

**LIBRO:** PRY. PROYECTO  
**TEMA:** CAR. Carreteras  
**PARTE:** 4. PROYECTO DE DRENAJE Y SUBDRENAJE  
**TÍTULO:** 02. Proyecto de Obras Complementarias de Drenaje  
**CAPÍTULO:** 002. Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje

**A. CONTENIDO**

Este Manual contiene los métodos y procedimientos para realizar los análisis hidráulicos a que se refiere la Norma N-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*, para determinar los gastos, niveles, tirantes y velocidades a drenar con las obras complementarias de drenaje, con base en el gasto de diseño que puede obtenerse previamente conforme a lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-4-01-002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*, en lo que corresponde al método racional, que es el que se empleará para estimar los gastos de diseño, toda vez que las áreas de captación de lluvia son relativamente pequeñas. Contiene también los criterios para diseñar la ubicación, la posición, dimensiones y materiales de los que están compuestos las diversas obras complementarias de drenaje, como son:

- Bombeo
- Cunetas
- Bordillos
- Lavaderos
- Contracunetas
- Obras de alivio
- Colectores
- Obras disipadoras de energía
- Cajas desarenadoras
- Estructuras de control de cuerpos flotantes

**B. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con las siguientes:

| NORMAS Y MANUALES   | DESIGNACIÓN        |
|---|--------------------|
| Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje ..... | N-PRY-CAR-4-02-002 |
| Bordillos .....   | N-CTR-CAR-1-03-007 |
| Procesamiento de Información .....                          | M-PRY-CAR-1-06-003 |
| Análisis Hidráulicos .....                                  | M-PRY-CAR-1-06-005 |
| Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje .....         | M-PRY-CAR-4-01-002 |

### C. DEFINICIÓN

Las obras complementarias de drenaje son aquellas que se utilizan para captar, conducir y desalojar los caudales provocados por las aguas de lluvia que inciden sobre la corona del camino, así como las aguas aportadas por los taludes de los cortes y por la cuenca que exista en la parte superior de dichos cortes, en su caso. Protegen los taludes de terraplenes y de cortes contra la erosión y evitan la acumulación del agua en la superficie de rodadura de la carretera y en el interior del pavimento, conduciéndola en forma controlada fuera de la corona del camino.

### D. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para determinar los gastos que se han de utilizar en el diseño hidráulico de las obras complementarias de drenaje, de acuerdo con los periodos de retorno que se establezcan, se realizarán los estudios hidrológicos utilizando el método racional, toda vez que las áreas de captación de lluvia son relativamente pequeñas, siendo en estos casos más confiable este método. Para su aplicación se procede como sigue.

#### D.1. MÉTODO RACIONAL

- D.1.1.** Con la longitud ( $L$ ) y la pendiente media del cauce principal ( $S_c$ ) que se determinan como se señala en la Fracción C.2. del Manual M-PRY-CAR-1-06-003, *Procesamiento de Información*, se calcula el tiempo de concentración ( $t_c$ ), que es el tiempo requerido para que el agua escurra desde el punto más lejano de la cuenca hasta el sitio donde será captada, mediante la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración, (h)

$L$  = Longitud del cauce principal, (km)

$S_c$  = Pendiente media del cauce principal, (adimensional)

- D.1.2.** Con el tiempo de concentración, con el período de retorno establecido y con la ayuda de las isoyetas de intensidad de lluvia – duración - período de retorno publicadas por la Secretaría, se obtiene la intensidad de lluvia en milímetros por hora.

- D.1.3.** El gasto máximo correspondiente a un período de retorno, se calcula mediante la expresión siguiente:

$$Q_{Tr} = 0,278 CIA$$

Donde:

$Q_{Tr}$  = Gasto máximo para el periodo de retorno  $Tr$  establecido, ( $m^3/s$ )

$C$  = Coeficiente de escurrimiento de la cuenca en estudio, (adimensional), determinado como se indica en la Fracción C.3. del Manual M-PRY-CAR-1-06-003, *Procesamiento de Información*

$I$  = Intensidad de lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración  $t_c$ , para el período de retorno  $Tr$  establecido, (mm/h)

$A$  = Área de la cuenca, determinada como se indica en la Fracción C.1. del Manual M-PRY-CAR-1-06-003, *Procesamiento de Información*, ( $km^2$ )

Los periodos de retorno que se emplearán para obtener el gasto de diseño de las obras complementarias de drenaje, serán como se indica en la Fracción D.1. de la Norma N-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

## E. ANÁLISIS HIDRÁULICO

Una vez que se obtenga el gasto de diseño, se hará pasar éste en gabinete por la obra complementaria de drenaje, utilizando para ello la fórmula de Manning, como se indica en el Manual M-PRY-CAR-1-06-005, *Análisis Hidráulicos*, y en la Fracción C.5. del Manual M-PRY-CAR-1-06-003, *Procesamiento de Información*. Tratándose de cunetas o bordillos, su capacidad hidráulica o gasto máximo que puedan conducir ( $Q_M$ ) en el tramo en estudio, se compara con el gasto de diseño ( $Q_{DIS}$ ). Si  $Q_M > Q_{DIS}$ , la cuneta o bordillo no requieren obra de descarga. Si  $Q_M < Q_{DIS}$ , la cuneta o bordillo sí requieren una obra de descarga en el sitio en que empezarán a derramar. Una vez que la cuneta o el bordillo hayan pasado por la obra de descarga, trabajarán con capacidad hidráulica suficiente hasta que teóricamente empiecen a derramar, en cuyo caso requerirán otra obra de descarga, y así sucesivamente hasta llegar a su extremo final.

Si se trata de lavaderos, se procederá como se indica en la Fracción F.4. de este Manual.

Tratándose de una contracuneta, a la que también es aplicable el método de Manning, su sección será suficiente para que por ella fluya satisfactoriamente el gasto de diseño que le corresponda.

## F. DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN DE CADA OBRA COMPLEMENTARIA DE DRENAJE

### F.1. BOMBEO

El bombeo es la pendiente transversal que se le proporciona a la superficie de rodadura de la carretera, para permitir que el agua de lluvia que sobre ella caiga escurra hacia los hombros del camino. En los tramos en tangente de las carreteras de dos carriles, tipo ET, A, B y C, su pendiente transversal será del 2% desde el eje del camino hasta cada hombro de éste, Figura 1; para el caso de las carreteras tipo D el bombeo será del 3%. En los tramos en curva, el bombeo se superpone con la sobreelevación necesaria para que la pendiente transversal ocurra sin discontinuidad, desde el hombro más elevado hasta el más bajo.

**F.1.1.** En las carreteras de más de dos carriles de circulación pueden presentarse dos casos, como se indica en las Figuras 1 y 2 de este Manual.

**F.1.1.1.** Un camellón central muy estrecho o una guarnición central o una barrera central. En este caso el bombeo es uno solo desde el camellón hasta cada uno de los hombros del camino, como se indica en la Figura 1 de este Manual.

**F.1.1.2.** La separación de sentidos de circulación con un camellón ancho, como se indica en la Figura 2 de este Manual, que puede estar sin recubrimiento, o recubierto con un zampeado que permite conducir sin filtraciones los caudales que recibe. En este caso es común un bombeo mixto para cada sentido de circulación, con pendiente transversal desde el eje de separación de los carriles de un mismo sentido, y hacia los respectivos hombros. En este caso, así como en curvas, el agua se canaliza por el camellón central para descargar el escurrimiento al sitio más conveniente, que puede ser el escurrimiento natural más cercano o alguna obra de alivio diseñada para ello, de la que se trata más adelante.

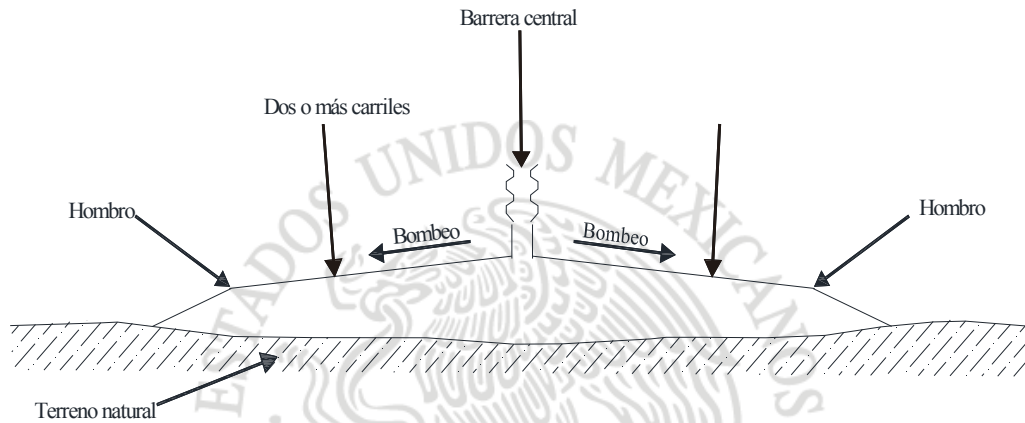


FIGURA 1.- Bombeo en camellón estrecho o con barrera central

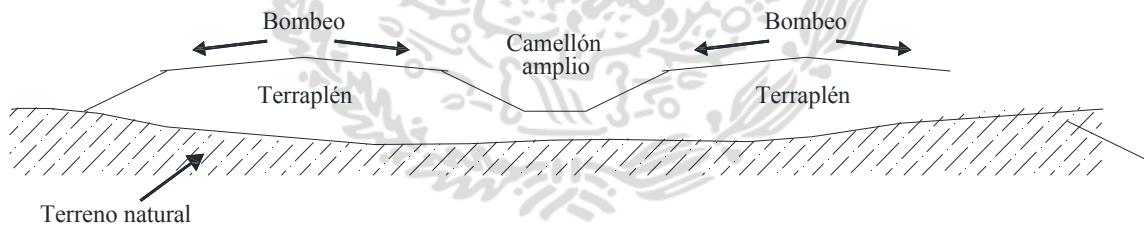


FIGURA 2.- Bombeo en camellón amplio

## F.2. CUNETAS

Las cunetas son zanjas que se construyen adyacentes a los hombros de la corona en uno o en ambos lados, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie de la corona, y del agua que proviene de los taludes de los cortes y del terreno contiguo, conduciéndola convenientemente a un sitio donde no haga daño a la carretera ni a terceros. Las cunetas pueden ser revestidas de concreto hidráulico, de mampostería o de lo que indique el proyecto.

Las cunetas se diseñarán para tener la capacidad hidráulica suficiente para desalojar con rapidez y eficiencia el agua que llegue a ellas. En general, la pendiente longitudinal de las cunetas será igual que la del camino, excepto cuando éste tenga una pendiente menor que 0,5%, ya que la pendiente mínima de dichas cunetas será de 0,5%, a fin de propiciar que la velocidad con la que conduzca el agua sea la necesaria para evitar el depósito de material de arrastre.

La geometría de la sección transversal de las cunetas generalmente es triangular. El talud hacia el lado del camino será de 3H:1V. Del lado del corte, su talud coincidirá con el del corte. A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, el ancho y la profundidad mínimos de las cunetas, así como sus taludes, serán como se indica en la Figura 3 de este Manual.

