

LIBRO: PRY. PROYECTO

TEMA: CAR. Carreteras

PARTE: 4. PROYECTO DE DRENAJE Y SUBDRENAJE

TÍTULO: 02. Proyectos de Obras Complementarias de Drenaje

CAPÍTULO: 002. Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los criterios generales para ejecutar los análisis necesarios para realizar el diseño hidráulico de obras complementarias de drenaje, tal como se indica en la Norma N-PRY-CAR-4-02-001, *Ejecución de Proyectos de Obras Complementarias de Drenaje*.

B. 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 el cuerpo 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 carretera y en el interior del pavimento.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con la Norma N-PRY-CAR-4-02-001, *Ejecución de Proyectos de Obras Complementarias de Drenaje* y el Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

D. PERIODO DE RETORNO PARA EL GASTO DE DISEÑO

El gasto de diseño (Q_{DIS}), que es el máximo que hidrológicamente ha de esperarse durante la etapa de operación de la obra complementaria de drenaje por proyectar, se calculará para el período de retorno que se determine considerando los siguientes criterios:

Los periodos de retorno que se emplearán para obtener el gasto de diseño de las obras complementarias de drenaje, son los establecidos en la Tabla 1. de esta Norma.

TABLA 1.- Periodos de retorno

Tipo de Carretera	Periodo de Retorno años	Observaciones
ET, A y B	25	Carreteras localizadas en cualquier zona de la República Mexicana
C y D	10	Carreteras localizadas en zonas no costeras
C y D	25	Carreteras localizadas en zonas costeras

El período de retorno se define como el número promedio de años, durante el cual un evento dado es igualado o excedido. El recíproco del período de retorno es la probabilidad de que en cualquier año, ese evento dado sea igualado o excedido. Los periodos de retorno que han de considerarse para determinar los gastos que se utilicen en el diseño de las obras complementarias de drenaje son los que se indican en la Cláusula D. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

E. ANÁLISIS 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.

Se procederá a obtener los gastos máximos de acuerdo con lo indicado en la Cláusula D. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

F. ANÁLISIS HIDRÁULICO

Una vez que se obtenga el gasto de diseño, se hará el análisis para la obra complementaria de drenaje, utilizando para ello la fórmula de Manning.

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. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

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.

El análisis hidráulico se ejecutará de acuerdo con lo indicado en la Cláusula E. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G. DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE CADA OBRA COMPLEMENTARIA DE DRENAJE

G.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 dos (2) por ciento desde el eje del camino hasta cada hombro de éste; para el caso de las carreteras tipo D el bombeo será del tres (3) por ciento. 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.

El análisis y diseño de la pendiente transversal del bombeo se realiza en el estudio de pavimentación y el proyecto geométrico de la carretera y como se indica en el Fracción F.1. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.2. CUNETAS

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.

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, y coincidirá con el del corte.

Los remates de las cunetas podrán ser conectados con un lavadero o canalización que descargue las aguas en un sitio conveniente.

Las cunetas pueden ser revestidas de concreto hidráulico, de mampostería o de lo que indique el proyectista.

Las cunetas se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.2. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.3. BORDILLOS

Estos sólo se construirán en los terraplenes mayores de uno coma cinco (1,5) metros 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 veinte (20) centímetros del hombro del camino.

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.

A menos que el proyectista indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, los bordillos tendrán forma trapezoidal con base inferior de dieciséis (16) centímetros, base superior de ocho (8) centímetros y altura de diez (10) centímetros sobre la superficie de rodadura.

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.

Los bordillos se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.3. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.4. LAVADEROS

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 capten 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.

Los lavaderos pueden ser de mampostería, concreto hidráulico o metálicos.

Para el caso de terraplenes, los sitios en que se ubicarán los lavaderos, así como la distancia entre ellos, dependerá 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 cero coma cinco (0,5) por ciento.

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.

Las dimensiones del lavadero serán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría; la entrada del flujo a los lavaderos será de doscientos cincuenta (250) centímetros. El umbral de entrada tendrá forma trapezoidal con base superior de doscientos cincuenta (250) centímetros, base inferior de cincuenta (50) centímetros y altura de cincuenta (50) centímetros. El piso del umbral tendrá un talud transversal del cinco (5) por ciento, 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 veinticinco (25) centímetros.

Los lavaderos se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.4. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*. La separación entre lavaderos contiguos será como se indica en la Fracción F.3. del Manual mencionado.

G.5. CONTRACUNETAS

La contracuneta se ubicará a una distancia mínima de cinco (5) metros del cero del corte, a menos que el proyectista 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 treinta (30) grados, es decir, con una pendiente de más del cincuenta y ocho (58) por ciento, la contracuneta se conformará siguiendo la tendencia general de las curvas de nivel para evitar que tenga pendientes mayores de veinte (20) por ciento, aunque se procurará que su pendiente sea por lo menos del uno (1) por ciento, 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 requieren ser impermeabilizadas, recubriéndolas con concreto hidráulico, mampostería, suelo - cemento o suelo - asfalto, a menos que estén en material rocoso, en cuyo caso no requieren ser recubiertas.

A menos que el proyectista o la Secretaría indiquen otra cosa, la zanja iniciará con una sección trapezoidal con una profundidad de veinte (20) centímetros hasta obtener la sección establecida, que será a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría; si la contracuneta va a funcionar como canal, se hará la excavación aguas abajo para formar el bordo aguas arriba, a fin de evitar que el terreno pueda derrumbarse y afectar el canal. 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.

Si las contracunetas no son revestidas, sus remates a ambos lados de los cortes estarán provistos de lavaderos, para neutralizar el mayor poder erosivo del agua provocado por el aumento de la pendiente.

Las contracunetas se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.5. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.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.

Las obras de alivio son obras auxiliares y se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.6. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.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:

G.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, 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, 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, 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. En todos los casos, el dren interceptor contará en su parte superior, a ras de la superficie de la rodadura, con una rejilla tipo Irving 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.

G.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 diez (10) metros 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.

Los colectores se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.7. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.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.

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 cuatro coma cinco (4,5) metros por segundo 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 de serlo 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.

G.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 trespelillo, para aumentar el coeficiente de rugosidad, disminuir la velocidad del flujo y evitar la erosión del suelo en la salida de la obra.

G.8.2. Salto hidráulico

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.

G.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. También pueden usarse en las descargas de obras menores de drenaje en las que no sean muy fuertes las velocidades, hasta del orden de cuatro coma cinco (4,5) metros por segundo. 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 cuatro coma cinco (4,5) metros por segundo, podrán utilizarse deflectores en el

interior de la alcantarilla, obras que provoquen el salto hidráulico o cajas amortiguadoras.

G.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. 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 veinte (20) centímetros de base y treinta (30) centímetros de alto, y separados treinta (30) centímetros 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 treinta (30) centímetros 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. Finalmente se dirigirá el flujo al cauce natural de la corriente drenada.

Las obras disipadoras de energía se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y como se indica en la Fracción F.8. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.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 cincuenta (50) centímetros y un ancho igual al diámetro o al ancho de la obra de alivio. Su longitud en el sentido transversal al flujo de la cuneta será de ciento veinte (120) centímetros como mínimo. Estas cajas requieren limpieza muy frecuente, por lo menos seis (6) veces al año.

Las cajas desarenadores se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y conforme a la Fracción F.9. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

G.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 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.

Las estructuras de control de cuerpos flotantes se diseñarán a criterio del proyectista y lo aprobado por la Secretaría y conforme a la Fracción F.10. del Manual M-PRY-CAR-4-02-002, *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje*.

SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES