

CAPÍTULO 9

CALLES

Curso: HIDROLOGÍA EN MEDIOS ANTROPIZADOS

**Maestría en Recursos Hídricos de Llanura
Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario**

Dr. Ing. Civil GERARDO RICCARDI

ROSARIO, 2004.

ÍNDICE

- 9.1 **FUNCION DE LAS CALLES**
 - 9.1.1 Calles y Drenaje
 - 9.1.2 Pautas de diseño

- 9.2 **CLASIFICACION DE LAS CALLES Y CORDONES CUNETAS**
 - 9.2.1 Clasificación de las Calles
 - 9.2.2 Cordones y Cunetas

- 9.3 **EFFECTO DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL URBANO SOBRE LA CAPACIDAD DEL TRANSITO DE CALLES**
 - 9.3.1 Interferencia debido a la lámina de flujo sobre el pavimento
 - 9.3.1.1 Hidroplaneo
 - 9.3.1.2 Salpicadura
 - 9.3.2 Interferencia debido al flujo en cunetas
 - 9.3.3 Interferencia debido a encharcamientos o almacenamiento superficial
 - 9.3.4 Interferencia debido al escurrimiento transversal en los carriles de tránsito
 - 9.3.5 Efectos sobre peatones

- 9.4 **RELACION ENTRE EL DRENAJE Y EL MANTENIMIENTO DE LAS CALLES**
 - 9.4.1 Superficies de Pavimentos Bituminosos
 - 9.4.1.1 Efecto del Escurrimiento Pluvial
 - 9.4.1.2 Mantenimiento
 - 9.4.2 Cordones y Cunetas
 - 9.4.2.1 Efecto del escurrimiento
 - 9.4.2.2 Mantenimiento
 - 9.4.3 Badenes
 - 9.4.4 Sedimentación
 - 9.4.5 Drenaje mediante Zanjas Laterales

- 9.5 **CRITERIOS GENERALES PARA DISEÑOS DE CALLES**
 - 9.5.1 Pendiente de cunetas
 - 9.5.2 Sección transversal de calles
 - 9.5.2.1 Pendientes transversales
 - 9.5.2.2 Configuración de la cuneta
 - 9.5.2.3 Configuraciones de cordones
 - 9.5.2.4 Entradas vehiculares en domicilios
 - 9.5.2.5 Calles cóncavas
 - 9.5.3 Desnivel transversal
 - 9.5.3.1 Capacidad de la cuneta
 - 9.5.3.1 Bocas de tormenta en calles con desnivel transversal
 - 9.5.3.3 Desnivel transversal máximo
 - 9.5.4 Intersecciones
 - 9.5.4.1 Pendiente longitudinal
 - 9.5.4.2 Obras de drenaje en intersecciones
 - 9.5.5 Bocas de Tormentas
 - 9.5.6 Detalles Constructivos

- 9.6 **CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL DRENAJE PLUVIAL EN CALLES URBANAS**
 - 9.6.1 Capacidad hidráulica de la calle para la tormenta inicial o de diseño
 - 9.6.1.1 Ocupación del Pavimento
 - 9.6.1.2 Cálculo de la capacidad hidráulica teórica
 - 9.6.1.3 Determinación de la Capacidad Admisible de una cuneta
 - 9.6.2 Capacidad hidráulica de la calle para la tormenta máxima
 - 9.6.2.1 Altura de agua y zona inundada admisibles
 - 9.6.3 Acumulaciones superficiales o encharcamientos
 - 9.6.4 Flujo transversal

CALLES

En ambientes urbanos las calles forman parte del sistema de drenaje pluvial. Las calles sirven como un sistema de drenaje necesario e importante, aun cuando su función primaria es el movimiento de tránsito (vehicular, peatonal, etc.). Los usos para el tránsito y para el drenaje deben ser compatibles en un punto en el cual el drenaje está subordinado a las necesidades del tráfico.

El escurrimiento en cunetas de calles es necesario para conducir el flujo hacia las bocas de tormentas o hacia componentes del sistema mayor de drenaje. Una buena planificación de las calles puede contribuir sustancialmente en reducir las dimensiones y en ocasiones eliminar la necesidad de sistema de conductos en áreas recientemente urbanizadas.

9.1 FUNCION DE LAS CALLES

9.1.1 Calles y Drenaje

Los criterios de diseño para captación y movimiento de escurrimiento pluvial sobre calles públicas están basados en una razonable frecuencia de interferencia del tránsito. Es decir, dependiendo del carácter de la calle, éstas pueden ser inundadas parcial (algunos carriles) o totalmente durante la tormenta de diseño, generalmente con una recurrencia de 2 a 5 años. Durante el periodo temporal entre dos tormentas con recurrencia similares a la de diseño, ocurrirán lluvias de menor cuantía que inundarán las calles en grado menor.

Un correcto diseño del drenaje provee beneficios directos al tránsito y más bajos costos de mantenimiento de calles. El diseño de drenaje debe tener como uno de los principales objetivos la protección del pavimento y su base de un innecesario deterioro.

9.1.2 Pautas de diseño

En función de consideraciones de planificación y diseño por un lado, y aspectos económicos por otro, las obras de drenaje son categorizadas en dos sistemas: el *sistema menor* y el *sistema mayor*. Para el diseño y dimensionamiento de ambos sistemas se contemplan dos eventos diferenciados: la ocurrencia de lluvias ordinarias (*tormenta inicial*) o también denominada tormenta de proyecto o de diseño que debe ser drenada por el sistema menor, y la ocurrencia de tormentas extraordinarias (*tormenta mayor*) que corresponde ser drenada por el sistema mayor.

El sistema menor se diseña para minimizar los inconvenientes causados por las inundaciones generadas por las tormentas más frecuentes. Además, el sistema menor debe contribuir a minimizar daños y mantenimiento de calles, como así también ayudar a crear un sistema urbano ordenado con significantes beneficios sociales. Un sistema menor, generalmente, consiste de calles con cordones-cuneta, redes de conductos subterráneos, zanjas, etc. La tormenta de diseño para el drenaje menor tendrá una recurrencia comprendida en un rango de 2 a 10 años. La capacidad hidráulica de la calle operando dentro del sistema menor se determina en función del ancho de inundación admisible en la superficie del pavimento y la altura máxima del flujo en el cordón. Cuando la capacidad hidráulica del sistema menor es sobrepasada, el excedente de escurrimiento tiene que ser drenado por el sistema mayor.

Los objetivos de la planificación y diseño del escurrimiento de la tormenta mayor es eliminar daños mayores y pérdidas de vida. El sistema mayor generalmente se diseña para evacuar una tormenta de 100 años de recurrencia. La capacidad hidráulica de la calle bajo el sistema mayor puede ser determinada considerando la sección completa de la calle con ciertos condicionamientos.

9.2 CLASIFICACION DE LAS CALLES Y CORDONES CUNETAS

9.2.1 Clasificación de las Calles

La clasificación del sistema de calles desde el punto de vista de la ingeniería de tránsito esta

generalmente basado en las características geométricas, volumen de tráfico, modalidad de estacionamiento y el control de accesos. Sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería de drenaje existe interés en la clasificación de calles debido a consideraciones especiales de drenaje que necesitan ser cuantificadas como la envergadura admisible de la inundación de la calle, altura de agua en cuneta y en coronamiento de calle, tipos de bocas de tormenta, etc. El movimiento de tráfico sobre un sistema de calles puede ser impactado severamente por la lluvia y el escurrimiento generado de modo tal que puede llegar a paralizar el tránsito. Si el sistema de drenaje de las calles no es correctamente planificado y diseñado, puede llegar a degradar el sistema de calles y llevarlo a un nivel de servicio inaceptable.

Las calles urbanas y rurales y específicamente los cordones y cunetas y las zanjas son consideradas parte del el Sistema de Drenaje Menor. Cuando el escurrimiento en calles excede los límites aceptables un sistema de conductos o una zanja lateral son necesarios para conducir el escurrimiento excedente. Los inconvenientes e interferencias producidas por el flujo sobre las calles deben ser mitigados captando y conduciendo el flujo en forma rápida y eficiente mediante redes de conductos o canales. Las calles, además, forman parte del Sistema Mayor de Drenaje debido a que las mismas conducen el escurrimiento de las tormentas mayores a las de diseño que exceden la capacidad del sistema menor. Como parte del sistema mayor la función de las calles es proveer un camino de emergencia para el escurrimiento con un mínimo daño al ambiente urbano.

Basándose en aspectos del los sistemas de drenaje, las calles pueden ser clasificadas como urbanas, semiurbanas y rurales. Las calles urbanas se caracterizan por tener en su mayoría cordón y cuneta y redes de conductos. Las calles rurales tienen generalmente zanjas laterales y canales a cielo abierto y las calles semiurbanas generalmente no tienen cordones y poseen zanjas poco profundas o badenes laterales.

Desde el punto de vista del drenaje es útil clasificar los sistemas de calles en función del tráfico diario promedio. Desde este punto de vista la clasificación resulta en calles locales, colectoras, arterias o autopistas.

a. Calle Local

Las calles locales pueden ser residenciales o industriales. Una calle local es aquella que lleva tránsito menor dentro de un vecindario. El tránsito es generalmente por dos manos y estacionamiento a lo largo del cordón. No hay tránsito moviéndose desde un barrio a otro. El control de tráfico se realiza por medio de carteles de pare o señalización en calzada, y en muchos casos no hay control formal de tránsito.

b. Calle Principal (Colectora)

La función de una calle colectora es colectar y distribuir el tránsito entre arterias y calles locales. Pueden tener entre 2 y 4 manos y el estacionamiento puede ser permitido a lo largo del cordón. El tráfico sobre colectoras tiene prioridad de paso sobre el tráfico de calles locales adyacentes.

c. Avenidas(Arterias)

Las avenidas permiten un tránsito rápido y relativamente sin impedimentos a través de toda la ciudad. Las arterias tienen entre 4 y 6 manos y el estacionamiento a lo largo del control puede estar prohibido. El tráfico por arterias tiene prioridad de paso sobre las colectoras, las cuales pueden cruzarse aproximadamente cada 400 m. Las avenidas incluyen a menudo un separador central y señalización en numerosas intersecciones.

d. Autopistas

Una autopista permite un rápido tránsito, sin impedimentos alrededor de una ciudad. Los accesos desde avenidas a autopistas están completamente controlados por intercambiadores. Pueden tener más de ocho manos y el estacionamiento no es permitido. Dentro de esta

clasificación también se encuadran las avenidas de circunvalación, existentes en general en grandes ciudades.

En la Figura 9.1 se presenta una ilustración esquemática de una típica red de calles en una población. Las Figuras 9.2 a 9.4 muestran configuraciones geométricas para calles urbanas, colectoras, autopistas, semiurbanas y rurales.

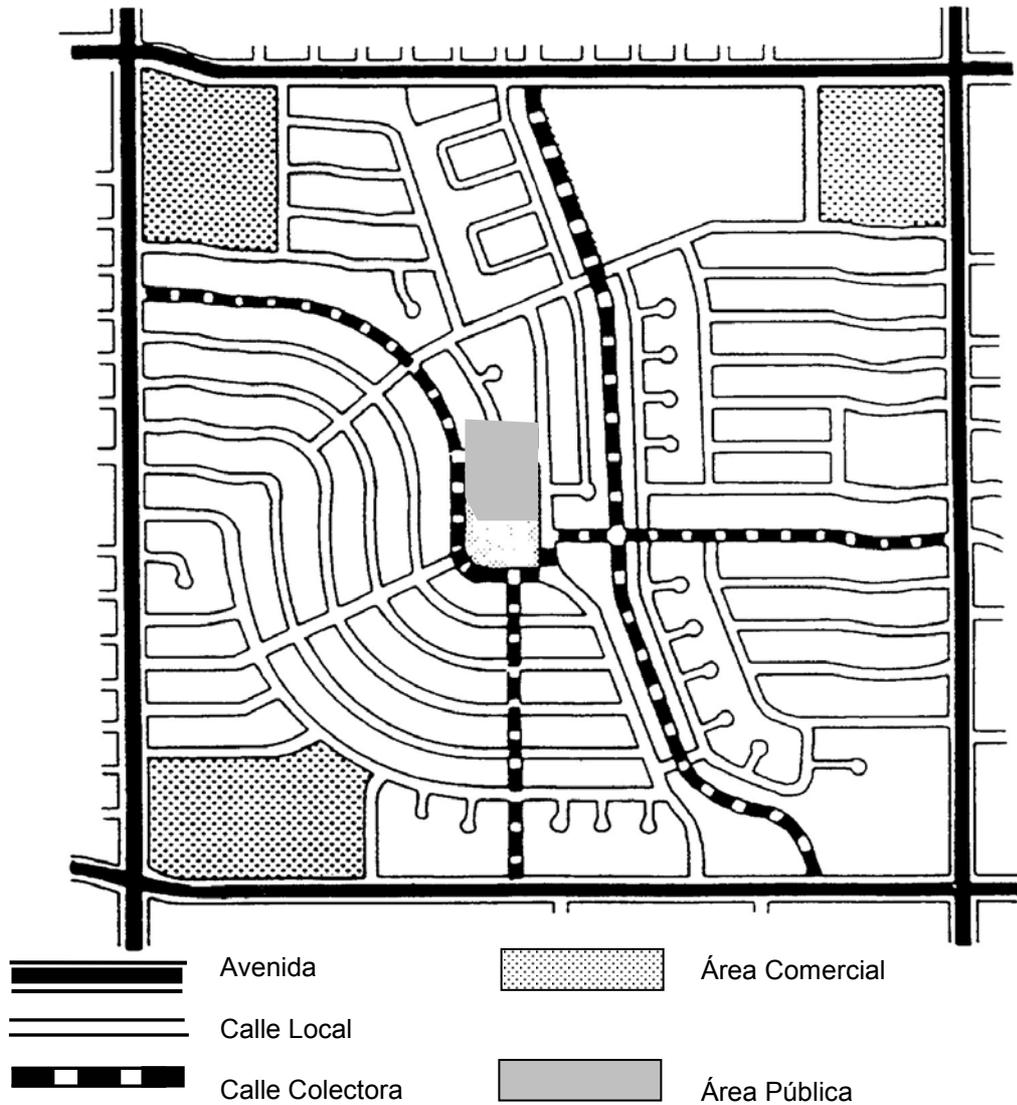


Figura 9.1 Red de calles en una población. Fuente: Guo (1997)