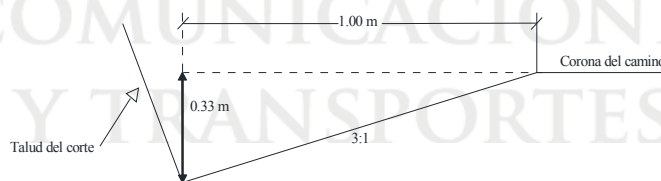


FIGURA 3.- Dimensiones mínimas de las cunetas

Para el análisis y diseño hidráulico de las cunetas se aplicará la fórmula de Manning, como se indica en la Cláusula E. de este Manual. Para ello, se utilizará el gasto de diseño obtenido con el análisis hidrológico tratado en la Cláusula D. de este Manual, así como los parámetros hidráulicos de la cuneta y su pendiente geométrica.

Los remates de las cunetas podrán ser conectados con un lavadero o canalización que descargue las aguas en un sitio conveniente, sea el terreno natural, el fondo de una cañada o el cauce de un escurrimiento natural. En los dos primeros casos (el terreno natural o el fondo de una cañada), el extremo final del lavadero podrá ser protegido con un dentellón de 50 cm de profundidad, recargando en él tres capas de fragmentos de roca sin junteo, de un diámetro tal que no puedan ser arrastrados por la velocidad de la corriente, como se indica en la Figura 4 de este Manual. En el último caso (el cauce de un escurrimiento natural), el sitio de descarga quedará arriba del nivel máximo que pueda alcanzar el agua en el cauce, y lo suficientemente alejado de la margen del propio cauce para evitar que la corriente a la que se descarga erosione el terreno en el que quede apoyado el extremo final del lavadero.

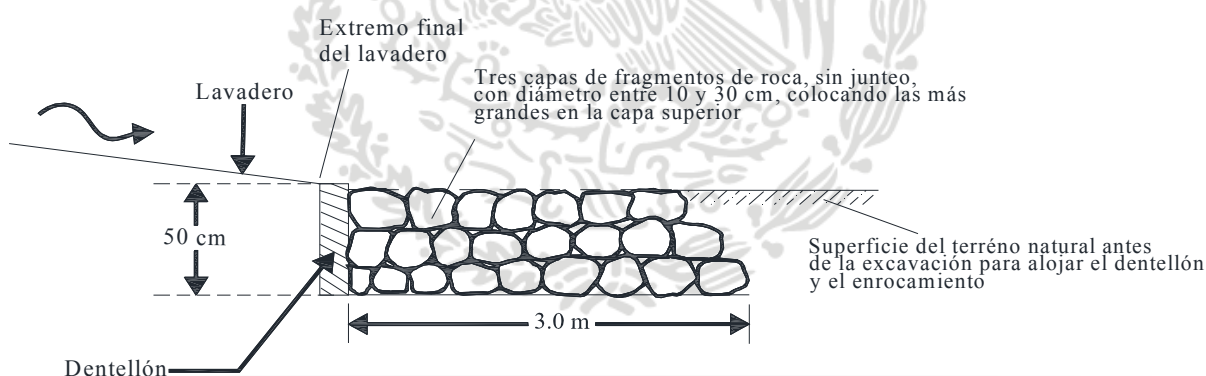


FIGURA 4.- Protección del extremo final de un lavadero a base de dentellón y enrocamiento sin junteo

### F.2.1. Ejemplo

En una carretera con un ancho de corona de 9,00 m se pasa por un corte en balcón con una longitud de 150 m y con un talud de 0,5:1 del lado del corte. El área de aportación del agua, como se indica en la Figura 5 de este Manual, que escurre por la ladera ubicada aguas arriba del corte, por el talud de éste y por el semiancho de la corona del camino, es de 1,3 hectáreas, es decir, 0,013 km<sup>2</sup>. El tiempo de concentración es de 2 min y la intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años es de 150 mm/h. Analizar si la cuneta de dimensiones mínimas es suficiente para drenar el gasto, sin tener que construir una obra de alivio dentro del corte. La pendiente longitudinal de la carretera es de 0,5%.

Solución.

Para el cálculo del gasto, se aplicará la fórmula del método Racional, que se expresa como:

$$Q=0,278C I A$$

Donde:

$Q$  = Gasto (m<sup>3</sup>/s)

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

$I$  = Intensidad de lluvia, (mm/h), correspondiente al tiempo de concentración  $t_c$

$A$  = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$t_c$  = Tiempo de concentración =  $0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$  (Fórmula de Kirpich)

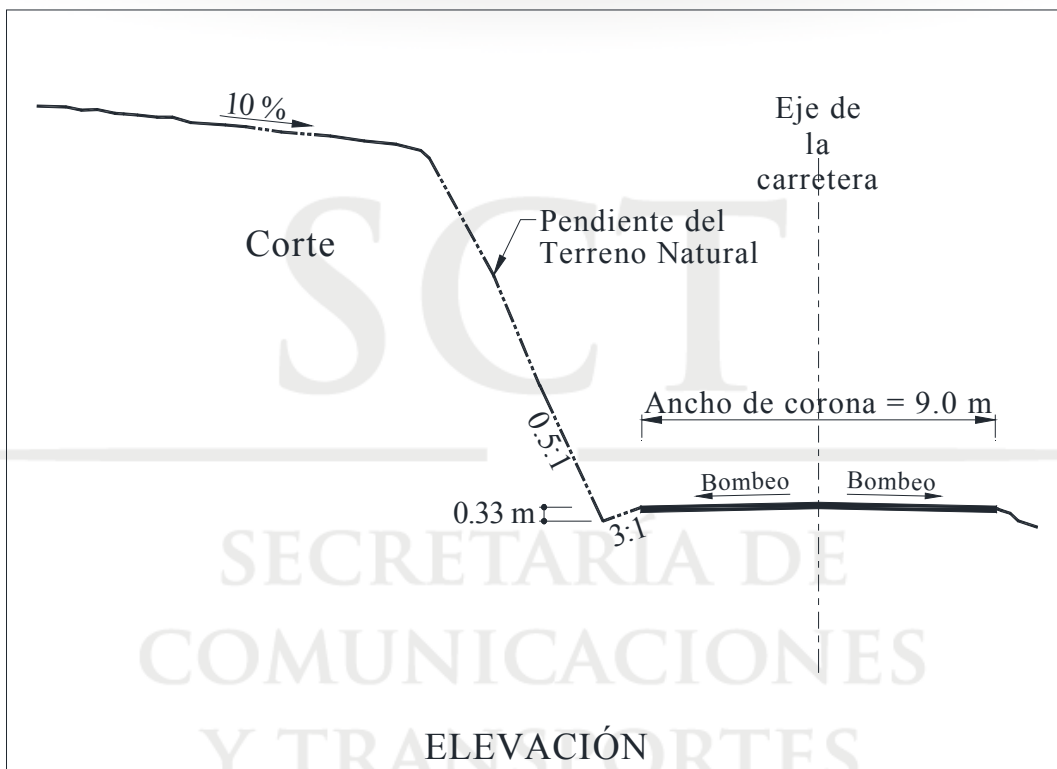
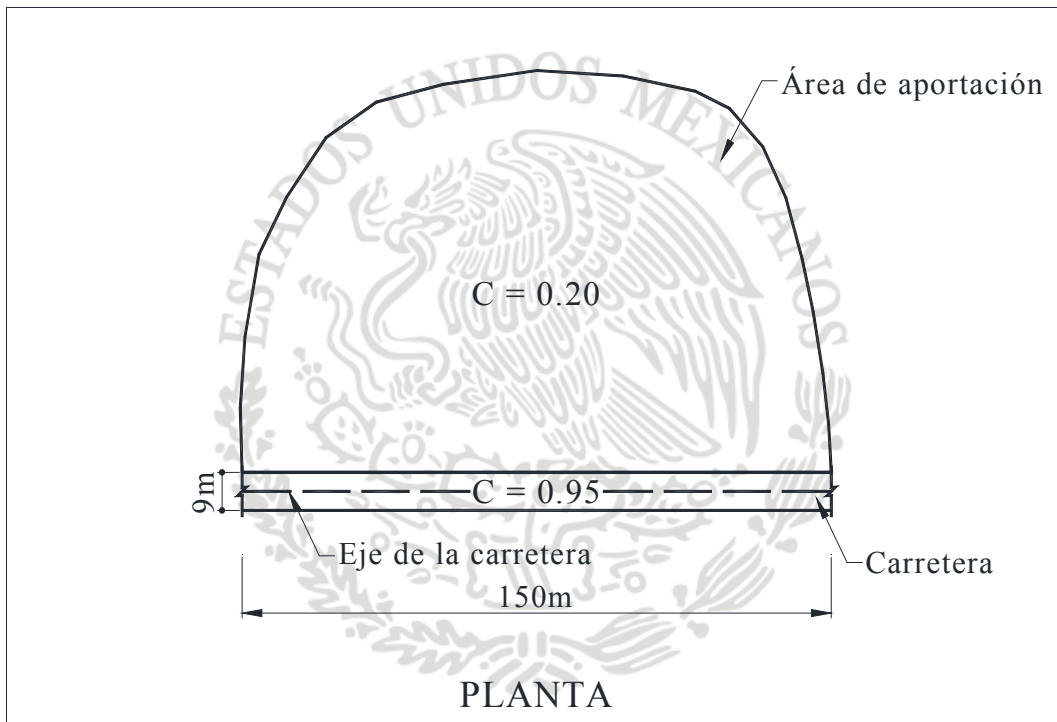


FIGURA 5.- Planta y elevación del área de aportación hidráulica a la cuneta

Donde:

$L$  = Longitud del escurrimiento, (km)

$S$  = Pendiente de cauce principal, (decimales)

**TABLA 1.- Cálculo del coeficiente de escurrimiento**

| Tipo de superficie     | Área Km <sup>2</sup> | Fracción del área total | Coeficiente | Coeficiente ponderado |
|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|
| Suelo arenoso empinado | 0,01213              | 0,93                    | 0,20        | 0,186                 |
| Pavimento asfáltico    | 0,00087              | 0,07                    | 0,95        | 0,074                 |
|                        | 0,0130               | 1,00                    |             | 0,26                  |

$C = 0,26$

Área de la cuenca

$A = 0,013 \text{ Km}^2$

Tiempo de concentración

$L = 0,095 \text{ Km}$

$S = 0,10$

$$tc = 0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} = 0,026 \text{ h} = 2 \text{ min}$$

Intensidad de lluvia obtenida de las isoyetas de intensidad-duración-periodo de retorno, publicadas por la Secretaría.

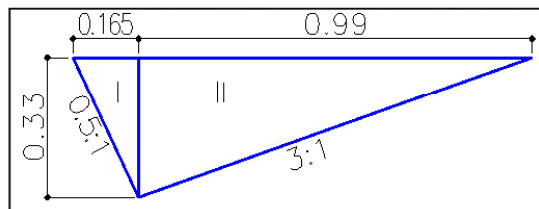
$I = 150 \text{ mm/h}$  Para un periodo de retorno de 25 años.

Cálculo del gasto.

$Q = 0,278 CIA = 0,141 \text{ m}^3/\text{s}$

Determinación de la capacidad hidráulica de la cuneta, aplicando la fórmula de Manning.

Cálculo del área hidráulica.



ÁREA TOTAL =  $0,1906 \text{ m}^2$

Cálculo del perímetro mojado.

$$P = 1,413 \text{ m}$$

Cálculo del radio hidráulico.

$$R = A / P = 0,135 \text{ m}$$

Pendiente.

$$S = 0,005$$

Coeficiente de rugosidad.

$$n = 0,016$$

Cálculo de la velocidad.

Aplicando la fórmula de Manning.

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

Donde:

$v$  = Velocidad media del flujo (m/s)

$R$  = Radio hidráulico (m)

$S$  = Pendiente (decimales)

$v$  = 1,163 m/s

Cálculo del gasto.

$$Q = Av = 0,222 \text{ m}^3/\text{s}$$

Conclusión:

Puesto que la capacidad de la cuneta es mayor que el gasto generado por el área de aportación, las dimensiones mínimas asignadas son suficientes y no se requiere ninguna obra de alivio intermedia.

### F.2.2. Ejemplo

Una carretera ubicada en zona costera cuenta con tres carriles por sentido y tiene un tramo de 300 m de longitud en corte. La cuneta de uno de los bordes de la carretera drenará un área de aportación de aguas pluviales de 3,1 ha (0,031 km<sup>2</sup>), con un coeficiente  $C$  ponderado para la fórmula Racional de 0,30. El tiempo de concentración es de 8 min y la correspondiente intensidad para un periodo de retorno de 25 años, es de 160 mm/h.

La pendiente longitudinal de la carretera y de la cuneta, de dimensiones mínimas, es de 0,5%. El talud de la cuneta del lado del corte es de 0,5:1. Determinar si la cuneta es suficiente para drenar el gasto de diseño.

Solución.

$$Q = 0,278 \text{ CIA} = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por otro lado, al efectuar cálculos similares a los del ejemplo anterior, se obtiene que la capacidad de la cuneta es de 0,22 m<sup>3</sup>/s.



Al ser el gasto de diseño mucho mayor que la capacidad de la cuneta, ésta no es suficiente para drenar dicho gasto.

Así, existen tres opciones:

- Aumentar las dimensiones de la cuneta para proporcionarle mayor capacidad.
- Construir una obra de alivio para la cuneta, que descargue el caudal en forma transversal al eje longitudinal de la carretera.
- Construir una contracuneta que capte el caudal proveniente de la ladera ubicada aguas arriba del corte, que representa el 60% del caudal total que recibe la cuneta.

En este caso ilustrativo, por razones geotécnicas, se decide descartar la tercera opción. Por razones geométricas y de seguridad, se desecha la primera opción.

Así, se decide construir una obra de alivio, como se indica en la Figura 6 de este Manual, que de acuerdo con los cálculos hidrológicos e hidráulicos quedará ubicada en el centro del tramo en corte y drenar  $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$ , que es la capacidad de la cuneta. Para ello, bastaría un tubo con un diámetro de  $0,61 \text{ m}$ . Sin embargo, por razones de facilidad de limpieza y de mantenimiento, se decide colocar un tubo de concreto de  $0,91 \text{ m}$  de diámetro. En este ejemplo sólo se requiere una obra de alivio, ya que la cuneta tiene capacidad para conducir el gasto restante de  $0,42 \text{ m}^3/\text{s} - 0,22 \text{ m}^3/\text{s} = 0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

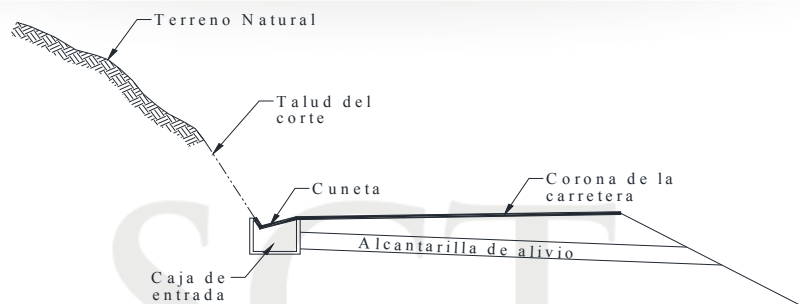


FIGURA 6.- Ilustra la sección de la carretera del ejemplo del Inciso F.2.2.

### F.3. BORDILLOS

Los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino, descargándola en los lavaderos (ver Fracción F.4. de este Manual), para evitar la erosión de los taludes de los terraplenes que estén conformados por material erosionable. Los bordillos pueden ser de concreto hidráulico, prefabricado o construido en el lugar, de concreto asfáltico o de suelo cemento. En todos los casos los bordillos se considerarán obras provisionales en tanto el talud se vegete y se proteja por sí mismo o sea protegido mediante algún procedimiento, momento en que serán removidos y retirados.

Como se indica en la Cláusula G. de la Norma N-CTR-CAR-1-03-007, *Bordillos*, estos sólo se construirán en los terraplenes mayores de  $1,5 \text{ m}$  de altura, y se ubicarán longitudinalmente en ambos lados en los terraplenes que se encuentren en tangente, mientras que en curvas horizontales se ubicarán sólo en el acotamiento interno. Los bordillos se colocarán en el lado exterior del acotamiento y a una distancia de  $20 \text{ cm}$  del hombro del camino. No se construirán bordillos y lavaderos en tramos de carretera con pendiente longitudinal igual que  $0,5\%$  o menor,

para evitar encharcamientos de agua que provocarían acuaplaneo, además de que serían nocivos para el pavimento.

El acuaplaneo es el fenómeno por el cual los neumáticos de los vehículos pierden contacto con la superficie de rodadura, a causa de la existencia en la misma de una lámina de agua que los neumáticos no son capaces de desalojar. Ello provoca la pérdida de tracción y del control del vehículo por parte del conductor, así como de la capacidad de frenado.

La descarga a los lavaderos será en los sitios en que los bordillos ya no tengan capacidad para retener el gasto de diseño sin ser sobrepasados por el agua; ello será definido en el análisis hidráulico por medio de la fórmula de Manning.

El gasto de diseño de los bordillos se obtendrá con el análisis hidrológico, considerando que el área de aportación será la corona de la carretera, de acuerdo con las siguientes situaciones:

- a) En tramos en tangente, el parteaguas del área de aportación será el eje de la carretera si ésta es de dos carriles o si es de más de dos carriles en terraplén, con camellón amplio (ver Figura 2).
- b) En tramos en tangente con más de dos carriles, separados por un camellón angosto o barrera central, o en tramos curvos, el parteaguas será el hombro opuesto al de los bordillos.

Con el fin de evitar en lo posible el acuaplaneo, cuando se trate de tramos en tangente, el tirante en el sitio en que pasa la llanta más cercana al bordillo, será de la magnitud que se señala a continuación:

- Si se trata de una carretera de dos carriles con un ancho de acotamiento de 0,5 m, el tirante en el sitio en que pasa la llanta más cercana al bordillo será de 0,01 m como máximo, lo que significa que el tirante máximo en el bordillo será de 0,033 m.
- Si la carretera es de 2 carriles con un ancho de acotamiento de 1,0 m, el tirante en el sitio en que pasa la llanta más cercana al bordillo será también de 0,01 m como máximo, con lo que el tirante máximo en el bordillo será de 0,043 m.
- Si la carretera es de 2 carriles con un ancho de acotamiento de 2,5 m o si es de 2 o más carriles en un solo sentido, con un ancho de acotamiento de 2,5 m, el tirante en el sitio en que pasa la llanta más cercana al bordillo, será de 0,005 m como máximo, lo que significa que el tirante máximo del bordillo será de 0,068 m.

Los tirantes máximos en los bordillos son útiles para determinar su capacidad hidráulica, misma que sirve para definir la separación que requiere haber entre lavaderos contiguos. Así mismo, los 3 valores máximos del tirante en los bordillos mencionados en los párrafos anteriores, a saber, 0,033 m, 0,043 m y 0,068 m, permiten definir que la altura máxima de los bordillos en cualquier tipo de carretera, sea de 0,10 m.

Así, en la Tabla 2 se muestran los espaciamientos o separaciones que tendrán entre sí los lavaderos contiguos que drenan el flujo que llega por los bordillos. Para construir esta Tabla se consideró un periodo de retorno de 25 años; una intensidad de lluvia para 5 min de duración, y se eligió un valor de 300 mm/h que es de los más altos del país para dicha duración. El área de aportación fue variable, en función de la longitud del tramo, del número de carriles y de los anchos de acotamientos. Las pendientes también fueron variables.

**TABLA 2.- Separación entre lavaderos contiguos en tramos en tangente**

| Carreteras de dos carriles, en tangente |                        |                 |                             |                 |                             |                 |                             |  |
|---|------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|--|
| Pendiente (S) y Separación (m)          | Ancho de Acotamiento m |                 | 0,5                         |                 | 1,0                         |                 | 2,50                        |  |
|   | Pendiente              | $S \geq 5,0 \%$ | $0,5 \% \leq S \leq 5,0 \%$ | $S \geq 3,0 \%$ | $0,5 \% \leq S \leq 3,0 \%$ | $S \geq 1,0 \%$ | $0,5 \% \leq S \leq 1,0 \%$ |  |
| Separación                              | 75,0                   | 50,0            | 100,0                       | 30,0            | 150,0                       | 100,0           |                             |  |
| Dos carriles por sentido, en tangente   |                        |                 |                             |                 |                             |                 |                             |  |
| Pendiente (S) y Separación (m)          | Ancho de Acotamiento m |                 | 2,50                        |                 |                             |                 |                             |  |
|   | Pendiente              | $S \geq 3,0 \%$ | $0,5 \% \leq S \leq 3,0 \%$ |                 |                             |                 |                             |  |
| Separación                              | 100,0                  | 50,0            |                             |                 |                             |                 |                             |  |
| Tres carriles por sentido, en tangente  |                        |                 |                             |                 |                             |                 |                             |  |
| Pendiente (S) y Separación (m)          | Ancho de Acotamiento m |                 | 2,50                        |                 |                             |                 |                             |  |
|   | Pendiente              | $S \geq 2,0 \%$ | $0,5 \% \leq S \leq 2,0 \%$ |                 |                             |                 |                             |  |
| Separación                              | 75,0                   | 50,0            |                             |                 |                             |                 |                             |  |

Para el caso de tramos en curva, debido a que se superponen el bombeo y la sobreelevación necesaria, las áreas de aportación de agua cambian respecto de las correspondientes a tramos en tangente. En la Tabla 3 se muestran las separaciones que tendrán entre sí los lavaderos contiguos, bajo la consideración de que cuando se trate de carreteras con 2 ó más carriles por sentido, se contará con colectores a base de canaletas bajo la barrera central, como se indica en el inciso F.7.1. de este Manual. Dichas separaciones son función del número de carriles, de los anchos de los acotamientos, de la sobreelevación máxima en curva ( $S_b$ ) y de la pendiente longitudinal (S).

**TABLA 3.- Separación entre lavaderos contiguos en tramos curvos**

| Carretera de dos carriles en ambos sentidos o en un solo sentido |   |                              |                            |          |                     |
|--|---|------------------------------|----------------------------|----------|---------------------|
| Ancho de Acotamiento<br>m  | 0,5   |                              | 1,0                        |          | 2,50                |
|  | Sobreelevación (S <sub>b</sub> ), Pendiente longitudinal (S) y Separación     |                              |                            |          |                     |
| Sobreelevación (S <sub>b</sub> )                                 | 2% < S <sub>b</sub> ≤ 3%  |                              |                            |          | S <sub>b</sub> > 2% |
| Pendiente longitudinal   | 0,5 % ≤ S < 1,5   | S ≥ 1,5 %                    | 0,5 % ≤ S < 1,0%           | S ≥ 1,0% | S ≥ 0,5%            |
| Separación   | 30 m  | 50 m                         | 50 m                       | 75 m     | 100 m               |
| Ancho de Acotamiento<br>m  | 0,5   |                              | 1,0                        |          |                     |
|  | Sobreelevación (S <sub>b</sub> ), Pendiente longitudinal (S) y Separación (m) |                              |                            |          |                     |
| Sobreelevación (S <sub>b</sub> )                                 | 4%  |                              |                            |          |                     |
| Pendiente longitudinal   | 0,5 ≤ S ≤ 1,0%  | S > 1,0%                     | S ≥ 0,5%                   |          |                     |
| Separación   | 50 m  | 75 m                         | 100 m                      |          |                     |
| Ancho de Acotamiento<br>m  | 0,5   |                              | 1,0                        |          |                     |
|  | Sobreelevación (S <sub>b</sub> ), Pendiente longitudinal (S) y Separación (m) |                              |                            |          |                     |
| Sobreelevación (S <sub>b</sub> )                                 | 5%  |                              |                            |          |                     |
| Pendiente longitudinal   | 0,5 ≤ S < 1,0%  | S ≥ 1,0 %                    | S ≥ 0,5%                   |          |                     |
| Separación   | 75 m  | 100 m                        | 150 m                      |          |                     |
| Ancho de Acotamiento<br>m  | 0,5   |                              | 1,0                        |          |                     |
|  | Sobreelevación (S <sub>b</sub> ), Pendiente longitudinal (S) y Separación (m) |                              |                            |          |                     |
| Sobreelevación (S <sub>b</sub> )                                 | 6 %   |                              | 6% ≤ S <sub>b</sub> ≤ 10 % |          |                     |
| Pendiente longitudinal   | 0,5 % ≤ S < 1,0%  | S ≥ 1,0 %                    | S ≥ 0,5%                   |          |                     |
| Separación   | 100 m   | 150 m                        | 200 m                      |          |                     |
| Ancho de Acotamiento<br>m  | 0,5   |                              |                            |          |                     |
|  | Sobreelevación (S <sub>b</sub> ), Pendiente longitudinal (S) y Separación (m) |                              |                            |          |                     |
| Sobreelevación (S <sub>b</sub> )                                 | 7% ≤ S <sub>b</sub> ≤ 10%   |                              |                            |          |                     |
| Pendiente longitudinal   | S ≥ 0,5%  |                              |                            |          |                     |
| Separación   | 150 m   |                              |                            |          |                     |
| Carretera de tres carriles por sentido                           |   |                              |                            |          |                     |
| Ancho de Acotamiento<br>m  | 2,50  |                              |                            |          |                     |
|  | Sobreelevación (S <sub>b</sub> ), Pendiente longitudinal (S) y Separación (m) |                              |                            |          |                     |
| Sobreelevación (S <sub>b</sub> )                                 | 2,0% < S <sub>b</sub> < 3,0%  | 2,0% < S <sub>b</sub> < 3,0% | S <sub>b</sub> ≥ 3,0%      |          |                     |
| Pendiente longitudinal   | 0,5% < S < 2,0%   | S ≥ 2,0%                     | S ≥ 0,5%                   |          |                     |
| Separación   | 50 m  | 75 m                         | 100 m                      |          |                     |

A continuación, se presenta como ejemplo de los cálculos que conducen a los valores establecidos en la Tabla 2, el caso de un tramo carretero en tangente, de 2 carriles con un acotamiento de 2,5 m.

**F.3.1. Ejemplo**

Determinar, en función de la pendiente longitudinal, la separación que tendrán los lavaderos contiguos, para el caso de una carretera en tangente, 2 carriles de circulación y un acotamiento de 2,5 m. El tirante máximo en el sitio en que pasa la llanta más cercana al bordillo será de 0,005 m. Considérese una intensidad de lluvia de 250 mm/h (Tapachula, Chiapas), para una duración de 5 min y un período de retorno de 25 años; un coeficiente  $C=0,95$  para la fórmula Racional (pavimento asfáltico), y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,016.

Solución.

Cálculo de gastos hidrológicos:

Considerando primeramente un tramo de 200 m de longitud, resulta un área de aportación de  $200 \text{ m} \times 5,8 \text{ m} = 1160 \text{ m}^2 = 0,00116 \text{ km}^2$ . El valor 5,8 m resulta de considerar un ancho de aportación de 3,5 m (ancho de un carril) + 2,3 m (2,5 m de acotamiento menos 0,20 m, que es la separación entre el bordillo y el hombro del camino. (Ver Figura 7).

Si el tramo es de 200 m de longitud,  $Q = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si el tramo es de 150 m de longitud,  $Q = 0,058 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si el tramo es de 100 m de longitud,  $Q = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Cálculo de capacidades hidráulicas de los bordillos:

Aplicando la fórmula de Manning, de acuerdo con la Figura 7:

$$A_h = \frac{T y}{2}; \quad P = T + y \approx T; \quad R_h = \frac{T y / 2}{T} = \frac{y}{2}.$$

$$R_h^{2/3} = 0,63 y^{2/3} \Rightarrow A R_h^{2/3} = \frac{T y}{2} (0,63 y^{2/3}) = 0,315 T y^{5/3}.$$

$$\text{Pero } T = \frac{y}{0,02} \Rightarrow A R_h^{2/3} = 15,75 y^{8/3}.$$

$$\text{Además, } A_h R_h^{2/3} = \frac{Q n}{S^{1/2}} = 15,75 y^{8/3}.$$

$$Q = \frac{15,75 y^{8/3} S^{1/2}}{n}, \text{ considerando } n=0,016 :$$

$$Q = 984,4 y^{8/3} S^{1/2}.$$

Para nuestro caso, el tirante máximo en el bordillo es de 0,068 m, como se indica en la Figura 7 de este Manual.

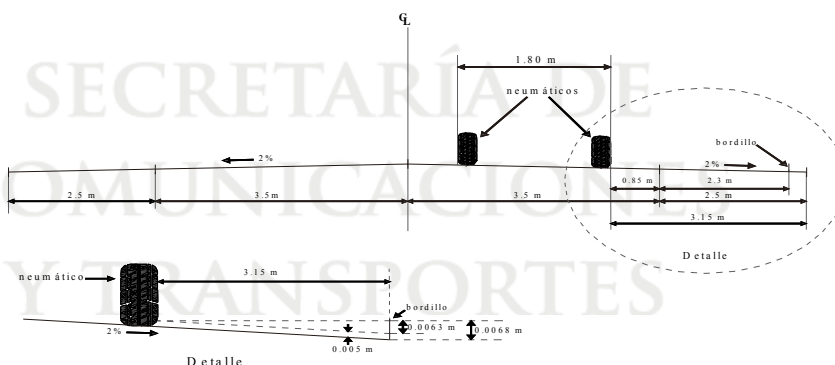


FIGURA 7.- Bordillos y su capacidad hidráulica

Entonces  $Q = 984,4 (0,068)^{8/3} S^{1/2} = 0,7583 S^{1/2}$

Para  $S = 7 \%$ ,  $Q = 0,200 \text{ m}^3/\text{s}$

$S = 6 \%$ ,  $Q = 0,186 \text{ m}^3/\text{s}$

$S = 5 \%$ ,  $Q = 0,170 \text{ m}^3/\text{s}$

$S = 3 \%$ ,  $Q = 0,131 \text{ m}^3/\text{s}$

$S = 1 \%$ ,  $Q = 0,076 \text{ m}^3/\text{s}$

$S = 5 \%$ ,  $Q = 0,054 \text{ m}^3/\text{s}$

Cálculo de la capacidad del lavadero trabajando como vertedor.

Se supone que el ancho de entrada del vertedor ( $b = 2,5 \text{ m}$ ) trabajará con una carga de  $0,068 \text{ m}$ , que es el tirante máximo en el bordillo; se asume un coeficiente de descarga del vertedor,  $C = 1,85$ .

La fórmula para calcular el gasto que pasa a través de un vertedor es

$$Q = Cbh^{1,5} \quad (2)$$

Donde:

$C$  = coeficiente de descarga, ( $\text{m}^{0,5}/\text{s}$ )

$b$  = Ancho del vertedor (m)

$h$  = Carga hidráulica sobre la cresta del vertedor en m

$Q = Cbh^{1,5} = 0,082 \text{ m}^3/\text{s}$

Comparando los gastos hidrológicos, las capacidades de los bordillos y la capacidad del lavadero como vertedor, se puede establecer que para una pendiente longitudinal de la carretera igual que 3% o mayor, la separación entre lavaderos contiguos sea de 200 m, y que cuando la pendiente longitudinal fluctúe entre el 0,5% y el 3%, la separación sea de 100 m, es decir:

**TABLA 4.- Separación entre lavaderos en función de la pendiente longitudinal de la carretera, Ejemplo del Inciso F.3.1**

| Pendiente longitudinal<br>% | Separación entre lavaderos<br>m |
|-----------------------------|---------------------------------|
| $S \geq 3$                  | 200                             |
| $0,5 \leq S < 3$            | 100                             |

A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, los bordillos tendrán forma trapezoidal con base inferior de 16 cm, base superior de 8 cm y altura de 10 cm sobre la superficie de rodadura, como se indica en la Figura 8 de este Manual.



FIGURA 8.- Sección transversal de un bordillo

**F.3.2. Ejemplo**

Una carretera de 12 m de ancho de corona ubicada en alguna región en que la intensidad de lluvia asociada a una duración de 8 minutos y a un período de retorno de 25 años, es de 255 mm/h, cuenta con dos carriles y con acotamientos de 2,5 m. Estimar el gasto para un período de retorno de 25 años, generado por la lluvia en un tramo de 200 m de longitud en terraplén y en tangente, que será drenado por el bordillo correspondiente. La pendiente longitudinal del tramo es de 0,6%. Estimar también el tirante máximo que se generaría en el bordillo si no hubiera ningún lavadero.

Solución.

a) Estimación del gasto

Se aplicará la fórmula del método Racional para estimar el gasto, y la fórmula de Manning para estimar el tirante máximo en el bordillo.

El área de aportación de agua de lluvia es el producto de la longitud del tramo, 200 m, por el ancho de la carretera que comprende desde su eje hasta el bordo, es decir, 3,5 m + 2,3 m (3,5 m es el ancho del carril + 2,5 m – 0,20 m, ancho del acotamiento menos los 0,20 m que hay del bordillo al hombro) = 5,8 m.

$$\text{Área de aportación} = 200 \times 5,8 = 0,00116 \text{ Km}^2.$$

$$t_c = \text{tiempo de concentración} = 0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}, \text{ (horas)}$$

$L$  = Longitud de escurrimiento, (Km)

$S$  = Pendiente, (decimales)

$$t_c = 0,137 \text{ h} = 8,25 \text{ min}$$

$$I = 255 \text{ mm/h}$$

$$Q = 0,078 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Estimación del tirante máximo en el bordillo

Sabemos que  $Q = \frac{A_h R_h^2 S^{1/2}}{n}$  (fórmula de Manning).

$$A_h R_h^{2/3} = \frac{Qn}{S^{1/2}}$$

$$A_h = \frac{T y}{2}; \quad P = T + y \approx T \quad (Y_b \ll T)$$

$$R_h = y/2 \Rightarrow R_h^{2/3} = 0,63 y^{2/3}$$

$$A_h R_h^{2/3} = \frac{T y}{2} (0,63 y^{2/3}) = 0,315 T y^{5/3}$$

$$T = y/0,02$$

$$A_h R_h^{2/3} = 15,75 y^{8/3}$$

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = 15,75 y^{8/3}$$

$$Q = \frac{15,75 y^{8/3} S^{1/2}}{n}; \quad \text{si } n=0.016 \text{ (carpeta asfáltica).}$$

$$Q = 984,4 y^{8/3} S^{1/2}$$

$$y = \left( \frac{Q}{9,84,45 S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$y = 0,076 \text{ m} = 7,6 \text{ cm}$$

#### F.4. LAVADEROS

Los lavaderos son canales que conducen y descargan el agua recolectada por los bordillos, cunetas, contracunetas y guarniciones, a lugares donde no cause daño a la estructura del pavimento. Los lavaderos pueden ser de mampostería, concreto hidráulico o metálicos.

