

<b>5</b>	<b>DISEÑO ELEMENTOS URBANOS DE INFRAESTRUCTURA DE AGUAS LLUVIAS</b>	<b>3</b>
<b>5.1</b>	<b>ALCANCES</b>	<b>3</b>
5.1.1	USO DE ESTE CAPÍTULO	3
<b>5.2</b>	<b>MARCO LEGAL</b>	<b>3</b>
<b>5.3</b>	<b>PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS LLUVIAS Y SU CORRECTO MANEJO</b>	<b>5</b>
5.3.1	EXTERNALIDADES NEGATIVAS DEL DESARROLLO URBANO	5
5.3.2	CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	5
5.3.3	DESTINO DE LAS AGUAS	6
5.3.4	DIRECTRICES GENERALES PARA UNA CORRECTA SOLUCIÓN	6
5.3.4.1	Disminuir la Escorrentía	7
5.3.4.2	Favorecer la Retención	7
5.3.4.3	Usar y Mantener la Red Natural de Drenaje	7
5.3.4.4	Colectores Subterráneos	8
<b>5.4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE DISEÑO</b>	<b>8</b>
5.4.1	PROPIEDADES DE LAS TORMENTAS	8
5.4.2	RELACIONES INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA	9
5.4.3	TORMENTAS DE DISEÑO	11
5.4.4	PROPIEDADES DE LAS CUENCAS	13
5.4.4.1	Tiempo de Concentración	13
5.4.4.2	Abstracción y Lluvia Efectiva	16
5.4.4.3	Coeficiente de Escorrentía	17
5.4.4.4	Propiedades de los suelos	20
5.4.5	MÉTODOS	20
5.4.5.1	Método Racional	20
5.4.5.2	Método Racional Modificado	21
5.4.5.3	Método del Soil Conservation Service (SCS)	24
5.4.5.4	Método Modelo SWMM	26
<b>5.5</b>	<b>DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS</b>	<b>27</b>
5.5.1	CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	27
5.5.2	OBRAS COMPLEMENTARIAS	28
5.5.2.1	Desconexión de áreas impermeables	28
5.5.2.2	Obras de infiltración	29
5.5.2.3	Obras de almacenamiento	31

5.5.3	TRANSPORTE EN CALLES	32
5.5.3.1	Escurrimiento en vías públicas	32
5.5.3.2	Perfiles transversales de calles y cunetas	33
5.5.3.3	Capacidad hidráulica de calles	36
5.5.3.4	Capacidad de diseño para tormentas menores	36
5.5.3.5	Capacidad máxima	39
5.5.4	SUMIDEROS	41
5.5.4.1	Tipos de sumidero	42
5.5.4.2	Capacidad máxima de sumideros	43
5.5.4.3	Capacidad de diseño de sumideros	44
5.5.4.4	Ubicación de sumideros	46
5.5.4.5	Intersección de calles	47
5.5.4.6	Cruce Peatonal	49
5.5.4.7	Ciclovías	49
5.5.5	COLECTORES	50
5.5.5.1	Colectores subterráneos	50
5.5.5.2	Colectores superficiales	59
5.5.6	PLANTAS ELEVADORAS	62
<b>5.6</b>	<b>TIPOS DE PROYECTOS Y SUS REQUERIMIENTOS</b>	<b>63</b>
5.6.1	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE LOS PROYECTOS	63
5.6.1.1	Memoria Técnica de Aguas Lluvias	63
5.6.1.2	Especificaciones Técnicas de Aguas Lluvias	64
5.6.1.3	Presupuesto, Itemizado	64
5.6.1.4	Planos	65

## 5 DISEÑO ELEMENTOS URBANOS DE INFRAESTRUCTURA DE AGUAS LLUVIAS

El ciclo del agua (evaporación, precipitación, infiltración, escurrimiento) es un proceso natural con la que toda obra de edificación y/o urbanización debe convivir e incluso aprovechar. Las aguas lluvias asociadas a un proyecto o a un sector, no son en sí mismas un problema, sino que es el mal manejo de éstas lo que puede constituir un problema. Este capítulo abordará diversos temas relacionados con la legalidad, el diseño y políticas de diseño, con el fin último de llevar a la práctica el buen manejo de las aguas lluvias en zonas urbanas. De esta forma, poder representar a través de obras hidráulicas, en el mejor de los casos el equilibrio y armonía que ya existen en la naturaleza.

### 5.1 ALCANCES

Los proyectos de urbanización deben considerar la solución de los problemas que puedan producir las aguas lluvias en la zona a urbanizar, utilizando para ello las obras y elementos técnicos necesarios. Debido a que en las zonas urbanas la solución de este tipo de problemas involucra la participación de varios actores, esta normativa tiene por fin velar porque las soluciones sean coherentes con el entorno, se adecuen a soluciones más generales y eviten conflictos de intereses con terceros. La aplicación de esta norma tiene los siguientes objetivos generales:

- Mantener vigentes en el mediano y largo plazo las soluciones estructurales de drenaje de aguas lluvias y el Plan Maestro elaborado para sectores ya urbanizados.
- Solucionar los problemas generados por las aguas lluvias en los lugares en que éstos se originan, sin traspasarlos hacia aguas arriba o aguas abajo, evitando que se afecte o traspase el problema a terceros.
- Lograr soluciones eficaces con costos razonables de inversión, operación y mantención.
- Incorporar las soluciones de los problemas de aguas lluvias de manera armónica con el proceso de urbanización.

#### 5.1.1 Uso de este capítulo

Todas las definiciones expuestas en este capítulo se aplican a los proyectos de redes secundarias de aguas lluvias desarrollados en cumplimiento de las disposiciones de la Ley 19.525, y es aplicable a sectores urbanos de la Región Metropolitana.

La red secundaria de aguas lluvias está formada por un conjunto de elementos que captan, retienen y conducen las aguas lluvias en la parte inicial de las redes de drenaje urbano, hasta entregarlas a un sistema de recepción adecuado hacia aguas abajo. Este sistema de drenaje se considera red secundaria hasta que pasa a formar parte de la red primaria definida en el Plan Maestro.

### 5.2 MARCO LEGAL

En lo relacionado a las aguas lluvias y su manejo técnico, participan diversos sectores e instituciones. A continuación, una breve reseña de cada una de esas instituciones y su participación y relevancia:

- **MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanización y SERVIU, Servicio de Vivienda y Urbanismo:** La Ley 19.525 dispone que el MINVU se encargará de la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red secundaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias, actuando a través de los Serviu en las labores de construcción y mantención.
- **DOH, Dirección de Obras Hidráulicas:** La Ley 19.525 dispuso que la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias corresponde al MOP, a través de la DOH.
- **DGA, Dirección General de Aguas:** El Código de Aguas le confiere, en gran medida, las atribuciones de normar, controlar y fiscalizar los derechos de aprovechamiento de aguas, la construcción de obras de riego, drenaje y el control de cauces y riberas.
- **Municipalidades, DOM:** En relación con los proyectos de aguas lluvias en particular, les corresponde fiscalizar el cumplimiento de las regulaciones contenidas en la LGUC y OGUC aplicables, tanto a la red domiciliaria, como a la red secundaria.
- **Empresas Sanitarias:** El manejo de las aguas lluvias, por regla general, no entrarían en su ámbito de funciones, salvo en zonas dotadas de redes unitarias, que evacúan simultáneamente aguas servidas y aguas lluvias.

Es importante que el proyectista considere las recomendaciones de otros instructivos de diseño y ordenamiento territorial, tales como:

- Ley 19.525 de Aguas Lluvias
- Guía de Diseño de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos del MINVU.
- Plan Maestro de Aguas Lluvias del Gran Santiago
- Manual de Drenaje Urbano, DOH.
- Código de Agua.
- Plan Regulador Metropolitano de Santiago.
- Planes Reguladores Comunales Seccionales
- Ordenanzas Municipales
- Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones
- Manual de Vialidad Urbana
- Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación y similares.

### 5.3 PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS LLUVIAS Y SU CORRECTO MANEJO

#### 5.3.1 Externalidades Negativas del Desarrollo Urbano

La urbanización produce una alteración importante del uso del suelo. Algunos de estos cambios son la aparición de nuevas superficies como techos y pavimentos, además de innumerables cauces artificiales como calles y cunetas. Asociado al desarrollo, se incrementa además una serie de actividades como el tráfico vehicular, el comercio y los procesos industriales.

Este nuevo uso del suelo produce un cambio significativo en las condiciones naturales, y en particular en el ciclo del agua y las características hidrológicas y ambientales. Algunos de éstos son la disminución de la infiltración, la disminución de la capacidad de retención, la creación de nuevos cauces de escurrimiento y la aparición de nuevos contaminantes depositados sobre las superficies urbanas asociados a la actividad humana y disponibles para ser arrastrados por el agua.

Los cambios en el comportamiento de las aguas lluvias urbanas que producen las nuevas urbanizaciones generan externalidades negativas hacia aguas abajo. Estas externalidades generalmente no están consideradas en el diseño y la operación del sistema de drenaje de la cuenca inferior, y por lo tanto se ponen en evidencia cada vez que ocurren precipitaciones de cierta magnitud. Entre las externalidades negativas más recurrentes en las ciudades se encuentran:

- Aumento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones.
- Mayores aportes de agua sobre urbanizaciones ya consolidadas.
- Obsolescencia del sistema de drenaje de aguas abajo a medida que se desarrolla la zona superior.
- Deterioro de los cauces receptores con erosión y sedimentación excesiva.
- Aumento de la carga contaminante en los sistemas naturales de drenaje.

Todos estos efectos si no son abordados convenientemente en la misma urbanización que los genera producirán problemas hacia aguas abajo.

#### 5.3.2 Criterios Generales de Diseño

El proyectista debe considerar algunos criterios básicos que orientan las soluciones de drenaje de aguas lluvias de la zona a urbanizar. En la Región Metropolitana los proyectos deben satisfacer al menos los siguientes:

- Respetar el sistema general de drenaje y la capacidad de los colectores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.
- Evitar la inundación de calles y bienes para períodos de retorno preestablecidos en las condiciones de diseño.
- Evitar que para condiciones de lluvias importantes se genere riesgo para las personas o se produzcan daños a terceros, a la propiedad pública o privada, o pérdidas de bienes.
- Si se trata de una urbanización nueva de terrenos que no estaban urbanizados, la urbanización no debe generar mayores caudales máximos que los que se producían antes de urbanizar para las lluvias de diseño.

- El criterio anterior también podrá aplicarse a proyectos de remodelación de zonas urbanas extensas, o grandes proyectos industriales, comerciales o institucionales en zonas ya urbanizadas.
- Respetar el sistema de drenaje natural de la zona, el trazado de las quebradas y cauces naturales que existan. En lo posible incorporarlo a las áreas verdes para ser utilizado como drenaje del lugar, minimizando los impactos de la urbanización sobre el sistema natural de la cuenca hacia aguas abajo.
- Abordar la solución de los problemas de calidad de las aguas lluvias generadas en la urbanización mediante la captación y tratamiento en el lugar de una proporción importante del volumen de escorrentía anual.

### 5.3.3 Destino de las Aguas

En el proyecto de un sistema de recolección de aguas lluvias urbanas en la Región Metropolitana debe quedar claramente establecido el destino final de las aguas recolectadas por la red. Se consideran aceptables las siguientes opciones:

- Para una red de colectores secundarios debe ser la red de colectores primarios definida en el Plan Maestro de aguas lluvias de la zona, o bien un colector secundario diseñado específicamente para recibir dicho aporte.
- No se permitirá el empleo de canales de riego como receptores de aguas lluvias de la red secundaria, a menos que expresamente estén considerados de esta forma en el Plan Maestro de aguas lluvias.
- Para descargas en sectores en los cuales no se haya habilitado un colector primario o secundario destinado a recibir dichos aportes, se procederá a desarrollar el proyecto suponiendo conexión futura (disposición de red de colectores secundarios), y a la espera de la conexión se implementará un sistema alternativo adecuado de infiltración.

### 5.3.4 Directrices Generales para una Correcta Solución

Al plantear las alternativas de solución a los problemas de aguas lluvias en la urbanización debe tenerse en cuenta los criterios generales de diseño propuestos en esta norma, tener especial atención con el destino que se le dará a los excesos de las aguas generadas y considerar las opciones técnicas de solución disponibles.

La selección de alternativas técnicas de solución debe ser el resultado de un trabajo conjunto entre el urbanizador, el proyectista del sistema de drenaje y los funcionarios locales responsables del sistema público (Municipalidades y SERVIU). Las soluciones de los problemas de aguas lluvias pueden facilitarse si al inicio del proyecto se planifica la red secundaria coordinadamente con otros elementos de la urbanización.

Para seleccionar las mejores alternativas técnicas en cada proyecto se recomienda un proceso por etapas, que aborde los siguientes aspectos:

#### 5.3.4.1 Disminuir la Escorrentía

El urbanizador debe planificar la urbanización de manera de minimizar la generación de escurrimiento de aguas lluvias, tener menores caudales máximos y menos volumen escurrido, lo que conduce a menos problemas de contaminación y menores costos de las obras de drenaje. Para ello se propone:

- Reducir las áreas impermeables. Disponer las calles y vías de tránsito de la menor superficie aceptable mediante un diseño creativo de la urbanización. Utilizar al máximo y donde sea posible, pavimentos permeables en veredas, estacionamientos, pasajes y sectores de poco tránsito.
- Drenar las áreas impermeables, techos y pavimentos, hacia zonas de pasto y vegetación en las cuales se favorezca la infiltración y la retención, evitando el desagüe rápido. Favorecer de esta forma la desconexión de las áreas impermeables, intercalando entre ellas elementos permeables.
- Favorecer el drenaje de techos y superficies impermeables de viviendas y recintos privados hacia elementos propios como pozos y zanjas de infiltración, jardines drenantes y similares, promoviendo la solución al interior de los recintos y evitando que agreguen caudal hacia aguas abajo al sistema público.
- En las zonas iniciales de la red de drenaje en vez de cunetas y conductos de rápido drenaje, utilizar zanjas con vegetación, así como depresiones en áreas verdes para favorecer la detención y la infiltración.

#### 5.3.4.2 Favorecer la Retención

Buscar formas para proveer lugares de retención de las aguas lluvias antes que los excesos sean conducidos a la red de drenaje. Tratar de captar parte de cada lluvia, preferentemente la inicial, para favorecer el tratamiento de estas en el lugar mediante su retención, sedimentación y/o infiltración.

- Áreas verdes. Para ello disponer las áreas verdes del lugar en las zonas de aguas abajo, evitando las áreas verdes elevadas, y organizándolas de manera que puedan contribuir al drenaje, agrupándolas en áreas aprovechables e intercalándolas entre áreas impermeables, de manera que reciban las aguas lluvias por gravedad y entreguen los excesos, también gravitacionalmente hacia aguas abajo, pero sólo una vez que haya tenido la oportunidad de almacenarse e infiltrarse.
- Obras de almacenamiento. Proveer espacio adecuado para ubicar obras alternativas, como pavimentos porosos con detención, depresiones de las áreas verdes, estanques de retención, lagunas y otras obras de técnicas alternativas especialmente diseñadas para la urbanización.

#### 5.3.4.3 Usar y Mantener la Red Natural de Drenaje

Disponer la red de drenaje de manera de aprovechar al máximo el sistema natural, incluidas pequeñas hondonadas de uso eventual, unificando las áreas verdes y no usando las zonas bajas para otros usos urbanos, evitando la ubicación de viviendas, calles y similares en terrenos que puedan inundarse. Promover el uso de colectores abiertos o cauces naturales.

- Colectores superficiales. Aprovechar al máximo la posibilidad de usar colectores abiertos que funcionen como canales urbanos, protegidos de la erosión y con un diseño adecuado a las condiciones urbanas.
- Cauces naturales. Estabilizar y proteger contra la erosión los cauces naturales y pequeñas quebradas incorporándolas a las áreas verdes del lugar.

#### 5.3.4.4 Colectores Subterráneos

Disponer de colectores subterráneos para conducir gravitacionalmente todo el escurrimiento que exceda la capacidad de las obras mencionadas en las tres etapas previas para las condiciones de diseño. Para esto las aguas lluvias pueden conducirse inicialmente por las cunetas y ser captadas mediante una cantidad suficiente de sumideros correctamente ubicados, hasta su descarga en la red principal.

### 5.4 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE DISEÑO

#### 5.4.1 Propiedades de las tormentas

Una tormenta es un periodo de tiempo continuo con precipitación producido por una situación meteorológica favorable, que se puede representar por un conjunto de intervalos de lluvia. Las características principales de este episodio, o evento de precipitación, desde la perspectiva de usar la información para diseñar sistemas de drenaje urbano, son su duración, magnitud total, variación de la intensidad en el tiempo y variación de la lluvia en el espacio.

##### Duración

Una de las principales y más evidentes propiedades de las tormentas es la duración, entendiéndola por ella al total de intervalos de lluvia. La importancia de la duración de la lluvia es evidente ya que la intensidad media de la tormenta decrece con la duración y el área aportante de la cuenca crece al aumentar la duración de la tormenta. Normalmente se mide en horas o minutos.

##### Magnitud

Corresponde al total de agua caída durante el temporal, o el volumen de precipitación acumulado al final de la tormenta. Medida en un pluviómetro corresponde a un valor puntual, pero sobre un área más extensa la magnitud de la tormenta se ve enormemente influenciado por la variación temporal y espacial que presenta la intensidad de la lluvia. Se mide en mm.

##### Intensidad

La magnitud dividida por la duración corresponde a la intensidad media de la tormenta, medida en mm/hora. Es difícil definir lo que se entiende por intensidad representativa, ya que se puede hablar de intensidades máximas, medias, u otros valores que la representen.

##### Hietograma

La distribución en el tiempo de la lluvia total caída durante un temporal es, sin lugar a dudas, un factor primordial en la determinación del escurrimiento de respuesta de la cuenca y, en



consecuencia, debe ser considerado al caracterizar una tormenta. Un gráfico, o una tabla de datos que muestre la precipitación o la intensidad de la lluvia en cada intervalo en función del tiempo, se conoce como hietograma.

### **Variación Espacial**

A nivel urbano, para cuencas pequeñas de áreas menores a una centena de hectáreas, se puede considerar una distribución espacial uniforme de la precipitación. Esto no elimina la necesidad de tener que estimar los valores de la precipitación en esa zona. Para el caso de cuencas de mayor tamaño es necesario establecer una distribución espacial en base a algún modelo.

### **Probabilidad de ocurrencia**

La probabilidad de ocurrencia de una determinada tormenta está relacionada con la frecuencia con que se observa que ha ocurrido en un registro dado. Pero debido a que una tormenta presenta diferentes características, se trata de estimar la probabilidad de un fenómeno multivariado.

## **5.4.2 Relaciones intensidad, duración y frecuencia**

Una manera de resumir y caracterizar el comportamiento de las precipitaciones es mediante las relaciones entre sus propiedades, en particular entre Duración, Intensidad y Frecuencia. Estas relaciones además son muy útiles para ser usadas en el diseño hidráulico de las obras de drenaje urbano. Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia y son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída. Estas curvas tienen usualmente una forma de tipo exponencial, donde la intensidad, para una misma frecuencia, disminuye a medida que aumenta la duración de la precipitación. Es corriente incorporar en el mismo gráfico las curvas asociadas a diferentes frecuencias, en forma paramétrica, para obtener la familia de curvas de un lugar en un mismo gráfico.

En la Región Metropolitana se han efectuado varios estudios que permiten tener una buena estimación de estas relaciones. Para el diseño de la red secundaria se recomienda adoptar los valores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias del Gran Santiago y la información sobre series anuales de precipitaciones máximas diarias de la DGA.

### **Elaboración de Curvas IDF de lluvias entre 1 y 24 horas con coeficientes de duración y frecuencia**

La precipitación total de una lluvia de periodo de retorno  $T$ , en años, y duración total  $D$ , en horas o minutos, se estima como:

$$P_D^T = C \cdot CF^T \cdot CD_D \cdot PD^{10}$$

#### **Ecuación 5.4.1**

*Precipitación total*

$C$  Es un coeficiente que transforma las precipitaciones diarias en máximas en 24 horas y que adopta un valor igual a 1,0 según el Plan Maestro de Santiago.

$CF^T$  Es el coeficiente de frecuencia, que para la Región Metropolitana adopta los valores de la Tabla 5.4-1.

$CD_D$  Es un coeficiente de duración cuyos valores para la Región Metropolitana dependen además del periodo de retorno para lluvias entre 1 hora y 24 horas, según Tabla 5.4-2.

$PD^{10}$  Es la precipitación diaria (en milímetros) de 10 años de período de retorno, que se utiliza como referencia. Este valor depende del lugar y se obtiene de mapas de isoyetas diarias en la Región Metropolitana publicadas por la DGA y cuyo mapa se reproduce en la Figura 5.4-1.

**Tabla 5.4-1**

Coeficiente de Frecuencia

Periodo de retorno (años)	2	5	10	20	50	100	200
$CF^T$	0,64	0,86	1,00	1,14	1,32	1,45	1,59

**Tabla 5.4-2**

Coeficiente de Duración (mayor a una hora)

Duración (hr)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
T=2 y 5 años $CD_D$	0,19	0,30	0,47	0,60	0,70	0,77	0,82	0,86	0,92	1,00
T=10 ó más años $CD_D$	0,17	0,26	0,41	0,53	0,63	0,71	0,77	0,82	0,90	1,00

**Relaciones IDF para lluvias menores a 1 hora con coeficientes de duración y frecuencia**

Para lluvias menores de una hora se recomiendan los siguientes valores, en relación a la precipitación de 1 hora, para cualquier periodo de retorno.

$$P_D^T = C \cdot CF^T \cdot CD_D \cdot (CD_1 \cdot PD^{10})$$

**Ecuación 5.4.2**

*Precipitación de 1 hora*

$C$  Es un coeficiente que transforma las precipitaciones diarias en máximas en 24 horas y que adopta un valor igual a 1,0 según el Plan Maestro de Santiago

$CF^T$  Es el coeficiente de frecuencia, que para la Región Metropolitana adopta los valores de la Tabla 5.4-1

$CD_D$  Es un coeficiente de duración cuyos valores para la Región Metropolitana dependen además del periodo de retorno para lluvias menores a 1 hora, según Tabla 5.4-3

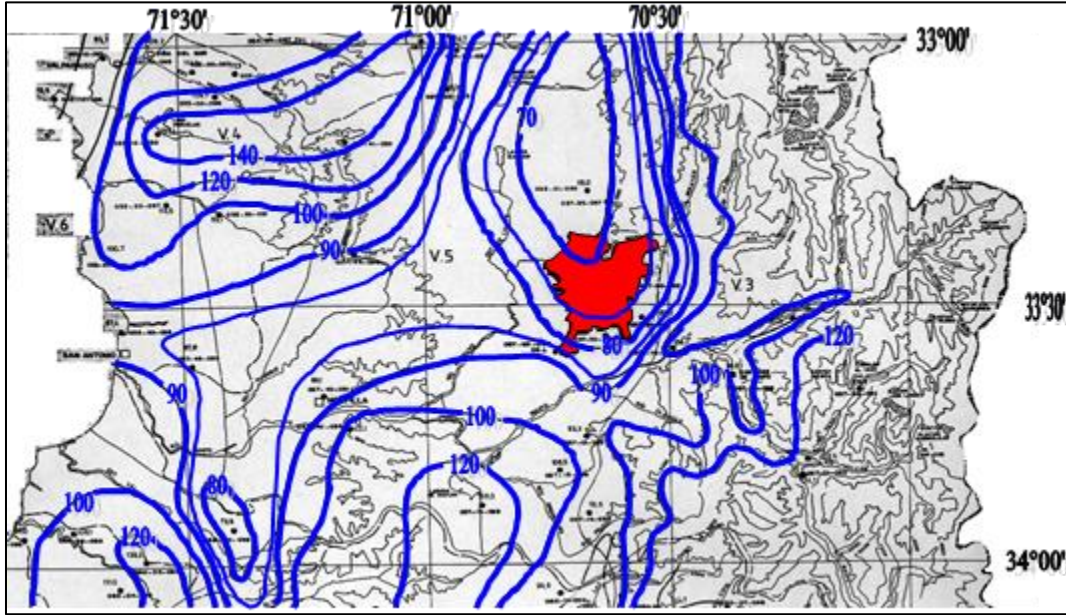
$CD_1$  0.19 o 0.17, según período de retorno, Tabla 5.4-2

$PD^{10}$  Es la precipitación diaria (en milímetros) de 10 años de período de retorno, que se utiliza como referencia. Este valor depende del lugar y se obtiene de mapas de isoyetas diarias en la Región Metropolitana publicadas por la DGA y cuyo mapa se reproduce en la Figura 5.4-1

**Tabla 5.4-3**

Coeficiente de duración (menor a una hora)

Duración (minutos)	5	10	15	20	30	40	50	60
$CD_D$	0,29	0,45	0,57	0,66	0,79	0,87	0,94	1,00



**Figura 5.4-1**

Mapa de Isoyetas de lluvias de un día de duración y 10 años de período de retorno de la Región Metropolitana. Obtenido de la publicación de la DGA Precipitaciones Máximas de 1,2 y 3 días

Conocida la precipitación de una tormenta de duración  $D$  y período de retorno  $T$ , la intensidad media,  $I$ , se calcula como:

$$I_D^T = \frac{I_D^T}{D}$$

**Ecuación 5.4.3**

*Intensidad media*

### 5.4.3 Tormentas de diseño

Las características principales de una tormenta, desde la perspectiva de usar la información para diseñar sistemas de drenaje urbano, son su duración, magnitud total, intensidad máxima, variación de la intensidad en el tiempo y variación de la lluvia en el espacio. La magnitud total influye en el dimensionamiento de las obras de almacenamiento, mientras la intensidad máxima en las de transporte. Las propiedades en un punto se pueden describir con el comportamiento de la intensidad en función el tiempo, en lo que se llama un hietograma.

Se entiende por lluvia de diseño una tormenta de duración, magnitud e intensidad para cada intervalo predefinido, tales que las obras funcionan adecuadamente frente a una lluvia similar o menor, y pueden presentar fallas frente a eventos peores. Peores puede referirse en este caso a eventos más largos, más intensos o de mayor magnitud.

Las características principales que definen la tormenta de diseño son el periodo de retorno, la duración y la precipitación total. Otras características secundarias son la distribución temporal de precipitaciones para intervalos menores a la duración total y la distribución espacial en una zona de mayor tamaño. A continuación se describen y comentan los criterios para cuantificar estos parámetros.

## **Período de Retorno**

El período de retorno, o la probabilidad de ocurrencia de una lluvia, se selecciona de acuerdo al riesgo de falla que se está dispuesto a asumir para el sistema o elemento a dimensionar. En proyectos de drenaje urbano de aguas lluvias es habitual considerar dos tipos de tormentas, una de diseño, con la cual se dimensionan los elementos del sistema con períodos de retorno entre 2 y 10 años, dependiendo de los estándares de servicio, y otra de verificación con la cual se comprueba que para situaciones extremas no ocurran problemas graves aunque se aceptan fallas e inconvenientes, que corresponde a períodos de retorno entre 50 y 100 años. En todo caso para las obras y redes de drenaje urbano tanto el MOP como el MINVU proponen valores específicos de diseño y verificación para cada tipo de obra, de acuerdo a los estándares de servicio aceptables.

## **Duración**

La duración total está relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca aportante, de modo de seleccionar una duración que genere el máximo escurrimiento. Para el diseño de elementos de conducción la duración de la tormenta debe seleccionarse siempre mayor o igual al tiempo de concentración, recomendando una duración que no exceda al tiempo de concentración por más del doble. Para el dimensionamiento de obras de almacenamiento, como estanques o lagunas, deben considerarse duraciones largas, típicamente de 24 horas para elementos de la red secundaria. En el caso de sistemas de drenaje complejos, en los cuales se dimensionan elementos que drenan cuencas de diferentes tamaños, y por lo tanto de distintos tiempos de concentración, para cuyo diseño se debiera seleccionar tormentas de distintas duraciones, se recomienda utilizar tormentas de diseño compuestas que mantengan el periodo de retorno para diferentes duraciones, como son las tormentas de un día de duración, 24 horas, con intervalos de una hora, o incluso menores, en las cuales la precipitación de cada intervalo se obtiene de las curvas IDF y después se ordenan por el método del bloque alternado, las que en conjunto con modelos de lluvia escorrentía adecuados permiten diseñar simultáneamente los elementos de toda la red de drenaje, considerando los diferentes tamaños de las subcuencas aportantes.

## **Magnitud de la precipitación**

La precipitación total de la tormenta es una característica climática del lugar que se puede obtener de las relaciones de Intensidad, Duración, Frecuencia, IDF. Seleccionados el período de retorno y la duración, de estas relaciones se obtiene la precipitación total de la tormenta.

## **Distribución Temporal**

La distribución temporal de la precipitación durante una tormenta es de especial interés. Se deben adoptar distribuciones temporales de precipitación realistas y que maximicen el escurrimiento que genera la cuenca, lo que es recomendable para el análisis de sistemas de drenaje en etapas de planificación. Otra opción es emplear distribuciones teóricas de acuerdo a las curvas IDF de manera de mantener para cualquier duración el periodo de retorno. En este caso se pueden utilizar tormentas concentradas al inicio, al centro o al final. Una opción más compleja es la simulación continua con eventos reales observados.

**Hietograma de Diseño:** El hietograma es el gráfico de la intensidad de la lluvia en función del tiempo, mientras que el pluviograma es la distribución en el tiempo de la precipitación acumulada. La distribución en el tiempo de la lluvia total caída durante un temporal es, sin lugar a dudas, un factor primordial en la determinación del escurrimiento de respuesta de la cuenca y, en consecuencia, debe ser considerado en la definición de una tormenta de diseño. La distribución temporal de la tormenta de diseño si bien tiene que ser realista y representar la forma de la lluvia en el lugar, debe también ser simple y con parámetros controlados, de manera que pueda usarse como elemento de juicio para analizar el comportamiento de las obras y poder dimensionarlas.

### **Distribución Espacial**

La distribución espacial de las precipitaciones para una misma tormenta es de interés cuando se analizan zonas extensas. Para el diseño de elementos de la red domiciliaria y secundaria se consideran tormentas espacialmente uniformes en una urbanización. Para la red primaria deben considerarse la extensión de la cuenca aportante y la disponibilidad de información para adoptar una variación espacial.

#### **5.4.4 Propiedades de las cuencas**

El proceso de transformación de la lluvia en escurrimiento está influido por las características de las cuencas, en cuanto a la capacidad de ellas para retener y separar parte de las lluvias y permitir escurrir al resto. La parte de la precipitación que queda retenida y no escurre inmediatamente se conoce como abstracción, y la parte que escurre como lluvia efectiva. La relación entre la precipitación efectiva y la precipitación total se conoce como coeficiente de escorrentía de la cuenca. Por otra parte la velocidad con que el agua escurre sobre la cuenca y forma una crecida a la salida de ella depende de múltiples factores que se pueden resumir en el tiempo de concentración, o el tiempo de viaje que tarda la lluvia desde el punto más alejado hasta salir de la cuenca.