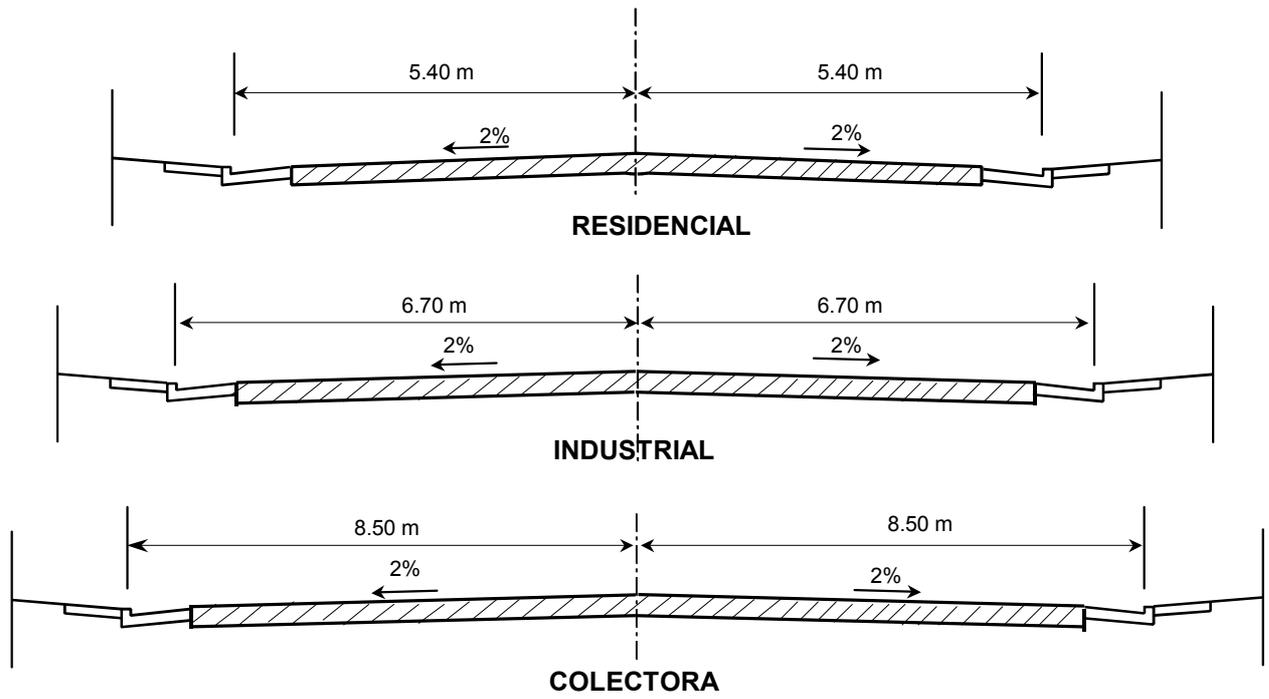


Figura 9.2. Secciones típicas de calles urbanas. Fuente: Guo (1997)

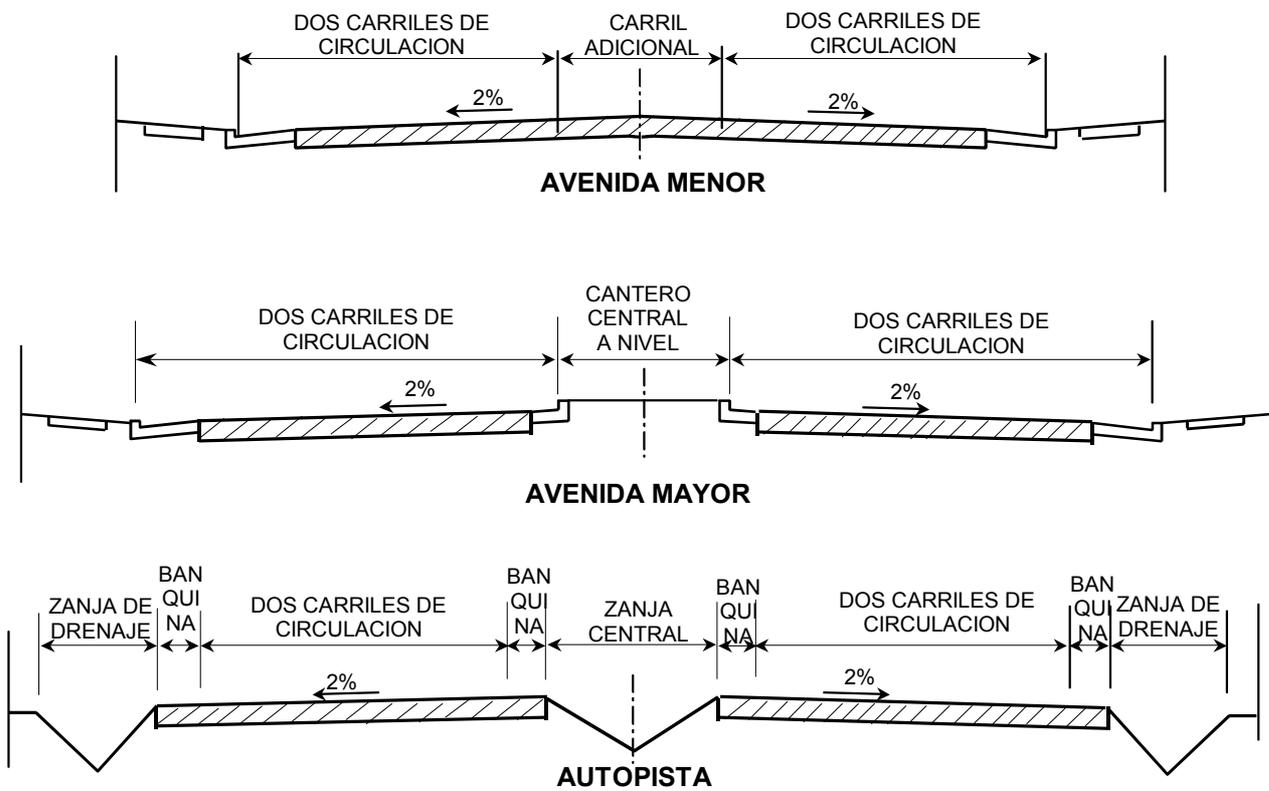


Figura 9.3. Secciones típicas de avenidas y autopista. Fuente: Guo (1997)

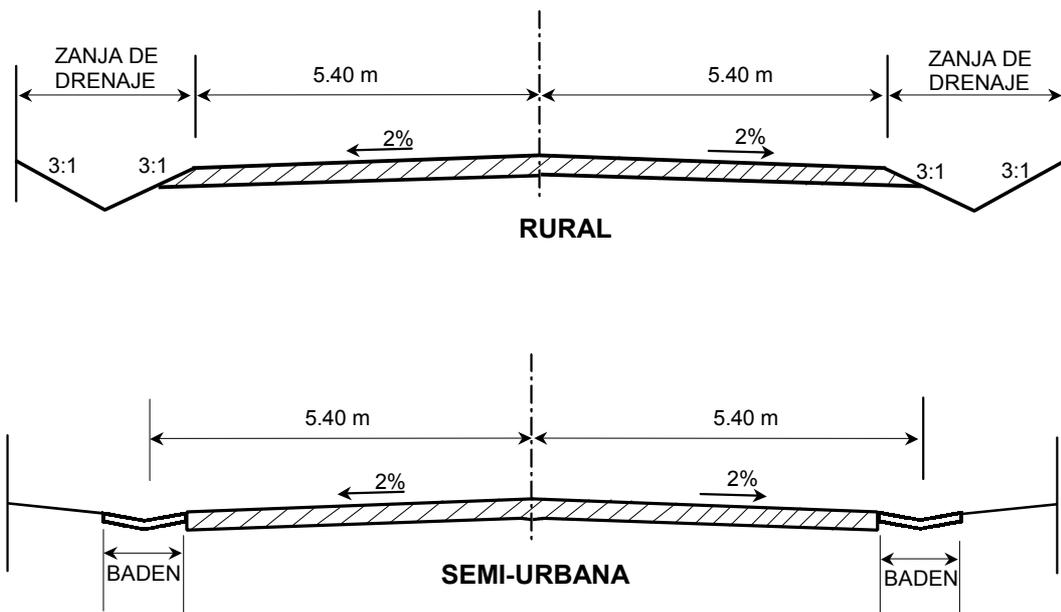


Figura 9.4. Secciones típicas de calles rurales y semiurbanas. Fuente: Guo (1997)

9.2.2 Cordones y Cunetas

Los cordones y cunetas conforman la delimitación de las calles, no obstante su función más relevante es materializar una barrera para guiar al escurrimiento, concentrándolo y transfiriéndolo al sistema de conductos pluviales. Resulta crucial que el escurrimiento en la cuneta adquiera una cierta altura para lograr la efectividad de los sumideros o bocas de tormenta. Existen una gran variedad de tipos de cordones y cunetas, dependiendo la selección de la función que deban cumplir.

En la Figura 9.5 se muestran cuatro tipos diferentes de cordones-cunetas y dos tipos de cordones. Los tipos 1 y 2 de cordones-cuneta corresponden a cordones vertedores, cuya función solamente es la delineación de la calle sin función de drenaje. Los tipos 3 y 4 de cordones-cuneta son cordones-cuneta colectores, en los cuales se capta el escurrimiento proveniente de las calles, sirviendo de este modo a funciones de drenaje. Debe notarse que el tipo 4 tiene mayor capacidad hidráulica debido a su mayor área transversal disponible para el drenaje.

Existen alternativas de diseño en las cuales se utilicen cordones verticales sin cunetas, en estos casos el mismo pavimento asume la función de conducción hidráulica de la cuneta. A estos cordones se los suele denominar cordones cabezales (ver Figura 9.5).

Los cordones y cunetas pueden estar vinculados o no a las veredas adyacentes a las calles. En la Figura 9.6 se muestran dos tipos de combinaciones de cordón-cuneta y vereda. El Tipo 1 de combinación tiene una altura de 0.10 m en la línea de flujo, y es generalmente adecuada para calles residenciales. La combinación Tipo 2 tiene un cordón de 0.15 m de altura en la línea de flujo, con una mayor capacidad hidráulica de conducción que el Tipo 1 y debe ser usado en calles locales, colectoras o avenidas.

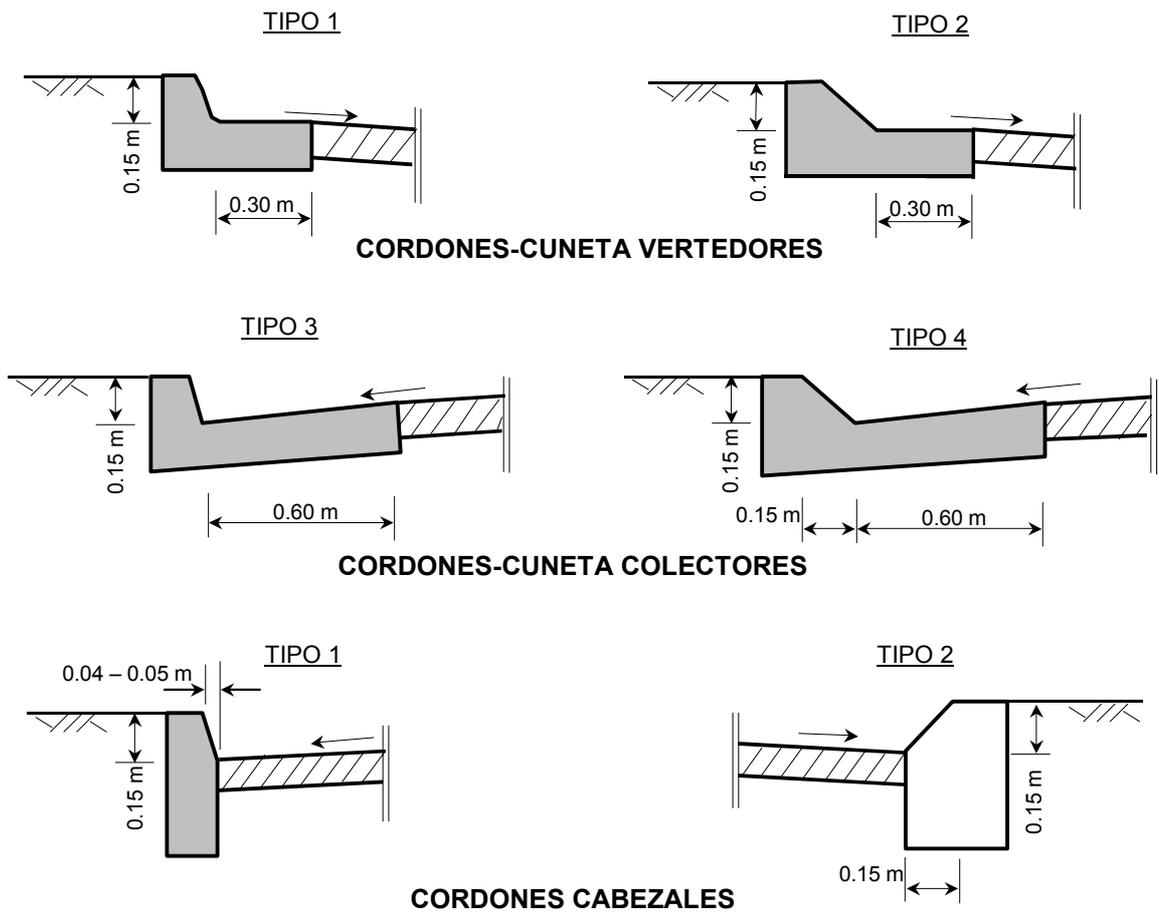


Figura 9.5 Tipos de Cordones-Cuneta

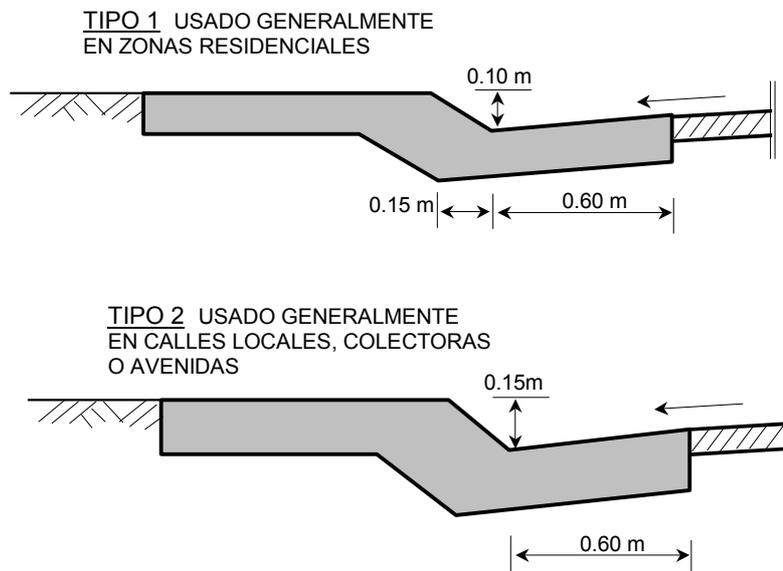


Figura 9.6 Cordones-Cuneta Vereda

9.3 EFECTO DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL URBANO SOBRE LA CAPACIDAD DEL TRANSITO DE CALLES

La influencia del escurrimiento pluvial sobre la capacidad de tránsito puede clasificarse de la siguiente manera (UDFCD, 1984):

- Lámina de flujo en el pavimento debido a la lluvia precipitada y que escurre hacia los bordes de la calle.
- Escurrimiento fluyendo por la cuneta, adyacente al cordón.
- Agua de lluvia almacenada en puntos bajos.
- Flujo atravesando los carriles de tránsito proveniente de fuentes externas como cruce de calles (diferenciado del agua precipitando directamente sobre la superficie de pavimento).
- Salpicadura sobre peatones de cualquiera de los tipos de flujo anteriores.

Cada uno de los tipos de influencia del escurrimiento pluvial debe ser controlado dentro de límites aceptables de modo que la capacidad de tránsito de las calles no sea indebidamente restringida.

9.3.1 Interferencia debido a la lámina de flujo sobre el pavimento

La lluvia que cae sobre superficies pavimentadas de calles y rutas escurre con características de flujo mantiforme hasta que alcanza un encauzamiento que puede ser un cordón-cuneta o una zanja. Tanto en las calles que tienen cordón-cuneta y en rutas que tiene zanjas adyacentes, estos elementos funcionan como canales. La dirección de flujo sobre la superficie de las calles puede ser determinada mediante la adición de los vectores asociados a las pendientes longitudinales y transversales, lo que es equivalente a trazar la perpendicular a la línea de nivel sobre la superficie de la calle (ver Figura 9.7). La altura de la lámina de escurrimiento debe ser nula en la parte superior del perfil transversal de la calle y se ira incrementando en la dirección hacia el canal. La interferencia sobre el tráfico es esencialmente de dos tipos: hidroplaneo y salpicaduras.

9.3.1.1 Hidroplaneo

El hidroplaneo es el fenómeno mediante el cual se forma una delgada capa de agua entre los neumáticos de los vehículos y la superficie del pavimento, que actúa como un lubricante entre el neumático y el pavimento. Este fenómeno produce la pérdida del control del vehículo y generalmente ocurre a velocidades importantes compatibles con las permitidas en autopistas o arterias. El efecto del hidroplaneo puede ser minimizado mediante la ejecución de un pavimento relativamente rugoso, el cual permitirá el escape del agua de debajo de los neumáticos.

9.3.1.2 Salpicadura

La interferencia del tráfico debido a la salpicadura proviene de la excesiva altura de agua de la lámina de flujo que escurre en forma mantiforme hacia los cordones-cunetas o hacia zanjas. La excesiva altura se genera a partir de largas distancias de escurrimiento sobre superficie de pavimento a una baja velocidad, antes de alcanzar el cordón-cuneta o zanja. Si se incrementa la pendiente transversal tanto el tiempo como la distancia de flujo mantiforme decrecerán. No obstante, la pendiente transversal debe respetar límites aceptables de modo de prevenir deslizamientos laterales del tráfico cuando se presentan condiciones de congelamiento o escarcha en superficie, y además permitir la apertura de las puertas de los vehículos cuando se estaciona en forma adyacente al cordón. Debe tenerse en cuenta que un excesivo ancho del pavimento puede generar un escurrimiento hacia un cordón con una lámina excesiva. Esto puede darse debido a sobreelevaciones (peraltes) en curvas, alteraciones de perfiles transversales en intersecciones, o presencia de varios carriles de tránsito entre el eje de la calle y la cuneta. Todos estos factores deben ser considerados para mantener la altura de la lámina de flujo dentro de un rango aceptable.

9.3.2 Interferencia debido al flujo en cunetas

El agua que ingresa a una calle ya sea por escurrimiento mantiforme desde la superficie del pavimento o por escurrimiento mantiforme desde áreas vecinas, drenará en la cuneta de la calle hasta

que alcance una salida hacia un conducto o un canal. En la Figura 9.7 se muestra la configuración de flujo por cordón-cuneta escurriendo por una calle con sistema de conductos pluviales. Como el flujo progresa hacia agua abajo, se van adicionando progresivamente áreas de aporte que contribuyen al escurrimiento, el ancho mojado se incrementará e irá invadiendo paulatinamente los carriles de tránsito. En el caso de calles con estacionamiento permitido paralelo al cordón, el ancho de la lámina de flujo tendrá una pequeña influencia sobre la capacidad de tránsito hasta que el flujo exceda en por lo menos un metro el ancho del vehículo estacionado. Sin embargo, en calles con estacionamiento no permitido como el caso de avenidas, pequeños excesos de ancho de flujo afectarán directamente el tráfico. Observaciones de campo han mostrado que el excesivo estacionamiento de autos paralelos al cordón tiende a anular el flujo en el cordón-cuneta. Este factor crea perturbaciones en el tránsito que tienden a producir pequeños accidentes durante las tormentas.

Debido a que el ancho de flujo se incrementa hacia aguas abajo, se vuelve imposible para los vehículos transitar sin circular sobre el agua. Cuando el tránsito circula por áreas inundadas la velocidad debe ser reducida significativamente en la misma medida en que la profundidad de la lámina sobre el pavimento es mayor. La salpicadura desde vehículos que transitan en carriles inundados entorpece la visión de los conductores de vehículos circulando a una mayor velocidad sobre los carriles sin agua.

Eventualmente, si el ancho y altura de agua en la calle llega a valores importantes, la capacidad de tránsito de la calle será transitoriamente inefectiva. Durante estos períodos es imprescindible que los vehículos de emergencia tales como camiones de bomberos, ambulancias y autos policiales puedan circular por la calle por la zona central.

En ciertas ciudades suele suceder que el tiempo en que se afectan calles debido a escurrimiento pluvial es relativamente corto debido a la corta duración de las tormentas intensas. Las interferencias más significativas con el tráfico no exceden los 15 a 30 minutos por tormentas. Además debe tenerse en cuenta que la interferencia sobre el tránsito está relacionado con el horario de producción del evento, siendo la situación más desfavorable cuando se superpone una lluvia intensa con el horario pico del tránsito vehicular.

La clasificación jerárquica de las calles es también importante cuando se considera el grado de la interferencia al tráfico. Una calle local y en menor medida una calle colectora, podrían ser inundadas temporalmente durante un evento lo que constituiría un pequeño efecto sobre el tránsito vehicular. El pequeño número de vehículos afectados podría transitar a bajas velocidades a través del agua aún si la altura fuese de 10 a 15 cm. En cambio, una reducción de velocidad en el tráfico por avenidas o autopistas afectarían un gran número de vehículos particulares, comerciales y de emergencia.

9.3.3 Interferencia debido a encharcamientos o almacenamiento superficial

El encharcamiento de agua pluvial sobre la superficie de calles debido a cambios de pendientes longitudinales y transversales especialmente en intersecciones de calles tiene un sustancial efecto sobre la capacidad de tránsito. Un problema mayor con el encharcamiento es que puede alcanzar alturas mayores que en el cordón-cuneta y permanecer sobre las calles por largos períodos de tiempo. Otro problema es que el encharcamiento se establece en forma natural y los vehículos pueden entrar en el encharcamiento sin advertirlo, transitando a elevadas velocidades.

La manera en que el almacenamiento superficial afecta al tráfico es esencialmente el mismo que en el caso del flujo en los cordones-cunetas. El ancho de afectación de la zona encharcada sobre los carriles de tránsito es el parámetro crítico. El efecto de los encharcamientos puede producir un decrecimiento, en ocasiones total, de la capacidad de tránsito de una calle. Un incorrecto diseño de las calles y los sistemas de drenajes pluviales puede transformar en inútil el sistema de calles durante el período de lluvia y escurrimiento.

9.3.4 Interferencia debido al escurrimiento transversal en los carriles de tránsito

Todo escurrimiento atravesando las zonas de tránsito vehicular, que no sea el flujo mantiforme producido por el agua precipitada sobre la calle, produce un serio impedimento al tráfico. Este fenómeno puede ser causado por una sobreelevación de una curva, una intersección de calles, por exceso de la capacidad de conducción del cordón-cuneta más elevado o simplemente por un diseño de calles inadecuado.

El problema emergente por esta interferencia es el mismo que en el caso de los encharcamientos en superficie. El escurrimiento sobre el pavimento se produce en forma natural y los vehículos pueden llegar a atravesar el flujo a velocidades tales que puedan hacer perder el control del vehículo. Si por condiciones de diseño el tránsito vehicular es lento y de baja densidad de circulación, como en el caso de calles locales, el escurrimiento a través de los carriles de tránsito no causa una interferencia que pueda ser objetable.

La altura y velocidad del flujo sobre las calles debe mantenerse siempre entre límites de modo que no se generen fuerzas que afecten el movimiento del tráfico. Si un vehículo en hidroplaneo ingresa a un área con excesivo flujo transversal sobre el pavimento, con una mínima fuerza podría ser suficiente para mover lateralmente el vehículo hacia el cordón-cuneta.

En ciertas intersecciones un sector bajo puede conformarse en una convergencia de calles y en estos casos el escurrimiento debe evacuarse por una de las calles o mediante captación y entubamiento subterráneo. Si a los vehículos que atraviesan la intersección se les requiere un tránsito lento o detención mediante dispositivos de control (semáforos, lomas de burro, etc), existirá bajo riesgo de interferencia en tránsito masivo. Esta es la base para asumir que los badenes son aceptables en cruces de calles que involucran calles locales, donde éstas se intersectan con otras calles locales o con avenidas. Otro punto a favor de el uso de badenes en cruces de calles es la continuidad de la pendiente de la calle dominante. Si a la rasante de la calle local se le permite coincidir con la rasante de la calle mayor, el carril externo de tránsito de la calle mayor tendrá una elevación en la intersección con lo que no se podrá mantener la continuidad hidráulica de la cuneta.

9.3.5 Efectos sobre peatones

En calles donde los peatones usan habitualmente las veredas, las salpicaduras debido al movimiento de vehículos sobre áreas cercanas al cordón-cuneta representan un serio problema. Asimismo debe tenerse en cuenta que en ciertas circunstancias los peatones requerirán cruzar por áreas con agua almacenada en superficie o cruzar cordones-cunetas con agua almacenada o circulando adyacente al cordón.

Dado que la mayoría del movimiento de peatones cesará durante el período temporal en que se produce la precipitación de la lluvia, puede resultar adecuado asignarle menos consideraciones al problema mientras la lluvia está cayendo. Sin embargo, no debe perderse de vista que el agua encharcada en superficie muy posiblemente permanezca en superficie por un período temporal bastante mayor a la duración de la tormenta.

Para contemplar correctamente el efecto sobre los peatones, las calles deben ser clasificadas con respecto al tráfico peatonal, del mismo modo que para el tráfico vehicular. A modo de ejemplo, pueden existir calles con escuelas clasificadas como locales para vehículos y clasificadas como avenidas o arterias para el tráfico peatonal. Este hecho debe reflejarse en valores admisibles de anchos, flujo y encharcamiento en cunetas.

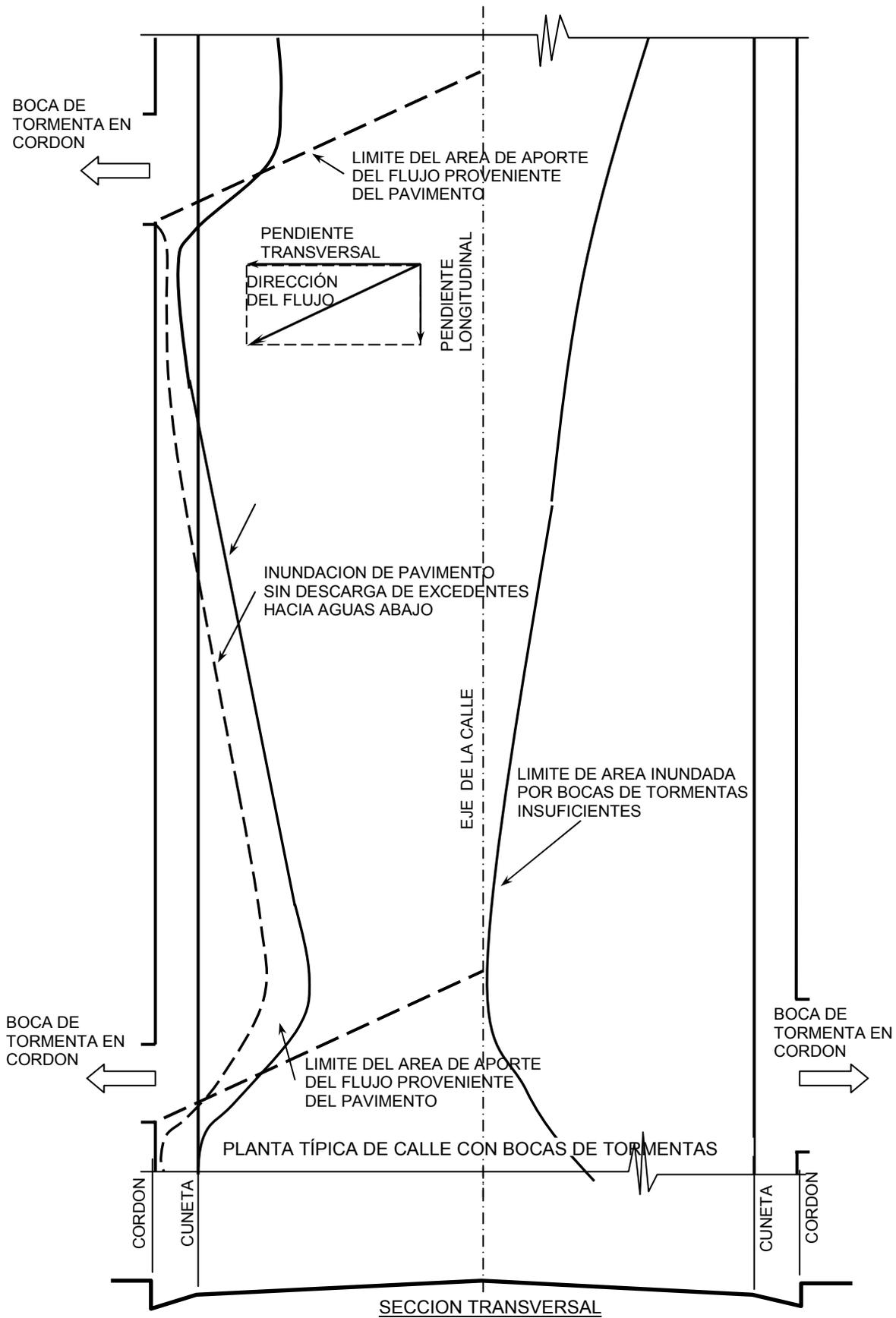


Figura 9.7. Diagrama de patrones de flujo en pavimento y cuneta. Fuente: UDFCD (1984)

9.4 RELACION ENTRE EL DRENAJE Y EL MANTENIMIENTO DE LAS CALLES

El drenaje eficiente del escurrimiento pluvial de las superficies pavimentadas tiene un efecto positivo sobre el mantenimiento de las calles, en tanto que los trabajos de mantenimiento pueden en ocasiones, llegar a afectar la eficiencia de las calles como elemento de evacuación del escurrimiento. Está comprobado que el deterioro del pavimento se acelera por la presencia de escurrimiento pluvial.

9.4.1 Superficies de Pavimentos Bituminosos

9.4.1.1 Efecto del Escurrimiento Pluvial

Las superficies de pavimentos están siempre sujetas a numerosos tipos de deterioros producto de alteraciones meteorológicas, desgranamiento, fisuramiento longitudinal, fisuras tipo piel de cocodrilo, formación de baches, hundimientos, exudación, rotura de bordes. El agua es considerada por especialistas en pavimentos asfálticos como uno de los mayores factores causantes de deterioros en la estructura de pavimentos. El efecto del flujo de agua escurriendo sobre superficies de pavimentos bituminosos es pequeño en tanto se pueda mantener su hermeticidad. Algunos de los deterioros mencionados pueden causar que el pavimento se vuelva permeable, permitiendo al agua alcanzar la base y sub-base. Una vez que el agua alcanzó la base y sub-base el problema se multiplica dada el debilitamiento de la estructura con un incremento de las roturas en superficie.

Un efecto retardado del escurrimiento pluvial sobre el pavimento lo constituye el ascenso de las napas freáticas y su interacción con la base y sub-base. Tanto el humedecimiento, la reiteración de procesos de ascenso-descenso y la posible agresión físico-química del agua de la napa freática pueden producir serios deterioros en la estructura del pavimento que se propagarán hacia la superficie.

9.4.1.2 Mantenimiento

Una práctica común para reducir el problema del deterioro de superficies bituminosas es la colocación de capas selladoras de superficie. Esto reduce el problema del deterioro del pavimento pero crea indirectamente un problema con la capacidad de conducción de la cuneta adyacente. Si en promedio una calle es sellada mediante una capa de superficie cada 5-10 años con un espesor promedio entre 10 mm, en un período de 30-40 años la superficie del pavimento se elevaría entre 30-80 mm. Si este incremento de espesor fuera trasladado al cordón, la función de este último podría desaparecer. Si el borde externo de la sobrecapa es forzado a juntarse con la cuneta, la pendiente transversal de la calle se incrementará hasta transformarse en dificultosa, sino imposible, para permitir la apertura de puertas de automóviles. Aunque la altura del cordón permanezca, la sobrecapa hace decrecer la capacidad hidráulica de transporte de la sección transversal.

Obviamente toda solución alternativa a la simple sobrecapa selladora, que no modifique la capacidad de conducción hidráulica de las calles es mas onerosa. Las primeras experiencias que se reportaron en EEUU consistieron colocación de sobrecapas posteriormente perfiladas en caliente. Actualmente un solución adecuada consiste en el reemplazo de la capa asfáltica mediante el escarificado y posterior construcción de una nueva capa, con lo que no se altera mayormente el perfil transversal.

Para mantener la capacidad hidráulica de transporte de escurrimiento pluvial, el área de la sección transversal debe ser mantenida dentro de ciertos límites. Cuando sucesivos procesos de repavimentaciones hacen que la sección transversal se reduzca a la mínima área admisible, es conveniente planificar la reconstrucción completa de la capa bituminosa.

Como solución alternativa al ascenso de la napa lo ideal es no operar sobre el pavimento sino sobre la napa produciendo el descenso forzado de esta mediante sistema de drenes subterráneos o mediante pozo de bombeo para abatimiento de la napa.

9.4.2 Cordones y Cunetas

9.4.2.1 Efecto del escurrimiento

La rotura del pavimento cercano a la cuneta es un problema que involucra a cuestiones de tráfico y de drenaje. Las características de estas roturas varían desde las quebraduras y formación de baches hasta el descascaramiento de grandes secciones de pavimento durante el flujo de escurrimientos pluviales importantes.

El análisis de este problema indica que las roturas son básicamente causadas por intrusión de agua en la base y sub-base a través de la interface entre el pavimento y la cuneta. Uniones entre pavimento y cunetas de hormigón pobremente ejecutadas combinadas con la contracción del pavimento pueden dar lugar a la formación de fisuras o grietas desde espesores capilares a rajaduras de varios milímetros de espesor. Las rajaduras pueden llegar a captar agua aún desde pequeñas cantidades de flujo de escurrimiento pluvial generado en lluvias o en derretimiento de nieve o escarcha. Además, para flujos generados en tormentas importantes, parte de las grandes cantidades del escurrimiento pluvial que fluyen por los cordones-cunetas y el agua almacenada pasarán a través de las grietas hacia la sub-base.

Todo los factores citados contribuyen a un continuo humedecimiento de la base del pavimento cercana a la cuneta, promoviendo la falla estructural de la base y el consiguiente deterioro del pavimento.

Varias teorías han sido propuestas para explicar el descascaramiento de la superficie del pavimento cuando está sometida a la acción del escurrimiento pluvial. Estas teorías incluyen conceptos de fuerza tractiva, de lavado de los finos de los materiales y de fuerzas ascendentes resultantes de la conversión de energía de velocidad a energía de presión en los casos en que el flujo es atrapado bajo la superficie del pavimento. Si bien todos los factores contribuyen al descascaramiento del pavimento, el asociado a las fuerzas ascendentes es el de mayor significancia. Estas fuerzas pueden ser minimizadas tomando medidas para prevenir que el agua llegue bajo el pavimento.

9.4.2.2 Mantenimiento

La intrusión de agua entre el pavimento y la cuneta puede ser prevenida mediante el sellado del espacio con material fino o con mezcla acuosa de material insoluble (slurry).

En todos los casos resulta de suma importancia que las rajaduras sean localizadas y selladas antes de que la rotura del pavimento ocurra.

9.4.4 Badenes

La rotura de pavimento en las juntas con zonas bajas de captación o badenes, como así también la rotura de la superficie del badén, es un problema que involucra al tráfico vehicular y al drenaje. Las mismas explicaciones descriptas para roturas de cordones y cunetas son válidas para los badenes. Las roturas pueden iniciarse en puntos de debilidad estructural lo que a su vez producen fisuras superficiales por donde ingresa el agua alcanzando la base y sub-base. Esta agua infiltrada produce los efectos descriptos en el punto 9.4.2.1.

Los procedimientos para mantenimiento de badenes son similares a aquellos descriptos para cordones y cunetas.

9.4.4 Sedimentación

Un problema común en las calles ocurre cuando el material sólido arrastrado por las altas velocidades de flujo en las cunetas se sedimenta producto de la disminución de la velocidad al ingresar el flujo a zonas de pendientes bajas.

Dado que el sedimento se deposita en áreas de bajas velocidades de flujo, el ancho afectado a la inundación de la calle se incrementará. La magnitud de la perturbación dependerá relación entre la cantidad y tipo de material sólido transportado en el escurrimiento pluvial y las velocidades de flujo. Debe tenerse en cuenta que ciertas áreas, por la naturaleza del desarrollo urbano, pueden contribuir con grandes cantidades de material sólido al escurrimiento pluvial.

El mantenimiento de las calles, materializado en el barrido, puede reducir la ocurrencia y efectos de la sedimentación. Mediante el barrido en áreas aguas arriba, la fuente de gran parte del sedimento es eliminada. Las zonas donde se produce los procesos de sedimentación deben ser barridas después de cada tormenta para remover el sedimento y evitar la acumulación del mismo tormenta tras tormenta.

Cuando la fuente de sedimentos está localizada fuera de las calles, deben ejecutarse prácticas de conservación en la fuente misma.

9.4.5 Drenaje mediante Zanjas Laterales

En zonas rurales donde no existen redes de conductos es habitual la incorporación de la zanja lateral al camino como elemento de recolección y transporte del escurrimiento pluvial. Además, en ciudades de nuestro país, es común hallar escurrimiento urbano mediante zanjas laterales en áreas donde no se construyó el pavimento a nivel definitivo y muy especialmente donde todavía no se cuenta con red de cloacas. En todos los casos el efecto del mantenimiento resulta vital para la conservación de la capacidad de transporte de flujo.

El escurrimiento del drenaje pluvial puede producir el deterioro de las zanjas si las mismas no han sido correctamente diseñadas y mantenidas. El deterioro se debe principalmente a erosiones por altas velocidades de flujo, sedimentación en lugares de bajas velocidades o por almacenamiento de agua.

El mantenimiento de las zanjas de drenaje es generalmente ignorado o postergado, dando como resultado el deterioro de las mismas, aún aquellas que han sido correctamente proyectadas.

Para resolver problemas de erosión en zanjas se pueden utilizar técnicas de solución y mantenimiento como coberturas vegetales con césped o pasto, colocación de protección tipo rip-rap, presas de control de erosión (check dam), estructuras de caída o una combinación de algunas.

En el caso de encharcamiento de agua en zanjas, este fenómeno produce un riesgo para la salud asociado al agua estancada. La solución más elemental es el nuevo perfilado de la zanja si la topografía y las obras de arte existentes vinculadas a las zanjas lo permiten.

Existen casos en que a pesar de un buen diseño longitudinal de las zanjas, se presenta una densa vegetación y la continua humedad en el fondo. Tal condición puede ser debido a la presencia muy cercana de la napa freática respecto a la superficie del terreno natural y lógicamente al fondo de la zanja. Para corregir tal situación puede ser una solución la construcción de drenes subterráneos para deprimir la napa.

9.5 CRITERIOS GENERALES PARA DISEÑOS DE CALLES

La efectividad de la calle tanto en su capacidad primaria de conducir el tráfico como su capacidad secundaria de transportar el escurrimiento pluvial, es dependiente de la manera en que ambas funciones son consideradas en el diseño. A continuación se presentan pautas de diseño generales, si bien están orientadas principalmente hacia el drenaje, contemplan además la función primaria de la calle de transportar el tráfico.

9.5.1 Pendiente de cunetas

La pendiente de la cuneta se refiere a la pendiente en el sentido paralelo a la dirección del flujo.

La **máxima** pendiente permitida para una cuneta no es gobernada por el drenaje. No obstante, la capacidad admisible de cunetas con pendientes excesivamente elevadas es limitada.

La **mínima** pendiente admisible para facilitar el propio drenaje de la cuneta es del 0.4%.

La observación de obras construidas revela que técnicas constructivas deficientes pueden conducir a deficientes alineaciones altimétricas de la obra construida (nivelación, estaqueo, etc). Estos defectos resultan en anchos de conducción en la superficie del pavimento significativamente mayores a los valores teóricos.

9.5.2 Sección transversal de calles

La sección transversal se refiere a el perfil perpendicular al eje de la calle.

9.5.2.1 Pendientes transversales

La máxima pendiente transversal permitida no está afectada por requerimientos del drenaje.

La **mínima** pendiente transversal debe ser aquella que facilite el drenaje desde la superficie del pavimento a la cuneta y debe ser del orden del 2%.

9.5.2.6 Configuración de la cuneta

Una configuración estándar de una cuneta (incorporada con el cordón) es de forma triangular de 0.10-0.15 m de profundidad y 0.60 m de ancho, con la porción más profunda del lado del cordón.

En calles donde el estacionamiento no está permitido, se sugiere un ancho de cuneta de 0.90 m de modo de permitir circular a los vehículos con sus ruedas externas sobre la cuneta, en lugar que ellas rueden sobre la junta de unión del pavimento y la cuneta evitando las posibles imperfecciones constructivas y deterioros.

Otras configuraciones de cunetas pueden ser utilizadas si las condiciones geométricas o hidráulicas así lo requieren.

El uso de cunetas con líneas de flujo alejadas a una cierta distancia del cordón debe desalentarse. El motivo tiene que ver que en esas configuraciones de cuneta es dificultoso el uso de bocas de tormentas en cordón, es dificultoso incrementar en el futuro los carriles de tránsito útiles debido a las salpicaduras y el ancho escurrimiento puede ser no despreciable para flujos menores.

9.5.2.7 Configuraciones de cordones

Un cordón estándar debe ser de 0.15 m de altura y al igual que lo citado en cunetas, si las condiciones geométricas o hidráulicas lo requieren pueden ser utilizadas otras configuraciones de cordón.

9.5.2.8 Entradas vehiculares en domicilios

Las entradas vehiculares a domicilios deben ser construidas desde el cordón y en ningún caso debe introducirse en la cuneta. Si el cordón es desgastado para facilitar el acceso del vehículo, la pendiente de la rampa de acceso al domicilio debe recuperar rápidamente la cota correspondiente a la cresta del cordón de modo de impedir el flujo de la cuneta hacia los domicilios.

9.5.2.9 Calles cóncavas

Las denominadas calles cóncavas con el gálibo invertido, no deben ser utilizadas como calles locales, avenidas, colectoras o autopistas. Los diseños de las calles cóncavas violan las funciones básicas de una calle: conducir el tráfico vehicular.

Las principales desventajas de las calles cóncavas son las siguientes:

- (a) En las zonas de precipitación nívea, ésta se concentrará en el centro de la calle donde se congelará produciendo un significativo riesgo al tráfico.
- (b) Los flujos menores que alcanzan la calle como el producido por el riego de césped o baldeado de veredas, afectan continuamente al tráfico.
- (c) Alta probabilidad de formación de escarcha en tiempos invernales si existen flujos menores continuos
- (d) Cualquier rotura que permita el goteo a la sub-base afectará la capacidad de tráfico de la calle.
- (e) Salpicaduras sobre los limpiaparabrisas del tráfico circulante.
- (f) Dificultad en el diseño de la bocas de tormentas.

En los casos de callejones, ya que los mismos son usados para limitados volúmenes y velocidad del tránsito, el uso de gálibos invertidos no afecta adversamente sus funciones.

9.5.3 Desnivel transversal

El término desnivel transversal se refiere a la diferencia en cotas entre las cunetas de ambos lados de la calle. En determinadas condiciones cuando la topografía es mayormente plana, las calles pueden ser diseñadas con desnivel transversal nulo. Sin embargo, en áreas con topografía escarpada, y particularmente en cruce de calles, puede ser necesario construir cordones-cunetas con diferentes cotas, resultando de este modo el desnivel transversal no nulo.

9.5.3.2 Capacidad de la cuneta

En la Figura 9.8 se ilustra la pérdida de capacidad de la cuneta con mayor cota en una calle con desnivel transversal. Para el cálculo del flujo admisible de la cuneta elevada debe utilizarse el prisma de flujo conformado. La capacidad de la cuneta baja puede o no ser disminuida, dependiendo del diseño de la calle. Al igual que en el caso de la cuneta alta, el prisma resultante debe ser considerado en el cálculo de la capacidad.

Cuando se analiza el volumen de flujo de cada cuneta, notar que la cuneta alta se llenará rápidamente en virtud de su ubicación del lado de la calle que por razones topográficas estará recibiendo el drenaje de las áreas adyacentes. Este hecho conjuntamente al acotamiento de la capacidad de la cuneta provocará que esta última sea rápidamente excedida. El flujo, entonces, escurrirá a través del perfil transversal de la calle en dirección a la cuneta opuesta. En calles locales esto es admisible. Sin embargo en calles mayores (principales, avenidas) este movimiento de flujo transversal es generalmente inaceptable.