Los lavaderos se construirán sobre el talud y a ambos lados de los terraplenes en tangente, de preferencia en las partes con menor altura; para terraplenes en curva horizontal se construirán sólo en el talud interno del terraplén, de preferencia en su parte más baja; también en las partes más bajas de las curvas verticales; en las salidas de las obras menores de drenaje que lo requieran; y en las secciones de corte en balcón en que se haya interceptado un escurrimiento natural.

En los taludes de los cortes, los lavaderos se utilizarán de tal manera que capturen el escurrimiento desde el punto superior y lo conduzcan hasta la parte inferior del corte, para descargarlo a una caja amortiguadora ubicada al pie del lavadero y conectada a una cuneta o a una alcantarilla que permita el paso del escurrimiento hacia aguas abajo.



Para el caso de terraplenes, los sitios en que se ubicarán los lavaderos, así como la distancia entre ellos, dependerán de la capacidad de drenaje que tengan los bordillos para conducir el gasto de diseño, lo cual será determinado con el análisis hidráulico.

En ningún caso se construirán bordillos y lavaderos cuando los tramos analizados tengan una pendiente longitudinal menor de 0,5%.

En general, para el caso de drenaje de bordillos, los lavaderos podrán tener una sección transversal rectangular; sus dimensiones dependen de la magnitud del gasto de diseño y se pueden obtener con la fórmula de Manning. Se tomará en cuenta que los lavaderos tendrán una pendiente fuerte o supercrítica, por lo que el flujo en ellos será siempre supercrítico. Por consiguiente, para su diseño se calculará primero el tirante crítico, según se indica en las Fracciones G.3, G.4. y G.5. del Manual M-PRY-CAR-4-01-002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*. Se dará al lavadero un ancho de 0,50 m.

Una vez obtenido el tirante crítico en el lavadero se podrá definir la profundidad del mismo, es decir, la altura de sus costados; el tirante en él será menor que el tirante crítico, ya que a su entrada se presentará el tirante crítico, o sea, el control será a la entrada del lavadero. Una medida práctica e ingenieril sería proporcionar al lavadero una profundidad mayor que el tirante crítico, ya que algún obstáculo imprevisto en su interior podría provocar un salto hidráulico, lo que aumentaría el tirante.

La entrada del flujo a los lavaderos será de 2,5 m. El umbral de entrada, como se indica en la Figura 9 de este Manual, tendrá forma trapezoidal con base superior de 2,5 m, base inferior de 0,50 m y altura de 0,50 m. El piso del umbral tendrá un talud transversal del 5%, es decir, con mayor pendiente que el bombeo de la superficie de rodadura en tramos en tangente, para hacer eficiente su descarga a la parte final del lavadero. La altura de los bordes de los lavaderos, desde que inicia el umbral y hasta la descarga en los ceros del terraplén, será de 0,25 m.

El lavadero tendrá una descarga apropiada que anule los efectos de erosión regresiva en su pie, como se indica en la Fracción F.2. de este Manual.

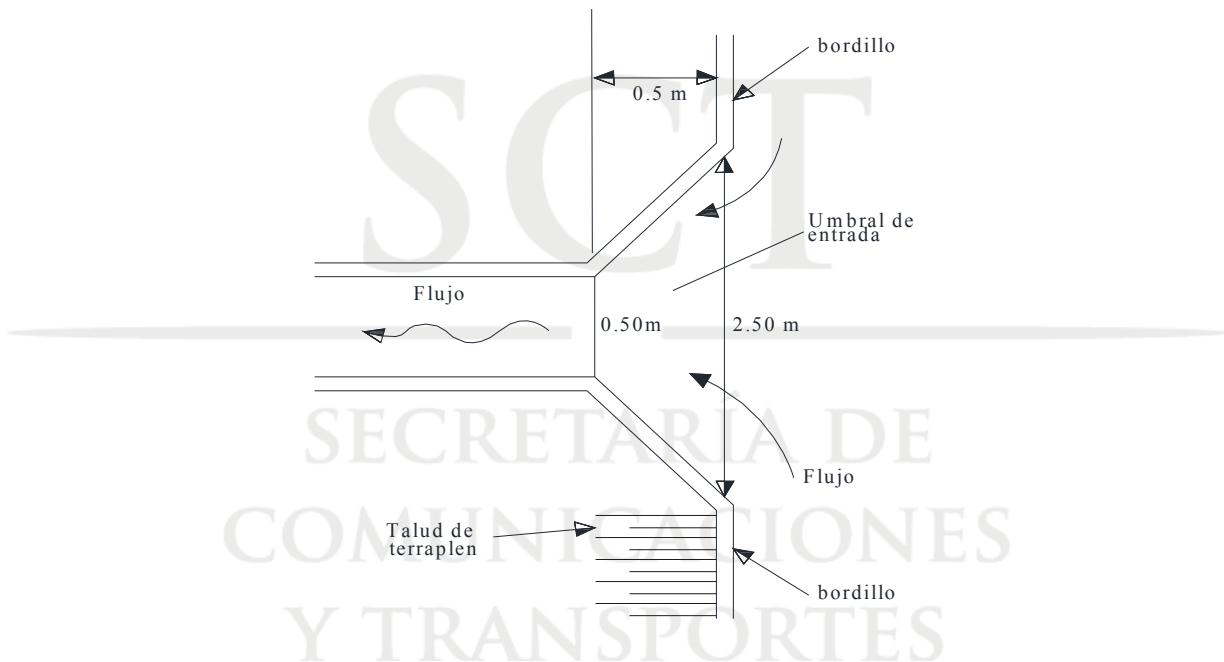


FIGURA 9.- Sección transversal de un bordillo

**F.4.1. Ejemplo**

Determinar la altura de los costados de la parte final (después del umbral) de un lavadero que desfogará el gasto proveniente de un bordillo de 200 m de longitud, en tangente. Se trata de una carretera de dos carriles con acotamientos de 2,5 m de ancho. La pendiente longitudinal de la carretera es de 1,5%.

Solución.

Se procederá como se indica en la Fracción G.4. del Manual M-PRY-CAR-4-01-002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*.

Obtención del gasto de diseño:

Se aplicará el método Racional,  $Q = 0,278 \text{ CIA}$ .

El área de aportación de agua de lluvia es de  $200 \text{ m} \times 5,8 \text{ m} = 00,00116 \text{ km}^2$ , como se indica en la Figura 10 de este Manual.

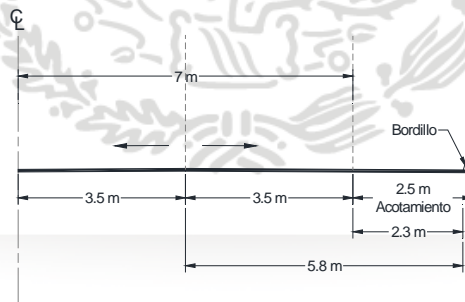


FIGURA 10.- Ilustración de las dimensiones de las franjas de carretera del ejemplo del Inciso F.4.1.

$C = 0,95$  (carpeta asfáltica).

Para el tiempo de concentración se aplicará la fórmula de Kirpich,  $t_c = 0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$

$t_c = 5,8 \text{ min}$

$I = 250 \text{ mm/h}$  (en Iguala, Gro, para un periodo de retorno de 25 años)

$Q = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}$

Para obtener el tirante normal en el bordillo, consideremos la ecuación de Manning,  $v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

$$A_h = \frac{T y_b}{2} ; P = T + y_b \approx T.$$

$$R_h = \frac{y_b}{2} ; R_h^{2/3} = 0,63 y_b^{2/3}.$$

$$A_h R_h^{2/3} = 0,315 y_b^{5/3} T.$$

Además, por el bombeo del 2%,  $T = \frac{y_b}{0,02}$ .

$$\therefore A_h R_h^{2/3} = 0,1575 y_b^{8/3}.$$

$$\text{Puesto que } A_h R_h^{2/3} = \frac{Qn}{S^{1/2}}.$$

$$\therefore Q = \frac{15,75 y_b^{8/3} S^{1/2}}{n}.$$

Considerando  $n = 0,016$  (para carpeta asfáltica),

$$Q = 984,4 y_b^{8/3} S^{1/2}.$$

$$\therefore y_b = \left( \frac{Q}{984,4 S^{1/2}} \right)^{3/8}.$$

Sustituyendo  $Q$  y  $S$  por sus valores,

$$y_b = 0,063 \text{ m.}$$

Se obtendrá ahora el tirante crítico en la sección rectangular del lavadero:

$$Q = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Q/\sqrt{g} = Z = 0,0246; \quad b = 0,5 \text{ m.}$$

$$Z/b^{2,5} = 0,139.$$

$$y_c/b = 0,27, \quad y_c = 0,14 \text{ m.}$$

$$v_c = \frac{Q}{by_c} = 1,10 \text{ m/s.}$$

Dado que el tirante a la entrada del umbral del lavadero será igual a 0,063 m, y después del umbral será cuando más de 0,14 m (tirante crítico) al inicio de la sección rectangular del lavadero, el tirante en su interior será menor que este valor, ya que el flujo siempre será supercrítico; sin embargo, por las razones comentadas en la Fracción F.7. de este Manual convendrá que la altura de los costados del lavadero sea de por lo menos 0,20 m, desde el inicio del umbral del mismo, hasta su descarga final.

## F.5. CONTRACUNETAS

Las contracunetas son zanjas o bordos que se construyen en las laderas localizadas aguas arriba de los taludes de los cortes, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del terreno natural, y conducirla a una cañada inmediata o a una parte baja del terreno, para evitar el saturamiento hidráulico de la cuneta y el deslave o erosión del corte.

La contracuneta se ubicará a una distancia mínima de 5 m del cero del corte, a menos que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa. Su desarrollo será sensiblemente paralelo al eje de la carretera, transversal al escurrimiento de la ladera. En laderas con una inclinación mayor de 30°, es decir, con una pendiente de más del 58% la contracuneta se conformará siguiendo la tendencia general de las curvas de nivel para evitar que tenga pendientes mayores de 20%, aunque se procurará que su pendiente sea por lo menos del 1%, para propiciar una salida rápida del agua y evitar su filtración en el cuerpo del talud.

Las contracunetas no serán muy profundas, ya que la superficie potencial de falla del talud se origina en su fondo; además, en las zonas superiores del talud del corte son frecuentes los

esfuerzos de tensión, que facilitan la formación de grietas. Así, las contracunetas serán impermeabilizadas, recubriéndolas con concreto, mampostería, suelo cemento o suelo asfalto, a menos que estén en material rocoso, en cuyo caso no requieren ser recubiertas.

A menos que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, la zanja iniciará con una sección trapezoidal con una profundidad de 20 cm hasta obtener la sección establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, si la contracuneta va a funcionar como canal como se indica en la Figura 11 de este Manual. Si va a funcionar como bordo, se hará la excavación aguas abajo para formar el bordo aguas arriba, a fin de evitar que el terreno pueda derrumbarse y afectar al bordo. La longitud de la contracuneta será la suficiente para conducir el agua desde el parteaguas hasta su desembocadura, que generalmente es en el fondo de algún cauce natural o en un terreno bajo, como se indica en la Figura 12 de este Manual.