##### **5.4.4.1 Tiempo de Concentración**

El tiempo de concentración de una cuenca es el que debe transcurrir desde el inicio de una tormenta de intensidad uniforme para que toda la superficie de la cuenca aporte al escurrimiento a la salida. Puede estimarse como el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca una onda del flujo que parte desde el lugar hidráulicamente más alejado de la sección de salida.

El conocimiento del tiempo de concentración tiene interés práctico ya que al seleccionar tormentas de duraciones mayores al tiempo de concentración se asegura que la superficie aportante es la máxima. Por lo tanto, si se considera la intensidad máxima de la tormenta concentrada al inicio se asegura la obtención del caudal máximo a la salida, de manera que es relevante para dimensionar elementos de conducción o transporte. Sin embargo, no resulta tan relevante para el diseño de elementos de almacenamiento.

Para calcular el tiempo de concentración de una cuenca se puede recurrir a relaciones empíricas propuestas para cuencas similares, o a estimaciones basadas en la velocidad esperada de la onda una vez definido el recorrido del agua desde el punto más alejado hasta la salida. De todos modos el tiempo de concentración no podrá considerarse menor que 5 minutos para cuencas típicas de redes secundarias en urbanizaciones de la región Metropolitana.

Desafortunadamente no se disponen de relaciones que hayan sido validadas para cuencas urbanas en Chile, por lo tanto se recomiendan los siguientes procedimientos entre los que el proyectista debe seleccionar el que considere más adecuado.

### **Recorrido de la Onda**

Se puede analizar el tiempo de concentración según el camino que debe recorrer la onda desde la zona más alejada. Los primeros elementos pueden ser planos inclinados, como techos o patios. Después avanza por cauces abiertos como zanjas o cunetas, para terminar en elementos de drenaje como colectores, ya sean canales o tubos. Si se tiene N de estos elementos en serie a lo largo del recorrido, el tiempo de concentración se estima como:

$$T_c = \sum_i^N T_c^i$$

#### **Ecuación 5.4.4**

*Tiempo de concentración*

Donde  $T_c^i$  en [min] es el tiempo de viaje en el elemento i, estimado a su vez como:

$$T_c^i = \frac{L_i}{60V_i}$$

#### **Ecuación 5.4.5**

*Tiempo de viaje del elemento i*

Siendo  $L_i$  en [m] la longitud del flujo y  $V_i$  en [m/s] la velocidad de la onda en ese elemento. Esta velocidad se puede estimar según las siguientes relaciones:

$$V = \frac{h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} + \sqrt{gh}$$

#### **Ecuación 5.4.6**

*Elementos planos como patios*

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} + \sqrt{g \frac{A}{b}}$$

#### **Ecuación 5.4.7**

*Elementos de conducción como, como cauces*

### **Cuencas Rurales o Previas a ser urbanizadas**

Para cuencas rurales, o previas a ser urbanizadas, con un bajo porcentaje de superficies impermeables, se recomiendan las siguientes relaciones:

- Cuencas rurales relativamente planas con escurrimiento preferentemente superficial:

$$T_c = 0,0195 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

#### **Ecuación 5.4.8**

- Cuencas rurales no planas con escurrimiento preferentemente concentrado:

$$T_c = 0,0203 \left( \frac{L_1^3}{H} \right)^{0,385}$$

**Ecuación 5.4.9**

Ambas expresiones son básicamente la misma. En la superior se considera el largo del plano del flujo y su pendiente promedio, y en la segunda el largo del cauce principal y su desnivel.

**Cuencas Urbanas**

En cuencas ya urbanizadas, con porcentajes importantes de superficies impermeables y escurrimiento en planos:

- Cuencas urbanas relativamente planas, formadas por patios, estacionamientos, parques, techos, calles, etc.

$$T_c = 7 \frac{L^{0,6} n^{0,6}}{I^{0,4} S^{0,3}}$$

**Ecuación 5.4.10**

- Para cunetas, colectores y cauces en general relativamente anchos

$$T_c = \frac{1}{60} \left( \frac{L_1 n}{h^{2/3} S^{1/2}} \right)$$

**Ecuación 5.4.11**

En las relaciones expuestas el significado de los términos y las unidades son los siguientes:

- $T_c$  Tiempo de concentración, en minutos
- $L$  Longitud del escurrimiento superficial, en metros
- $L_1$  Longitud del cauce, en metros
- $S$  Pendiente, en metros por metro
- $H$  Desnivel en la cuenca, en metros
- $I$  Intensidad de la lluvia, en [mm/hr]
- $h$  Altura media del escurrimiento en planos o cauces, en metros
- $V$  Velocidad de propagación de la onda, en [m/s]
- $R$  Radio hidráulico del flujo, en metros
- $A$  Área del escurrimiento, en metros cuadrados
- $b$  Ancho superficial del escurrimiento, en metros
- $n$  Coeficiente de rugosidad de Manning de la superficie o el cauce

**Tabla 5.4-4**

Coeficiente rugosidad de Manning para superficies

Tipo de superficie	Coeficiente n
Tubos de plástico	0,011
Tubos de cemento asbesto	0,012
Tubos de mortero comprimido	0,013
Calles de hormigón y asfalto	0,015
Techos	0,018
Jardines	0,025
Superficies de tierra	0,030
Superficies con vegetación	0,050

**5.4.4.2 Abstracción y Lluvia Efectiva**

Las pérdidas, ya sea por evaporación o por infiltración, dependen de factores propios de cada superficie, con lo cual exhiben una importante variación espacial, y además el fenómeno varía en el tiempo.

La evapotranspiración considera la extracción de agua por las plantas y la evaporación desde el suelo. Influye la radiación solar, la temperatura, la presión de vapor, la velocidad del viento, la presión atmosférica, los cuales son variables en el tiempo.

En el caso de la infiltración, ésta es mayor al principio de la tormenta y va disminuyendo en forma aproximadamente exponencial a medida que aumenta la humedad del suelo, que es el parámetro más influyente.

**Modelo de infiltración de Horton**

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-\alpha t}$$

**Ecuación 5.4.12**

*Tasa de infiltración en el tiempo*

$$F(t) = f_c \cdot t + \frac{f_o - f_c}{\alpha} \cdot (1 - e^{-\alpha t})$$

**Ecuación 5.4.13**

*Infiltración acumulada en el tiempo*

- f<sub>o</sub> Tasa de infiltración al inicio o capacidad máxima de infiltración
- f<sub>c</sub> Capacidad última de infiltración
- α Tasa de decaimiento

**Modelo de infiltración Green-Ampt**

$$f(t) = K \cdot \left( \frac{\psi \cdot \Delta\theta}{F} + 1 \right)$$

**Ecuación 5.4.14**

*Tasa de infiltración en el tiempo*



$$F(t) = K \cdot t + \psi \cdot \Delta\theta \cdot \ln\left(1 + \frac{F}{\psi \cdot \Delta\theta}\right)$$

**Ecuación 5.4.15***Infiltración acumulada en el tiempo*

K Conductividad hidráulica saturada

 $\psi$  Potencial Capilar**5.4.4.3 Coeficiente de Escorrentía**

El coeficiente de escorrentía indica la proporción de la lluvia total que participa directamente en el escurrimiento cuando la lluvia es de duración indefinida. El resto de la precipitación queda detenida en las depresiones, se infiltra o se evapora. Para estimar el coeficiente de escorrentía a emplear se recomienda usar los valores propuestos en este manual.

La estimación del coeficiente de escorrentía para condiciones actuales y futuras es necesaria para la planificación y diseño de las obras que forman el sistema de drenaje.

El uso del coeficiente de escorrentía debe estar limitado a superficies moderadas homogéneas, especialmente en la red domiciliaria y en cuencas pequeñas de la red secundaria. No debe usarse para la estimación de caudales en la red primaria, ya que en esos casos el sistema opera en condiciones impermanentes, con gran influencia de las condiciones iniciales, las características de las lluvias, en cuanto a intensidad, duración y magnitud, así como las propiedades de las cuencas relacionadas con pendientes, depresiones, cauces, todas las cuales influyen demasiado en el resultado del caudal máximo.

Para estimar el coeficiente de escorrentía pueden emplearse los siguientes procedimientos:

- Usar los valores propuestos para la zona en el Plan Maestro de aguas lluvias. Sin embargo debe tenerse en cuenta que el Plan Maestro puede entregar valores promedio para zonas amplias que no necesariamente representen el caso en estudio.
- Para zonas ya urbanizadas de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 5.4-5**

Coeficiente de escorrentía según tipo de zona

Tipo de zona	Coeficiente		
	Mínimo	Medio	Máximo
<b>Áreas Residenciales</b>			
Suburbios semiurbanos	0,25	0,32	0,40
Casas Aisladas	0,30	0,40	0,50
Condominios aislados	0,40	0,50	0,60
Condominios pareados o continuos	0,60	0,67	0,75
Departamentos en edificios asilados	0,50	0,60	0,70
Departamentos en edificios continuos	0,70	0,80	0,90
<b>Áreas Comerciales</b>			
Comercio en alta densidad	0,70	0,82	0,95
Comercio en baja densidad	0,50	0,60	0,70
<b>Áreas industriales</b>			
Grandes industrias	0,50	0,65	0,80
Pequeñas industrias	0,60	0,75	0,90
Parques, plazas y jardines	0,10	0,17	0,25

En estas zonas también es aceptable estimar un coeficiente ponderado de acuerdo a la composición de las superficies elementales como se indica en el párrafo siguiente.

Para zonas de nuevas urbanizaciones debe estimarse un coeficiente ponderado según las superficies de cada tipo de ocupación del suelo, estimando las áreas de cada uno de los tipos siguientes, con los coeficientes de escurrimiento que se indican:

Tabla 5.4-6

Coeficiente de escorrentía según tipo de superficie

Tipo de superficie	Coeficiente		
	Mínimo	Medio	Máximo
<b>Calles</b>			
Asfalto no poroso	0,70	0,82	0,95
Hormigón	0,80	0,87	0,95
Adoquín de cemento sobre arena	0,50	0,60	0,70
Maicillo, ladrillo	0,30	0,40	0,50
<b>Techos</b>			
Zinc, latón, metálicos en general	0,85	0,90	0,95
Tejas, pizarras, cemento asbesto	0,70	0,80	0,90
<b>Patios</b>			
Baldosas, hormigón	0,80	0,87	0,95
Tierra, sin cobertura	0,50	0,60	0,70
<b>Parques, plazas y jardines</b>			
Prados, suelo arenoso	0,05	0,12	0,20
Prados, suelo arcilloso	0,15	0,25	0,35

Para zonas rurales previas a ser urbanizadas, según la siguiente tabla:

Tabla 5.4-7

Tipo de superficie	Coeficiente		
	Mínimo	Medio	Máximo
<b>Zonas agrícolas y de bosques o con vegetación natural</b>			
Agrícolas , cultivadas, pend. < 2%	0,10	0,12	0,15
Agrícolas , cultivadas, pend. 2% a 7%	0,15	0,17	0,20
Agrícolas , cultivadas, pend. > 7%	0,20	0,22	0,25
Sin cult., c/veget. Nat., pend. <2%	0,15	0,17	0,20
Sin cult., c/veget. Nat., pend. 2% a 7%	0,20	0,22	0,25
Sin cult., c/ veget. Nat., pend. >7%%	0,25	0,30	0,35
<b>Semiurbano, parcelas no agrícolas</b>			
Sitios mayores de 5000[m2]	0,25	0,32	0,40
Sitios menores de 5000[m2]	0,30	0,40	0,50

En general se recomienda utilizar los valores medios de cada categoría, a menos que se justifique el empleo de los valores mínimos. Si se desea considerar condiciones de seguridad se pueden emplear los valores máximos indicados.

Los rangos de valores indicados en las tablas son para tormentas típicas con periodos de retorno de 2 a 10 años. Para tormentas mayores se recomienda usar el valor más alto dentro de cada rango, o incluso valores mayores si se estima conveniente.

**5.4.4.4 Propiedades de los suelos**

En el caso de soluciones que se basen en la capacidad de infiltración del suelo es conveniente disponer de medidas efectuadas en terreno. También es posible obtener antecedentes de obras realizadas en el sector, de pozos de extracción de agua subterránea o de estudios de tipo general efectuados en la zona. Como orientación general se pueden considerar los antecedentes hidrogeológicos que se indican en la siguiente tabla para diversas comunas de la Región Metropolitana.

**Tabla 5.4-8**

Comuna	Litología	Tipo de Suelo	Profundidad Napa Freática (m)	Tipo de Acuífero (*)
Colina, Lampa, Pudahuel, Quilicura	Fina	Arcilloso con limo. Pumicitas en Pudahuel	20-50 < 2	SCF, L
Renca, Huechuraba, Conchalí, Recoleta, Independencia	Fina y media	Arenoso con grava	20-50	L, LC
Santiago, Providencia, Las Condes, Vitacura, Barnechea	Gruesa	Arenoso con grava	20-50 50-100	L
Cerro Navia, Quinta Normal, Lo Prado, Estación Central	Fina y media	Arenoso con grava. Pumicitas en Lo Prado	20-50	LC, CF
Ñuñoa, La Reina, Peñalolén, Macul	Fina	Arenoso con grava	50-100	LC
San Joaquín, San Miguel, P.A. Cerda, Cerrillos	Gruesa y fina	Arenoso con grava	50-100	L, CF
Maipú, Peñaflores	Gruesa y fina	Arenosos con arcilla y limo en Maipú	20-50	L, CF
Calera de Tango, San Bernardo, Lo Espejo, La Cisterna	Gruesa	Arenoso con grava	50-100 > 100	L
San Ramón, La Pintana, La Granja, La Florida, Pte. Alto	Media y gruesa	Arenoso y grava.	> 100	L
Pirque, Buin	Gruesa	Arenoso muy fino	Sin Información	L

**5.4.5 Métodos**

Existen varios procedimientos alternativos para llegar a definir un caudal de diseño para una obra de drenaje urbano, los cuales son más o menos pertinentes en distintas situaciones, dependiendo de la información hidrológica disponible y de las características de la cuenca. Todos ellos tienen un cierto grado de subjetividad y suponen distintas hipótesis.

**5.4.5.1 Método Racional**

Válido para cuencas inferiores a 50 Há., de características homogéneas, con superficie mayoritariamente impermeable sin obras de almacenamiento, con un tiempo de concentración menor a 1 hora. Podrá usarse este método para el dimensionamiento de elementos de conducción. Según este método el gasto aportante de una cuenca urbana se calcula como:

$$Q = \frac{CiA}{3600}$$

**Ecuación 5.4.16**

*Caudal a la salida de la cuenca*

- $Q$  Caudal a la salida de la cuenca [lts/s]  
 $i$  Intensidad de la lluvia [mm/hr]  
 $A$  Área de la cuenca [m<sup>2</sup>]  
 $C$  Coeficiente de escurrimiento de la superficie

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a aquella con una duración igual al tiempo de concentración del área y con una frecuencia o período de retorno compatible con la importancia y trascendencia de la obra. Adoptada una frecuencia o período de retorno y seleccionada la duración de diseño, puede estimarse la intensidad de la lluvia recurriendo a la familia de curvas IDF representativas del lugar de interés.

A pesar de la aparente facilidad y simplicidad del método la determinación adecuada del coeficiente de escorrentía y de la intensidad de la lluvia de diseño, implica un cuidadoso y juicioso análisis en cada caso.

