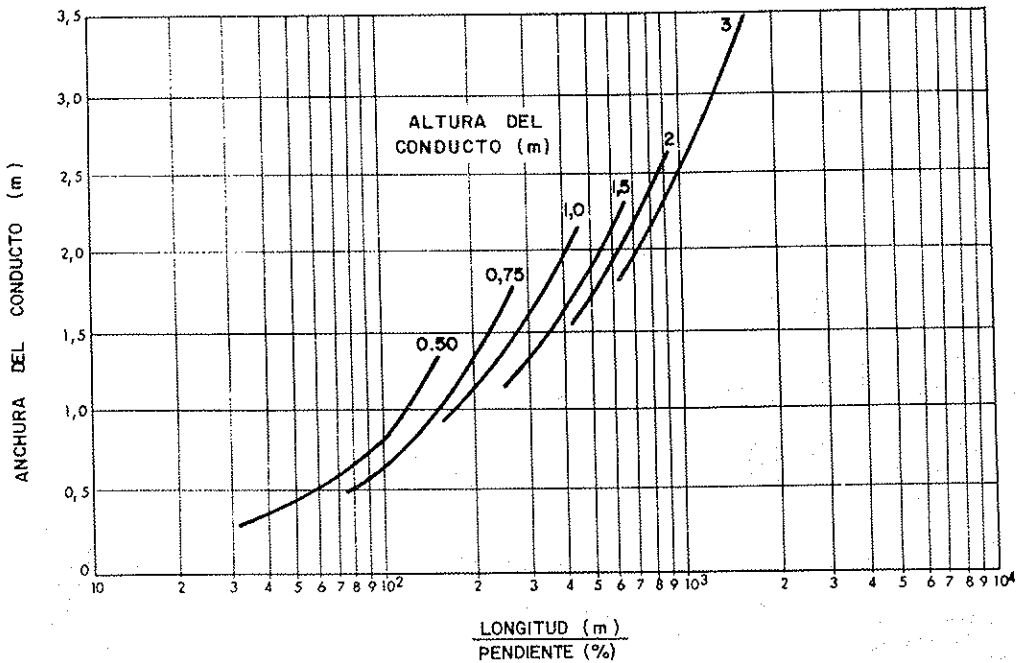


Fig. 5.13. LIMITE DE LA RAZON LONGITUD/PENDIENTE PARA CONTROL DE ENTRADA EN CONDUCTOS RECTANGULARES CON ALETAS A MENOS DE 30° CON EL EJE DEL CONDUCTO

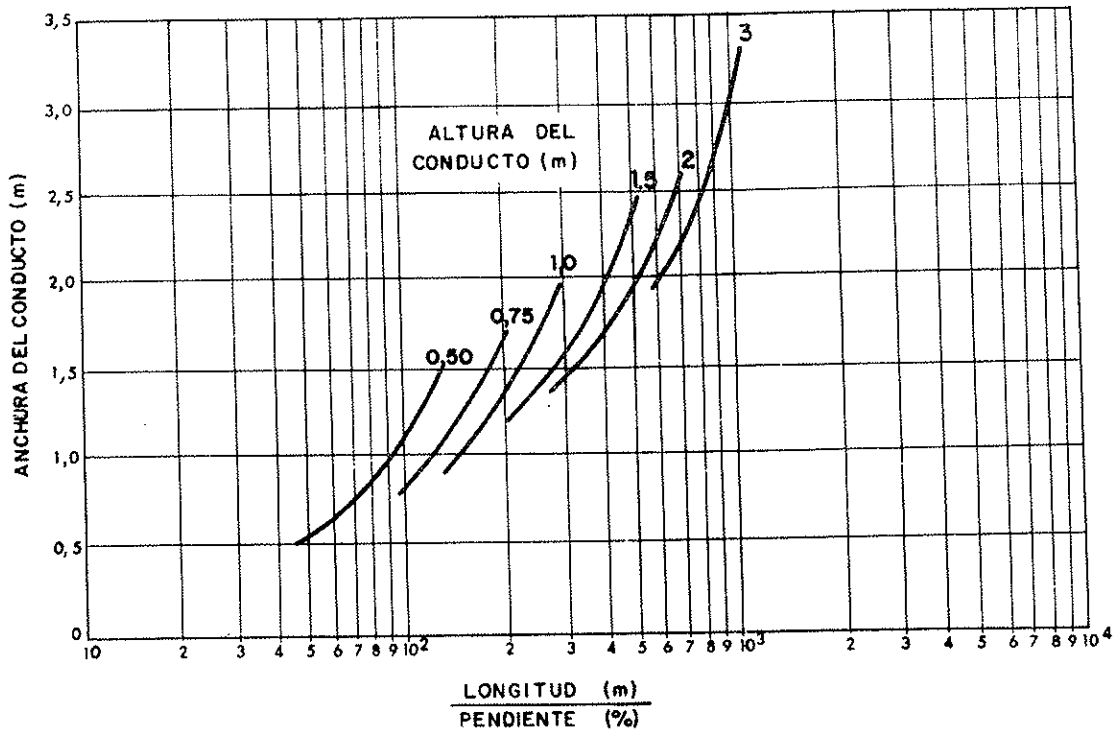


Fig. 5.14. LIMITE DE LA RAZON LONGITUD/PENDIENTE PARA CONTROL DE ENTRADA EN CONDUCTOS RECTANGULARES CON MURO DE ACOMPAÑAMIENTO O CON ALETAS A MAS DE 30° EN EL EJE DEL CONDUCTO

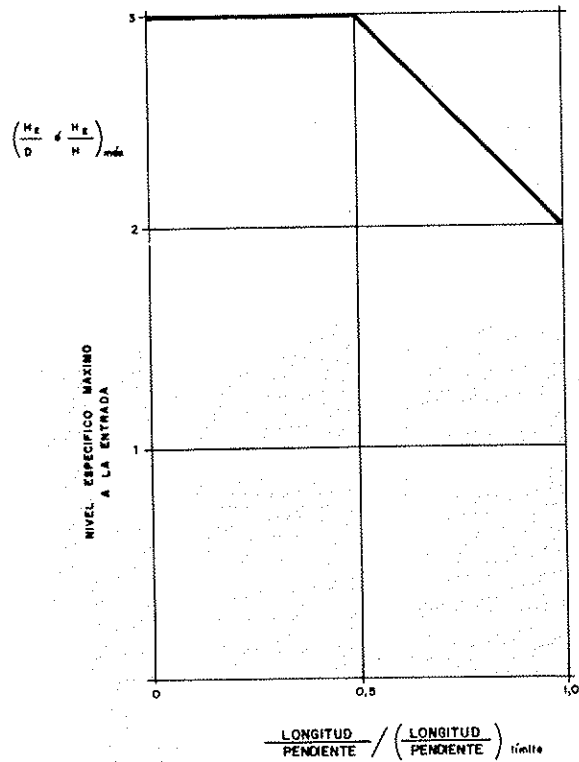


Fig. 5.15. NIVEL MAXIMO  $H_E$  A LA ENTRADA PARA CONTROL DE ENTRADA

$$H_s = \left[ 1 + K_e + \frac{2 \cdot g \cdot L}{R^{4/3} \cdot K^2} \right] \times \frac{V^2}{2 \cdot g} - L \cdot J - \mu$$

siendo:

- L: la longitud del conducto.
- J: la pendiente del conducto.
- V: la velocidad media (a sección llena).
- R: el radio hidráulico (sección / perímetro) a sección llena.
- g: la aceleración de la gravedad.
- K: el coeficiente de rugosidad de Manning (Tabla 4.1).
- Ke: el coeficiente de pérdida de carga en la embocadura, dado por la Tabla 5.2.

TABLA 5-2

**VALORES DE Ke**

Tubo de hormigón:	
Exento .....	0,6
Con muro de acompañamiento .....	0,4
Con aletas .....	0,3
Otros conductos de hormigón:	
Exento .....	0,6
Con muro de acompañamiento .....	0,4
Con aletas .....	0,2
Tubo corrugado:	
Exento .....	0,8
Ataluzado .....	0,7
Con muro de acompañamiento .....	0,6
Con aletas .....	0,3

- $\mu$ : el mayor de los dos valores siguientes:
  - La diferencia del nivel del agua en el cauce a la salida del conducto, con la cota de la solera en ésta.
  - La semisuma del calada crítico  $y_c$  del conducto (Figura 5-11) y su altura H de éste. Si del cálculo resultase  $y_c > H$ , se tomará igual a H.

5.3.2.2 *Aterramientos*

Al analizar los riesgos de aterramiento de las pequeñas obras de drenaje transversal deben distinguirse los que —con independencia de ellas— puedan producirse en un cauce en busca de un perfil de equilibrio aún no alcanzado (deltas, conos de deyección, etc.) de los localizados en el entorno de la carretera y asociados a su presencia.

Si la historia del cauce y su evolución mostrara graves problemas de aterramiento en busca de un perfil de equilibrio, deberán analizarse las soluciones siguientes, de las que las dos últimas requieren periódicas labores de conservación:

- Modificación del trazado evitando las zonas inestables.

- Construcción de areneros o balsas de retención de sedimentos, aguas arriba de la pequeña obra de drenaje transversal.
- Sobredimensionamiento de la pequeña obra de drenaje transversal.