Si las contracunetas no son revestidas, sus remates a ambos lados de los cortes requieren estar provistos de lavaderos, para neutralizar el mayor poder erosivo del agua provocado por el aumento de la pendiente. La unión entre la contracuneta y el lavadero está expuesta a que el agua se introduzca abajo del lavadero, erosione y disminuya la sustentación de éste, con riesgo de falla. Para evitar esta posibilidad, la unión será traslapada para evitar la filtración del agua y el lavadero contará con un dentellón de entrada que lo proteja del efecto de filtración; dicho dentellón tendrá una profundidad de 50 cm. La descarga final de las contracunetas, cuenten o no con lavaderos, podrá ser dotada de alguna protección contra la erosión del material existente en el sitio de descarga, a base de enrocamiento, tal como se menciona en la Fracciones F.2. y F.4. de este Manual.

Las contracunetas de zanja pueden estar recubiertas o no, y los bordos pueden ser de tierra, de concreto o de suelo – cemento.

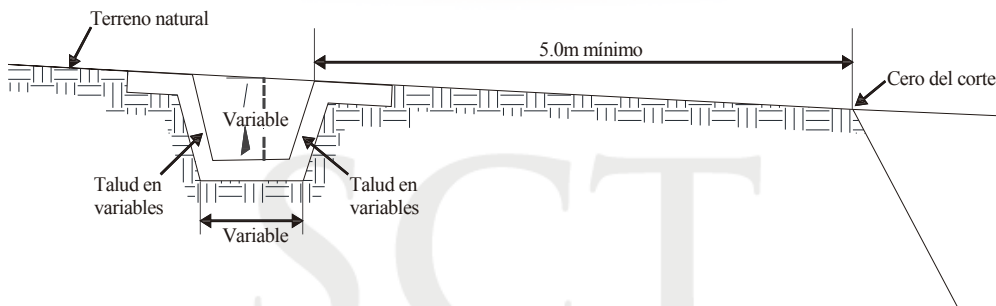


FIGURA 11.- Sección tipo de contracuneta – canal

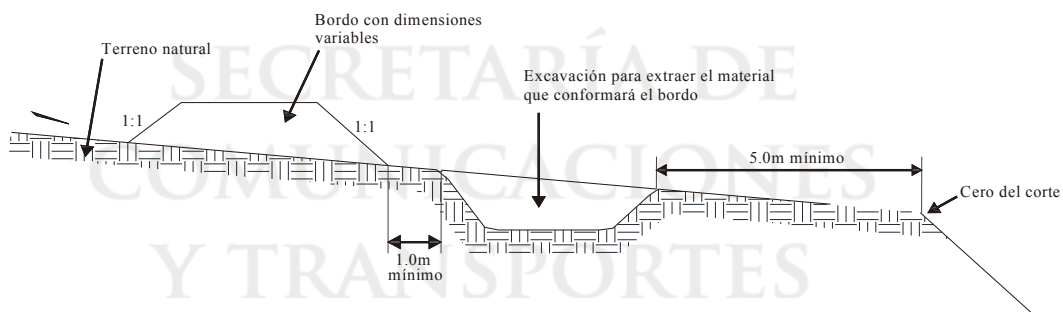


FIGURA 12.- Sección tipo de contracuneta – bordo

**F.5.1. Ejemplo**

Se realizará un corte de 80 m de longitud con una altura máxima de 12 m en un tramo en tangente, para alojar una carretera de 12 m de ancho de corona, con 2 carriles de 3,5 m cada uno, acotamientos de 2,5 m y una pendiente longitudinal del 2%. Aguas arriba del corte el terreno va ascendiendo hasta una distancia de 350 m de los ceros del corte, alcanzando el parteaguas una elevación superior en 20 m a la del cero más alto del corte.

Diseñar la sección de una contracuneta que intercepte el flujo generado por un área de aportación de 3,0 hectáreas entre la contracuneta y el parteaguas. La contracuneta tendrá un desarrollo de 85 m y en sus remates contará con sendos lavaderos de concreto para evitar la erosión debida al aumento de pendiente. En su parte superior y antes de llegar a los lavaderos, la contracuneta tendrá una pendiente media del 1,5%.

Analizar también si la cuneta de dimensiones mínimas mencionada en la Fracción F.2. de este Manual, es suficiente para drenar el caudal que le llegaría del área de aportación mencionada, más el caudal que le aportaría la superficie de rodadura, que tiene un área de aportación de 700 m<sup>2</sup>.

Solución.

Cálculo del gasto aportado por el área existente aguas arriba del corte:

Se aplicará la fórmula del método Racional.

Datos:

$$A = \text{Área de aportación} = 3,0 \text{ ha} = 0,03 \text{ km}^2$$

$C$  = Coeficiente de escurrimiento = 0,30 (suelo con pasto y poca vegetación, arcilloso y empinado).

$S$  = Pendiente media del área de aportación = 5,7%.

$L$  = Longitud máxima de escurrimiento = 400 m.

Aplicando el método de Kirpich para estimar el tiempo de concentración  $t_c$ .

$$t_c = 0.0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}},$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración, (h)

$L$  = en km

$S$  = en decimales

$t_c$  = 5,9 min

De acuerdo con las Isoyetas de intensidad de lluvia – duración – periodo de retorno publicadas por la Secretaría,  $I = 200 \text{ mm / h}$  (en las cercanías de Quiotepec, Oax.),

Para un periodo de retorno de 25 años.

$$\text{Así, } Q = 0,278 \text{ CIA} = 0,500 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculo de las dimensiones de la contracuneta

Se aplicará la fórmula de Manning.

La contracuneta no será profunda, a fin de no generar una superficie potencial de falla. Se procederá por tanteos para obtener sus dimensiones.

Primer tanteo:

Sea el ancho  $b = 1,0$  m y la profundidad  $h = 0,40$  m, considerando sección rectangular.

Sea  $y = 0,30$  m para dejar un bordo libre de  $0,10$  m.

Así,  $A_h = 0,30 \text{ m}^2$ , perímetro mojado =  $1,60$  m, y radio hidráulico =  $0,1875$ .

$n =$  coeficiente de rugosidad =  $0,020$  (concreto sin acabado).

$S = 1,5\%$

$v = 2,00$  m/s

$Q = 0,600 \text{ m}^3/\text{s} > 0,500 \text{ m}^3/\text{s}$

Así, las dimensiones de la contracuneta podrán ser de  $1,0$  m de ancho y una profundidad de  $0,40$  m, con forma rectangular. Su pendiente será de  $1,5\%$ .

Analizar si la cuneta de dimensiones mínimas es suficiente para drenar el caudal anterior, más el generado por la superficie de rodadura.

Como ya se vio en el Inciso F.2.1. de este Manual, el área hidráulica de la cuneta de las dimensiones mínimas es de  $0,1906 \text{ m}^2$  y su radio hidráulico es de  $0,135$  m.

La pendiente  $S = 0,02$ .

$n = 0,016$  (concreto acabado con llana de madera).

$v = 2,32$  m/s

$Q = 0,443 \text{ m}^3/\text{s}$

Por lo tanto, la cuneta no es suficiente para drenar siquiera el caudal generado por el área de aportación situada aguas arriba de la contracuneta, entre ésta y el parteaguas. Además, aunque fuera suficiente para drenar todo el caudal que le llegase de aguas arriba del corte y de la superficie de rodadura, sería conveniente construir la contracuneta para evitar la erosión que sufriría el talud del corte.

## F.6. OBRAS DE ALIVIO

Las obras de alivio son aquellas obras auxiliares que se utilizan para drenar caudales provenientes de diversas obras complementarias de drenaje como las cunetas, contracunetas y lavaderos. También pueden utilizarse para desfogar a través de la carretera los gastos provenientes de obras de subdrenaje y aun para desfogar gastos relativamente pequeños, provenientes de derrames de ríos o arroyos que no alcanzan a reconocer hacia algún puente u obra menor de drenaje. Así mismo, son obras de alivio aquellas que se utilizan para drenar a través y por debajo de la superficie de rodadura, las aguas que llegan a acumularse del lado de aguas arriba de la carretera, mismas que tienen un área de aportación muy pequeña que no puede determinarse por medios topográficos.

Cuando se trate de desfogar los caudales originados por desbordamientos de corrientes naturales drenadas por la misma carretera con estructuras mayores (puentes), las obras de alivio serán analizadas hidrológica e hidráulicamente considerando los mismos periodos de retorno que se asignaron a las avenidas para las que fueron diseñados los puentes correspondientes.

#### **F.6.1. Diseño hidráulico**

Las obras de alivio podrán diseñarse hidráulicamente con base en la previa determinación de los gastos que se requieren drenar. Para ello podrán aplicarse los criterios ya comentados tanto en la Cláusula H. del Manual M-PRY-CAR-4-01-002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*, como en la Cláusula E. de este Manual.

### **F.7. COLECTORES**

Los colectores son obras especiales de drenaje que se utilizan para recibir gastos de obras y de áreas de aportación diversas, conducirlos y desfogarlos a otras obras de drenaje o cauces existentes o también al terreno natural. Los principales colectores son:

#### **F.7.1. Drenes interceptores**

Cuando una carretera tiene dos o más carriles de cada lado de la barrera central (sin camellón o faja separadora central) y alguno de sus tramos está en curva, el caudal generado por la precipitación, que en tangente es drenado por los bordillos o cunetas, escurre hacia la barrera central y puede invadir los carriles del otro sentido de circulación, atravesando todo su ancho y sumándose al caudal que generan y envían al bordillo o cuneta correspondiente.

Esta situación puede ocasionar problemas de acuaplaneo que ya fueron mencionados en la Fracción F.3. de este Manual, por lo que se construye en el eje de simetría de la carretera, debajo o a un costado de la barrera central, un conducto o dren interceptor, como se indica en las Figuras 13 y 14 de este Manual, para recibir, conducir y eliminar las aguas superficiales hacia algún sitio conveniente que puede ser una obra de alivio o una obra menor de drenaje. Puede quedar abajo de la barrera central, si ésta tiene escotaduras, como se indica en la Figura 13 de este Manual, que permitan que el agua caiga en el dren interceptor, o bien, construirse a un costado de la barrera central, del lado de la zona en que el pavimento capta y conduce el agua hacia el eje de simetría de la carretera, como se indica en la Figura 14 de este Manual. En todos los casos, el dren interceptor contará en su parte superior, a ras de la superficie de la rodadura con una rejilla tipo Irwing que lo proteja de recibir basura.

Finalmente, el dren interceptor podrá descargar en una obra transversal de alivio que recoja, conduzca y elimine los caudales provenientes del dren interceptor.

Los drenes interceptores pueden ser construidos en el sitio, o ser prefabricados, y pueden estar constituidos de lámina metálica o de concreto.

Su diseño hidráulico se realizará en función del gasto que genere el área de aportación, de su pendiente longitudinal, de su geometría y dimensiones, y del material del que esté compuesto. Para ello podrá procederse aplicando la fórmula racional para estimar el gasto, y la fórmula de Manning para determinar las dimensiones de la canaleta. Cuando el dren interceptor llegue a su capacidad hidráulica de diseño, podrá construirse una obra de alivio transversal que elimine las aguas.