En virtud de prevenir pequeños flujos transversales sobre los carriles de tránsito desde la cuneta alta hacia la baja, la cuneta alta debe dimensionarse con la capacidad de conducción adecuada. Para preservar esta capacidad el coronamiento del perfil deberá ubicarse a $\frac{1}{4}$ del ancho del pavimento (Figura 9.8 Sección B-B).

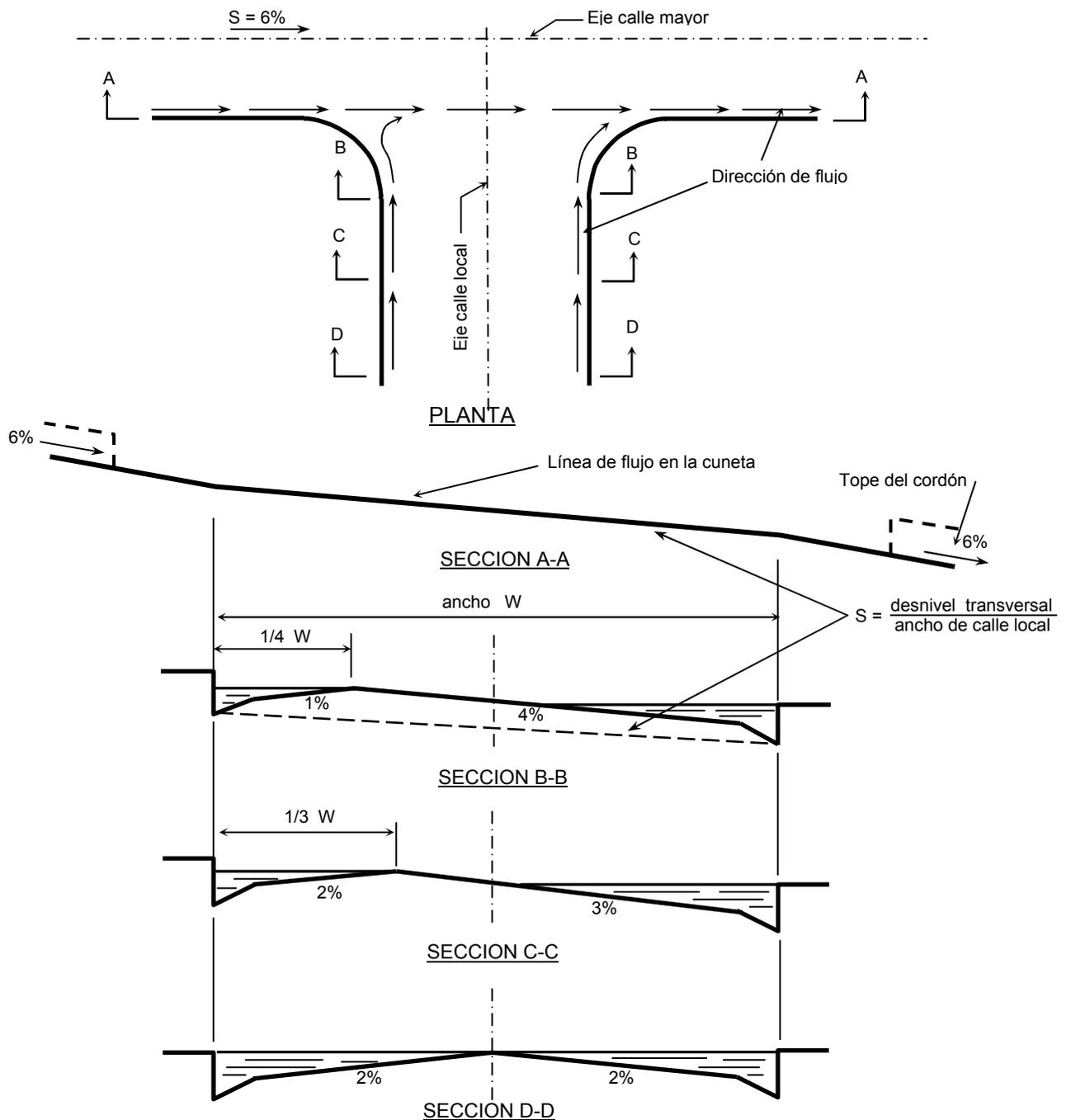


Figura 9.8 Construcción de una intersección típica entre una calle menor y otra mayor.
Fuente: UDFCD (1984)

9.5.3.3 Bocas de tormenta en calles con desnivel transversal

En calles locales con desnivel transversal necesario debido a la topografía, las bocas de tormentas deben ser ubicadas en el cordón más bajo y el coronamiento del perfil transversal debe ser removido para permitir el flujo desde la cuneta alta hacia la boca de tormenta en el cordón bajo.

9.5.3.3 Desnivel transversal máximo

El máximo desnivel admisible en una calle está condicionado por los máximos y mínimos valores admisibles de las pendientes transversales y geometría transversal propia de la calle.

9.5.4 Intersecciones

El diseño de intersecciones, particularmente en calles locales, es un trabajo muy común y en ocasiones tedioso. A causa de esto, a menudo no se proyecta adecuadamente y se descuida el seguimiento constructivo. El resultado es una gran cantidad de intersecciones pobremente diseñadas, caracterizadas en días de tormentas por grandes áreas con agua encharcada, flujo a través del coronamiento de las calles lo que hace desaparecer visualmente los badenes, accidentes y una variación innecesaria en la pendiente de la calle mayor en el caso de una intersección con una menor.

9.5.4.1 Pendiente longitudinal

En el caso de intersecciones de calles menores la variación de las pendientes longitudinales debe ser una opción del proyectista.

Cuando calles locales se intersectan con calles mayores, dentro de lo posible la pendiente longitudinal de la mayor debe continuarse sin interrumpirse. Si debido a la fuerte pendiente de las calles mayores es necesario disminuir la misma en la intersección para facilitar su encuentro con la calle menor, el cambio de pendiente debe ser el menor posible. La Figura 5.1 ilustra los perfiles transversales típicos necesarios para un intersección entre una calle mayor con fuerte pendiente y una calle menor. En el caso del ejemplo la pendiente longitudinal de la calle mayor es del 6%, la máxima pendiente transversal admisible es del 4%, la mínima pendiente transversal admisible es del 1% y el coronamiento de la calle se mantiene a $\frac{1}{4}$ del ancho del pavimento.

Cuando la intersección es de dos calles mayores, dentro de lo posible debe ser mantenida la pendiente de la calle mayor de máxima jerarquía. Ningún tipo de alteración del perfil transversal debe ser llevado a cabo en un badén de una calle arteria.

9.5.4.2 Obras de drenaje en intersecciones

Sistema de desagües pluviales

Cuando existen redes de desagües pluviales en las intersecciones, la bocas de tormentas deben ser ubicadas y dimensionadas en forma tal que la afectación en la intersección sea equivalente a la permitida sobre la calle para la tormenta de diseño. En la Figura 5.2 se ilustran una serie de localizaciones de bocas de tormentas para varias categorías de intersecciones.

Drenes transversales cerrados

Los drenes transversales cerrados o los badenes cerrados son un solución para el caso de frecuentes flujos menores en la intersección. Los badenes cubiertos pueden ser utilizados sobre calles colectoras donde la interferencia al tránsito debe ser minimizada. En este tipo de instalaciones, el coronamiento debe ser rebajado de modo tal de permitir que los mayores flujos drenen sin generar remansos que excedan aquellos permitidos para la calle.

Alcantarillas

Cuando no se requiere red de desagües y existe suficiente pendiente longitudinal una alcantarilla puede ser utilizada para conducir el flujo transversalmente a una calle en una intersección. La alcantarilla debe ser diseñada para transportar el caudal necesario de modo de no permitir una intrusión del flujo mayor al permitido para la calle.

Badenes Transversales

Los badenes convencionales pueden ser utilizados para atravesar una calle local. El dimensionamiento del badén debe ser de modo tal de permitir el escurrimiento a través de la intersección con intrusión equivalente a aquella permitida sobre la calle. En forma infrecuente los badenes pueden ser utilizados en calles colectoras.

Los badenes cubiertos podrían preferirse sobre los convencionales y deben ser usados cuando se presentan flujos menores de elevada frecuencia. Los badenes cubiertos deben al menos conducir los flujos menores, mientras que el caudal de diseño podría causar flujo sobre el badén. En todos los casos, durante la tormenta de diseño, la intrusión en la intersección debe ser equivalente a la permitida en la calle.

Badenes Transversales Ranurados

El objetivo de los badenes ranurados en el sentido del escurrimiento es permitir el escurrimiento de flujos menores por medio de los canales conformados en las ranuras sin contacto con las ruedas de los vehículos. Este tipo de badenes resuelven parcialmente una pequeña parte del problema asociado con la conducción de flujo a través de las intersecciones. Debido a que las protuberancias deben ser pequeñas y bajas para no generar demasiada perturbación al tránsito la capacidad hidráulica de las ranuras es limitada y fácilmente se sobrepasan las protuberancias. Por otro lado la acumulación de sedimento puede inutilizar parcialmente o totalmente la capacidad de conducción de flujo de los canales entre protuberancias del badén.

9.5.5 Bocas de Tormentas

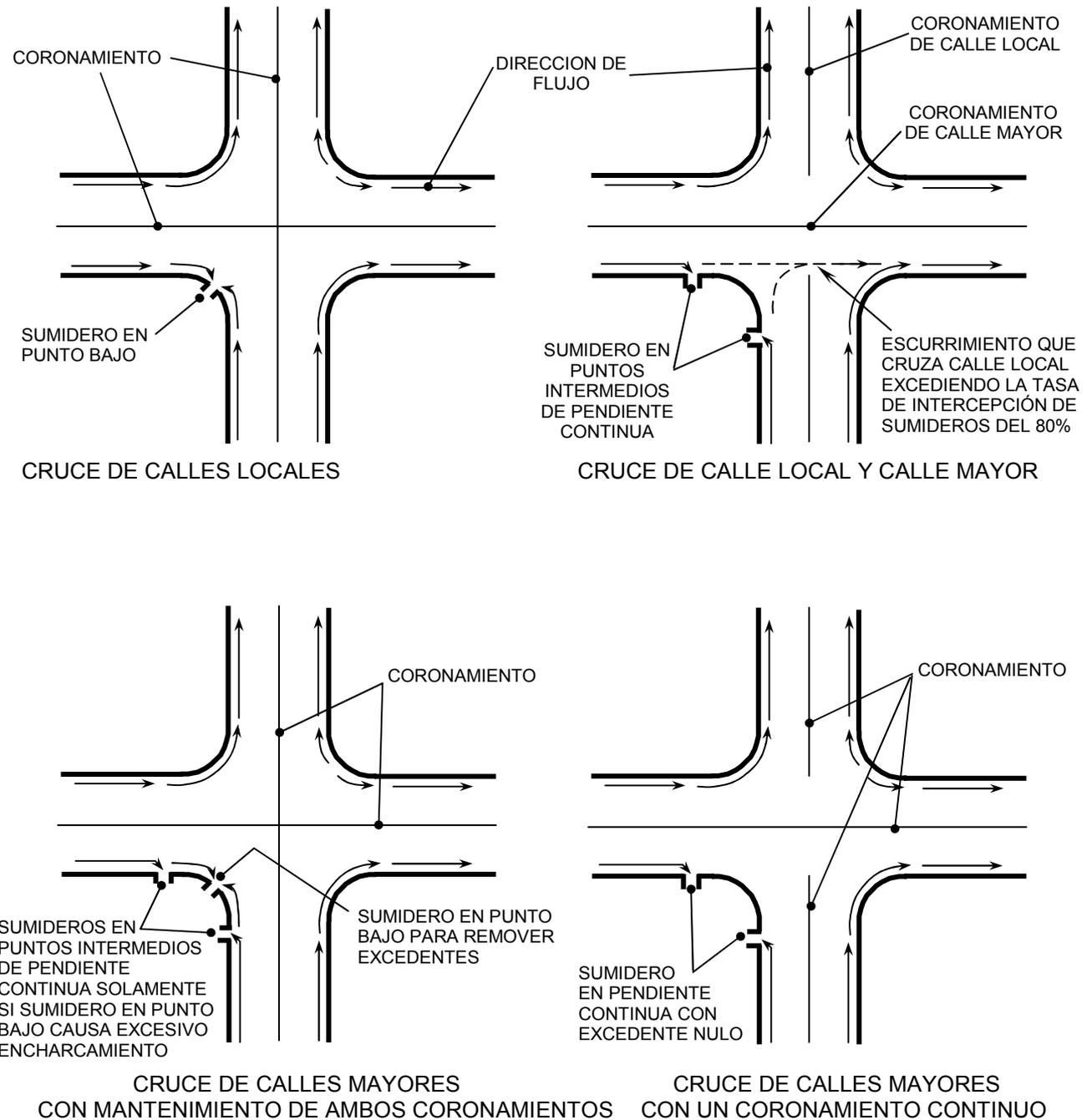
Los tipos y diseños de las bocas de tormentas o también denominadas sumideros son descritos en el capítulo siguiente. En este punto solamente se describirán criterios generales

Las bocas de tormentas, u otras obras para remover escurrimiento de las calles, se ubican en depresiones u ollas, puntos intermedios y en intersecciones. Se debe recurrir a sumideros en puntos intermedios cuando la intrusión del escurrimiento excede el permitido de acuerdo a la capacidad de la cuneta y a la jerarquía de la calle.

En general los sumideros pueden ir acompañados de una depresión en la cuneta. El ancho y profundidad de la depresión en calles donde está permitido el estacionamiento tiene poco efecto sobre el tráfico.

En calles donde el tránsito se mueve en zonas adyacentes a las cunetas, las profundidades y anchos de las depresiones deben ser compatibles con la velocidad del tráfico. En calles donde la velocidad excede los 60 km/hora las depresiones de las bocas de tormentas no debe estar accesibles al tránsito. Las observaciones de campo indican que raramente los vehículos circulan a menos de 0.30 m del cordón de modo que esa dimensión puede ser considerado para el ancho de la depresión para cualquier tipo de calle.

En los casos de calles en que los carriles adyacentes a los cordones tienen doble función, en un momento del día estacionamiento permitido y en otro momento tránsito permitido, las depresiones para las bocas de tormentas en los carriles con doble función deben ser diseñados para el caso de tránsito adyacente al cordón.



NOTA: Los ejemplo muestran el mínimo número de sumideros requeridos. Sumideros adicionales podrían ser necesarios de acuerdo a la capacidad de transporte admisible de las cunetas.

Figura 9.9 Intersecciones de calles típicas con drenaje a sistema de desagües. Fuente: UDFCD (1984)

9.5.6 Detalles Constructivos

Se detallan una serie de detalles constructivos elementales a tener en cuenta que pueden reducir significativamente los costos de mantenimiento atribuidos al escurrimiento pluvial.