La influencia del trazado en planta y del perfil sobre los aterramientos localizados ha sido ya analizado en los Apartados 5.2.2.1 y 5.2.2.2. Especial atención deberá prestarse donde el conducto tenga su solera deprimida (ya que el cauce tenderá a restituir la rasante original de su lecho) o se altere sustancialmente la altura o la pendiente del cauce. Consecuentemente, un buen sistema para evitar dichos aterramientos es respetar la cota y pendiente del cauce, así como el orden de magnitud de su anchura, de manera que —para avenidas cuyo período de retorno no exceda de diez años, que son las responsables de la configuración del cauce— el régimen hidráulico no sufra cambios sustanciales. Durante crecidas de período de retorno mayor es habitual una cierta retención de aportaciones sólidas, pero éstas suelen localizarse aguas arriba del conducto y no en él; los depósitos así originados son barridos en la fase de decrecida.

Sobre todo con conductos largos situados en cauces en los que se detecte un sustancial transporte de sólidos, se deberá dotar a las pequeñas obras de drenaje transversal de unas dimensiones mínimas que permitan su fácil limpieza (Apartado 5.2.4). Los conductos de sección circular, por la escasa anchura de su fondo, no son los más indicados para el paso de importantes caudales de sólidos, sobre todo cuando tienen lugar por acarreo y no por suspensión (Apartado 5.2.2.3 y Figura 5-2).

Durante la fase de construcción de la carretera y la inmediatamente siguiente a ella, los aterramientos suelen agravarse por aportaciones adicionales procedentes del drenaje de la carretera (taludes, escombros, etc.).

### 5.3.2.3 Erosiones

#### 5.3.2.3.1 Erosión evolutiva

Al analizar los riesgos de erosión de las pequeñas obras de drenaje transversal deben distinguirse las que —con independencia de éstas— puedan producirse en un cauce en busca de un perfil de equilibrio aún no alcanzado, de aquellas otras localizadas en el entorno de la carretera y asociadas a su presencia.

Si el cauce natural no hubiera alcanzado su perfil de equilibrio, sino por el contrario estuviera evolucionando en busca de una menor pendiente, podrán producirse importantes erosiones con peligro para la estabilidad de la pequeña obra de drenaje transversal (Figura 5-16). Este tipo de erosión evolutiva puede controlarse con pequeño coste, mediante franjas de escollera (Figura 5-17) de mínimo tamaño medio  $d$  (m), espesor mínimo igual a  $2,5 \cdot d$  y longitud  $L$ , colocadas en el lecho del cauce con una separación  $S$ ; estas franjas, merced a su flexibilidad, siguen al proceso erosivo basculando, para finalmente actuar como unas estructuras de caída. Se deberá cumplir:

$$L / S \geq 2 \cdot J_0$$

$$d \geq \frac{V^3}{175 \cdot \sqrt{R}}$$

siendo:

- $J_0$  (m/m): la pendiente del cauce.
- $V$  (m/s): la velocidad media de la corriente.

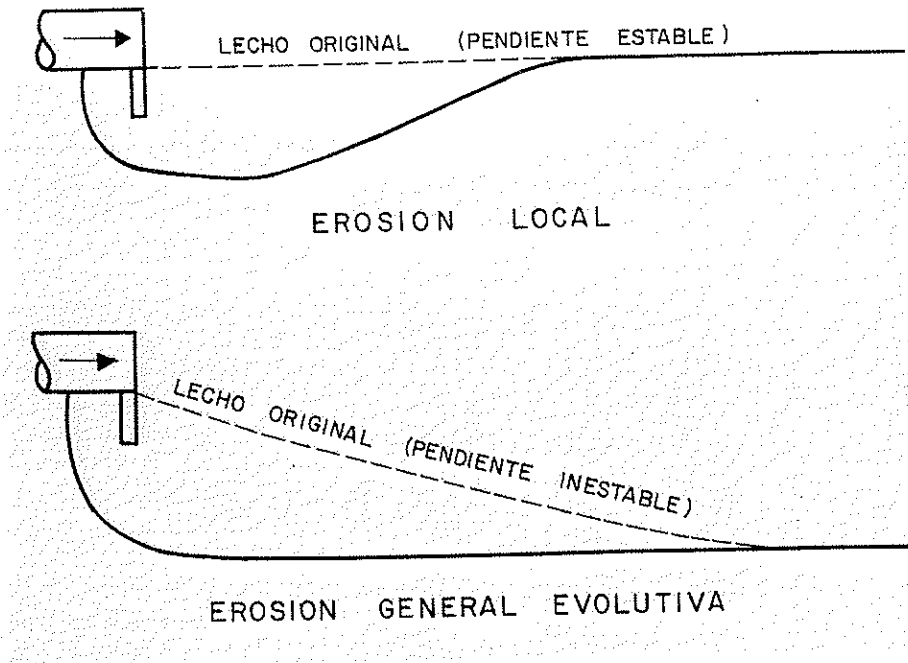


Fig. 5.16. TIPOS DE EROSION

—  $R$  (m): el radio hidráulico del cauce (sección / perímetro).

La granulometría de la escollera deberá estar comprendida entre los límites de la Figura 5-18. Entre la escollera y el lecho del cauce deberá interponerse un geotextil o una capa de material filtro.

#### 5.3.2.3.2 Erosión localizada

Además de la erosión evolutiva del cauce, deberá contemplarse la local debida a la presencia de la pequeña obra de drenaje transversal, por la mayor concentración y energía cinética de la corriente. Dicha erosión afecta a las proximidades de la obra de drenaje, y puede llegar a provocar su descalce (Figura 5-16).

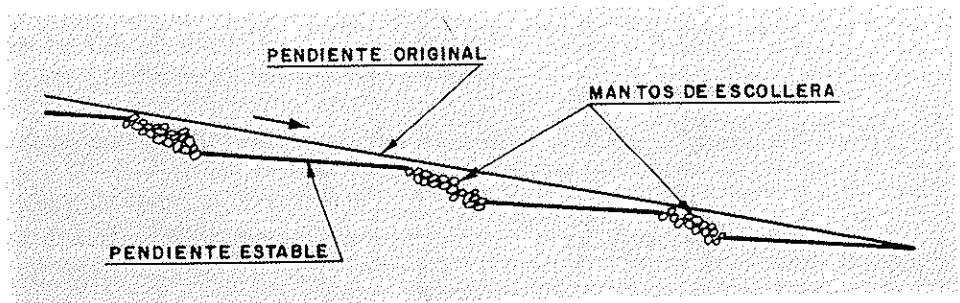


Fig. 5.17. CONTROL DE LA EROSION GENERAL EVOLUTIVA

A efectos de la erosión local, el nivel del agua en el cauce en las proximidades de la salida de la pequeña obra de drenaje transversal se considerará:

— Alto, si excediera del límite  $\delta$  dado por la Figura 5-19.

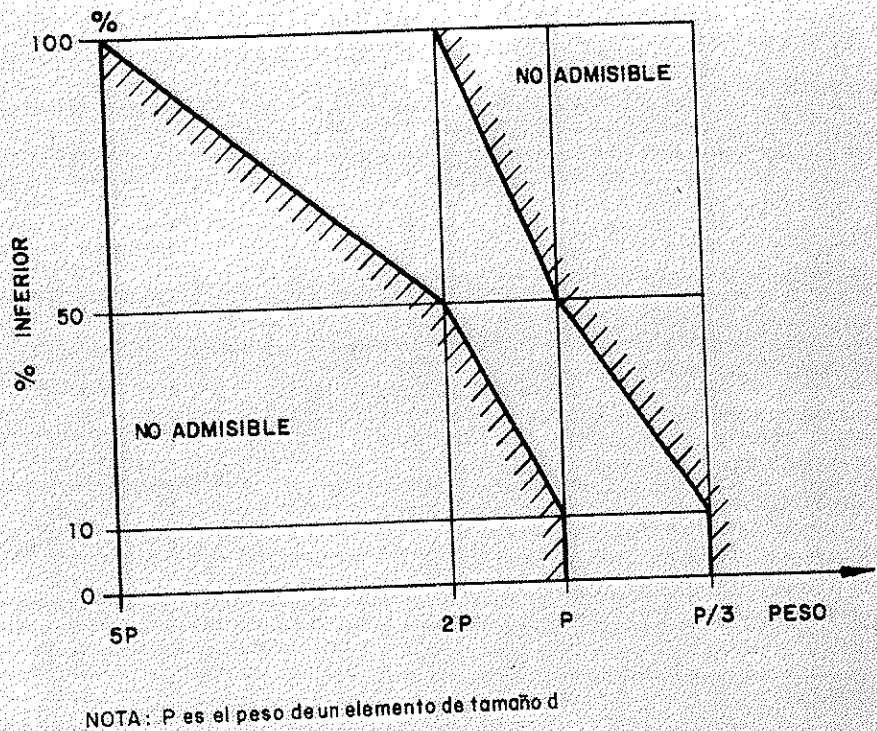


Fig. 5.18. LIMITES DE LA CURVA GRANULOMETRICA DE ESCOLLERA

- Medio, si estuviera comprendido entre  $\delta$  y  $\delta / 2$ .
- Bajo, si fuera inferior a  $\delta / 2$ .

Conviene aclarar que las máximas erosiones locales no tienen lugar en la misma sección de salida y que los descalces de la pequeña obra de drenaje transversal serán nulos con niveles altos (si el régimen a la salida no presenta disimetrías acusadas), y del orden del 70 por 100 de la máxima erosión con niveles medios.

En conductos de fuerte pendiente y suficientemente largos, con control de entrada (Apartado 5.3.2.1) y que desagüen a sección parcialmente llena, el calado a la salida del conducto puede diferir sensiblemente del que habría con una pendiente más suave, hipótesis implícitamente admitida en las fórmulas del presente apartado. En estos casos y siempre que los resultados sean más desfavorables, deberá sustituirse en dichas fórmulas la altura del conducto por el valor del calado a la salida, el cual podrá deducirse de la correspondiente curva de remanso, o estimarse por defecto a partir de la fórmula de Manning-Strickler (Apartado 4.2.1).

Salvo justificación en contrario basada en las características del material del lecho del cauce, configuración de éste, duración de la avenida, nivel alcanzado por el agua, aportación sólida, o bien en la experiencia con obras similares en el mismo entorno, se podrán estimar las máximas erosiones previsibles por las fórmulas adimensionales siguientes, que son —en general— conservadoras:

Tubos:

$$e / D = 2 * \left[ \frac{Q}{\sqrt{g} * D^{5/2}} \right]^{3/8}$$

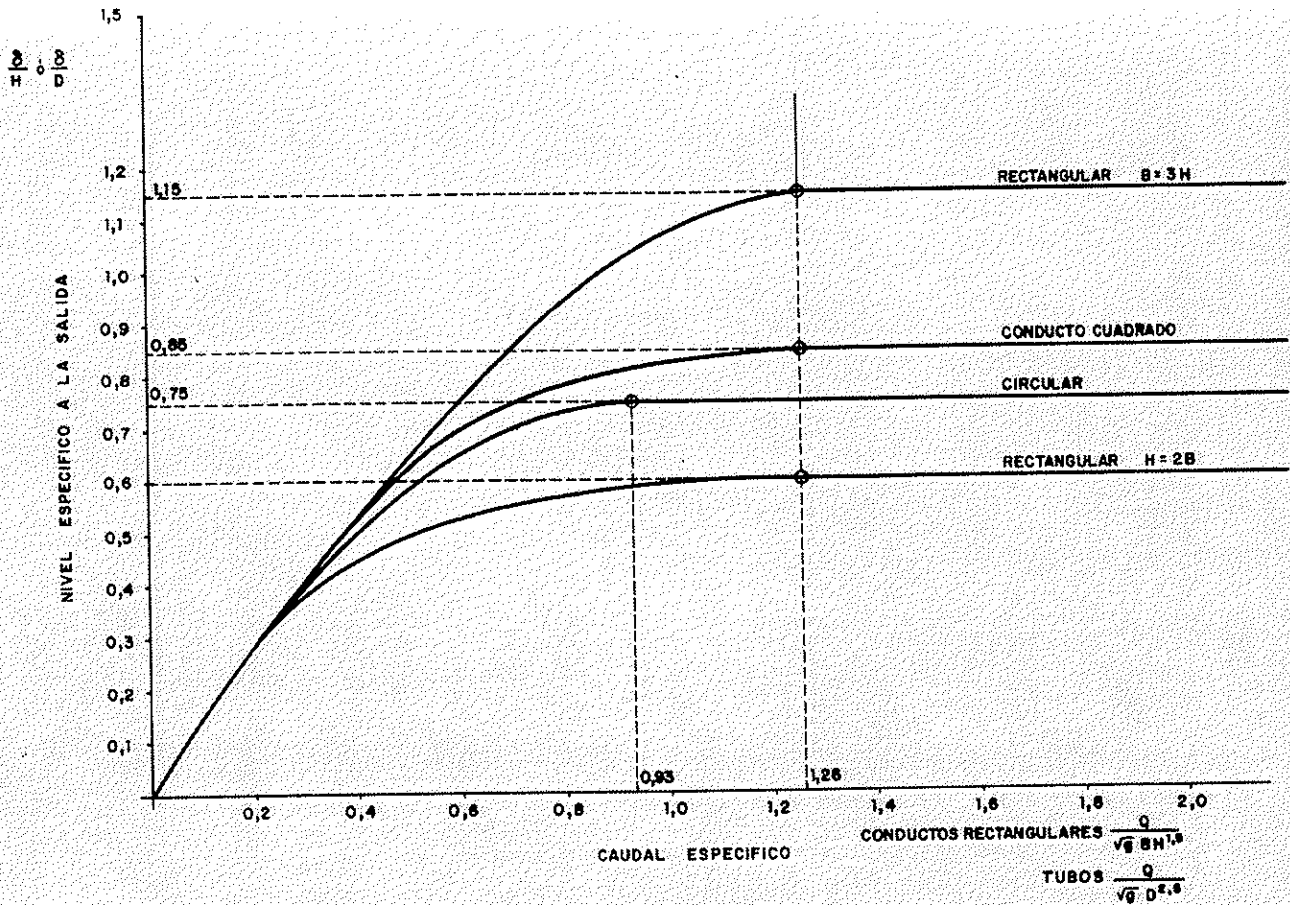


Fig. 5.19. LIMITE DE NIVELES ALTOS A LA SALIDA

Conductos rectangulares:

$$e / H = 3 * \exp\left(\frac{-H}{3 * B}\right) * \left[\frac{Q}{\sqrt{g} * B * H^{3/2}}\right]^{3/8}$$

Siendo:

- e: la erosión máxima previsible.
- Q: el caudal.
- g: la aceleración de la gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).
- D: el diámetro del tubo.
- H: la altura del conducto rectangular.
- B: la anchura del conducto rectangular. En conductos múltiples se tomará la suma de las anchuras de cada uno.

Las pequeñas obras de drenaje transversal contenidas en la Colección de pequeñas obras de paso 4.2-IC aprobada por Orden Ministerial, de 3 de junio de 1986, se podrán asimilar — a estos efectos— a conductos rectangulares de igual anchura y sección.

En los casos ordinarios en los que los daños provocados por la presencia de erosiones en el cauce se puedan considerar admisibles (Apartado 1.5.3.1) y únicamente deba evitarse el descaice de la pequeña obra de drenaje transversal, se recomienda la adopción de las medidas siguientes:

- Con niveles altos a la salida y una configuración del cauce y de la pequeña obra de drenaje transversal sensiblemente simétricas, que no haga temer la formación de remolinos de eje vertical, será suficiente disponer un rastrillo vertical con una profundidad mínima de 0,25 \* e.



- Con niveles medios podrá disponerse un rastrillo vertical, con una profundidad mínima de  $0,7 * e$ , o preferentemente una solera de hormigón que reciba el impacto directo de la corriente, con una longitud mínima de  $1,2 * e$  (1) y rematada por un rastrillo vertical con una profundidad mínima de  $0,25 * e$ . Esta solución podrá sustituirse por un manto de escollera, con una longitud mínima de  $1,6 * e$  y un espesor mínimo de 2,5 veces el tamaño mínimo definido a continuación.
- Los niveles bajos en el cauce pueden ser debidos a una gran anchura de éste, o bien a una fuerte pendiente. En el primer caso, las medidas protectoras podrán ser análogas a las descritas para niveles medios. En el segundo caso se recomienda proyectar la pequeña obra de drenaje transversal para que funcione como un puente (Apartado 5.1), sin modificar el régimen del cauce ni provocar acusadas sobre-elevaciones aguas arriba que favorezcan una retención del transporte de sólidos con el caudal de referencia (Capítulo 2); en caso contrario, las erosiones podrían alcanzar valores muy superiores a los estimados por las fórmulas contenidas en la presente Instrucción.

Si se recurriera a protecciones de escollera sobre el lecho del cauce a la salida de la pequeña obra de drenaje transversal, el mínimo tamaño medio de sus elementos para que no sean arrastrados por la corriente se podrá determinar, salvo justificación en contrario, por las fórmulas siguientes:

Tubos:

$$\frac{\mu * Q}{\sqrt{g * D^{5/2}}} = 0,4 + 3 * \frac{d}{D} \quad (\text{válida para } \frac{Q}{\sqrt{g * D^{5/2}}} \geq 0,55)$$

Conductos regulares:

$$\frac{\mu * Q}{\sqrt{g * B * H^{3/2}}} = 0,82 \exp\left(\frac{H}{5 * B}\right) * \left[0,6 + \frac{10 * d}{3 * H}\right] \quad (\text{válida para } \frac{Q}{\sqrt{g * B * H^{3/2}}} \geq 0,8)$$

siendo:

- $\mu$ : un coeficiente igual a:
  - 1 si  $Ht \geq \delta$  (Figura 5-19).
  - $Ht/\delta$  si  $Ht < \delta$  (Figura 5-19).
- $Ht$ : el nivel del agua en el cauce de salida.
- $Q$ : el caudal.
- $g$ : la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).
- $D$ : el diámetro del tubo.
- $d$ : el mínimo tamaño medio de la escollera.
- $H$ : la altura del conducto rectangular.
- $B$ : la anchura del conducto rectangular. En conductos múltiples se tomará la suma de las anchuras de cada uno.

(1) Sólo a efectos de la longitud de la solera o manto de escollera, aunque la erosión se calcule por otros métodos, el valor de  $e$  será el dado por las fórmulas del presente Apartado.

Las pequeñas obras de drenaje transversal contenidas en la Colección de pequeñas obras de paso 4.2-1C aprobada por Orden Ministerial, de 3 de junio de 1986, se podrán asimilar —a estos efectos— a conductos rectangulares de igual anchura y sección.

La granulometría de la escollera deberá estar comprendida entre los límites de la Figura 5-18. Entre la escollera y el lecho del cauce deberá interponerse un geotextil o una capa de material filtro.

## **5.4 MATERIALES PARA PEQUEÑAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL**

### **5.4.1 Generalidades**

Salvo justificación en contrario, las pequeñas obras de desagüe transversal estarán formadas por los materiales siguientes, solos o combinados:

- Hormigón (prefabricado o moldeado "in situ").
- Acero corrugado galvanizado.

Deberá indicarse en el Pliego de prescripciones técnicas particulares el tipo de junta a emplear entre piezas prefabricadas contiguas o entre éstas y las boquillas o arquetas; y para cada tipo de pieza, las características de su asiento, espaldones y recubrimiento. Las piezas rígidas deberán ir apoyadas sobre una superficie apisonada y limpia, preferentemente una cama de hormigón.

Deberá tenerse en cuenta que en las proximidades de líneas eléctricas de alta tensión pueden inducirse corrientes parásitas en los conductos de acero, que pueden dar lugar a su corrosión.

### **5.4.2 Resistencia a presión e impermeabilidad**

Se exigirá en el pliego de prescripciones técnicas particulares la resistencia a presión en los casos en que se prevea la entrada en carga del conducto. En caso contrario se especificará únicamente la impermeabilidad del conducto y de sus juntas.

### **5.4.3 Durabilidad**

Tanto el hormigón como el acero corrugado, aun galvanizado, pueden resultar atacados por ciertas aguas agresivas (selenitosas, alpechines, vinazas, etcétera).

### **5.4.4 Resistencia mecánica**

El recubrimiento de las pequeñas obras de drenaje transversal deberá ser suficiente para evitar daños en ellas al paso de la circulación. Cuando sea necesario se preverán dichos recubrimientos para el paso provisional de vehículos de obra.

La resistencia mecánica de los conductos se adaptará a las cargas de construcción y de servicio, distinguiendo entre los casos en que el conducto las resista por sí solo y aquellos en que sirva solamente de encofrado perdido al hormigonado de la zanja en que va alojado.

Las obras de hormigón resisten mejor al impacto de los acarrees, como los de los torrentes en montaña.

## 6.1 CONSTRUCCION

### 6.1.1 Condiciones generales

El replanteo del drenaje superficial se hará con la precisión de cotas y pendientes necesaria para que funcione según lo previsto.

Se cuidará especialmente de que la relación del drenaje superficial con el profundo y el de firme, tanto si es de dependencia como si se han proyectado para un funcionamiento independiente, no se vea alterada por contaminaciones localizadas ni por conexiones indebidas o mal ejecutadas.

Los cauces abandonados sobre los que se vayan a construir terraplenes deberán sanearse.

Durante la construcción se extremará la limpieza en los tajos del drenaje superficial, evitando la contaminación de sus puntos de contacto con la explanación. Se evitará igualmente dejar restos de hormigón, mortero, áridos, tierras, etc., próximos al drenaje recién construido.

Se preverán los pasos provisionales necesarios para canalizar por ellos todos los vehículos pesados, evitando que dañen las obras de drenaje superficial.

### 6.1.2 Elementos enterrados

La apertura de zanjas y colocación de conductos avanzará siempre del desagüe hacia aguas arriba. Se evitará tener abiertas las zanjas más tiempo del estrictamente necesario y se evitará la caída en la zanja de tierra o piedras, acopiando los productos extraídos suficientemente lejos de aquélla.

Los conductos prefabricados podrán ir rodeados de materiales granulares o de hormigón. En el primer caso se dispondrán directamente sobre una cama de apoyo de arena o gravilla y en el segundo se colocarán sobre apoyos que dejen un mínimo de cinco centímetros entre ellos y la cama. (Figura 6-1). Se evitarán los desplazamientos laterales del conducto al efectuar el relleno y al compactarlo, operaciones que deberán llevarse a cabo simultáneamente por ambos lados, disponiendo si fuera preciso una rigidización o apeo temporal. Los conductos de acero corrugado requerirán una compactación cuidadosa y simétrica de sus espaldones, así como evitar que se aplasten durante la construcción.

Hasta que los elementos enterrados no hayan de evacuar agua se taponarán sus entradas mediante sacos o bolsas de plástico. Asimismo se colocarán las tapas definitivas de registros y arquetas apenas se termine su ejecución.

La comprobación de los elementos enterrados del drenaje superficial se hará tramo por tramo tan pronto como vayan quedando concluidos.

### 6.1.3 Elementos superficiales

La construcción de elementos superficiales se realizará siempre del desagüe hacia aguas arriba, evitando especialmente la formación de encharcamientos en puntos intermedios.

Durante la construcción de cunetas revestidas se tomarán las medidas oportunas para impedir erosiones antes de colocar el revestimiento.

Se procurará construir los pasos salvacunetas previstos inmediatamente después de la construcción de la correspondiente cuneta.

#### **6.1.4 Drenaje de la obra durante su construcción**

Deberá tenerse en cuenta la necesidad de asegurar un drenaje superficial provisional de las explanaciones y firmes durante su construcción. Para este fin podrán ejecutarse riegos de sellado con ligantes hidrocarbonados u otros productos y en algunos casos disponer otras protecciones (geomembranas). La superficie de las explanaciones en construcción no protegidas se deberá dejar con una pendiente transversal mínima del 6 por 100, evitando además la formación de charcos en sus irregularidades.

Se acometerá la construcción de las cunetas de guarda previstas en el Proyecto antes de iniciar los desmontes y apenas se terminen los terraplenes.

Se evitará la erosión de los taludes, dando salida provisional al agua en los mismos puntos en que se construirán las bajantes definitivas.

Si el drenaje provisional tuviera la entidad suficiente para considerarlo independiente del definitivo, deberá proyectarse y presupuestarse en el Proyecto.

## **6.2 CONSERVACION**

### **6.2.1 Consideraciones generales**

Los areneros y balsas de retención de sedimentos deberán limpiarse periódicamente.

Se intensificará la vigilancia de los elementos del drenaje, tanto superficiales como enterrados, después de lluvias y especialmente de temporales. Se retirarán los materiales que obstruyan el funcionamiento del drenaje superficial.

Se impermeabilizarán los arcenes donde aparezcan daños estructurales en el borde de la calzada contigua.

Se realizará la ampliación, mejora o construcción en su caso, de aquellos elementos que resulten insuficientes para un correcto drenaje superficial; y se arreglarán los que resulten dañados por choques, erosiones, aterramientos, etc.

### **6.2.2 Elementos enterrados**

Deberá comprobarse, sobre todo después de lluvias, que el agua fluye debidamente por las arquetas y a la salida de los conductos.

Se limpiarán periódicamente los aterramientos producidos, preferentemente mediante agua a presión.

### **6.2.3 Elementos superficiales**

Se evitará siempre el estancamiento de las aguas en la plataforma, corrigiendo si es preciso las irregularidades que las causen, o disponiendo los oportunos caces, cunetas, sumideros y colectores que recojan las aguas y las evacuen lejos de la plataforma, generalmente mediante una pequeña obra de drenaje transversal.

Donde las cunetas, bermas o taludes están sembrados se ejecutarán los riegos periódicos que sean necesarios, reponiendo las capas vegetales

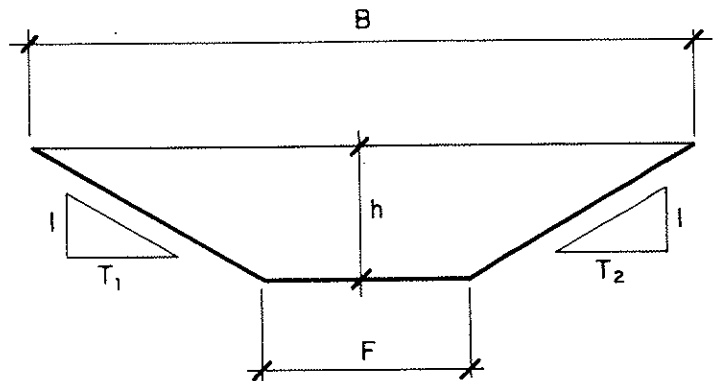
arrastradas por el agua. Donde las cunetas no tengan vegetación o estén revestidas deberán limpiarse con una periodicidad de un año como máximo, por medios mecánicos o químicos. Los medios químicos se usarán con las precauciones que sean necesarias para evitar contaminaciones perjudiciales.

Las cunetas no revestidas se reperfilarán cuando sea necesario, especialmente donde su perfil haya cambiado por aterramientos.