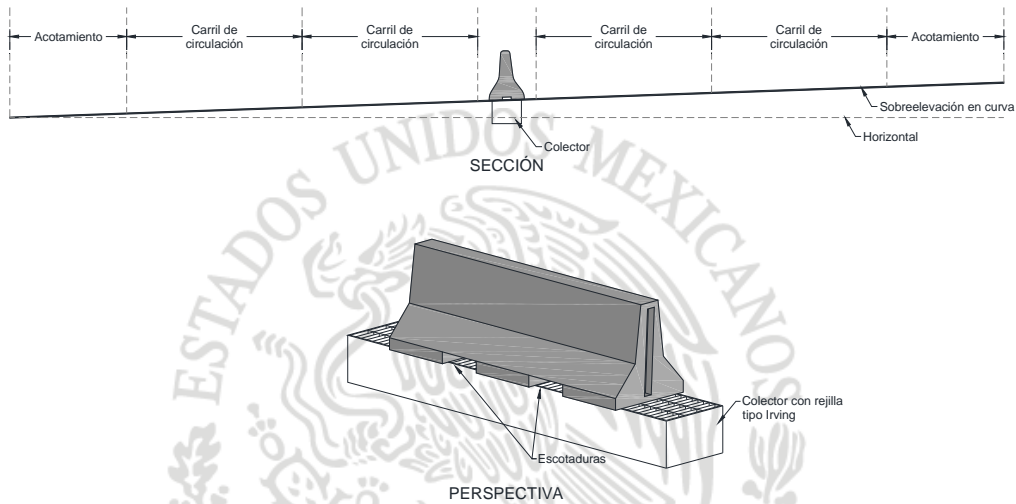


FIGURA 13.- Dren interceptor debajo de barrera central con escotaduras

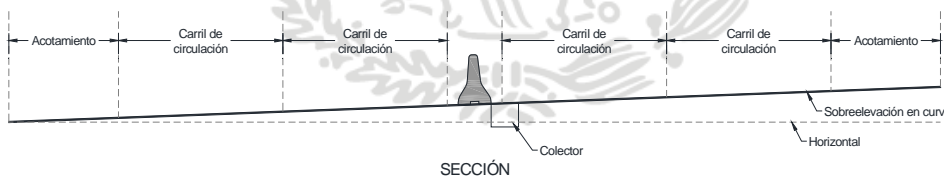


FIGURA 14.- Dren interceptor abajo de barrera central sin escotaduras

#### F.7.1.1. Ejemplo

Se requiere diseñar un dren interceptor que recibirá las aguas de dos carriles de 3,5 m cada uno, más las del acotamiento de 2,5 m, en un tramo curvo de 300 m de longitud con una pendiente longitudinal del 2%, en las proximidades de la ciudad de Martínez de la Torre, Ver. Determinar las dimensiones necesarias del dren interceptor, mismo que será construido abajo de la barrera central. El concreto de que estará constituido tiene un coeficiente de rugosidad  $n = 0,015$ .

Solución.

Cálculo del gasto, se aplicará la fórmula Racional,  $Q = 0,278 CIA$ .

El coeficiente de escurrimiento  $C = 0,95$  (pavimento asfáltico)

Área de aportación =  $A = 300 \text{ m} \times 9,5 \text{ m} = 0,00285 \text{ km}^2$



Tiempo de concentración  $t_c = 0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} = 7,1 \text{ min}$

Para un periodo de retorno de 25 años y una duración de 7,1 min,  $I = 202 \text{ mm/h}$

$\therefore Q = 0,152 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Asignando al dren interceptor una sección rectangular con un ancho de 0,40 m, obtenemos el tirante con el que trabajará:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{\sqrt{S}} = 0,016$$

$$\frac{AR^{2/3}}{b^{8/3}} = 0,184$$

De acuerdo con la gráfica de la Figura 10 del Manual M-PRY-CAR-4-01-002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*,  $\frac{y_n}{b} = 0,47$

$$\therefore y_n = 0,188 \text{ m}$$

Así, las dimensiones del dren interceptor podrán ser de 0,40 m de base x 0,30 m de altura, o bien, alguna otra combinación de dimensiones, según el criterio del proyectista.

#### F.7.2. Bordos o zanjas de intercepción

Los bordos o zanjas de intercepción se construyen cuando existe un flujo importante del lado de aguas arriba de la carretera y en una franja relativamente amplia, que puede ser generado por los derrames de algún río o arroyo. En este caso se construye un bordo o zanja a una distancia mínima de 10 m aguas arriba de los ceros del terraplén, que intercepte el flujo y lo conduzca y descargue en algún sitio adecuado, que puede ser un cauce natural drenado por la propia carretera a través de un puente o de una obra menor de drenaje.

Para el diseño hidráulico de los bordos o zanjas de intercepción se estimará primeramente el caudal que será drenado por estos, y después se podrán determinar sus características y dimensiones.

#### F.8. OBRAS DISIPADORAS DE ENERGÍA

Las obras disipadoras de energía son obras complementarias que se construyen a la entrada o salida de obras menores de drenaje, e incluso en su interior, cuando existen escurrimientos de fuerte pendiente y se requiere disminuir la velocidad del flujo para evitar problemas de erosión. En zonas de montaña los escurrimientos ocurren generalmente a lo largo de cauces con fuertes pendientes y grandes velocidades. Dichos cauces han alcanzado, en mayor o menor medida, su pendiente de equilibrio de manera que los materiales que constituyen su lecho se erosionan en forma natural, y recuperan su elevación media una vez que cesa el flujo.

Al construirse una carretera y sus obras menores de drenaje, éstas tienen en general un coeficiente de rugosidad mucho menor que el del cauce, por lo que la velocidad de flujo en ellas es mucho mayor que la velocidad en dicho cauce. Consecuentemente, el material del fondo sufrirá erosiones más fuertes que las naturales, por lo que habrá de ser protegido, a menos que se trate de material rocoso no erosionable. En general, se puede considerar que una velocidad mayor de 4,5 m/s es fuerte desde el punto de vista de erosión del material del cauce.

Dependiendo de la naturaleza del suelo en que vaya a descargar la obra menor o alguna obra complementaria de drenaje, y en función de la velocidad de descarga, se analizará la posibilidad de que el suelo sea erosionado o no lo sea. En caso afirmativo se podrá diseñar una obra disipadora de energía, eligiendo alguna de las siguientes, u otra que proponga el proyectista y sea aprobada por la Secretaría.

#### F.8.1. Deflectores en el interior de la alcantarilla

Son placas de forma triangular que se fijan a la pared interior del conducto drenante, en una sola línea o alternadamente en tresbolillo, para aumentar el coeficiente de rugosidad, disminuir la velocidad del flujo y evitar la erosión del suelo en la salida de la obra como se indica en la Figura 15 de este Manual.

#### F.8.2. Salto hidráulico

Como se indica en la Figura 15 de este Manual, se puede dividir en dos tramos la pendiente de una alcantarilla, de modo que la primera de aguas arriba, que en general es la misma que la de la corriente a drenar, sea mucho más fuerte que la segunda de aguas abajo. Esta segunda pendiente habrá de ser subcrítica para provocar un salto hidráulico que reduzca la velocidad de flujo, y consecuentemente evite la erosión del lecho del cauce a la salida de la obra de drenaje. En el Manual M-PRY-CAR-4-01-002, *Diseño Hidráulico de Obras Menores de Drenaje*, se presenta un breve repaso de los conceptos más importantes del salto hidráulico.

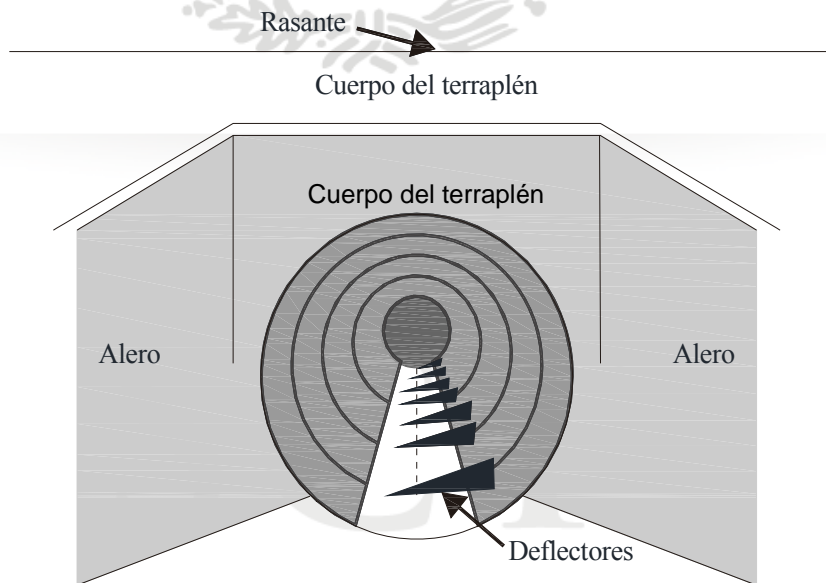


FIGURA 15.- Deflectores para disminuir la velocidad del flujo en la alcantarilla

#### F.8.3. Enrocamientos

Los enrocamientos se utilizan para evitar que la corriente erosione el suelo en el sitio de descarga de alguna obra. Sirven también para aumentar la rugosidad y disminuir la velocidad a valores que ya no erosionen el material por donde fluye el agua. Pueden utilizarse en obras complementarias como cunetas, lavaderos y contracunetas (ver Fracciones F.2., F.4. y F.5. de este Manual). También pueden usarse en las descargas de obras menores de drenaje en las que no sean muy fuertes las velocidades, hasta del orden de 4,5 m/s. Así, pueden colocarse como se indica en la Figura 16 de este Manual, en que se muestra que la forma del enrocamiento en planta puede ser rectangular o trapezoidal,

siendo más segura esta última contra la erosión lateral. En cuanto a la profundidad del enrocamiento, dependerá de las dimensiones de los fragmentos de roca, aunque invariablemente se colocarán tales fragmentos en tres capas, sin junteo, es decir, sin ningún cementante; los fragmentos estarán sueltos para que los enrocamientos sean flexibles y puedan reacomodarse en caso de que sus elementos sean movidos por el flujo de agua.

Si las velocidades son mayores de 4,5 m/s, podrán utilizarse deflectores en el interior de la alcantarilla (Inciso F.8.1. de este Manual), obras que provoquen el salto hidráulico (Inciso F.8.2. de este Manual) o cajas amortiguadoras (Inciso F.8.4. de esta Manual).