Este método supone que las propiedades de la cuenca y la intensidad de la lluvia se mantienen constantes a lo largo de la tormenta de diseño y por lo tanto entrega un caudal constante a la salida de la cuenca para la lluvia de diseño. Además, la elección de la intensidad en función del tiempo de concentración, el cual se obtiene mediante fórmulas empíricas extrapoladas a situaciones diferentes a las condiciones en que ellas se derivaron, puede originar errores.

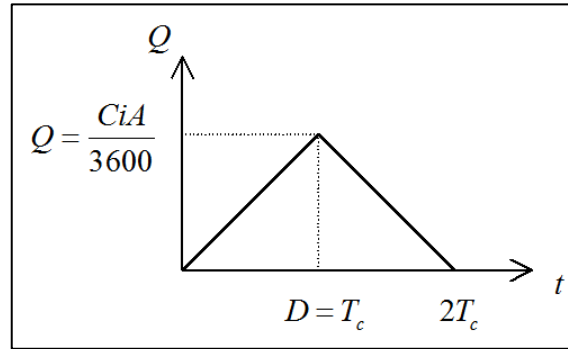
Este método se utiliza por lo general en proyectos privados, ya que el área aportante abarcada es menor que en grandes y extensos proyectos públicos. En términos generales, para cuencas urbanas el método racional es válido para casi todos los casos y sólo en casos específicos o si Serviu así lo determina, se utilizarán otros métodos de cálculo más exactos.

#### 5.4.5.2 Método Racional Modificado

Aplicable bajo las mismas condiciones que el Método Racional, exceptuando el hecho de que puede emplearse en cuencas que poseen elementos de regulación, como estanques o lagunas. Este método permite obtener el hidrograma de la crecida, por lo que puede ser usado para el dimensionamiento de obras de regulación y de conducción.

##### Caso 1 $D = T_c$

Si la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración, se genera un hidrograma de respuesta triangular, con un caudal máximo igual al valor entregado en la expresión del Método Racional, un tiempo de ascenso y de descenso igual al tiempo de concentración.

**Figura 5.4-2**

Hidrograma del Método Racional Modificado para tormentas de duración igual al tiempo de concentración

**Caso 2  $D < T_c$**

Para lluvias de duración inferior al tiempo de concentración se genera un hidrograma triangular con un tiempo de ascenso igual a la duración de la tormenta, un tiempo de descenso igual al tiempo de concentración de la cuenca y un caudal máximo menor al entregado por el Método Racional, dado por:

$$Q_{\text{máx}} = \frac{D}{T_c} Q$$

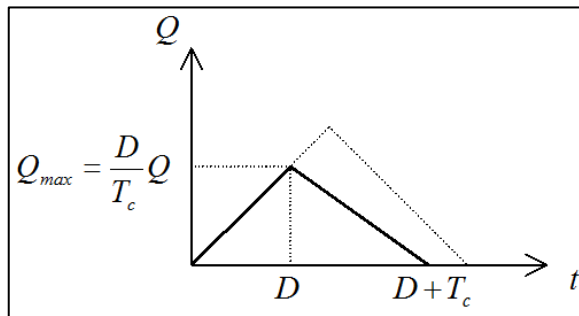
**Ecuación 5.4.17**

Donde:

$Q$  Caudal entregado por el método racional

$D$  Duración de la tormenta de diseño

$T_c$  Tiempo de concentración de la cuenca

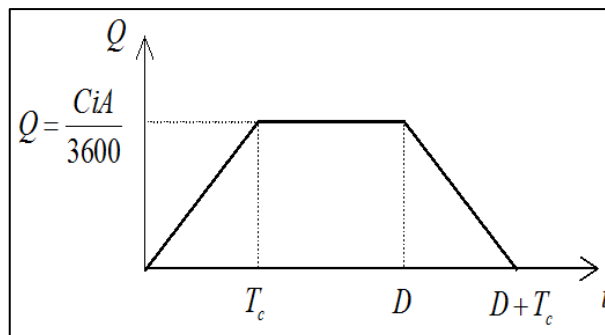


**Figura 5.4-3**

Hidrograma del Método Racional Modificado para tormentas de duración menor al tiempo de concentración

**Caso 3  $D > T_c$**

Para lluvias de duración superior al tiempo de concentración se genera un hidrograma trapecial con un caudal máximo igual al del Método Racional pero que permanece constante desde  $t = T_c$  hasta  $t = D$ , a partir del cual cae a cero en un intervalo  $T_c$ .



**Figura 5.4-4**

Hidrograma del Método Racional Modificado para tormentas de duración mayor al tiempo de concentración

En cualquier caso el caudal máximo en una tubería se produce temporalmente en el tiempo de concentración de la cuenca aportante respectiva. De este modo:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C \cdot i \cdot A}{3600} = \frac{C \cdot A}{3600} \cdot \left[ \frac{P_{T_c}^T}{T_c} \right]$$

Ecuaci3n 5.4.18

Donde:

 $P_{T_c}^T$  Precipitaci3n de diseo de perodo de retorno T y duraci3n  $T_c$  [mm] $T_c$  Tiempo de concentraci3n de la cuenca [hr]**5.4.5.3 M3todo del Soil Conservation Service (SCS)**

Otro procedimiento recomendable para estimar los caudales m3ximos en cuencas urbanas, as3 como la forma del hidrograma correspondiente, es el desarrollado por el Soil Conservation Service de Estados Unidos (Soil Conservation Service, 1964), m3todo conocido como procedimiento de la Curva N3mero. Esta metodolog3a considera dos etapas o pasos: calcular el volumen escurrido o lluvia efectiva y estimar el caudal m3ximo de la crecida y la forma del hidrograma de la crecida.

**Lluvia efectiva**

El m3todo establece que la relaci3n entre la retenci3n real  $P - I_a - Q$ , y la retenci3n potencial m3xima  $S$  es igual a la relaci3n entre la escorrent3a real  $Q$  y la escorrent3a potencial m3xima  $P - I_a$ .

$$\frac{P - I_a - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

Ecuaci3n 5.4.19

La experiencia pr3ctica muestra que  $I_a = 0.2 \cdot S$ , entonces:

$$Q = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{p + 0.8 \cdot S}$$

Ecuaci3n 5.4.20

El potencial m3ximo de retenci3n de agua es funci3n de la Curva N3mero es:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Ecuaci3n 5.4.21

El factor CN o curva n3mero depende del tipo de suelo, de la naturaleza y cobertura del suelo y las condiciones previas de humedad. Hay que considerar que una superficie absolutamente impermeable le corresponde un valor de CN=100.

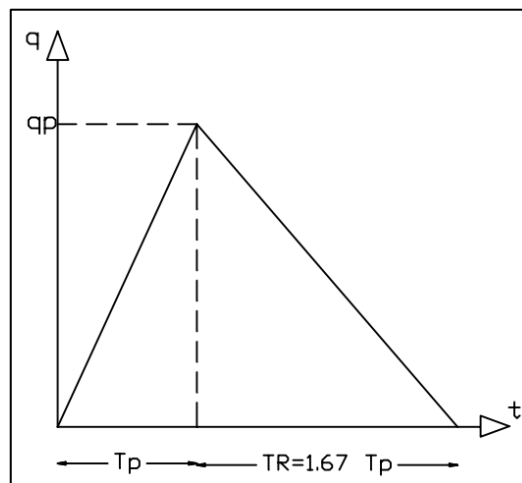


**Tabla 5.4-9**

Curva Numero. US Soil Conservation Service, 1975

Cobertura de Superficie	%Imp	A	B	C	D
<b>Desarrollado</b>					
Permeable					
Prados y parques					
Pasto <50%		68	79	86	89
Pasto 50 a 75%		49	69	79	84
Pasto >75%		39	61	74	80
Impermeables					
Calles y caminos					
Pavimentados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
Distritos urbanos					
Comercial	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residencial					
Sitios 500 m2 o menor	65	77	85	90	92
Sitios 1.000 m2	38	61	75	83	87
Sitios 2.000 m2	25	54	70	80	85
Sitios 5.000 m2	20	51	68	79	84
Sitios 10.000 m2	12	46	65	77	82
<b>Areas en desarrollo</b>		77	86	91	94
(*) A: Arenas y arenas limosas; B: Limos; C: Limos arcillosos con algo de arena; D: Arcillas y limos.					

**Caudal máximo y forma del hidrograma**



**Figura 5.4-5**  
Hidrograma método SCS

$$q_p = \frac{2 \cdot Q}{T_p + T_r}$$

Ecuación 5.4.22

- $q_p$  Caudal máximo
- $Q$  Lluvia efectiva (mm)
- $T_p$  Período de elevación o tiempo hasta el caudal máximo (hr).  $T_p = 0.67 \cdot T_c$
- $T_r$  Tiempo de recesión (hr).  $T_r = 1.67 \cdot T_p$

$$q_p = 0.75 \cdot \frac{Q}{T_p}$$

Ecuación 5.4.23

#### 5.4.5.4 Método Modelo SWMM

SWMM (Storm Water Management Model) es uno de los modelos computacionales más utilizados en el mundo para el análisis y diseño de drenaje urbano, diseñado por US Environmental Protection Agency, en Estados Unidos. SWMM utiliza el método del embalse no lineal para simular la transformación lluvia-escorrentía. Este método no sólo transforma la precipitación efectiva en escorrentía, sino que también la propaga hacia la salida de la cuenca. Según este método, la cuenca es representada como un plano rectangular caracterizado por su área, ancho, pendiente e impermeabilidad. En su formato tradicional, la simulación se realiza separadamente para las subáreas permeables e impermeables, para posteriormente adicionarse las contribuciones. Sin embargo, también es posible conectar las subáreas entre si antes de drenar hacia aguas abajo.

En cada una de las sub-áreas el método del embalse no lineal combina la ecuación de continuidad con la ecuación de Manning aplicada al plano, suponiéndose que la profundidad de flujo es mucho menor al ancho de escurrimiento.

La intensidad de lluvia efectiva es estimada mediante cualquiera de los tres métodos ampliamente utilizados para la representación de abstracciones: el método de Horton, el método de Green-Ampt, y el método de la Curva Número.

Un análisis de la escorrentía y caudales realizado mediante el modelo del programa SWMM es un análisis variable en el tiempo, a lo largo de la duración de la tormenta. Con este tipo de análisis se puede obtener resultados más cercanos a la realidad y no sobredimensionados, como los que podría entregar el Método Racional que considera una intensidad máxima de lluvia constante en un tiempo de concentración.

La modelización se lleva a cabo con la finalidad de convertir el escenario real en un escenario virtual en el cual por medio de las ecuaciones que rigen el comportamiento del mismo, se persigue conseguir el máximo realismo en su comportamiento.

La mayoría de los programas informáticos para cálculos hidrológicos e hidráulicos (entre ellos SWMM) tienen un número de opciones para cada elemento del proceso que comienza con la precipitación y termina con un hidrograma en algún momento en el sistema. El modelo en SWMM esta conceptualizado en cuatro grandes sistemas:

- El sistema atmosfera: el cual contiene los datos de precipitación y demás información climática
- El sistema superficie: el cual se representa por medio de subcuencas y conecta el sistema atmosfera con los demás
- El sistema transporte: el cual contiene los elementos de conducción de agua (tuberías, confluencias, embalses)
- El sistema subterráneo: que representa el movimiento de agua subterráneo por medio de acuíferos

Cada uno de estos sistemas tiene componentes que permiten incluir la información necesaria para los procesos dentro del modelo. El resultado final consiste en la obtención del hidrograma de caudales en los puntos donde interesa su conocimiento.

### 5.5 DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS

#### 5.5.1 Criterios generales de diseño

Al plantear las alternativas técnicas de solución a los problemas de aguas lluvias en la urbanización debe tenerse en cuenta los criterios generales de diseño propuestos en esta guía, tener especial atención con el destino que se le dará a los excesos de las aguas generadas y considerar las opciones técnicas de solución disponibles.

El proyectista debe considerar algunos criterios básicos que orientan las soluciones de drenaje de aguas lluvias de la zona a urbanizar. En la Región Metropolitana los proyectos deben satisfacer al menos los siguientes:

- Respetar el sistema general de drenaje y la capacidad de los colectores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias
- Evitar la inundación de calles y bienes para períodos de retorno preestablecidos en las condiciones de diseño
- Evitar que para condiciones de lluvias importantes se genere riesgo para las personas o se produzcan daños a terceros, a la propiedad pública o privada, o pérdidas de bienes
- Si se trata de una urbanización nueva de terrenos que no estaban urbanizados, la urbanización no debe generar mayores caudales máximos que los que se producían antes de urbanizar para las lluvias de diseño
- El criterio anterior también podrá aplicarse a proyectos de remodelación de zonas urbanas extensas, o grandes proyectos industriales, comerciales o institucionales en zonas ya urbanizadas
- Respetar el sistema de drenaje natural de la zona, el trazado de las quebradas y cauces naturales que existan. En lo posible incorporarlo a las áreas verdes para ser utilizado como drenaje del lugar, minimizando los impactos de la urbanización sobre el sistema natural de la cuenca hacia aguas abajo
- Abordar la solución de los problemas de calidad de las aguas lluvias generadas en la urbanización mediante la captación y tratamiento en el lugar de una proporción importante del volumen de escorrentía anual

## 5.5.2 Obras complementarias

### 5.5.2.1 Desconexión de áreas impermeables

La desconexión de áreas impermeables es un esquema general para abordar el problema basado en evitar que las aguas lluvias escurran rápido. Por el contrario, se trata de favorecer la retención, privilegiar los caminos lentos y largos del flujo, y dar oportunidades para la infiltración. Las obras de desconexión de áreas impermeables son obras de menor tamaño y costos reducidos, cuyo objetivo es disminuir el caudal máximo hacia aguas abajo. Su uso provoca la reducción del área impermeable que efectivamente aporta al escurrimiento. La mayoría de estas obras no significan costos adicionales para la urbanización, ya que forman de por sí parte de ella. La idea es que su diseño y ubicación favorezcan la solución de los problemas de aguas lluvias. Se trata de intercalar zonas permeables entre zonas impermeables para recoger el flujo proveniente de ellas, y drenar hacia aguas abajo un flujo amortiguado. El diseño y construcción de estas obras se basa en aprovechar los espacios disponibles y controlar la dirección del escurrimiento desde aguas arriba. En general reciben el caudal de zonas aportantes pequeñas, como casas, pasajes, condominios, edificios, centros comerciales, calles y estacionamientos.

Entre las obras de desconexión principales se encuentran las Zanjas, las Franjas de Pasto y los Pavimentos Permeables.

#### **Zanja de Pasto**

Vía de drenaje cubierta de pasto, de sección trapezoidal y taludes tendidos. Se diseñan para que el flujo escurra con poca velocidad favoreciendo la retención y la infiltración del agua.

#### **Franja de Pasto**

Superficie uniformemente cubierta con pasto y vegetación densa y resistente. El flujo es transversal a ella, provocando infiltración y retención temporal. Adecuada para franjas entre la vereda y la calle, o entre la línea de edificación y la acera.

#### **Pavimentos Permeables**

Pavimentos de alta porosidad o bloques prefabricados con espacio en la superficie que permite la infiltración.



**Figura 5.5-1**

Zanjas de pasto



**Figura 5.5-2**  
Franjas de pasto



**Figura 5.5-3**  
Pavimentos permeables

### 5.5.2.2 Obras de infiltración

Las obras de infiltración captan el flujo superficial y facilitan su infiltración en el suelo. Pueden tener una capacidad de almacenamiento no despreciable, con lo que además de reducir el escurrimiento total, también contribuyen a la disminución del caudal máximo.