Se introducirán los pequeños cambios de perfil longitudinal y se realizarán las obras necesarias para evitar aterramientos o erosiones.

# ANEXO

## CUNETAS TRAPECIALES



$$B = F + h(T_1 + T_2)$$

$$S = \frac{h}{2}(F + B) = \frac{h}{2} [2F + h(T_1 + T_2)]$$

$$P = F + \sqrt{h^2 + h^2 T_1^2} + \sqrt{h^2 + h^2 T_2^2} = F + h(\sqrt{1 + T_1^2} + \sqrt{1 + T_2^2})$$

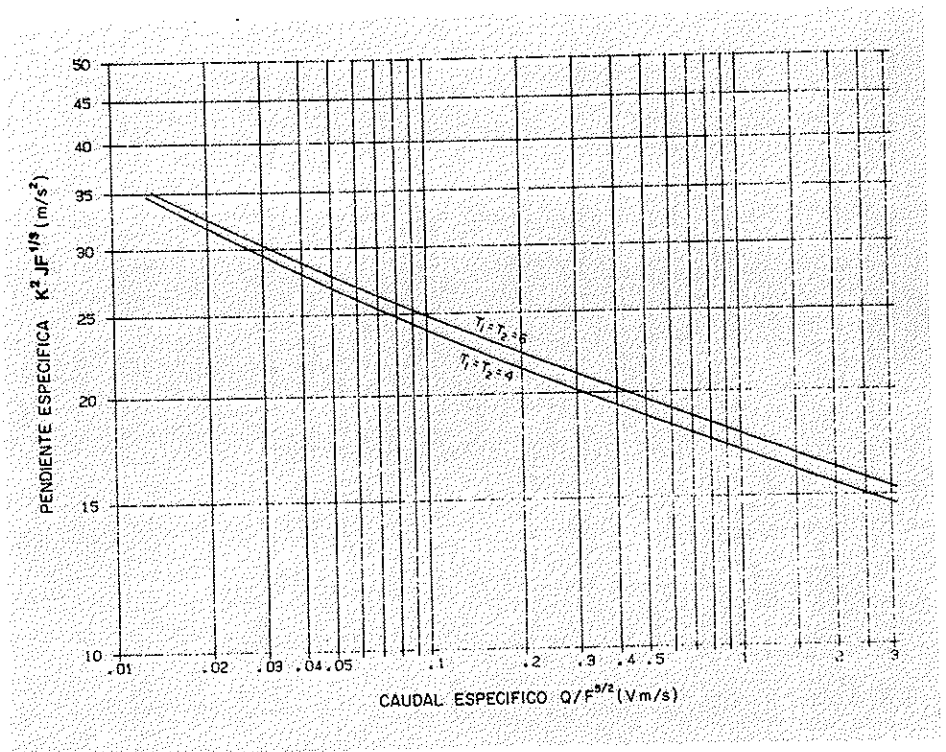
$$R = \frac{S}{P} = \frac{h[F + \frac{h}{2}(T_1 + T_2)]}{F + h(\sqrt{1 + T_1^2} + \sqrt{1 + T_2^2})}$$

$$V = K \sqrt{J} R^{\frac{2}{3}} \text{ MANNING}$$

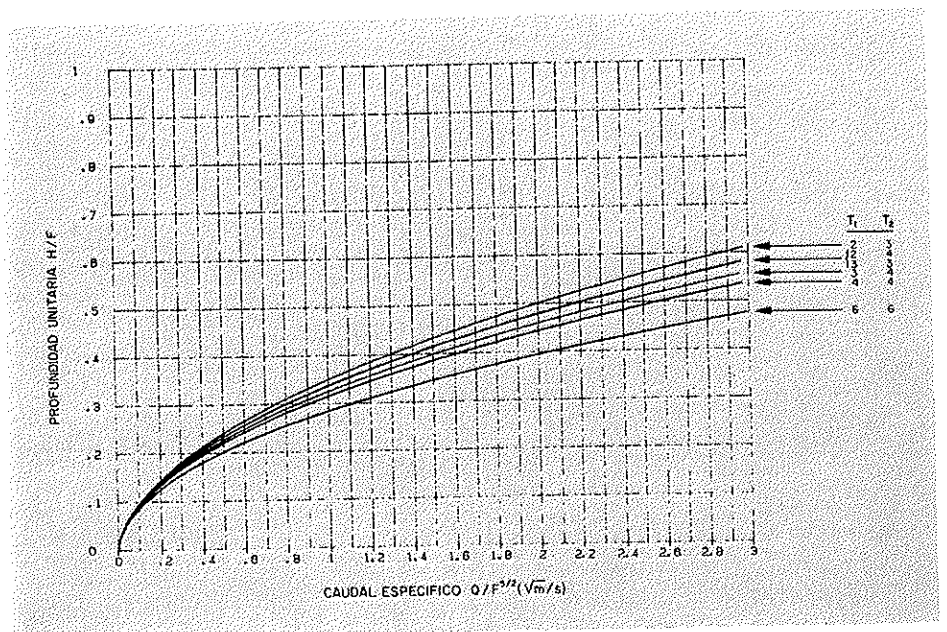
$$V = \sqrt{g} D \text{ CRITICO}$$

$$Q = VS = K \sqrt{J} \cdot \frac{S^{5/3}}{P^{2/3}}$$

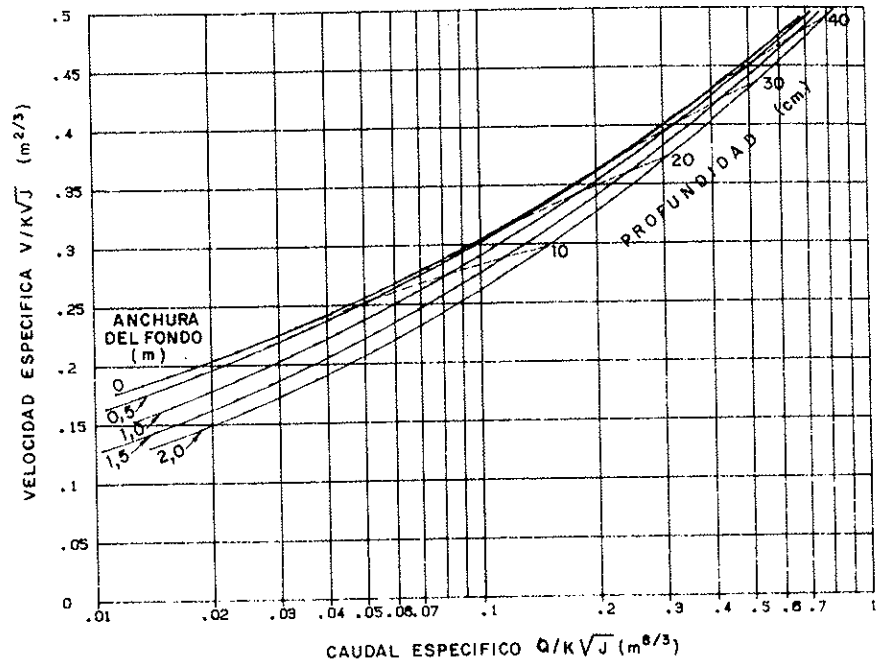
### CONDICIONES DE DESAGÜE EN LAMINA LIBRE DE UNA CUNETETA TRAPEZIAL



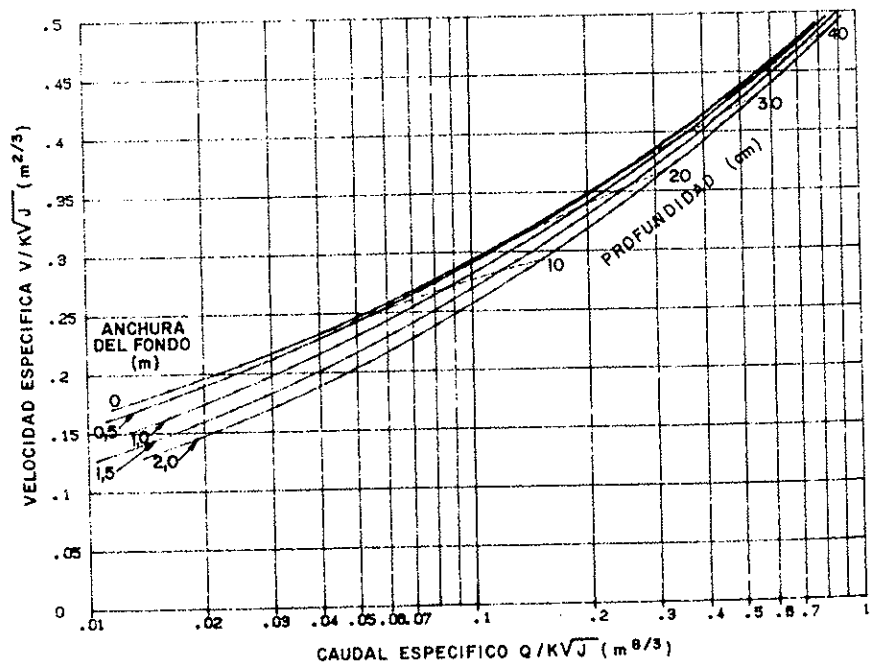
### CONDICIONES DE DESAGÜE EN UNA CUNETETA TRAPEZIAL