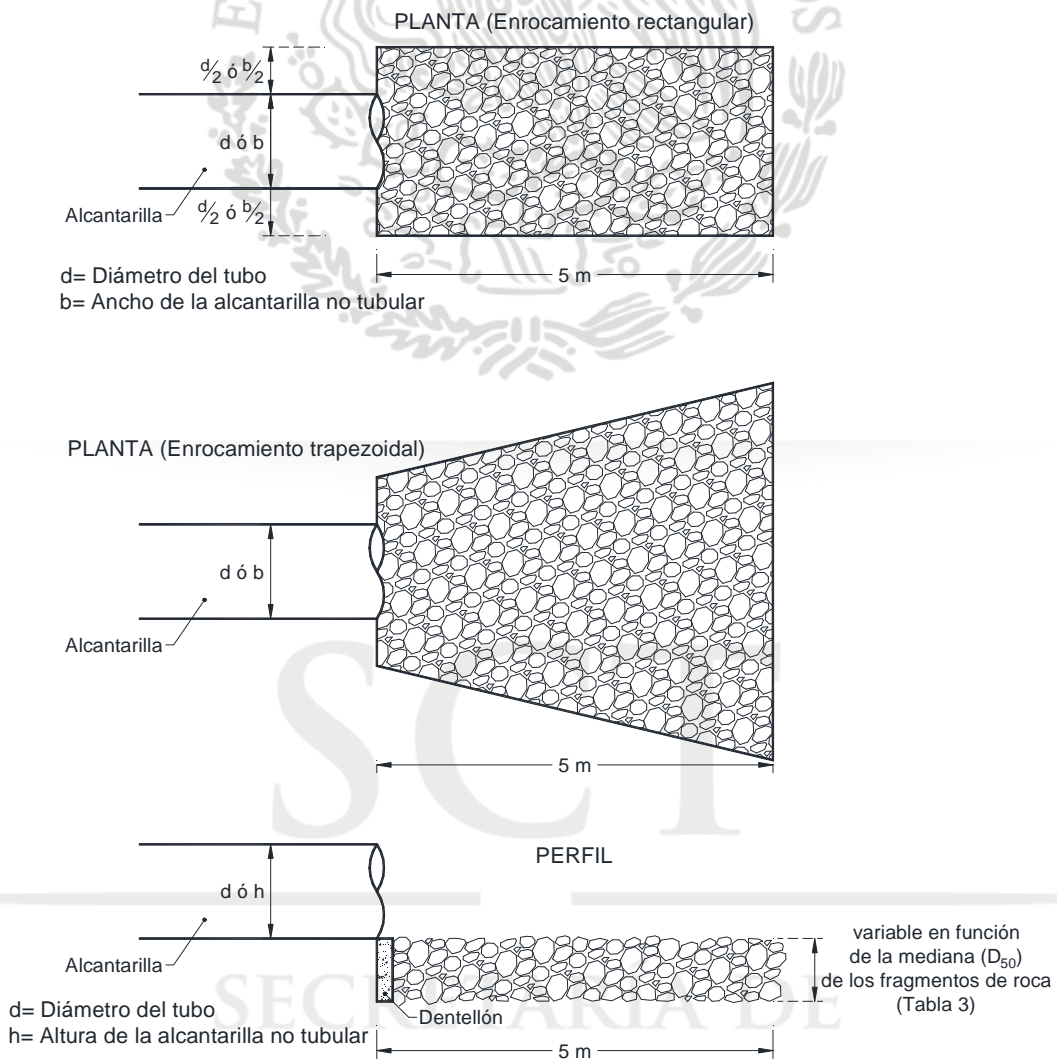


FIGURA 16.- Enrocamiento de protección contra la erosión

En la Tabla 5 se muestran los diámetros que tendrán los fragmentos en función de la velocidad del agua. También, para no utilizar un solo diámetro de fragmentos, sino mezclar diferentes tamaños de piedras y lograr una mejor trabazón entre ellas, en la propia Tabla 5 se proponen las graduaciones de los diámetros para cada  $D_{50}$ , siendo  $D_{50}$  el diámetro para el cual el 50% de los fragmentos es menor, en peso. Así, se proponen el  $D_{100}$ , es decir, el fragmento más grande, y el  $D_{10}$ , que para fines prácticos es el más pequeño. Así, por

ejemplo, si la velocidad del agua es de 4 m/s, el diámetro máximo del enrocamiento será de 40 cm y el más pequeño será de 15 cm, con una mediana del diámetro ( $D_{50}$ ) de 30 cm. Se procurará colocar los diámetros más grandes en la superficie expuesta al flujo.

**TABLA 5.- Dimensiones de los fragmentos de roca**

En función de la velocidad, así como su graduación

| V<br>m/s | $D_{50}$<br>cm | $D_{100}$<br>cm | $D_{10}$<br>cm |
|----------|----------------|-----------------|----------------|
| 2,0      | 10             | 20              | 5              |
| 2,5      | 15             | 25              | 7              |
| 3,0      | 20             | 30              | 10             |
| 3,5      | 25             | 35              | 12             |
| 4,0      | 30             | 40              | 15             |
| 4,5      | 35             | 50              | 17             |
| 5,0      | 40             | 55              | 20             |

Donde:

- V = velocidad del flujo a la salida de la obra  
 $D_{50}$  = Diámetro para el cual el 50% de los fragmentos es menor, (peso)  
 $D_{100}$  = Diámetro para el cual el 100% de los fragmentos es menor, (peso)  
 $D_{10}$  = Diámetro para el cual el 10% de los fragmentos es menor, (peso)

#### F.8.4. Cajas amortiguadoras

Las cajas amortiguadoras se construyen para provocar una caída que disipe energía en el flujo de salida de la obra menor de drenaje. Como puede verse en la Figura 17, ocurrirá en el extremo de salida de la obra una caída de altura igual al diámetro o a la altura de la obra, para llegar el flujo a un estanque con bloques aguas abajo para regular el flujo hacia la descarga final. Dichos bloques serán de las dimensiones que se indican en la Figura 17 de este Manual y estarán separados 0,30 m para evitar su azolvamiento. Aguas abajo de los bloques podrá protegerse el fondo de la caja con un enrocamiento formado por tres capas de fragmentos del orden de 0,30 m de diámetro, sin junteo, y que sus tres dimensiones sean del mismo orden de magnitud, para evitar formas lajeadas que pueden ser fácilmente levantadas y arrastradas por el flujo. Podrá utilizarse la Tabla 5 del Inciso F.8.3. de este Manual para diseñar el enrocamiento. Finalmente se dirigirá el flujo al cauce natural de la corriente drenada.

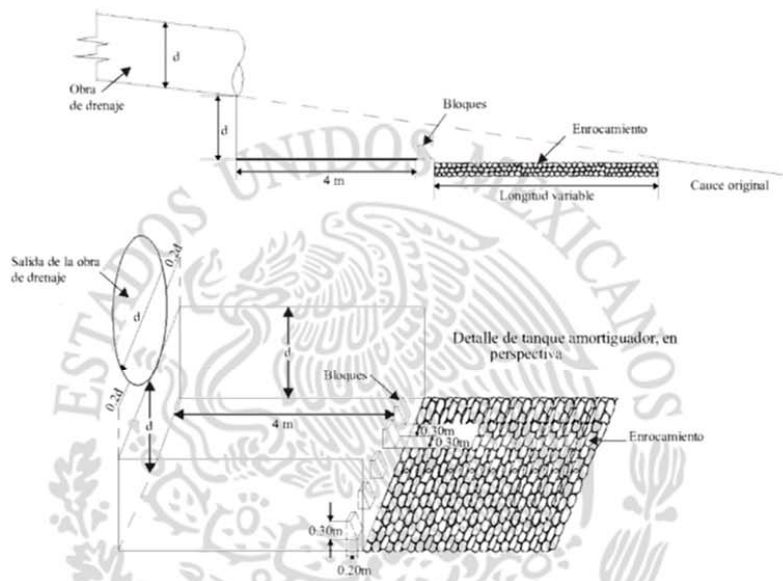


FIGURA 17.- Tanque amortiguador de energía

**F.9. CAJAS DESARENADORAS**

Las cajas desarenadoras son obras complementarias al drenaje que se construyen a la entrada de alguna obra de alivio para recibir y contener sedimentos y evitar acumulación de azolve. Estas obras suelen construirse a la entrada de obras de alivio de cunetas que se construyen transversalmente a la carretera, abajo de la estructura del pavimento, para evitar que la obra de alivio se azolve. Se construyen cajas desarenadoras de concreto armado o mampostería, aguas arriba de la obra de alivio, con una profundidad mínima de 0,50 m y un ancho igual al diámetro o al ancho de la obra de alivio, como se indica en la Figura 18 de este Manual. Su longitud en el sentido transversal al flujo de la cuneta será de 1,20 m como mínimo. Estas cajas requieren limpieza muy frecuente, por lo menos seis (6) veces al año.

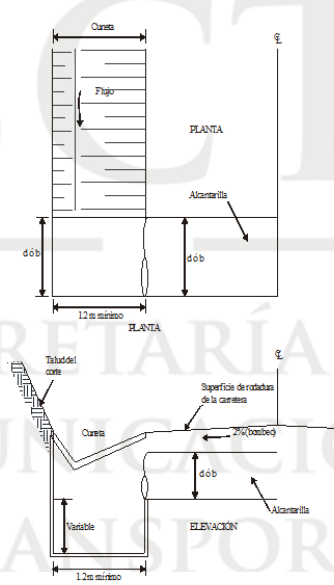
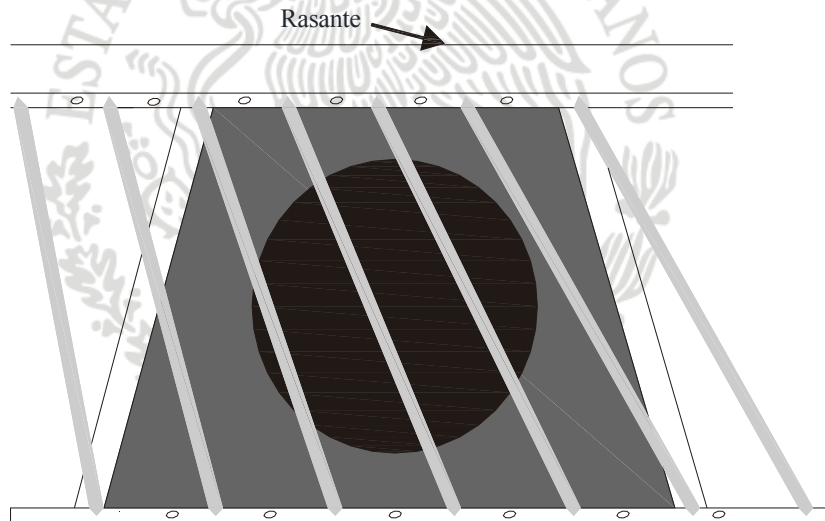


FIGURA 18.- Caja desarenadora

### F.10. ESTRUCTURAS DE CONTROL DE CUERPOS FLOTANTES

Estas estructuras son obras complementarias de drenaje que se construyen a la entrada de la obra menor de drenaje y se utilizan para interceptar y retener troncos y ramazón grande que pueda arrastrar la corriente, para evitar el taponamiento de alguna obra menor de drenaje. Estas obras, que pueden ser construidas con troncos de árboles, con madera, o con elementos prefabricados, sólo serán utilizadas excepcionalmente, cuando por alguna razón no sea posible construir obras menores de drenaje lo suficientemente amplias para dejar pasar los troncos y ramazón, como se indica en la Figura 19 de este Manual.



Rasante de la carretera



FIGURA 19.- Estructuras para retener cuerpos flotantes y evitar el taponamiento de alcantarillas

**G. BIBLIOGRAFÍA**

Instituto Mexicano del Transporte, *Impacto Ambiental de Proyectos Carreteros, Efectos por la Construcción y Operación del Drenaje y Subdrenaje*, Publicación Técnica No. 155, SCT (2000).

*Drainage of Highway Pavements*, HEC 12, FHWA, EUA (1984).

*Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, SCT (1991).

Wright y Paquette, *Highway Engineering*, Edit John Wiley and Sons, EUA (1987).

*Métodos Hidrológicos para Previsión de Escurrimientos*, Seminario de Drenaje, Parte I.- Hidrología, SCT (1984).

G. Sotelo A., *Hidráulica General*, Editorial Limusa, (1979).

Hjelmfelt, y Cassidy, *Hydrology for Engineers and Planners*, Iowa State University Press, EUA (1975).

Juárez Badillo y Rico Rodríguez, *Mecánica de Suelos*, Tomo III, Editorial Revista Ingeniería, (1967).

Ven Te Chow, *Handbook of Applied Hydrology*, Editorial Mc Graw Hill, EUA (1964).

Ven Te Chow, *Open – Channel Hydraulics*, Editorial Mc Graw Hill, EUA (1959).

FHWA, HEC 14, *Hydraulic Design of Energy Dissipaters for Culverts and Channels*, EUA (1983).

SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

# SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA**  
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
AV. COYOACÁN 1895  
COL. ACACIAS  
CIUDAD DE MÉXICO, 03240  
[WWW.GOB.MX/SCT](http://WWW.GOB.MX/SCT)