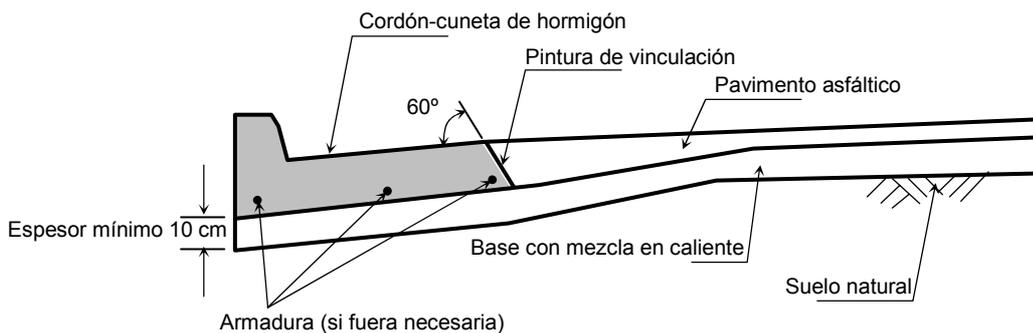
Uno de los principales objetivos a tener en cuenta en la base de los pavimentos es su impermeabilidad y capacidad para mantener un bajo contenido de humedad en la base y sub-base.

El aumento de calidad resultante de los nuevos sistemas de pavimentos debe resultar en una significativa reducción de la necesidad construir sobrecapas o capas selladoras a futuro.

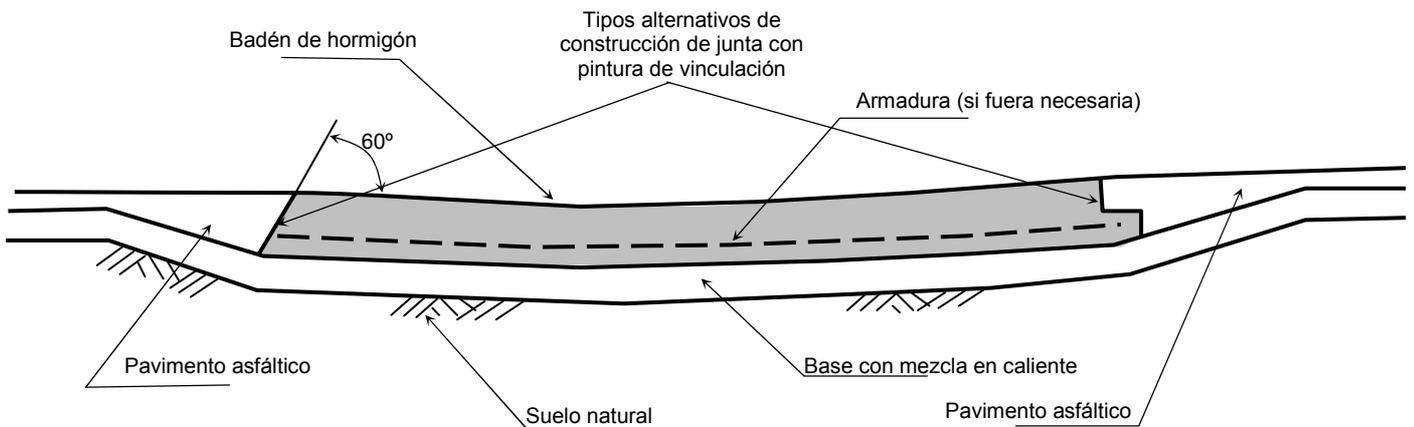
Asimismo, debe evitarse el goteo habitual en la unión entre cunetas o badenes de hormigón y pavimentos asfálticos. En el diseño siempre es adecuado llevar a cabo consideraciones especiales al proyectar las uniones entre cunetas y el pavimento (y badén y pavimento) dado que una significativa causa del deterioro del pavimento se inicia a partir de la intrusión de agua entre la unión de esos elementos.

En el caso de badenes en pavimentos asfálticos, puede evaluarse la alternativa de ejecutar los badenes con material bituminoso de alta calidad en lugar de badenes de hormigón, para lograr la continuidad del material bituminoso y no tener que recurrir a uniones de materiales diferentes.

En la Figura 9.10 se muestran algunas recomendaciones constructivas elementales sugeridas por el Instituto del Asfalto americano para prevenir la rotura en la junta entre la cuneta y el pavimento y entre badén y pavimento.



SECCION TIPICA RECOMENDADA PARA CONSTRUCCIÓN DE CORDÓN-CUNETAS DE HORMIGON



SECCION TIPICA RECOMENDADA PARA CONSTRUCCIÓN DE BADENES DE HORMIGÓN

Figura 9.10. Detalles Constructivos para construcción de cordón-cuneta y badenes de hormigón. Fuente: UDFCD (1984)

9.6 CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL DRENAJE PLUVIAL EN CALLES URBANAS

El diseño hidráulico de calles urbanas en general comprende dos escenarios. El primero corresponde a la lluvia inicial o tormenta de diseño asociada a una recurrencia $2 \leq R \leq 10$ años, donde la premisa es que el agua no supere el nivel del cordón. El segundo escenario corresponde a una lluvia máxima con recurrencia $50 \leq R \leq 100$ años y la premisa fundamental es la no inundación de edificaciones no preparadas.

La selección de la frecuencia de la crecida de diseño depende de una serie de factores tales como clasificación de las calles, volumen de tráfico, velocidad de diseño, circulación peatonal, etc. En la Tabla 9.1 se presentan una serie de valores orientativos presentados por Guo (1997) para las frecuencias de crecidas para diferentes tipos de uso del suelo y categoría de calles y carreteras.

9.6.3 Capacidad hidráulica de la calle para la tormenta inicial o de diseño

La determinación de la capacidad hidráulica de conducción de una calle para la tormenta de diseño (tormenta inicial) debe basarse en la siguientes consideraciones:

- La ocupación del pavimento por parte del agua para las condiciones de flujos teóricas calculadas.
- Una reducción empírica de la capacidad hidráulica de transporte teórica disponible en función de las condiciones reales de campo.

Tabla 9.1. Tormentas de diseño para los Sistemas Menores y Mayores de drenaje. Fuente: Guo (1997)

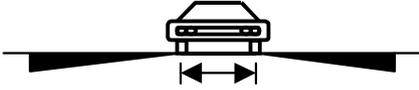
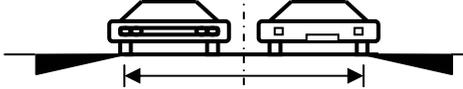
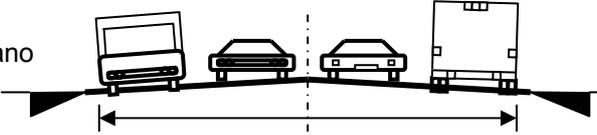
Uso del Suelo	Sistema Menor Recurrencia (años)	Sistema Mayor Recurrencia (años)
Residencial	2	100
Comercial	5	100
Industrial	6	100
Escuelas	10	100
Areas de negocios	10	100
Calles mayores	5	100
Autopistas de dos carriles	5	25
Autopistas de cuatro carriles	5	50
Autopistas interprovinciales	100	100
Depresiones en autopistas	100	100

9.6.1.1 Ocupación del Pavimento

La ocupación del pavimento para la tormenta de diseño se limita en función de la jerarquía de la calle. En la Tabla 9.2 se describen las máximas ocupaciones admisibles. Pueden existir variabilidades de criterio de definición de una comunidad a otra, por lo que en todos los casos deben ser consultados los estándares locales.

El sistema de conductos pluviales debe comenzar en el punto donde es alcanzado el máximo ancho de ocupación admisible y debe ser proyectado sobre la base de la tormenta de diseño.

Tabla 9.2 Inundación admisible de la calle para lluvia inicial o de diseño. Fuente: UDFCD (1984)

Clasificación de la calle	Máxima Ocupación
LOCAL o SECUNDARIA	No debe haber sobrepaso de cordón (*). El flujo puede ocupar el coronamiento de la calle. 
COLECTORA o PRINCIPAL	No debe haber sobrepaso de cordón (*). El ancho de inundación debe ser de modo tal de dejar al menos una mano de tránsito libre. 
ARTERIA o AVENIDA	No debe haber sobrepaso de cordón (*). El ancho de inundación debe ser de modo tal de dejar al menos una mano de tránsito libre en cada dirección. 
AUTOPISTA	Ninguna ocupación por parte del flujo es admisible en ninguna mano de tránsito. 

(*) Donde no existe cordón la inundación de la calle no debe involucrar las veredas ni las propiedades

9.6.1.2 Cálculo de la capacidad hidráulica teórica

Una vez que la ocupación máxima admisible ha sido establecida, la capacidad de conducción teórica de la cuneta (Figura 9.11) puede ser calculada mediante la ecuación de Manning-Izzard para flujo en canal triangular.

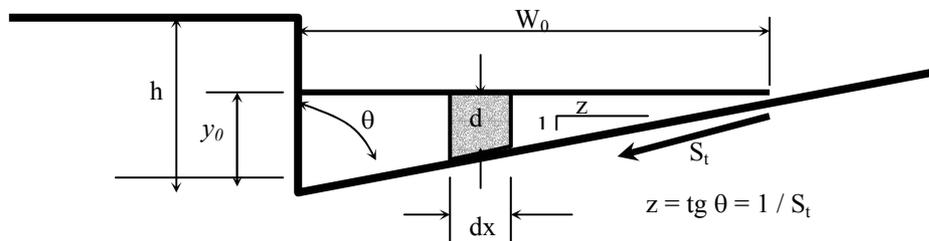


Figura 9.11 Cuneta triangular

El caudal en un área diferencial es:

$$dQ = \bar{V} dA \tag{9.1}$$

$$dQ = \bar{V} (d dx) \tag{9.2}$$

siendo la velocidad

$$\bar{V} = \frac{1}{\eta} d^{2/3} S_t^{1/2} \tag{9.3}$$

donde η el coeficiente de resistencia de Manning; $d(m)$ la altura de agua en el diferencial de área dA y considerado como el radio hidráulico y $S_t (m/m)$ la pendiente longitudinal de la cuneta.

Reemplazando la expresión de velocidad en ec.(9.2), operando algebraicamente, teniendo en cuenta que $dx = dy / S_t$ e integrando el diferencial de caudal, se llega una expresión como la ec. (9.5):

$$\int_0^Q dQ = \frac{1}{\eta} \frac{S_t^{1/2}}{S_t} \int_0^y d y^{5/3} \quad (9.4)$$

$$Q = 0.375 \frac{1}{\eta} z y_0^{8/3} S_t^{1/2} \quad (9.5)$$

donde Q(m³/s) es el caudal conducido, $z = 1/S_t$; S_t (m/m) es la pendiente transversal de la cuneta; y_0 (m) es la altura máxima de la sección mojada. La ec. (6.5) puede ser reordenada de la manera:

$$Q = 0.375 \frac{1}{\eta} S_t^{5/3} W_0^{8/3} S_t^{1/2} \quad (9.6)$$

donde W_0 (m) es el ancho mojado superficial de la cuneta. En general es recomendable adoptar valores de rugosidad de Manning $\eta=0.016$ y pendiente transversal $S_t= 0.02$ (2%).

Dos configuraciones típicas se presentan en la Figura 9.12, correspondiendo al caso de calle sin y con estacionamiento permitido. Si la pendiente longitudinal de la cuneta $S_l = 0.003$ el caudal conducido para un tirante de 0.05 m será de 0.00522 m³/s en la cuneta sin estacionamiento permitido y 0.00785 m³/s en la cuneta con estacionamiento permitido.

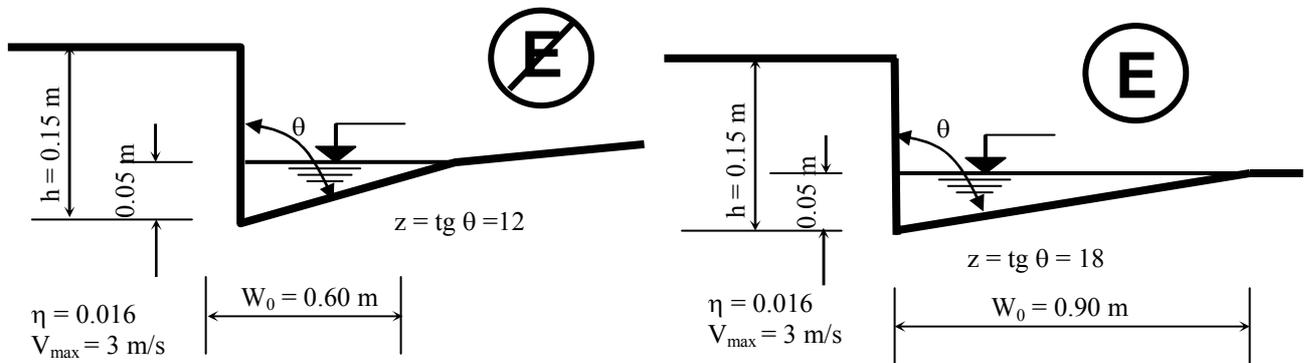


Figura 9.12 Secciones típicas de cunetas triangulares

Badenes V. En el caso de badenes con forma de V (Figura 9.13) el cálculo de su capacidad teórica se puede llevar a cabo como dos cunetas triangulares, donde el valor de z resulta:

$$z = T / y_0 = (tg \theta_1 + tg \theta_2) \quad (9.7)$$

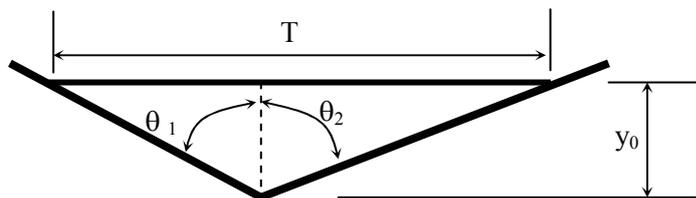


Figura 9.13 Secciones típicas de cunetas triangulares

Secciones Compuestas. Son de uso frecuente cunetas con secciones compuestas donde la pendiente transversal de la calle aumenta en las cercanías del cordón-cuneta (Figura 9.13). El caudal se calcula dividiendo la sección en sectores y posteriormente sumando los aportes de caudal de cada sector. Si se sectoriza como en la Figura 9.14, el caudal se calcula como $Q = Q_1 - Q_2 + Q_3$ y considerando $z = tg \theta$; $z' = tg \theta'$; $W = z (y - y')$ y $y' = y - W/z$

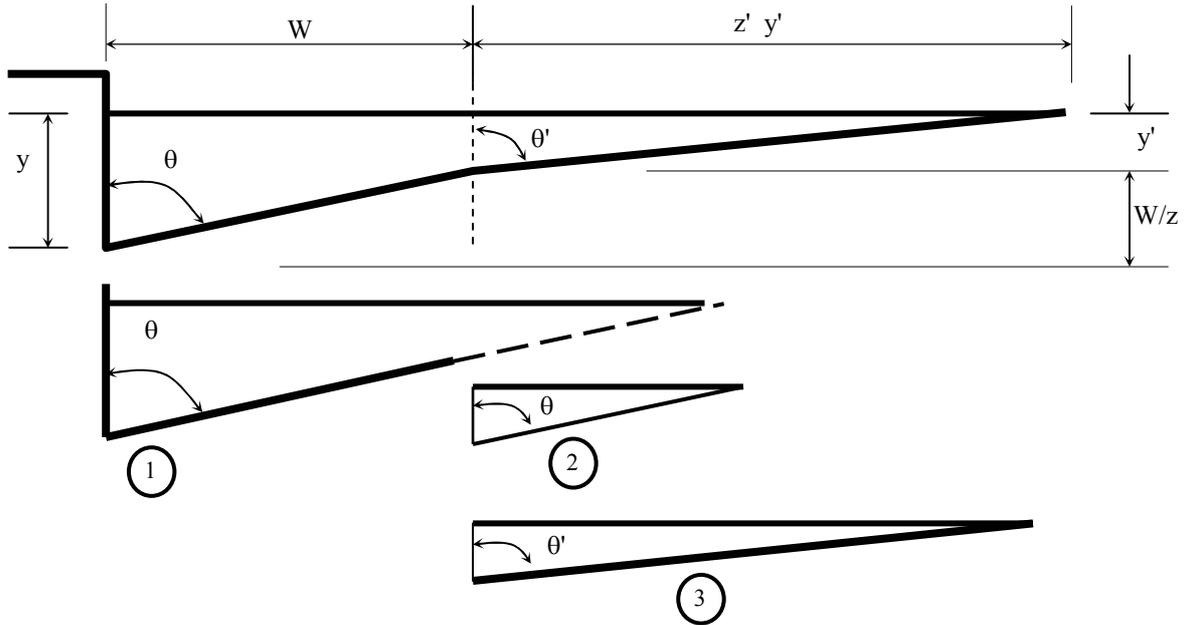


Figura 9.14 Secciones Compuestas

9.6.1.3 Determinación de la Capacidad Admisibile de una cuneta

La capacidad admisible de una cuneta puede ser determinada mediante el producto de la capacidad teórica por un factor empírico de reducción F. Este factor es función de la pendiente longitudinal S_l de la cuneta.

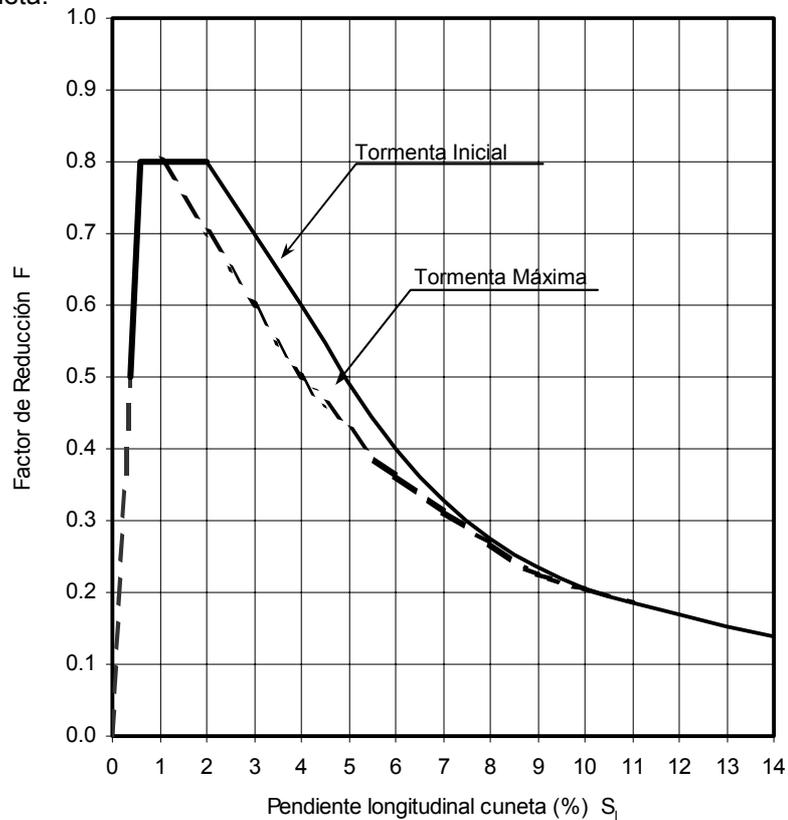


Figura 9.15. Factor de Reducción para Capacidad Admisibile de Cunetas. Fuente: UDFCD (1984)

Ejercicio 1

Definir si es necesario colocar bocas de tormenta (sumideros) al final de una calle que drena un área de 2,5 Ha, con un caudal de proyecto de $0.482 \text{ m}^3/\text{s}$. Las características del cordón-cuneta son : $y_0 = 0.13 \text{ m}$; $S_1 = 1.5\%$; $z = 12$ y $\eta = 0.012$

Solución: Existen dos cordones-cuneta, paralelos a cada lado de la calle por lo cual la capacidad teórica es según ec. (9.5):

$$Q = 2 \times 0.375 \times 0.13^{(8/3)} \times 12 \times 0.015^{(1/2)} \times 1/0.012 = \underline{0398 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Factor de reducción $F = 0.80$ ($S_1 = 1.5\%$)

$$Q_{\text{adm}} = 0.80 \times 0398 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{0.318 \text{ m}^3/\text{s}} < 0.482 \text{ m}^3/\text{s}$$

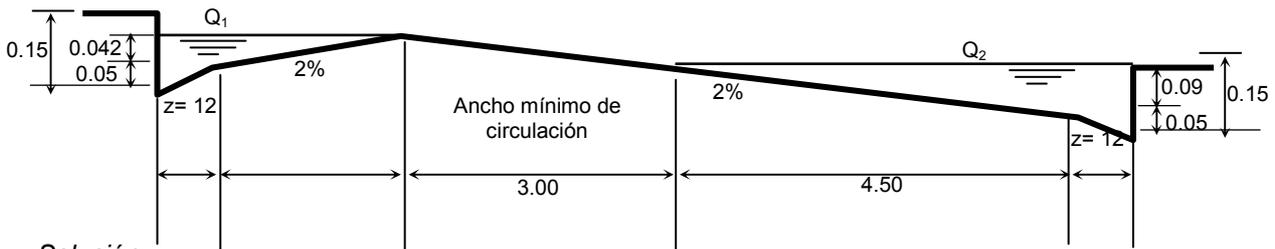
$Q_{\text{adm}} < Q_{\text{proyecto}} \Rightarrow$ debe interceptarse parte del Q_{proyecto} antes del final de la calle

Verificación de Velocidad Máxima: La capacidad admisible de cada cuneta es $0.318/2 = 0.159 \text{ m}^3/\text{s}$ y el área de la sección transversal mojada es $A_t = 0.5 \times 0.13 \times (12 \times 0.13) = 0.1014 \text{ m}^2$, por lo que la velocidad media del flujo es $V = 0.159 \text{ m}^3/\text{s} / 0.1014 \text{ m}^2 = \underline{1.57 \text{ m/s}} < 3.00 \text{ m/s} = V_{\text{adm}}$

Ejercicio 2

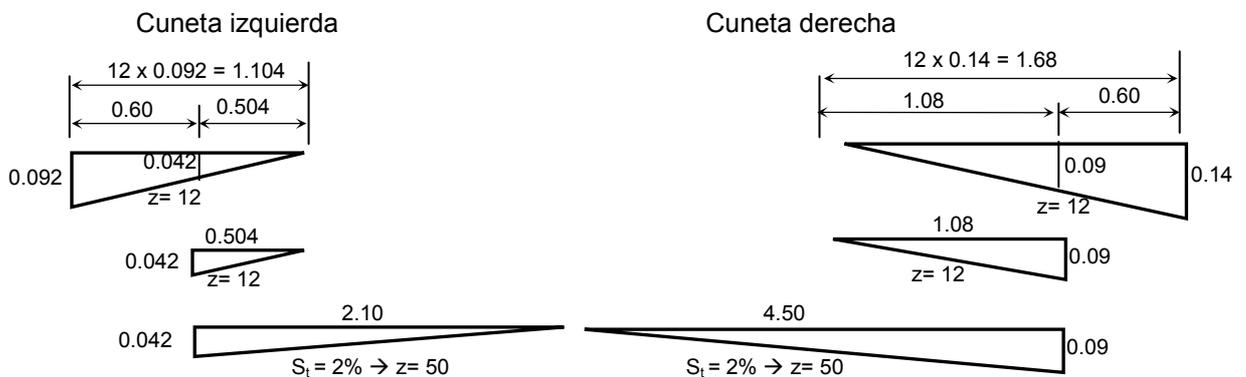
Se desea determinar la capacidad admisible de cada cuneta para la lluvia de proyecto, en una calle con perfil transversal asimétrico, donde el fondo de una cuneta esta elevado respecto a la segunda.

Datos: Altura del cordón: 0.15 m Ancho / Profundidad de cuneta: 0.60 m / 0.05 m $\rightarrow z = 12$
 Pendiente transversal 2% Coronamiento de calle a 1/4 de ancho
 Desnivel entre cunetas 0.108 m Pendiente longitudinal calle: 5%
 Jerarquía: calle colectora Ancho de calle: 10.80 m



Solución:

1. Determinación de inundación admisible. De Tabla 9.1 dado que se trata de una calle colectora debe considerarse una franja sin agua de 3.00 m para el tránsito.
2. Determinación de capacidad teórica y admisible en cada cuneta. Se tratan como secciones compuestas.



Aplicando la ec. (9.5) en cada uno de los sectores, la capacidad teórica resulta :

$$\text{Cuneta izquierda } Q_1 \text{ teórico} = \frac{0.375 \times 0.05^{1/2}}{0.016} \left[12 \times 0.092^{8/3} - 12 \times 0.042^{8/3} + 50 \times 0.042^{8/3} \right] = 0.151 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Cuneta derecha $Q_2 \text{ teórico} = \frac{0.375 \times 0.05^{1/2}}{0.016} \left[12 \times 0.14^{8/3} - 12 \times 0.09^{8/3} + 50 \times 0.09^{8/3} \right] = 0.656 \text{ m}^3 / \text{s}$

Para la determinación de la capacidad amisible se afecta a los caudales teóricos por el factor de reducción F, en este caso para una pendiente longitudinal $S_l = 0.05$ y lluvia inicial $\rightarrow F = 0.49$, por lo cual los caudales admisibles son:

Cuneta izquierda $Q_1 = 0.49 \times 0.151 \text{ m}^3/\text{s} = 0.074 \text{ m}^3/\text{s}$

Cuneta derecha $Q_2 = 0.49 \times 0.656 \text{ m}^3/\text{s} = 0.321 \text{ m}^3/\text{s}$

9.6.2 Capacidad hidráulica de la calle para la tormenta máxima

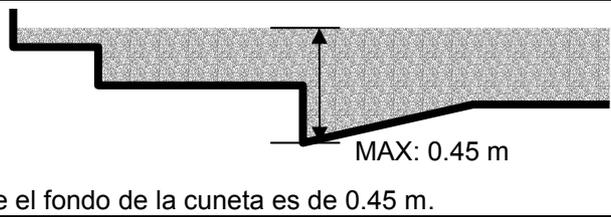
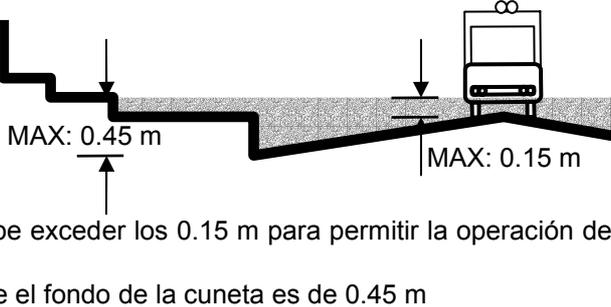
La determinación de el flujo admisible para la lluvia máxima debe estar basado en las siguientes consideraciones:

- a) Capacidad teórica, establecida en función de la altura de agua y zona inundada admisibles.
- b) Determinación de la capacidad admisible. Reducción de la capacidad teórica debido a consideraciones de velocidad.

9.6.2.1 Altura de agua y zona inundada admisibles

La altura de agua y la zona inundada admisibles para la tormenta máxima deben limitarse a las consideraciones establecidas en la Tabla 9.3:

Tabla 9.3. Inundación admisible de la calle para el escurrimiento de la lluvia máxima.
Fuente: UDFCD (1984)

Clasificación de la calle	Máxima Ocupación
LOCAL y COLECTORA	 <p>Viviendas residenciales, edificios públicos, comerciales e industriales no deben estar inundados en la línea de edificación a menos que sean edificios preparados. La altura de agua máxima sobre el fondo de la cuneta es de 0.45 m.</p>
AVENIDA Y AUTOPISTA	 <p>Viviendas residenciales, edificios públicos, comerciales e industriales no deben estar inundados en la línea de edificación a menos que sean edificios preparados. La altura de agua sobre el coronamiento de la calle no debe exceder los 0.15 m para permitir la operación de vehículos de emergencia. La altura de agua máxima sobre el fondo de la cuneta es de 0.45 m</p>

9.6.3 Acumulaciones superficiales o encharcamientos

Con este término nos referiremos a aquellos sitios donde el escurrimiento se almacena en la superficie de las calles. Tal es el caso de depresiones de bocas de tormenta, intersecciones de calles, puntos bajos, intersecciones con canales de drenaje, etc.

Las limitaciones en la ocupación de las calles por parte de las acumulaciones superficiales para la tormenta inicial son las mismas que las correspondientes al escurrimiento de la tormenta inicial y presentadas en la Tabla 9.2.

Las limitaciones en la ocupación de las calles por parte de las acumulaciones superficiales para la tormenta máxima son las mismas correspondientes al escurrimiento de la lluvia máxima y presentadas en Tabla 9.3.

9.6.4 Flujo transversal

El flujo transversal al eje de la calle es en general de dos categorías. El primer tipo es el escurrimiento que ha sobrepasado la capacidad de una cuneta y entonces atraviesa la calle hacia la cuneta opuesta o hacia un sumidero. El segundo tipo es el flujo que atraviesa la calle desde alguna fuente externa, como puede ser una vía de desagüe excedida en su capacidad aguas abajo.

En la Tabla 9.4 se presentan las limitaciones de la altura de agua para el flujo transversal tanto para la tormenta inicial o de proyecto como para la tormenta máxima.

La capacidad teórica de flujo transversal en una calle debe ser estimada en base a las limitaciones de Tabla 9.4 y otras limitaciones como las correspondiente a acumulaciones superficiales. Dado que la naturaleza de este tipo de flujo es muy variable no hay una regla fija para su cálculo. No obstante su determinación se basa en las características geométricas e hidráulicas (perfil transversal, desnivel, pendientes transversal y longitudinal, rugosidad, etc) de las calles.

Una vez establecida la capacidad teórica, debe calcularse la capacidad admisible afectando la primera por el factor de reducción F presentado en la Figura 9.15. En este caso la pendiente utilizada es la correspondiente a la superficie libre del flujo (en lugar de la pendiente longitudinal de la cuneta).

Tabla 9.4 Flujo transversal admisible en calles. Fuente: UDFCD (1984)

Clasificación de la calle	Tormenta de proyecto	Tormenta máxima
LOCAL o SECUNDARIA	No exceder los 0.15 m sobre coronamiento de calle o en badenes transversales.	No exceder los 0.45 m de altura de agua en la línea de la cuneta.
COLECTORA o PRINCIPAL	Si los badenes son permitidos, no exceder los 0.15 m de altura de agua en ellos.	No exceder los 0.45 m de altura de agua en la línea de la cuneta
ARTERIA o AVENIDA	No se permite.	No exceder los 0.15 m sobre coronamiento
AUTOPISTA	No se permite.	No exceder los 0.15 m sobre coronamiento

9.6.5 Consideraciones Especiales

Las limitaciones de altura de agua como de zona inundada pueden necesitar ser modificadas por consideraciones para peatones. Un ejemplo de ello son las calles adyacentes a escuelas y hospitales. En este caso a pesar de que las calles puedan ser consideradas calles locales para el tránsito vehicular, desde el punto de vista de los peatones son calles arterias, por lo que debe ser proyectadas hidráulicamente desde este último punto de vista. Debe destacarse que los aspectos sociológicos del diseño para peatones son por lo menos tan importantes como los aspectos atinentes al tráfico vehicular.

En zonas comerciales u otra zonas donde se combinen factores como: construcción desde la línea de edificación (sin retiros), elevada circulación vehicular y la abundante circulación peatonal por veredas, deben contemplarse consideraciones especiales respecto a la interferencia con el tránsito peatonal. Las salpicaduras proveniente de los vehículos pueden dañar edificaciones y hacen la circulación peatonal prácticamente imposible. Todo acumulación superficial o flujo en cuneta que exceda los 0.60 m en

extensión superficial es ciertamente dificultoso y en ocasiones imposible de atravesar por los peatones. En estas zonas es necesario considerar la alternativa de reducir la inundación admisible del pavimento, las alturas de agua cercanas al cordón en intersecciones o proyectar sumideros adicionales para interceptar el flujo antes de que alcance la intersección.

En lo referente a áreas industriales, éstas a menudo se localizan en zonas llanas y habitualmente sujetas a inundaciones. El criterio general es que instalaciones no preparadas o no protegidas para inundaciones no sean afectadas para la crecida generada por la lluvia máxima.

Cabe destacar que los criterios aquí expresados se aplican a nuevas áreas desarrolladas. En áreas existentes, puede ser apropiado aceptar que el sistema ya existe, y si es necesario considerar modificaciones.

9.7 CRITERIO DE DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL PARA CALLES RURALES

Las calles rurales y algunas calles de zonas urbanas y semirurbanas se caracterizan por utilizar las zanjas laterales como componentes del drenaje pluvial en lugar de los cordones y cunetas de las calles urbanas. La mayoría de los requerimientos especificados en cuatro grupos para calles urbanas son aplicables a calles rurales. En este punto se describen una serie de consideraciones especiales para el diseño propio de calles rurales.

9.7.1 Capacidad de la calle para la tormenta inicial o de diseño

La determinación de la capacidad hidráulica de conducción de la calle para la tormenta inicial debe basarse sobre las siguientes consideraciones:

- a) Inundación admisible de la calle
- b) Velocidad máxima admisible para prevenir erosiones

En lo que concierne a la inundación admisible de la calle rural, deben considerarse las mismas limitaciones expresadas en la Tabla 9.2 correspondiente a lluvia inicial en calles urbanas.

Una vez definida la ocupación del pavimento, debe ser fijada la máxima velocidad admisible para las vías de drenaje (zanjas, canales, etc). Si bien dada la importancia de la evaluación de la erosión pueden ser necesarios estudios adicionales para la definición de la velocidad máxima admisible, orientativamente puede tenerse en cuenta los valores sugeridos por el UDFCD (1984) que se presentan en la Tabla 9.5.

Para minimizar problemas de sedimentación las velocidades de diseño para cualquier tipo de cobertura no debe ser menor a 0.60 m/s para la tormenta inicial. La capacidad admisible de la cuneta debe ser calculada usando, por ejemplo, la ecuación de Manning utilizando un valor apropiado de η .

9.7.2 Capacidad de la calle para la tormenta máxima

La determinación de la capacidad hidráulica de conducción de la calle para la tormenta máxima debe basarse sobre las siguientes consideraciones:

- a) Altura de agua admisible y área inundada.
- b) Velocidad máxima admisible para prevenir erosiones

Las limitaciones establecidas en Tabla 9.3 para calles urbanas gobiernan la altura admisible y área inundada para calles rurales.

9.7.3 Intersecciones y accesos a propiedades

Tanto en intersecciones como en accesos a propiedades es necesario transportar el escurrimiento para lo cual deben ser usadas las alcantarillas debidamente calculadas para permitir el paso bajo el pavimento sin generar obstrucciones al flujo que puedan producir importantes incrementos de la altura del pelo de agua.

En lo que concierne a ocupación por inundación de la intersección y altura de flujo son válidas las mismas restricciones que para calles urbanas.

Tabla 9.5. Valores orientativos para velocidades máximas no erosivas en zanjas. Fuente: UDFCD (1984)

Canales con cobertura erosionable		
Tipo de Cobertura (tierra , no vegetación)	Velocidad máxima permitida (m/s)	
Arena fina (no coloidal)	0.75	
Arcilla arenosa (no coloidal)	0.75	
Arcilla limosa (no coloidal)	0.90	
Arcilla firme	1.10	
Grava fina	1.50	
Arcilla compacta (muy coloidal)	1.50	
Limo (no coloidal)	1.10	
Limo (coloidal)	1.50	
Canales con cobertura de pasto bien mantenida		
Pendiente longitudinal	Velocidad Máxima permitida (m/s) Suelos Resistentes	Velocidad Máxima permitida (m/s) Suelos fácilmente erosionables
0-5%	1.80	1.50
5-10%	1.50	1.20
mayor a 10%	1.20	0.90

9.8 CRITERIOS DE DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL EN INTERSECCIONES DE CALLES

9.8.1 Capacidad de la cuneta para la tormenta inicial

9.8.1.1 Ocupación del pavimento

Las limitaciones para ocupación del pavimento a tener en cuenta en intersecciones son las presentadas en la Tabla 9.2.

9.8.1.2 Capacidad teórica

La capacidad teórica de conducción de flujo de cada cuneta en las intersecciones debe ser calculada de acuerdo a lo descrito en el punto 9.6.1.2.

Pendiente longitudinal continua: en los casos en que la pendiente longitudinal continúa a través de la intersección, como así también cuando se utilizan badenes, la pendiente usada para calcular la capacidad debe ser la correspondiente a la de la cuneta dentro de la intersección (Figura 9.16. Corte A-A)

Cambio de dirección: cuando el flujo en cuneta debe cambiar de dirección dentro la intersección en un ángulo mayor a 45°, la pendiente usada para el cálculo de la capacidad hidráulica deberá ser la pendiente efectiva de la cuneta. Ésta se define como el promedio de las pendientes de la cuneta en el punto de cambio de dirección, a 7.50 m y a 15.00 m del punto de cambio de dirección, contados en la dirección hacia aguas arriba (Figura 9.16. Corte B-B).

Intercepción de flujo en sumideros: cuando el flujo es interceptado por un sumidero en la intersección, en un punto intermedio de pendiente continua, debe ser utilizada la pendiente efectiva de la cuneta. En estas condiciones los puntos para promediar los valores de pendiente son a una distancia de 0.00 m, 7.50 m y 15.00 m contados a partir de la localización del sumidero y en la dirección hacia aguas arriba.

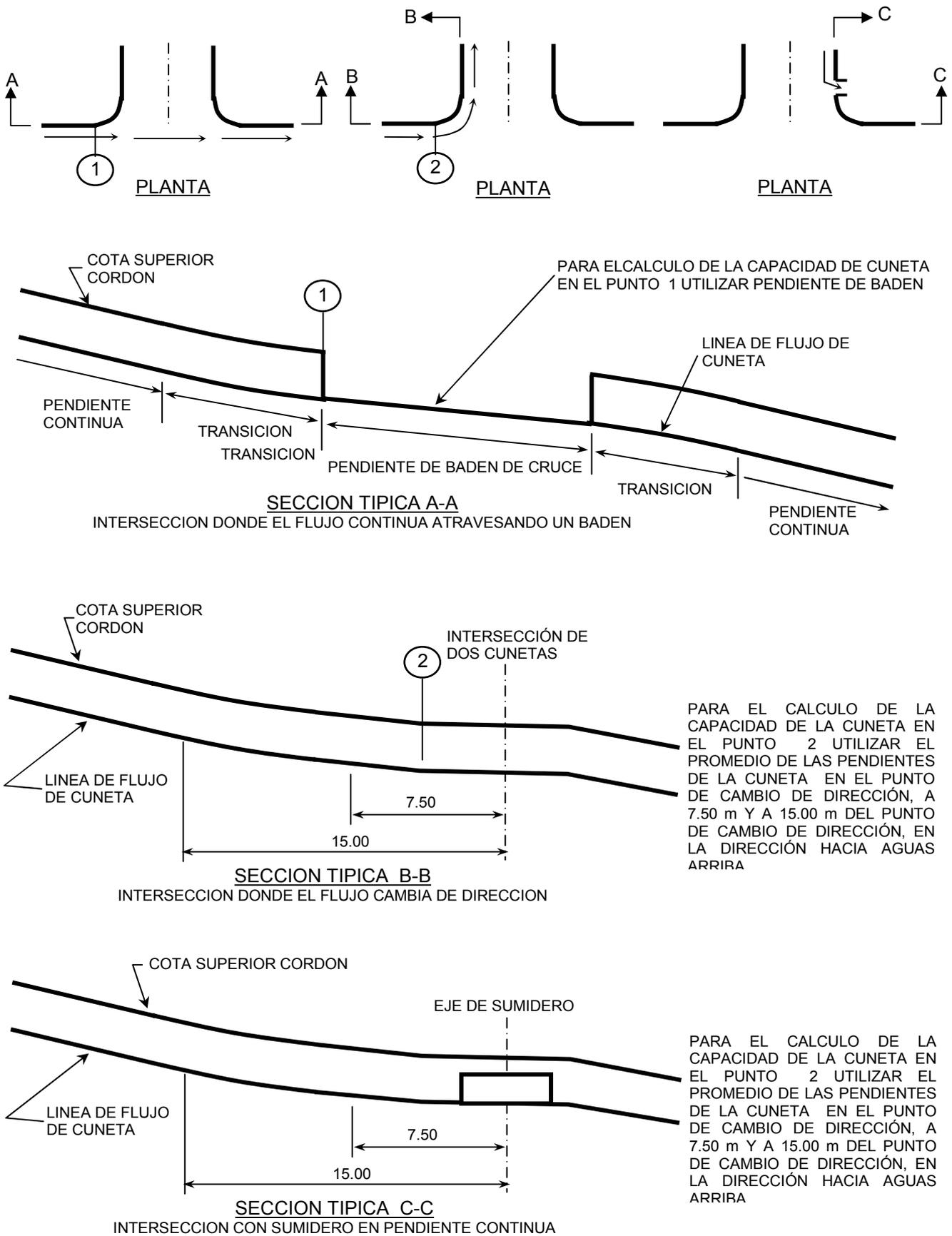


Figura 9.16. Consideraciones de diseño para el drenaje pluvial en intersecciones de calles.
Fuente: UDFCD (1984)

9.8.1.3 Capacidad Admisible

La capacidad admisible para cunetas en intersecciones debe ser calculada aplicando un factor de reducción F a la capacidad teórica.

Flujo aproximándose a una calle arteria o avenida: cuando la dirección del flujo es hacia una calle arteria, la capacidad hidráulica de conducción de flujo debe ser calculada mediante la aplicación de un factor de reducción F (Figura 9.17) a la capacidad teórica de la cuneta. La pendiente longitudinal utilizada para determinar el factor de reducción F es la misma que la utilizada para el cálculo de la capacidad teórica.

Flujo aproximándose a una calle de menor jerarquía que una avenida: en este caso la capacidad admisible de la cuneta en las proximidades de la intersección se determina aplicando el factor de reducción presentado en la Figura 9.15 a la capacidad teórica de la cuneta. La pendiente longitudinal utilizada para determinar el factor de reducción F es la misma que la utilizada para el cálculo de la capacidad teórica.

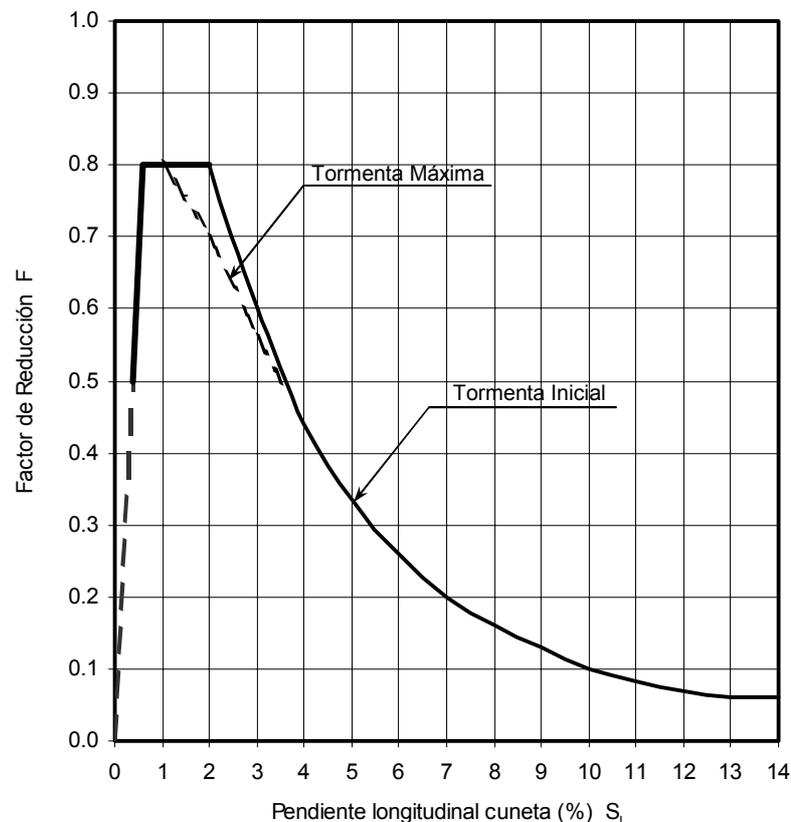


Figura 9.17. Factor de Reducción para Capacidad Admisible de Cunetas cuando se interseccionan con Calles Arterias. Fuente: UDFCD (1984)

8.9 BIBLIOGRAFÍA

Guo, J. C. Y. (1997), Street Hydraulics and Inlet Sizing, Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado, USA.

UDFCD, Urban Drainage and Flood Control District, (1984), Urban storm drainage criteria manual, Denver Regional Council of Governments, Denver, Colorado, USA.