CUNETA TRAPEZIAL  $T_1 = 2, T_2 = 3$

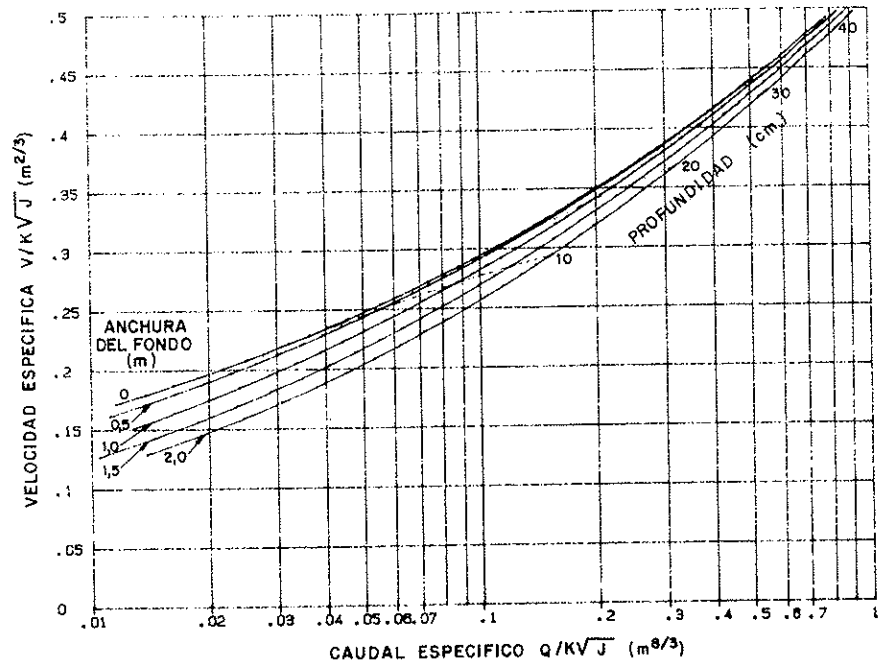


CUNETA TRAPEZIAL  $T_1 = 2, T_2 = 4$

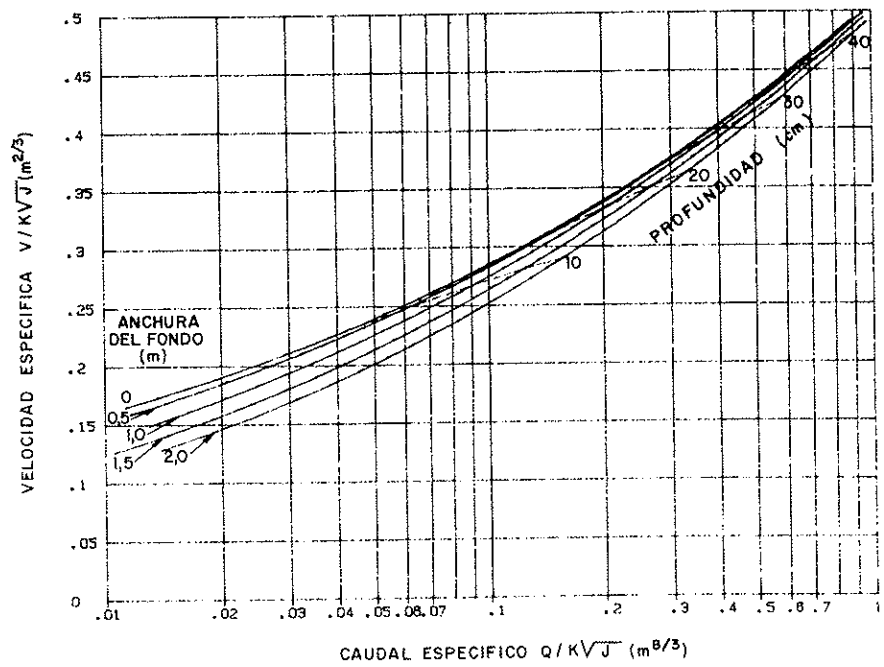




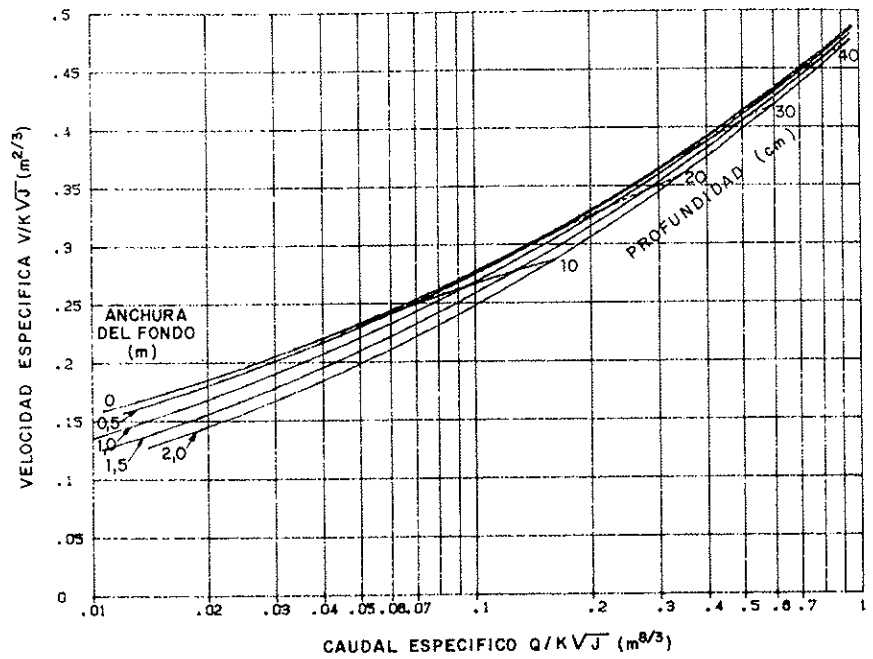
CUNETA TRAPEZIAL  $T_1 = T_2 = 3$



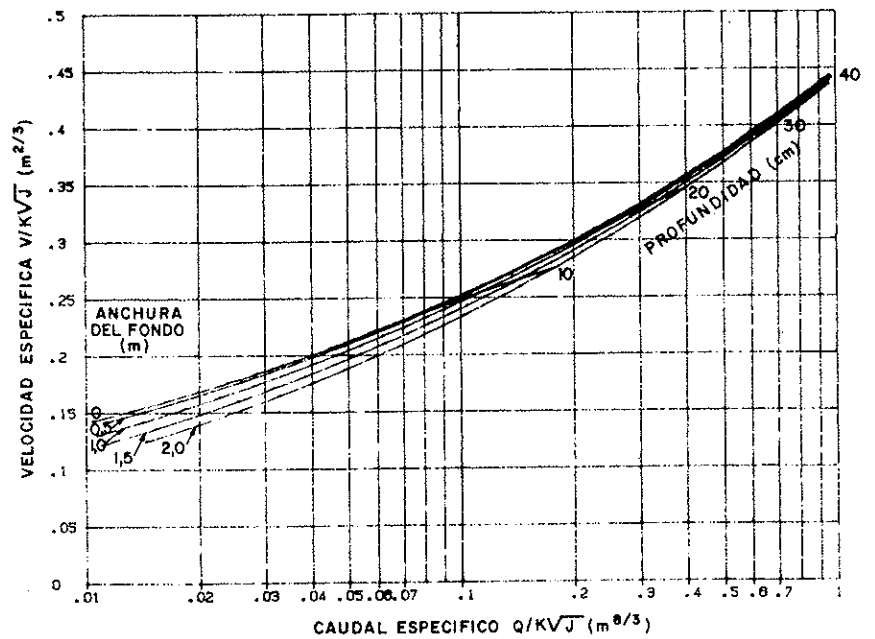
CUNETA TRAPEZIAL  $T_1 = 3, T_2 = 4$



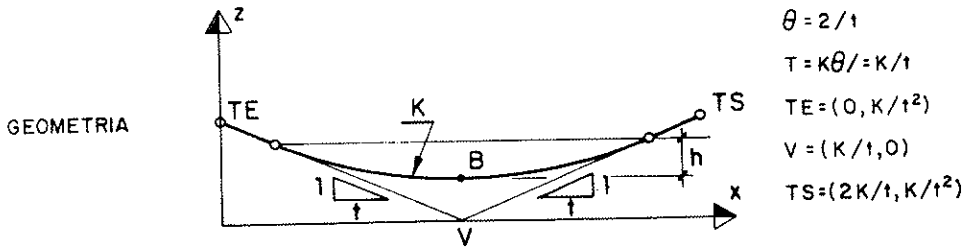
CUNETA TRAPEZIAL  $T_1 = T_2 = 4$



CUNETA TRAPEZIAL  $T_1 = T_2 = 6$



DESAGÜE DE UNA CUNETETA PARABOLICA



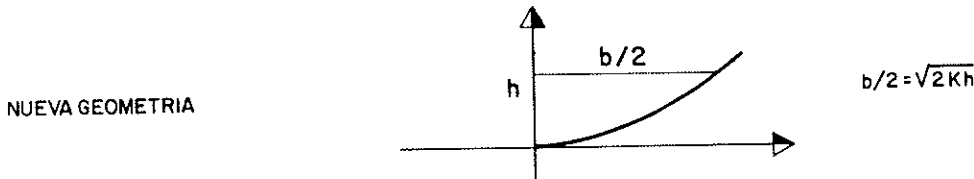
PUNTO BAJO B  $z_B = t^2/2K = K/2t^2$

PUNTO CUALQUIERA  $z = K/t^2 - x/t + x^2/2K$

PROFUNDIDAD  $h = z - z_B = K/2t^2 - x/t + x^2/2K$  con  $0 \leq x \leq K/t$   $h \leq K/2t^2$

$$\frac{x^2}{2K} - \frac{x}{t} - (h - \frac{K}{2t^2}) = 0 \quad tx^2 - 2Kx - K[2th - K/t] = 0$$

$$x = \frac{K \pm \sqrt{K^2 + Kt(2th - Kt)}}{t} = \frac{K \pm \sqrt{2Kt^2h}}{t} = \frac{K \pm \sqrt{2Kh}}{t}$$



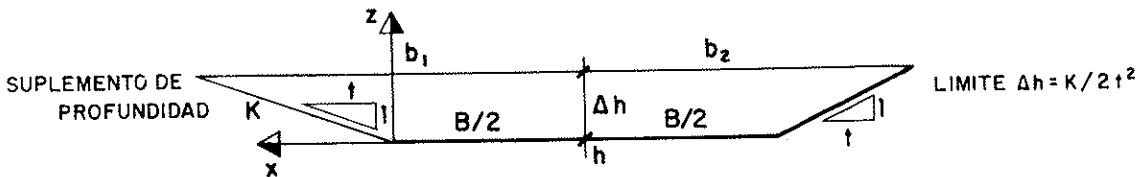
ANCHURA LAMINA  $B = 2\sqrt{Kh}$

SECCION  $S = \int_0^h b dh = 2\sqrt{2K} \int_0^h \sqrt{hd} dh = \frac{4}{3} \sqrt{2Kh^3}$

PROFUNDIDAD HIDRAULICA  $D = S/B = 2h/3$

PERIMETRO MOJADO  $P = 2 \int_0^{B/2} \sqrt{1 + (x/K)^2} dx = 2K \left[ \frac{x}{2K} \sqrt{1 + (x/K)^2} + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{x}{K} + \sqrt{1 + (x/K)^2} \right) \right]_0^{\sqrt{2Kh}} = 2K \left[ \sqrt{\frac{h}{2K} \left( 1 + \frac{2h}{K} \right)} + \frac{1}{2} \ln \left( \sqrt{\frac{2h}{K}} + \sqrt{1 + \frac{2h}{K}} \right) \right]$

RADIO HIDRAULICO  $R = S/P = \frac{2\sqrt{2h^3/K}}{\sqrt{\frac{h}{2K} \left( 1 + \frac{2h}{K} \right)} + \frac{1}{2} \ln \left( \sqrt{\frac{2h}{K}} + \sqrt{1 + \frac{2h}{K}} \right)}$



SUPLEMENTO DE LAMINA

$$\left. \begin{aligned} b_2 &= \frac{B}{2} + t \Delta h \\ b_1 &= b_2 + \frac{\Delta h^2}{2K} \end{aligned} \right\} B = B_h + 2t \Delta h + \frac{\Delta h^2}{2K}$$

SUPLEMENTO DE SECCION

$$S = S_h + \frac{B_h + (B_h + 2t \Delta h)}{2} \Delta h + \int_0^{\Delta h} \frac{z^2}{2K} dz = S_h + (B + t \Delta h) \Delta h + \frac{\Delta h^3}{6K}$$

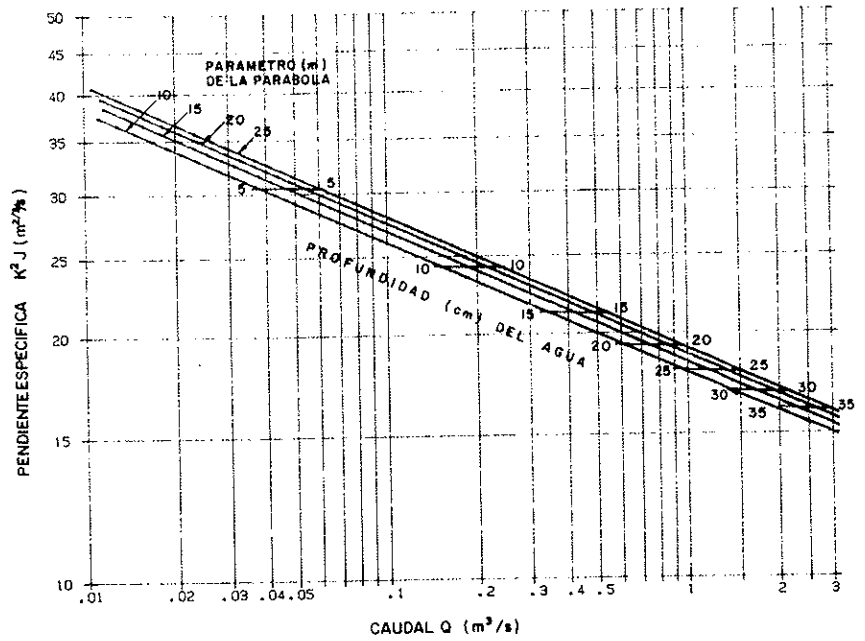
SUPLEMENTO DE PERIMETRO

$$P = P_h + \sqrt{1 + t^2} \Delta h + \int_0^{\Delta h} \sqrt{1 + \left( t + \frac{z}{K} \right)^2} dz =$$

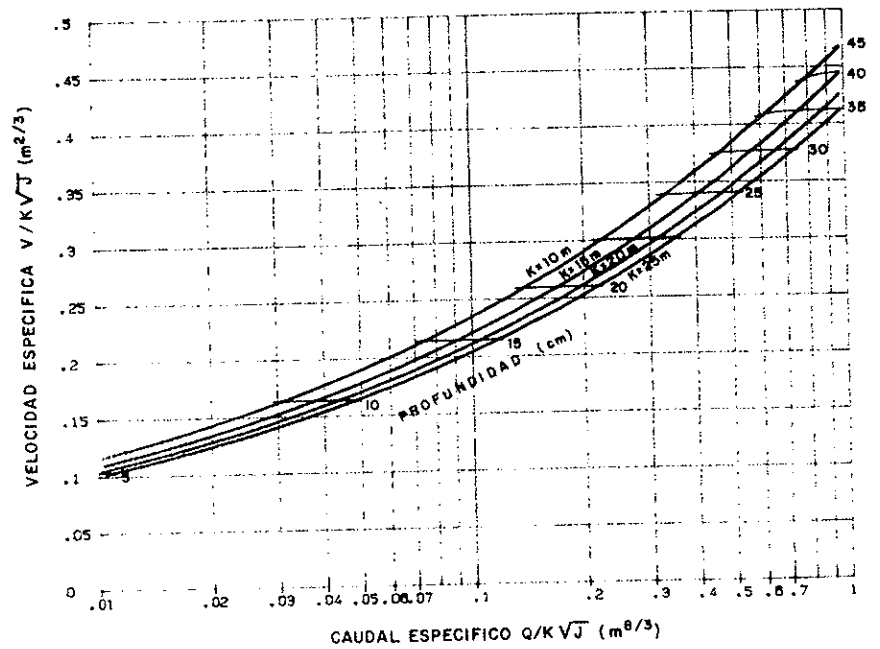
$$= P_h + \sqrt{1 + t^2} \Delta h + K \left[ \frac{t + z/K}{2} \sqrt{1 + \left( t + \frac{z}{K} \right)^2} + \frac{1}{2} \ln \left[ \left( t + \frac{z}{K} \right) + \sqrt{1 + \left( t + \frac{z}{K} \right)^2} \right] \right]_0^{\Delta h} =$$

$$= P_h + \sqrt{1 + t^2} \Delta h + \frac{K}{2} \left\{ \left( t + \frac{\Delta h}{K} \right) \sqrt{1 + \left( t + \frac{\Delta h}{K} \right)^2} - t \sqrt{1 + t^2} + \ln \frac{\left( t + \frac{\Delta h}{K} \right) + \sqrt{1 + \left( t + \frac{\Delta h}{K} \right)^2}}{t + \sqrt{1 + t^2}} \right\}$$

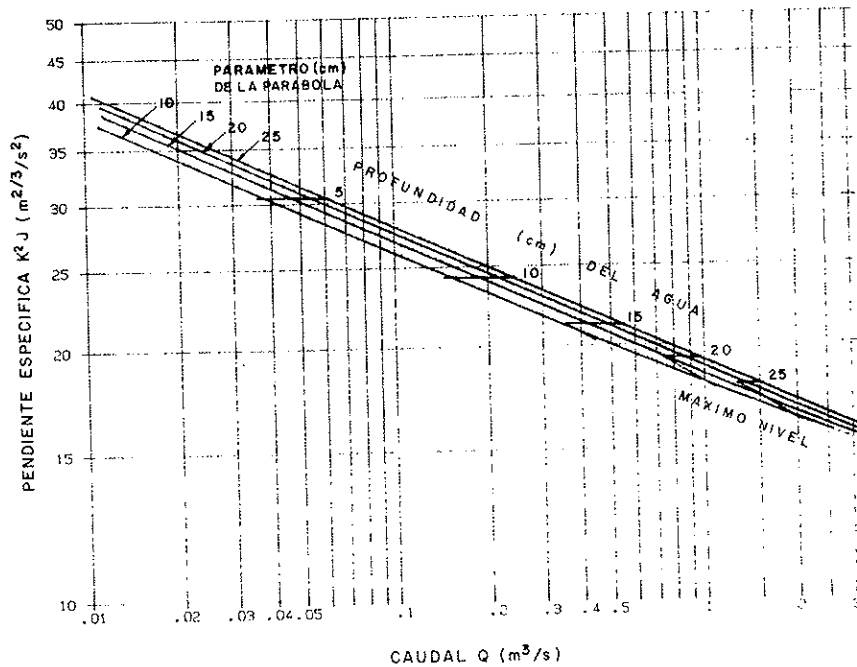
CONDICIONES DE DESAGÜE EN LAMINA LIBRE  
 CUNETETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 4$



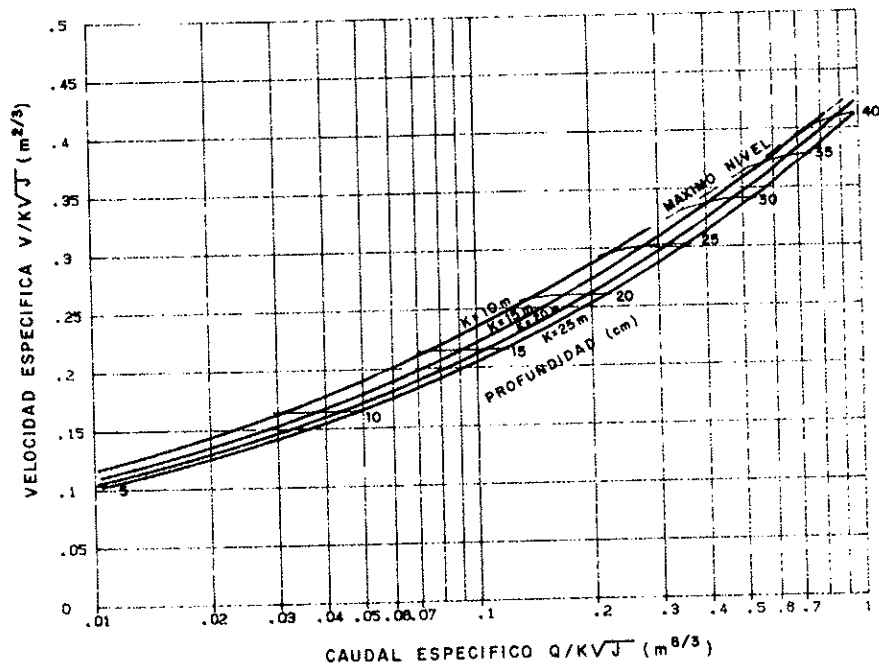
CUNETETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 4$



CONDICIONES DE DESAGÜE LAMINA LIBRE  
 CUNETETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 6$

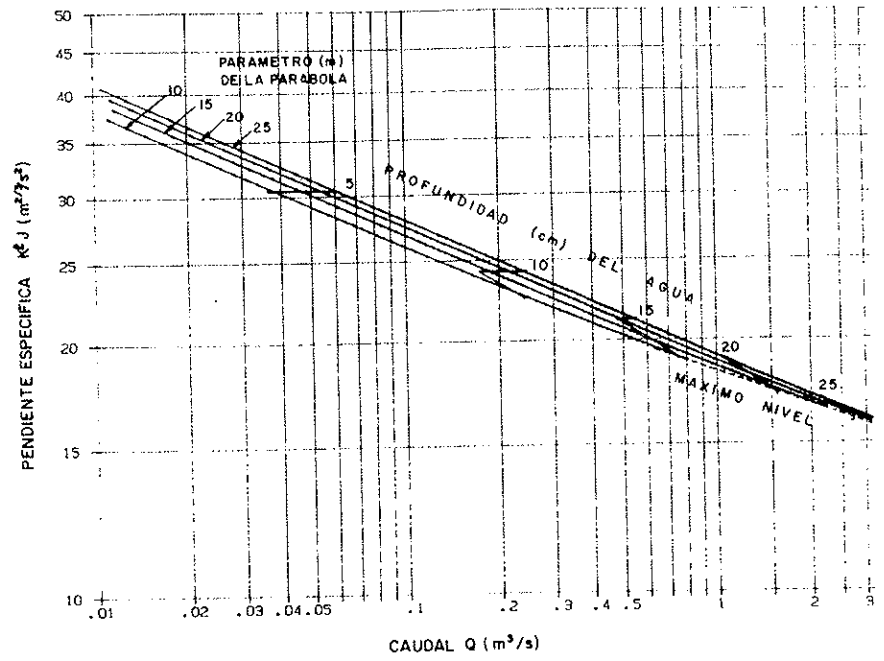


CUNETETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 6$

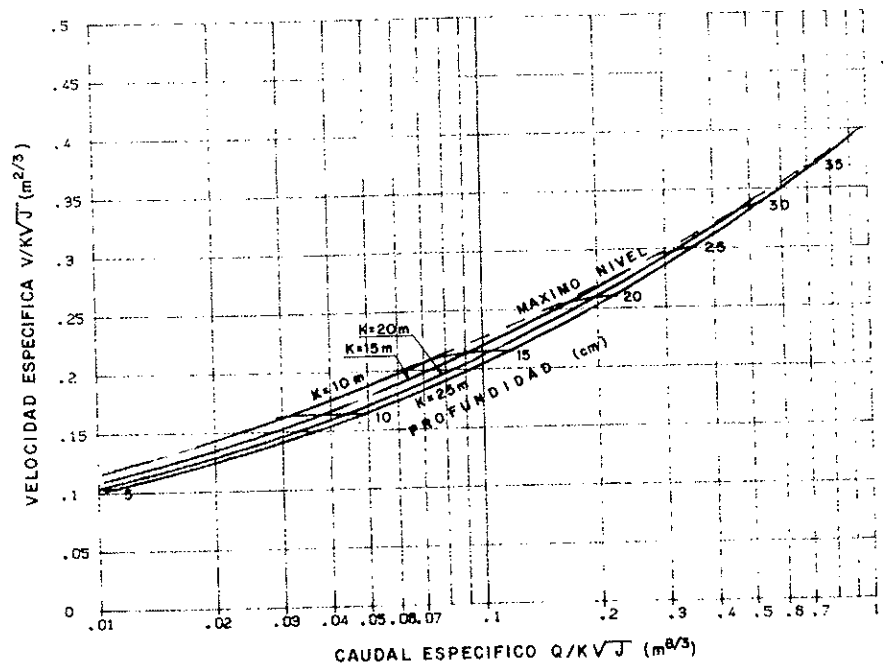


CONDICIONES DE DESAGÜE EN LAMINA LIBRE

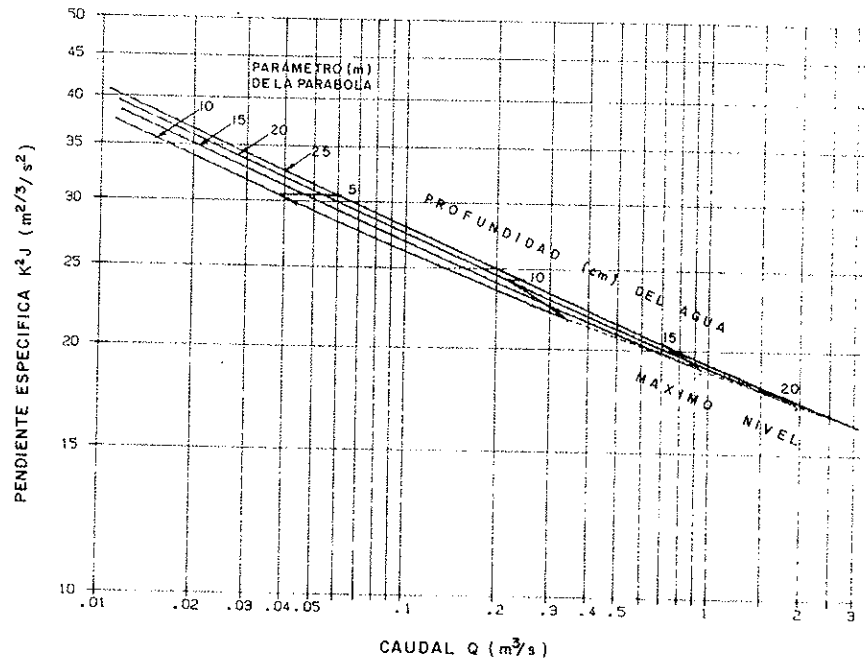
CUNETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 8$



CUNETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 8$



CONDICIONES DE DESAGÜE EN LAMINA LIBRE  
 CUNETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 10$



CUNETA PARABOLICA  $T_1 = T_2 = 10$