Entre las obras de infiltración se encuentran los Estanques de Infiltración, Zanjas de Infiltración y Pozos de Infiltración.

#### **Estanques de Infiltración**

Estanque de poca profundidad, ubicado en suelos permeables, que aprovechan la existencia de depresiones naturales en áreas abiertas. Almacenan temporalmente el agua y la infiltran en un tiempo relativamente corto, ya que operan con alturas de agua pequeñas, del orden de pocos centímetros. Entre lluvias, estos son áreas verdes que permiten otros usos públicos.

#### **Zanjas de Infiltración**

Obras de infiltración longitudinales con profundidades recomendables entre 1 y 3 metros. Reciben el escurrimiento ya sea desde la superficie o mediante tuberías perforadas que pueden entrar desde sus extremos. De esta última forma pueden ser tapadas, permitiendo otro uso de la superficie como veredas o calles.

**Pozos de Infiltración**

Excavación puntual de profundidad variable donde se infiltra el agua proveniente de la superficie. Pueden usarse en serie con obras de almacenamiento aguas arriba, como estanques. Además, se pueden utilizar en suelos en que los estratos superficiales no son permeables pero el estrato infiltrante es de textura gruesa. También pueden proyectarse pozos de infiltración semiprofundos, hasta 20 [m], o pozos profundos hasta 40 o 60m. En todo caso debe cuidarse que este tipo de pozos no descarguen directamente a la napa, para lo cual debe existir entre el fondo del pozo y el nivel máximo del agua subterránea una diferencia libre significativa.



**Figura 5.5-4**  
Estanque de infiltración



**Figura 5.5-5**  
Zanja de infiltración en construcción



**Figura 5.5-6**  
Pozo de infiltración semiprofundo

### 5.5.2.3 Obras de almacenamiento

Las obras de almacenamiento se usan para disminuir el caudal máximo hacia aguas abajo por medio de la retención temporal y el almacenamiento controlado en zonas especialmente dispuestas y diseñadas para esto. Estas drenan hacia el sistema de drenaje de aguas abajo o hacia algún elemento de infiltración, como pozos o zanjas. Algunas obras de almacenamiento son Estanques y Lagunas.

#### Lagunas

Se usan en lugares en que la napa de agua subterránea está alta, o en zonas donde es posible contar con agua para satisfacer un volumen mínimo permanente que posee la laguna durante todo el año.

#### Estanques

Volumen de almacenamiento disponible que normalmente se encuentra vacío permitiendo su uso para otras actividades, y que durante las tormentas se llena y vacía en pocas horas.

También pueden utilizarse pavimentos permeables con detención subterránea, es decir con capacidad de almacenar agua en la subbase bajo el pavimento.



**Figura 5.5-7**  
Laguna



**Figura 5.5-8**  
Estanque

**5.5.3 Transporte en calles**

Las calles, veredas y otros elementos destinados al tránsito de personas y/o vehículos reciben parte importante de las lluvias y en muchos casos se consideran como los elementos iniciales del sistema de drenaje. Como su principal tarea no es conducir aguas lluvias, se debe tener especial precaución para evitar disfuncionalidades que impidan el tránsito, considerando de manera especial las capacidades de conducción de agua y la forma de evacuarla hacia los sistemas de drenaje propiamente tales.

**5.5.3.1 Ecurrimiento en vías públicas**

Para el diseño de la red secundaria de aguas lluvias se debe verificar que las calles no conduzcan cantidades importantes de aguas lluvias, de manera que las áreas y profundidades de inundación de las calles en condiciones de tormentas menores, es decir, de períodos de retorno de 2 años, no sobrepasen ninguna de las indicadas para cada tipo de vía en la Tabla 5.5-1.

**Tabla 5.5-1**

Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas menores

Tipo de vía vehicular	Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas menores
Todos los tipos	No sobrepasar el nivel de la solera.
	El ancho de la cuneta inundada no debe sobrepasar de 1,2 m.

El exceso de agua debe necesariamente ser conducido por el sistema de drenaje. Por ello el proyecto debe contar además con suficientes sumideros, adecuadamente espaciados, que eviten que el agua escurra, se concentre y acumule en las calles por sobre los límites indicados en la Tabla 5.5-1 y Tabla 5.5-2.

Además, para evitar riesgo a las personas, o daños a la propiedad pública o privada, se debe verificar que para tormentas mayores, con período de retorno de 100 años, las inundaciones provocadas por las aguas lluvias en las calles, no sobrepasen las condiciones que se indican a continuación en la Tabla 5.5-2. El exceso de agua debe ser conducido por los colectores, para lo cual se dispondrá de suficientes sumideros.

**Tabla 5.5-2**

Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas mayores

Tipo de vía vehicular	Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas mayores
Todos los tipos	La inundación no debe alcanzar la línea de edificación ni en el nivel ni en la extensión
	La velocidad media del flujo no debe sobrepasar los 2 m/s
	La profundidad del agua en cualquier punto de la sección transversal de la calle no debe exceder de 0,3 m si la velocidad media es inferior a 1 m/s, ni de 0,2 m si es mayor a 1,0 m/s
Pasajes	La profundidad máxima no debe exceder de 0,2 m y la velocidad media debe ser inferior a 1,0 m/s
Locales y de servicio	El nivel del agua no debe sobrepasar la solera
Colectoras y Troncales	Debe quedar al menos una pista libre de agua



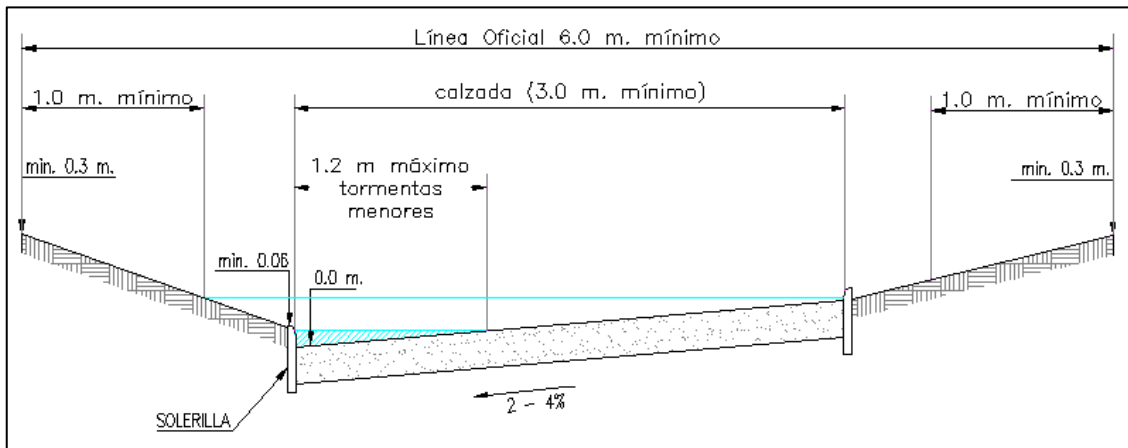
**5.5.3.2 Perfiles transversales de calles y cunetas**

Las calles reúnen y conducen hacia la red de drenaje las aguas lluvias que precipitan sobre ellas. Adicionalmente, las zonas de aguas arriba de una urbanización, pueden recibir aguas lluvias que precipitan sobre los terrenos circundantes, para luego conducirlos a la red de drenaje. Pese a lo anterior, esta práctica no es recomendable, ya que termina transformando las calles en colectores superficiales de aguas lluvias. Para evitarlo, sólo se permite una cantidad reducida de agua en las calles, limitada por las restricciones impuestas a las condiciones de diseño para tormentas menores, o las de inundación máxima para tormentas mayores según el párrafo 5.5.3.1

Para vías urbanas destinadas a la conducción y transporte de aguas lluvias, SERVIU podrá aprobar otros diseños que permiten una mayor capacidad hidráulica sin limitar la funcionalidad de la vía. Estos diseños buscan minimizar el riesgo de inundación de viviendas, facilitar el tránsito peatonal y vehicular sobre las calzadas y facilitar la captación de las aguas lluvias a través de los sumideros.

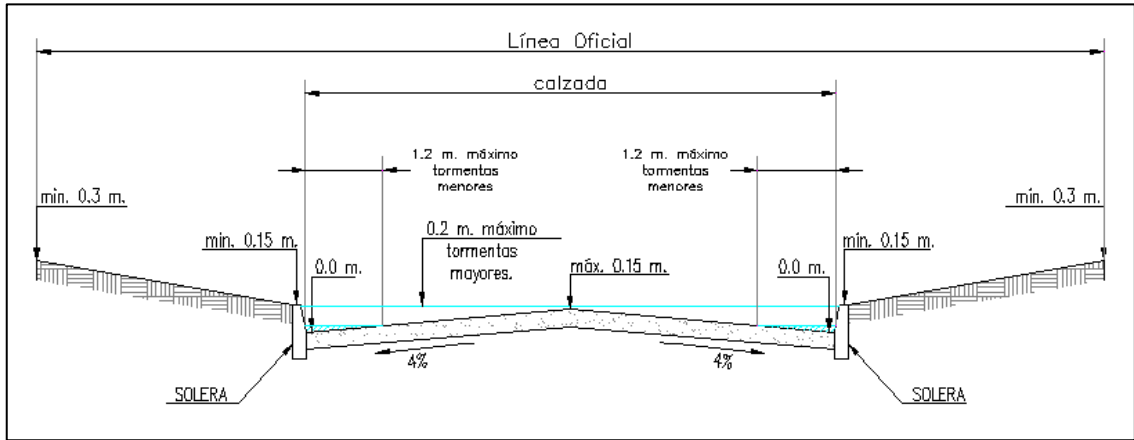
**Perfiles transversales de calles**

Para facilitar la conducción de aguas en las calles sin que se produzcan problemas, en los bordes de la calzada se formará una cuneta con la solera y el pavimento. La capacidad hidráulica de esta cuneta depende de la pendiente transversal del pavimento y de la pendiente longitudinal de la calle. Para mejorar esta capacidad de conducción se podrán diseñar secciones transversales como las que se indican en las figuras siguientes, incluyendo la posibilidad de formar cunetas fuera de la calzada.



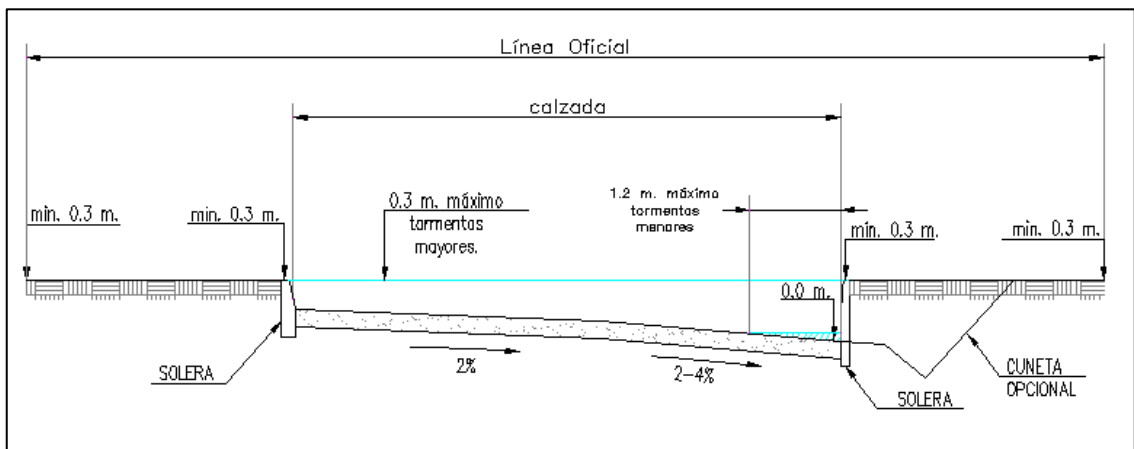
**Figura 5.5-9**

Ejemplo de sección transversal alternativa en Pasajes



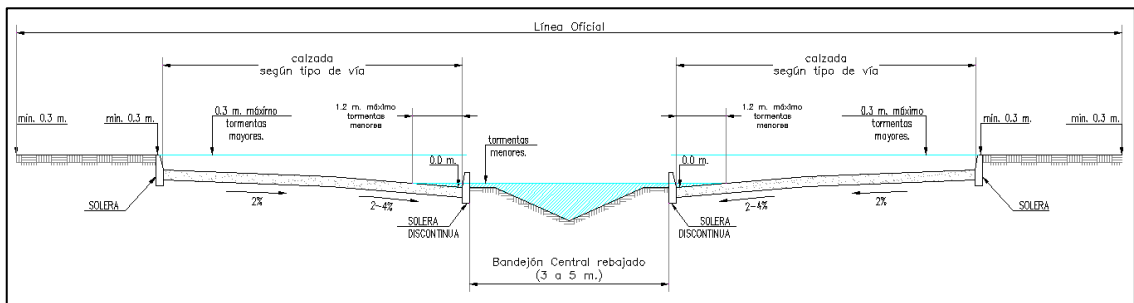
**Figura 5.5-10**

Ejemplo de sección transversal alternativa en Vías Locales y de Servicio con coronamiento al centro y cuneta a ambos lados de la calzada



**Figura 5.5-11**

Ejemplo de sección transversal alternativa en Vías Locales y de Servicio con pendiente transversal única y cuneta a un solo lado de la calzada. Opcionalmente la cuneta podría diseñarse fuera de la calzada



**Figura 5.5-12**

Ejemplo de sección transversal alternativa en Vías Colectoras y Troncales con cuneta al centro de la calzada y un bandejón central para conducir las aguas lluvias en zanja abierta

### Cunetas y soleras

En las vías urbanas la solera permite delinear y limitar la calzada evitando que los vehículos salgan de ella. Al mismo tiempo se utilizan para formar una cuneta y facilitar la recolección y conducción de las aguas lluvias. En la cuneta se ubican los sumideros para extraer el agua desde la calzada y dirigirla hacia el sistema de drenaje. La operación de los sumideros se facilita si el flujo en la cuneta tiene mayor profundidad.

Como una alternativa, el proyectista puede considerar el drenaje de las calles hacia obras de menor tamaño dispuestas especialmente para esto. Estas obras pueden ser zanjas de infiltración o pequeños volúmenes de regulación fuera del límite de la calzada conectados al drenaje hacia aguas abajo. Esto se podrá hacer siempre y cuando exista espacio disponible para ello. También podrán usarse soleras tipo zarpa, las que podrán tener pendientes transversales de hasta el 10%. Para pendientes longitudinales mayores al 10%, SERVIU sólo permite usar solera tipo zarpa en calzadas de hormigón.

Los bandejones centrales de las calles y avenidas pueden incorporarse a la solución de aguas lluvias como zonas de infiltración y retención temporal. En este caso se deben considerar soleras que permitan el drenaje desde la cuneta con sumideros especialmente dispuestos para estos fines y pendientes transversales que conduzcan las aguas lluvias hacia el bandejón central.



**Figura 5.5-13**

Soleras discontinuas y drenaje mediante una pequeña zanja en el bandejón



**Figura 5.5-14**

Bandejón central rebajado con capacidad de drenaje

### 5.5.3.3 Capacidad hidráulica de calles

La capacidad teórica de agua que puede conducir una calle se puede estimar con las características geométricas de la cuneta y la pendiente longitudinal de la calzada, aplicando la ecuación de Manning para estimar la velocidad media del flujo, con un coeficiente de rugosidad de  $n = 0,015$  para pavimentos de hormigón y asfalto:

$$V = \left( \frac{A}{P} \right)^{2/3} \cdot \frac{I^{0.5}}{n}$$

**Ecuación 5.5.1**

*Capacidad teórica de agua*

Donde:

- $V$  Velocidad media del flujo, en [m/s]
- $A$  Área de la sección del flujo en [m<sup>2</sup>]
- $P$  Perímetro mojado, en [m]
- $I$  Pendiente longitudinal de la calle, en [m/m]
- $n$  Coeficiente de rugosidad de la superficie

Desde el punto de vista del diseño, la capacidad de conducción de aguas lluvias de las calles se considerará como el valor mínimo de las siguientes dos capacidades alternativas: considerando el ancho máximo permitido de la sección inundada, o la cuneta llena y un factor de reducción por otros uso de la calle, de acuerdo a lo que se indica a continuación.

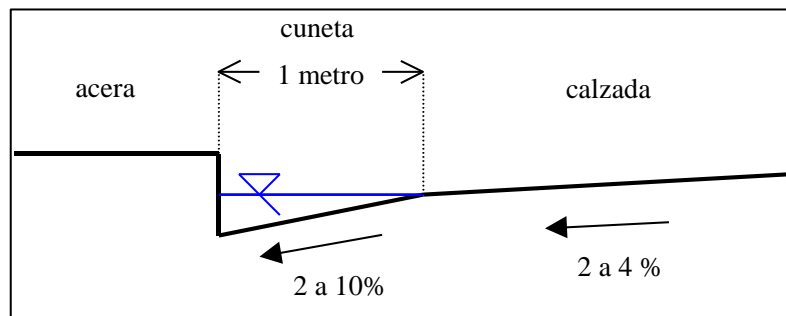
### 5.5.3.4 Capacidad de diseño para tormentas menores

Estas capacidades teóricas de las calles se entregan como referencia, sin embargo la capacidad real deberá estimarse con las condiciones geométricas de terreno, considerando además que

ella se ve afectada por la existencia de singularidades como badenes, lomos de toro, accesos vehiculares, encuentros de calles, reparaciones, vehículos estacionados, etc.

La capacidad teórica de las calles según el ancho máximo inundable permite reunir y conducir pequeños caudales hacia la red de drenaje o a otros cauces para tormentas menores, con períodos de retorno de 2 años.

Las formas geométricas de las cunetas típicas usadas por el SERVIU, corresponden a una cuneta simple formada por la intersección de la solera y una pendiente transversal entre el 2% y el 4% en la calzada, dependiendo del ancho de la calle. Sin embargo también se puede considerar una pendiente distinta en la zona de la cuneta para aumentar su capacidad como se ilustra en la Figura 5.5-15:



**Figura 5.5-15**  
Geometría transversal de la cuneta simple

Considerando un ancho de inundación máximo permitido de 1,2 [m] en condiciones de diseño, las capacidades de conducción de aguas lluvias de las calles son las que se indican en la

Tabla 5.5-3:

Tabla 5.5-3

Capacidades de conducción de aguas lluvias de las calles (1)

Pendiente longitudinal de la calle (1)	Cuneta simple 2%		Cuneta simple 3%		Cuneta simple 4%	
	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]
0,003	0.189	2.720	0.246	5.310	0.296	8.520
0,004	0.218	3.140	0.284	6.131	0.342	9.838
0,005	0.244	3.511	0.317	6.855	0.382	10.999
0,006	0.267	3.846	0.348	7.509	0.418	12.049
0,007	0.288	4.154	0.376	8.111	0.452	13.014
0,008	0.308	4.441	0.401	8.671	0.483	13.913
0,009	0.327	4.710	0.426	9.197	0.512	14.757
0,010	0.345	4.965	0.449	9.695	0.540	15.555
0,020	0.488	7.022	0.635	13.710	0.764	21.998
0,030	0.597	8.600	0.777	16.791	0.935	26.942
0,040	0.690	9.930	0.898	19.389	1.080	31.110
0,050	0.771	11.102	1.004	21.678	1.208	34.782
0,060	0.845	12.162	1.099	23.747	1.323	38.101
0,070	0.912	13.137	1.187	25.649	1.429	41.154
0,080	0.975	14.044	1.269	27.420	1.528	43.996
0,090	1.034	14.896	1.346	29.084	1.620	46.664
0,100	1.090	15.701	1.419	30.657	1.708	49.189

(1) Se recomiendan pendientes iguales o mayores que el 0,5%. (0,005)

Como puede apreciarse la capacidad de conducción de las calles, con la restricción de un ancho de inundación máxima de 1,2 [m] y pendiente transversal máxima de 4 % es muy reducida.

En algunos casos se puede recurrir a pendientes transversales de mayor pendiente, ya sea para formar una cuneta simple, o como parte de una cuneta compuesta. En estos casos las capacidades son las que se muestran en la

Tabla 5.5-4, para flujos con 1,2 [m] de ancho.



Tabla 5.5-4

Capacidades de conducción de aguas lluvias de las calles (2)

Pendiente longitudinal de la calle (1)	Cuneta simple 5%		Cuneta simple 6%		Cuneta simple 7%		Cuneta simple 10%	
	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]	Velocidad [m/s]	Gasto [l/s]
0,003	0.341	12.276	0.383	16.524	0.421	21.223	0.524	37.699
0,004	0.394	14.175	0.442	19.081	0.486	24.507	0.605	43.531
0,005	0.440	15.848	0.494	21.333	0.544	27.399	0.676	48.669
0,006	0.482	17.361	0.541	23.369	0.596	30.014	0.740	53.315
0,007	0.521	18.752	0.584	25.241	0.643	32.419	0.800	57.586
0,008	0.557	20.046	0.625	26.984	0.688	34.658	0.855	61.562
0,009	0.591	21.262	0.663	28.621	0.729	36.760	0.907	65.297
0,010	0.623	22.412	0.698	30.169	0.769	38.749	0.956	68.829
0,020	0.880	31.696	0.988	42.666	1.087	54.799	1.352	97.339
0,030	1.078	38.819	1.210	52.255	1.332	67.114	1.656	119.215
0,040	1.245	44.825	1.397	60.339	1.538	77.497	1.912	137.658
0,050	1.392	50.116	1.562	67.461	1.719	86.644	2.138	153.906
0,060	1.525	54.899	1.711	73.900	1.883	94.914	2.342	168.596
0,070	1.647	59.298	1.848	79.821	2.034	102.519	2.529	182.104
0,080	1.761	63.392	1.975	85.332	2.175	109.597	2.704	194.677
0,090	1.868	67.237	2.095	90.508	2.306	116.246	2.868	206.487
0,100	1.969	70.874	2.208	95.404	2.431	122.534	3.023	217.656

(1) Se recomiendan pendientes iguales o mayores que el 0,5%. (0,005)

5.5.3.5 Capacidad máxima

La capacidad máxima de las calles se establece para la verificación frente a tormentas mayores, con períodos de retorno de 100 años, en la cual se acepta que conduzca agua hasta el nivel superior de la solera, evitando que desborde la calle e inunde las propiedades vecinas.

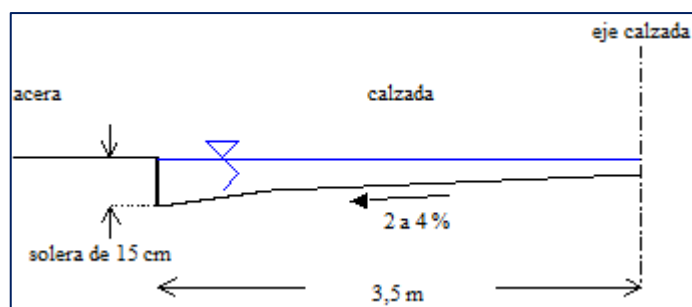


Figura 5.5-16

Esquema del escurrimiento a cuneta llena

Para estimar la capacidad de las calles a cuneta llena hasta el borde de la solera, se puede utilizar la mencionada ecuación de Manning, pero se debe incluir un factor de corrección para tomar en cuenta la reducción de capacidad por autos estacionados, obstrucciones en la cuneta, olas y salpicaduras. Los valores de capacidad indicados a continuación suponen flujo uniforme. En casos especiales deberá hacerse cálculos más precisos estimando los niveles del eje hidráulico considerando el efecto de las singularidades. El factor de corrección depende de la pendiente longitudinal. Los factores de corrección, valores máximos teóricos para una cuneta llena con

CAP N°5

soleras de 15 [cm], y las capacidades máximas a considerar con cunetas simples y pendientes transversales típicas son los que se muestran en la Tabla 5.5-5:

**Tabla 5.5-5**

Factores de corrección, valores máximos teóricos y capacidades máximas (1)

Pendiente longitudinal de la calle (1)	Factor de corrección	Cuneta simple 2 % (2)		Cuneta simple 3% (2)		Cuneta simple 4% (2)	
		Veloc. (m/s)	Gasto(3) (l/s)	Veloc. (m/s)	Gasto(3) (l/s)	Veloc. (m/s)	Gasto(3) (l/s)
0,003	0,30	0,84	101	0,75	77	0,66	55
0,004	0,40	0,97	156	0,87	119	0,76	85
0,005	0,50	1,08	218	0,97	166	0,85	119
0,006	0,80	1,19	382	1,06	290	0,93	209
0,007	0,80	1,28	413	1,15	314	1,01	226
0,008	0,80	1,37	441	1,23	335	1,08	241
0,009	0,80	1,45	468	1,30	355	1,14	256
0,010	0,80	1,53	494	1,37	375	1,20	270
0,020	0,70	2,17	611	1,94	464	1,70	334
0,030	0,60	2,65	641	2,38	487	2,08	350
0,040	0,50	3,07	617	2,75	469	2,41	337
0,050	0,45	3,43	621	3,07	471	2,69	339
0,060	0,37	3,75	559	3,36	425	2,95	305
0,070	0,32	4,06	522	3,63	397	3,18	285
0,080	0,28	4,34	489	3,88	371	3,40	267
0,090	0,25	4,60	463	4,12	351	3,61	253
0,100	0,21	4,85	410	4,34	311	3,80	224

(1) Se recomiendan pendientes mayores o iguales que el 0,5%. (0,005)

(2) Se considera la calle llena hasta el eje (3,5 m) solamente como máximo.

(3) Considera el factor de corrección.

Para el caso de cunetas simples y pendientes transversales mayores, los valores de capacidad máxima de conducción son los que se muestran en la

Tabla 5.5-6.

**Tabla 5.5-6**

Factores de corrección, valores máximos teóricos y capacidades máximas (2)

Pendiente longitudinal de la calle (1)	Factor de corrección	Cuneta simple 5 % (2)		Cuneta simple 6 % (2)		Cuneta simple 7 % (2)	
		Veloc. (m/s)	Gasto(3) (l/s)	Veloc. (m/s)	Gasto(3) (l/s)	Veloc. (m/s)	Gasto(3) (l/s)
0,003	0,30	0,63	42	0,62	35	0,62	30
0,004	0,40	0,73	65	0,72	54	0,72	46
0,005	0,50	0,81	91	0,81	76	0,80	64
0,006	0,80	0,89	160	0,88	132	0,88	112
0,007	0,80	0,96	173	0,95	143	0,95	121
0,008	0,80	1,03	185	1,02	153	1,01	130
0,009	0,80	1,09	196	1,08	162	1,07	138
0,010	0,80	1,15	206	1,14	171	1,13	145
0,020	0,70	1,62	255	1,16	211	1,60	179
0,030	0,60	1,99	268	1,97	222	1,96	188
0,040	0,50	2,29	258	2,28	214	2,26	181
0,050	0,45	2,56	260	2,55	215	2,53	182
0,060	0,37	2,81	234	2,79	194	2,77	164
0,070	0,32	3,03	219	3,01	181	2,99	153
0,080	0,28	3,24	204	3,22	169	3,20	144
0,090	0,25	3,44	194	3,42	160	3,39	136
0,100	0,21	3,63	171	3,60	142	3,58	120

(1) Se recomiendan pendientes mayores o iguales que el 0,5%. (0,005)

(2) Se considera la calle llena hasta el eje (3,5 m) solamente como máximo.

(3) Considera el factor de corrección.

Se debe hacer notar que, con flujos a cuneta llena, se producen escurrimientos con velocidades mayores a las permitidas para pendientes longitudinales de las calles superiores al 2,5%, como se destaca con las casillas en gris en las tablas anteriores. En estas condiciones, no se podrá ocupar la calzada totalmente llena para el escurrimiento de aguas lluvias, ya que con ello, se sobrepasan las velocidades máximas permitidas de 2 [m/s], las que generan riesgos importantes a peatones y vehículos en las calles. Por otra parte, en los caudales máximos permitidos indicados en los cuadros anteriores, se considera el factor de reducción de la capacidad de la calle debido fundamentalmente al exceso de velocidad, de manera que para la verificación del flujo con tormentas mayores, deberá considerarse que las calles no pueden conducir caudales superiores a los indicados. Debido a esto, las pendientes longitudinales máximas recomendadas para las calles que conduzcan aguas lluvias, deben reducirse a valores máximos del orden del 2,5%. En calles de mayor pendiente longitudinal debe incorporarse un sistema de drenaje independiente, evitando que las aguas lluvias escurran por las calles.

#### 5.5.4 Sumideros

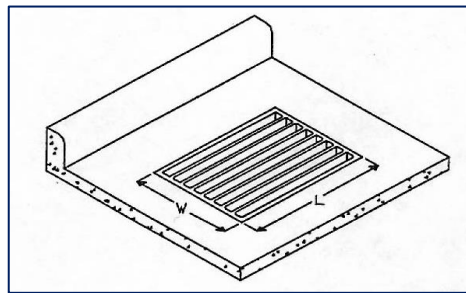
El proyecto de aguas lluvias debe considerar sumideros para captar y conducir el escurrimiento superficial, preferentemente, desde las calles hacia los elementos de la red secundaria.

La capacidad hidráulica de captación de los sumideros depende de su tipo pero también de su ubicación, la pendiente de la calle, las características del flujo y los sedimentos que lleve el agua. Es necesario por lo tanto emplear factores de reducción para tomar en cuenta estos efectos. Factores del orden de 0,5 son razonables si no se dispone de mayores antecedentes.

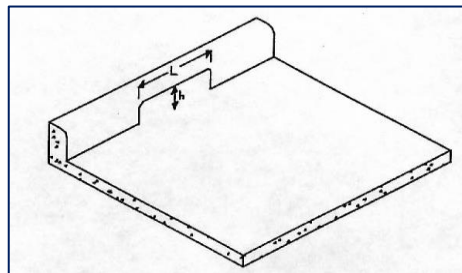
### 5.5.4.1 Tipos de sumidero

Se empleará sumideros según los tipos aprobados por SERVIU, considerando para su selección los aspectos del tránsito, seguridad de peatones y vehículos, operación en condiciones extremas, mantención y costos. Los sumideros son, en general, de tres tipos:

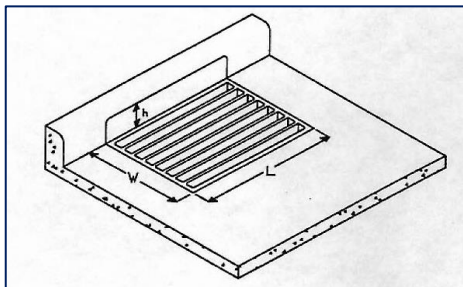
- Sumideros horizontales, con rejilla, ubicados en la cuneta. Funcionan efectivamente dentro de un rango amplio de pendientes de la calle, pero las rejillas se obstruyen con facilidad y pueden generar inconvenientes para ciclistas y peatones. Tipos S3 y S4 del SERVIU
- Sumideros laterales de abertura en la solera. Funcionan admitiendo objetos arrastrados por la corriente, pero su capacidad decrece con la pendiente, de manera que no se recomiendan para calles con pendientes longitudinales superiores al 3%. Pueden confeccionarse a partir del tipo S2 del SERVIU si se elimina la abertura horizontal en la cuneta. Cuando se utilice este tipo de sumidero se recomienda aumentar la pendiente transversal de la calzada en la zona de la cuneta
- Sumideros mixtos. Combinan aberturas horizontales en la cuneta y laterales en la solera. Se recomiendan para un amplio rango de condiciones. Tipos S1 y S2 del SERVIU



**Figura 5.5-17**  
Sumidero horizontal



**Figura 5.5-18**  
Sumidero lateral



**Figura 5.5-19**  
Sumidero mixto

### 5.5.4.2 Capacidad máxima de sumideros

La capacidad máxima de los sumideros depende del tipo, tamaño y diseño de la rejilla. Su capacidad hidráulica se puede estimar suponiendo que funcionan hidráulicamente como vertederos para pequeñas alturas de agua y como orificios para alturas de agua mayores. Colocados en una calle con pendiente, no siempre logran captar toda el agua que viene por ellas aunque, teóricamente, dispongan de capacidad para ello.

- Un sumidero horizontal de largo L (a lo largo de la cuneta, en metros) y ancho b (transversal a la calle, en metros), con una rejilla de área de aberturas A, en metros cuadrados, puede evacuar como máximo un caudal  $Q_m$  [m<sup>3</sup>/s]:

$$Q_m = 1,66(L + 2b)h^{1,5} \quad \text{Si funciona como vertedero:} \quad h < 1,6 \frac{A}{L+2b}$$

$$Q_m = 2,66 Ah^{0,5} \quad \text{Si funciona como orificio:} \quad h \geq 1,6 \frac{A}{L+2b}$$

Donde h es la altura de agua del escurrimiento en la calle frente al sumidero, en metros.

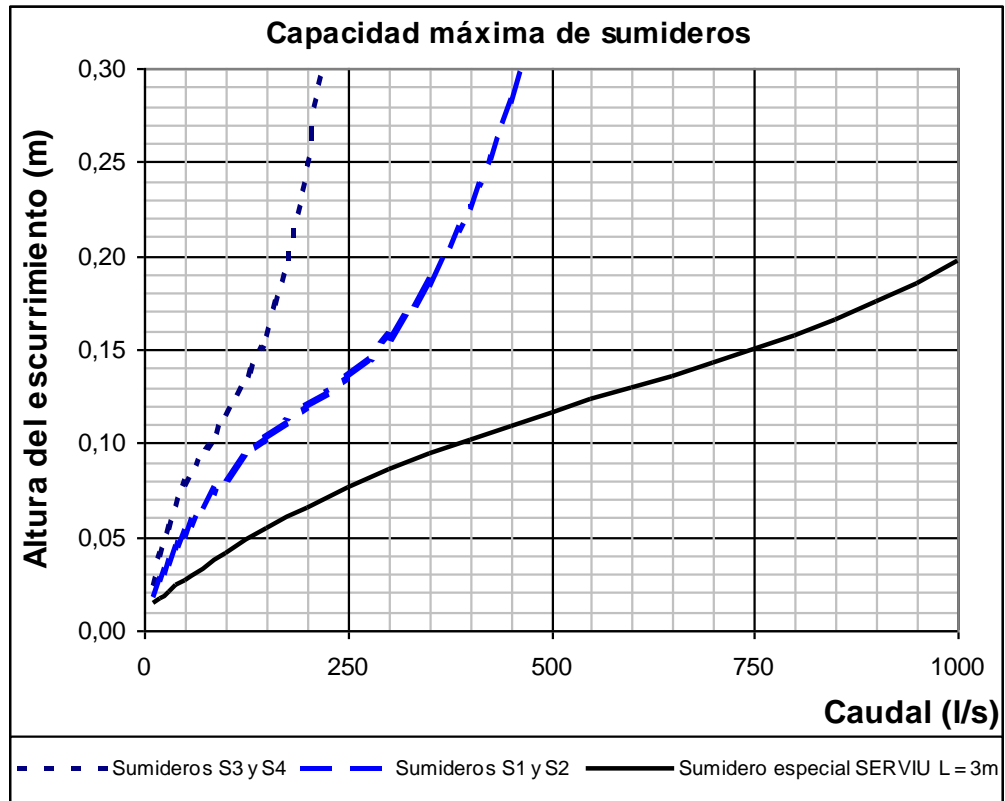
- Un sumidero lateral de largo L (a lo largo de la cuneta, en metros), y altura de abertura a (vertical, en metros), puede evacuar como máximo un caudal  $Q_m$  (m<sup>3</sup>/s):

$$Q_m = 1,27Lh^{1,5} \quad \text{Si funciona como vertedero:} \quad h < a$$

$$Q_m = 2,66 Lah^{0,5} \quad \text{Si funciona como orificio:} \quad h \geq a$$

Donde h es la altura de agua del escurrimiento en la calle frente al sumidero, en metros.

Para los sumideros tipo S1, S2, S3, S4 del SERVIU, así como también sumideros especiales que posee el SERVIU, correspondientes a baterías de sumideros de mayor longitud con rejilla horizontal, las capacidades máximas se muestran en la Figura 5.5-20:



**Figura 5.5-20**

Capacidad máxima de sumideros tipo del SERVIU

### 5.5.4.3 Capacidad de diseño de sumideros

Los sumideros no necesariamente logran captar el caudal correspondiente a su capacidad máxima. En la realidad, los sumideros captan sólo parte del caudal que escurre por la cuneta, la fracción no captada escurre aguas abajo y debe agregarse al caudal que recibe la calle quedando, por lo tanto, para el siguiente sumidero. En términos de diseño, se habla de la eficiencia de un sumidero  $E$ , como la proporción que es capaz de captar del caudal que escurre por la cuneta.

La eficiencia global del sumidero es la suma de las eficiencias del sumidero horizontal y del sumidero lateral. Esta depende, principalmente, de las características geométricas de la cuneta, de las características geométricas del sumidero y de la magnitud del caudal que escurre por la cuneta. La capacidad de diseño del sumidero debe considerarse como el valor mínimo entre las dos opciones siguientes:

$$Q_s = E \cdot Q = (E_H + E_L)Q \quad \text{si } (E_H + E_L)Q \leq Q_m$$

$$Q_s = Q_m \quad \text{si } (E_H + E_L)Q > Q_m$$

Donde:

$Q_s$  Caudal captado por el sumidero

$Q$  Caudal que escurre por la cuneta aguas arriba del sumidero

$Q_m$  Capacidad máxima de captación del sumidero según 5.5.4.3

$E$  Eficiencia global del sumidero cuyo valor máximo es 1,0

$E_H$  Eficiencia del sumidero horizontal

$E_L$  eficiencia del sumidero lateral

- Un sumidero horizontal de largo  $L$ , metros, y ancho  $b$ , metros, colocado en la cuneta captura una proporción  $E_H$  del caudal que viene por la calle con un escurrimiento de ancho superficial  $T$ , metros, una velocidad  $V$ , metros por segundo, y una pendiente transversal de la cuneta  $S_x$ , metro por cada metro:

$$E_H = E_0 + R_s(1 - E_0) \quad 0 \leq E_H \leq 1$$

$$E_H = 1 - \left(1 - \frac{b}{T}\right)^{2,67} \quad 0 \leq E_0 \leq 1$$

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,0828V^{1,8}}{S_x L^{2,3}}\right)} \quad 0 \leq R_s \leq 1$$

- En un sumidero lateral de altura  $a$ , metros, dispuesto en la cuneta, en que la altura del escurrimiento es  $h$ , metros, se logra captar una proporción  $E_L$  del caudal  $Q$  que escurre por la calle.  $L$  es el largo de la abertura del sumidero, metros,  $S_L$  es la pendiente longitudinal de la calle, metros por cada metro,  $S_x$  la pendiente transversal de la cuneta, metros por cada metro,  $Q$  el caudal que escurre por la calle, metros cúbicos por segundo,  $n$  el coeficiente de Manning:

$$\text{Si } h \leq a \quad E_L = 1 - \left(1 - \frac{L}{L_T}\right)^{1,8} \quad 0 \leq E_L \leq 1$$

$$\text{Si } h > a \quad E_L = 1$$

$$L_T = 0,817Q^{0,42}S_L^{0,3}(nS_x)^{-0,6} \quad \text{Con } L_T \text{ mínimo igual a } L$$

Notar que cuando la altura del escurrimiento sobrepasa la abertura del sumidero el caudal captado viene limitado solamente por la capacidad máxima de captación del sumidero lateral según 5.5.4.2

- Para los sumideros tipo S1, S2, S3, S4 y especiales del SERVIU las características y eficiencias de captación son las siguientes:



**Tabla 5.5-7**

Características del sumidero

Tipo de sumidero	Características	Sumidero S1 ó S2	Sumidero S3 ó S4	Sum. especial SERVIU
Sumidero Horizontal	Largo L, en metros	0,98	0,66	3,0
	Ancho b, en metros	0,41	0,41	0,70
	Área libre, rejilla Fe laminado, [m2]	0,22	0,15	0,93
Sumidero Lateral	Largo L, en metros	0,98	---	3,0
	Altura a, en metros	0,1	---	0,1

**Tabla 5.5-8**

Eficiencia de captación

Condición de diseño	Pendiente longitudinal de la calzada	Eficiencia de Sumideros		
1 m en la cuneta	cualquier pendiente longitudinal	0,90	0,80	1,00
Flujo a cuneta llena	< 0,01	0,45	0,40	0,75
	≤ 0,05	0,25	0,20	0,75
	> 0,05	0,10	0,05	0,50

#### 5.5.4.4 Ubicación de sumideros

Los sumideros se ubicarán ya sea solos o formando baterías de sumideros en serie, preferentemente, en la cuneta de las calles y en los lugares donde resulten más efectivos, para lo cual se puede considerar las siguientes recomendaciones:

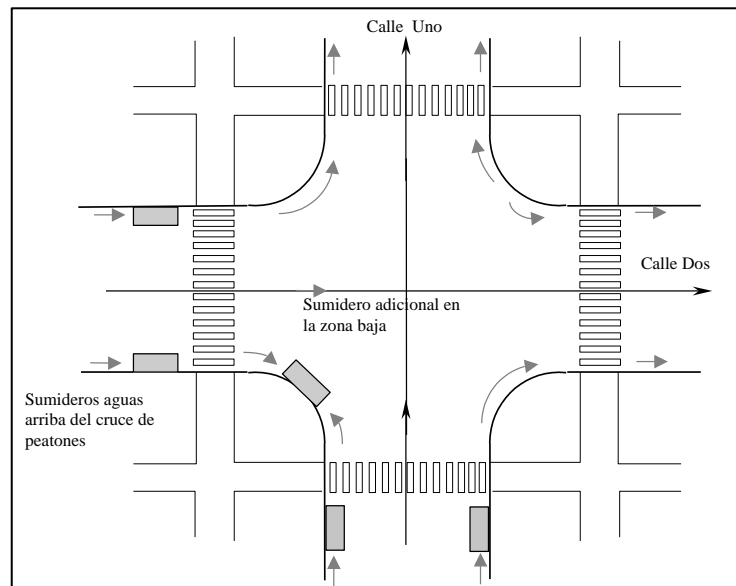
- En las intersecciones entre calles para captar el 100% del flujo que llega por las calles, de manera de evitar que el flujo cruce las calles en las intersecciones. Se ubicarán aguas arriba del cruce de peatones.
- En las partes bajas de las intersecciones de calles, formadas por las cunetas que llegan desde aguas arriba. En lo posible, se tratará de evitar que existan zonas bajas en las que se pueda acumular el agua, favoreciendo siempre el flujo hacia aguas abajo.
- Inmediatamente aguas abajo de secciones en las que se espera recibir una cantidad importante de aguas lluvias, como salidas de estacionamientos, descargas de techos, conexiones de pasajes.
- Siempre que la cantidad acumulada de agua en la cuneta sobrepase la cantidad máxima permitida para condiciones de diseño.
- Se prohíbe la colocación de sumideros atravesados transversalmente en las calzadas.
- Para conectar los sumideros a la red se preferirá hacerlo en las cámaras. En estos casos el tubo de conexión llegará a la cámara con su fondo sobre la clave del colector que sale de la cámara.
- Cuando sea necesario conectar un sumidero directamente al colector la conexión debe hacerse por la parte superior de este último. El tubo de conexión debe ser recto, sin cambio de diámetro, pendiente ni orientación. El ángulo de conexión entre el tubo y el colector debe ser tal que entregue con una componente hacia aguas abajo del flujo en el colector. Para este empalme podrá emplearse piezas especiales.

- Los sumideros también se podrán conectar directamente a otros elementos de la red secundaria, como pozos, zanjas, estanques o lagunas.

#### 5.5.4.5 Intersección de calles

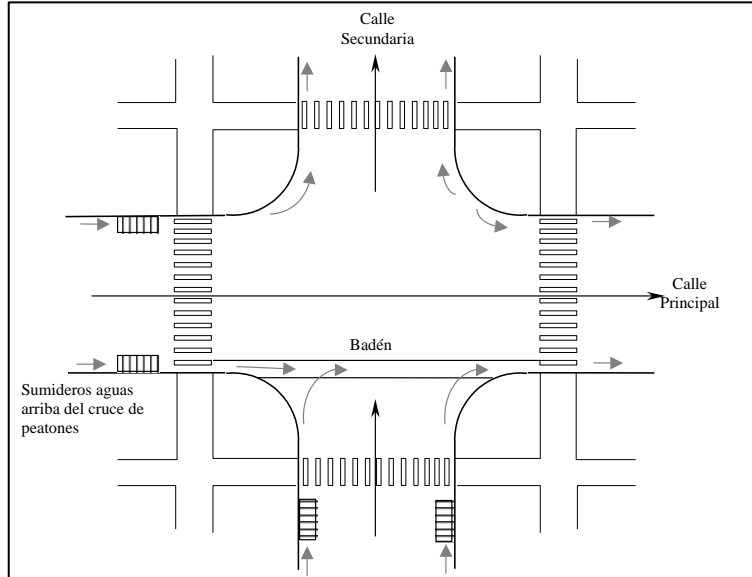
Para el diseño de intersecciones mantener los siguientes criterios:

- En las intersecciones de calles debe evitarse que el flujo de cualquiera de las cunetas cruce transversalmente la otra calle.
- En ningún caso el flujo de la calle de menor importancia debe cruzar la calle principal.
- Si es necesario que el flujo a la calle principal cruce la calle secundaria debe proveerse de un badén.
- Evitar que se formen zonas bajas, facilitando el drenaje hacia aguas abajo.



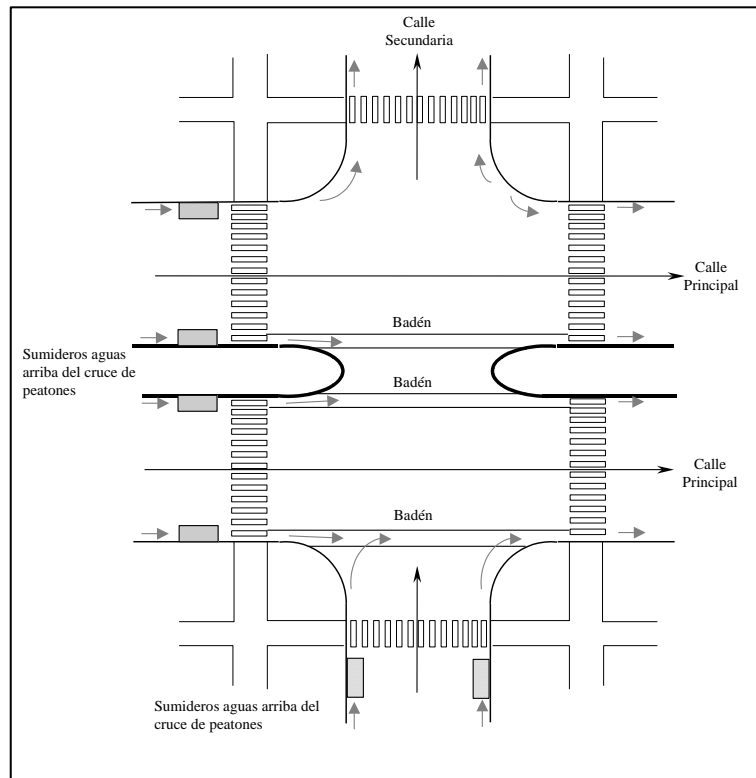
**Figura 5.5-21**

Sumideros en cruce de calles de igual importancia sin supresión de los coronamientos. Las flechas indican la dirección del flujo de aguas lluvias y la pendiente principal de la calzada



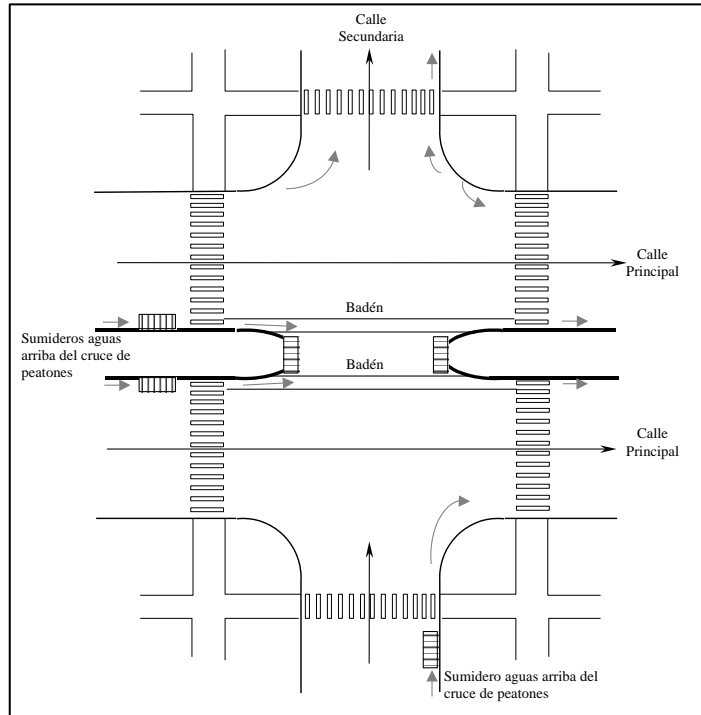
**Figura 5.5-22**

Sumideros en cruce de calle de distinta importancia en el cual se suprime el coronamiento de la calle secundaria. Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada



**Figura 5.5-23**

Sumideros en cruce de calle con bandejón central para calzada con cunetas a ambos lados. Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada



**Figura 5.5-24**

Sumideros en cruce de calle con bandejón central para calzada con cunetas a un solo lado de la calzada en el bandejón central. Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada

#### 5.5.4.6 Cruce Peatonal

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, las aguas lluvias se deben captar aguas arriba de los cruces peatonales garantizando que éstas no ingresen e inunden los dispositivos de rodados dispuestos en dichos cruces. Para tales efectos pueden ser utilizados sumideros mixtos, laterales y cualquier propuesta o tecnología que deberá ser aprobada por el revisor Serviu.

#### 5.5.4.7 Ciclovías

Para el diseño de ciclovías, en lo relacionado al escurrimiento superficial de aguas lluvias, mantener los siguientes criterios:

- Las pendientes transversales y longitudinales de las ciclovías deben garantizar que no existan punto bajos de inundación.
- Los sumideros, sus rejillas, o cualquier sistema de captación no deben obstruir o dificultar el correcto tránsito.
- El ancho de inundación para una tormenta de diseño de T=2 años, no debe ser mayor a 1.2m

### 5.5.5 Colectores

La red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formada por diversos elementos para la captación, retención, almacenamiento, conducción y entrega de las aguas generadas en la urbanización. Los elementos de conducción normalmente reciben el nombre de colectores y pueden ser superficiales o subterráneos.

Tradicionalmente se han empleado colectores subterráneos ya que permiten emplear el suelo para otros usos, lo que facilita la urbanización de sectores de alta densidad o con pocas áreas verdes. Además pueden conducir aguas lluvias y aguas servidas simultáneamente, de manera que en los sistemas unitarios esta es la única alternativa urbanamente aceptable. Sin embargo, dado que los sistemas de aguas lluvias se utilizan solo esporádicamente en días de lluvia, y las urbanizaciones deben disponer de sectores de áreas verdes, es posible utilizar colectores superficiales, con diseños especiales para sectores urbanos que pueden resultar significativamente más económicos y adecuados para la urbanización si se diseñan correctamente.

#### 5.5.5.1 Colectores subterráneos

Los colectores secundarios son un sistema de conducción continuo, que capta las aguas lluvias, las almacenan y las transportan hacia aguas abajo hasta descargar a sistemas receptores.

Estos colectores subterráneos funcionan por gravedad, en el cual los flujos tienden a ir por el fondo de la sección, en flujo abierto, con presión atmosférica. En el caso de condiciones de flujo máximo operan habitualmente con un 80% a 90% de la altura total, dejando un pequeño espacio en la parte superior para el aire.

El sistema de conducción de aguas lluvias de la red secundaria está formado por tuberías y cámaras de inspección, que reciben el agua desde los sumideros y la conducen hacia un punto de entrega, además, facilitan la mantención y limpieza del sistema. Por otro lado, los tubos de los colectores son generalmente circulares prefabricados de materiales como mortero de cemento comprimido, fibrocemento, PVC, HDPE y otros materiales autorizados. Pueden considerarse otros tipos de sección y construidos en terreno de acuerdo a las condiciones de proyecto y los costos involucrados.

Estos colectores se piensan para operar de manera automática con caudales muy variables, desde flujos nulos en épocas secas, hasta grandes caudales en crecidas esporádicas y poco frecuentes. En este caso, debido al carácter cerrado y por lo tanto, limitado de la superficie transversal de los colectores subterráneos, su capacidad máxima está limitada a la de diseño, ya que para caudales mayores entran en presión y corren el peligro de desbordar a la superficie.

#### **Condiciones hidráulicas**

Para las condiciones de diseño los colectores secundarios funcionarán con escurrimiento libre. Por lo general los colectores de la red secundaria son de sección circular. Para ello el diámetro de los tubos se selecciona de manera que para el caudal máximo de diseño la altura de agua sea igual o menor que 0,8 veces el diámetro  $D$ . Si la altura de agua es igual a  $0,8D$ , la velocidad media del flujo,  $V$ , y el gasto,  $Q$ , están relacionados con el diámetro del tubo, la pendiente longitudinal y el coeficiente de rugosidad del material mediante las siguientes relaciones, basadas en la ecuación de Manning para flujo uniforme:

$$V = 0,45 \frac{D^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

$$Q = 0,30 \frac{D^{8/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

Donde:

- $V$  Velocidad media del flujo [m/s]
- $Q$  Gasto [m3/s]
- $I$  Pendiente de fondo del tubo [m/m] (adimensional)
- $D$  Diámetro interior del tubo [m]
- $n$  Coeficiente de rugosidad de Manning, según Tabla 5.5-9

**Tabla 5.5-9**

Coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de superficie	Coeficiente n
Tubos de plástico	0,011
Tubos de fibrocemento	0,012
Tubos de mortero comprimido	0,013

Adicionalmente se adoptarán las siguientes condiciones para tubos de colectores de la red secundaria:

- El diámetro mínimo de los colectores debe ser 400 [mm].
- La velocidad máxima del escurrimiento no debe sobrepasar 4 [m/s] para tuberías de mortero comprimido y los 6 [m/s] para tuberías de PVC o similares.
- La velocidad mínima del escurrimiento no debe ser inferior a 0,9 [m/s] para las condiciones de diseño. Para ello deberá adoptarse la pendiente de fondo correspondiente para los tubos. En el caso de tramos iniciales (antes de la primera cámara) la velocidad no debe ser inferior a 0,6 [m/s].
- Se podrán diseñar obras especiales y tramos en presión, como sifones invertidos, si el proyecto lo requiere. En este caso se deben tomar las medidas para evitar embanques, y lograr una adecuada operación y mantención.

**Cámaras de Inspección**

La red de colectores subterráneos se completará con cámaras de inspección, las que se colocarán con criterios similares a los establecidos para una red de alcantarillado de aguas servidas. Estas cámaras son indispensables para la correcta operación y mantención de los colectores subterráneos.

El diseño de las cámaras será de acuerdo a la Norma Chilena NCh1623 Of80, la que define dimensiones para Cámaras Tipo a y Cámaras Tipo b, según la profundidad total. Las tapas también se dimensionarán de acuerdo a esta norma.

Las cámaras se colocarán de manera de asegurar que los tubos entre ellas sean siempre rectos y uniformes. Para ello obligadamente debe considerarse una cámara al menos en las siguientes situaciones:

- Al inicio de la red
- Cuando corresponda cambio de diámetro en el colector
- Cuando corresponda un cambio de pendiente del colector
- Cuando se requiera un cambio de orientación o dirección o nivel del colector
- Cuando corresponda cambio del material del tubo
- Cuando se necesite intercalar una caída o cambio de nivel brusco del tubo
- Cuando confluyan dos o más colectores
- En tramos rectos entre 50 a 120 metros como máximo
- Intersecciones de calles

Una misma cámara podrá utilizarse para una o más de las funciones indicadas.

Las cámaras de inspección pueden ser prefabricadas, construidas en hormigón u otros materiales. Además, independiente de su forma o tipo, tienen los siguientes componentes típicos definidos según la norma antes mencionada:

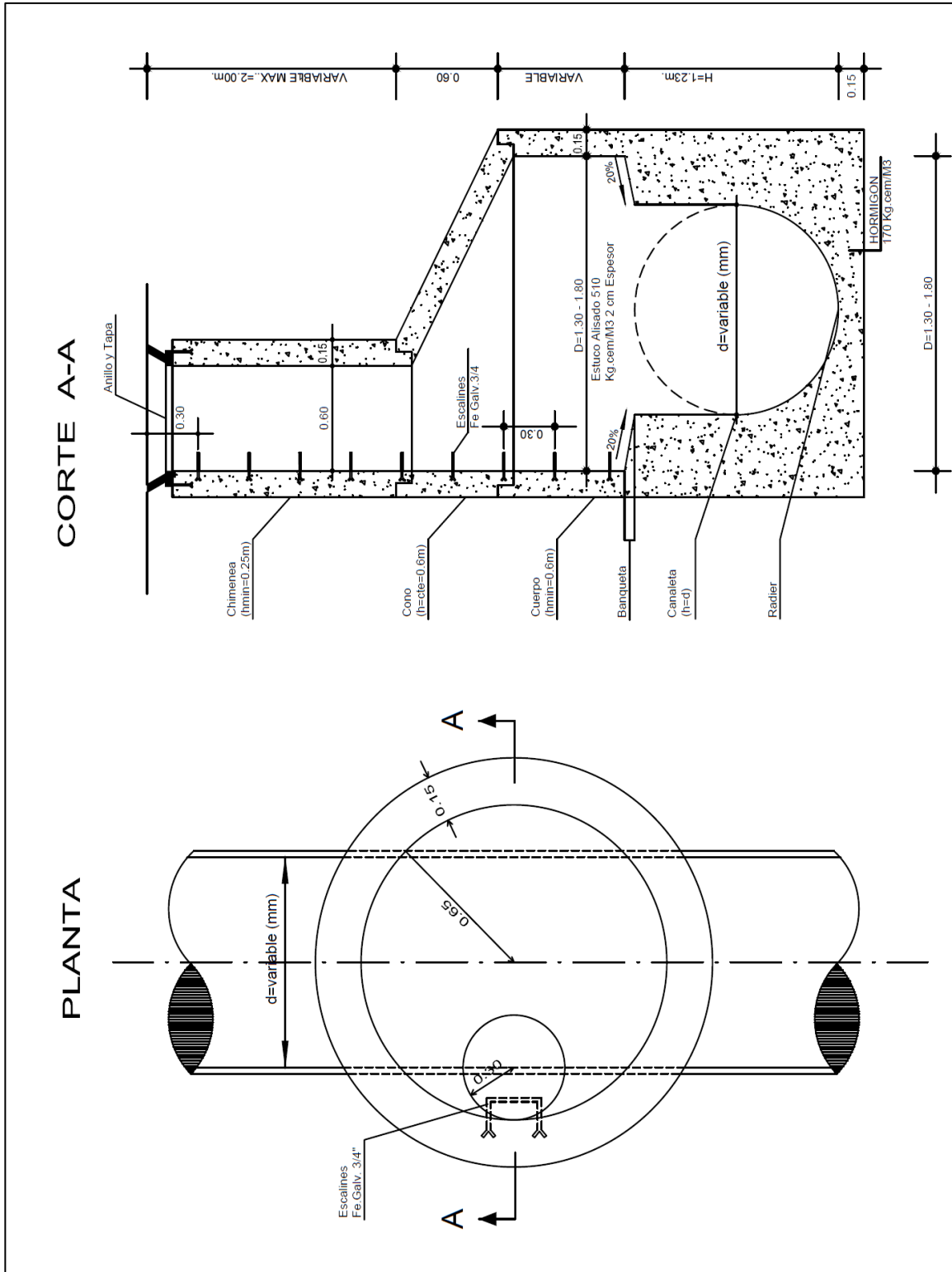
- **Cuerpo:** Parte principal de la cámara. Se ubica a la altura del colector y permite realizar los trabajos de mantención y limpieza. Puede ser de sección circular o rectangular en planta, o de acuerdo a las disponibilidades de espacio y características del colector si este es de dimensiones importantes.
- **Radier:** El fondo del cuerpo tiene un radier en el cual se ubica las canaletas de conexión de los colectores. Para cámaras y colectores de pequeño diámetro este radier puede ser una losa prefabricada. Para colectores de mayor diámetro se construye en el lugar.
- **Canaletas:** Canalización del colector en el interior de la cámara. Su propósito es disponer de un conducto suave, continuo para el flujo y eliminar innecesaria turbulencia en la cámara. Para ello tiene la misma sección inferior que el colector y está abierta por arriba con los lados verticales hasta completar la altura igual al diámetro del colector. El nivel de los tubos de entrada y salida debe ser tal que la parte superior del tubo de salida quede al nivel de la parte superior del tubo de entrada menos la pérdida de energía que se produzca en la cámara. Notar que esto significa que los tubos se nivelan por la parte superior y no por el fondo. Si son de diferente diámetro la canaleta tendrá un fondo inclinado para unirlos.
- **Banqueta:** Parte del radier que rodea la o las canaletas. Normalmente es un plano inclinado con pendiente de 20% desde la periferia del cuerpo hacia la canaleta.
- **Chimenea:** Para el acceso desde la superficie se dispone una chimenea, en general de menor sección que el cuerpo. El diámetro mínimo libre interior de esta pieza es de 0,6 [m].

Para cámaras de la red primaria de drenaje se recomienda emplear una chimenea de diámetro mínimo 0,8 [m]. En general la chimenea tiene una pared recta para facilitar el acceso.

- **Cono:** Permite unir la chimenea con el cuerpo de la cámara. Se trata de un cono excéntrico con uno de sus paredes vertical para facilitar la colocación de una escalera o los escalines.
- **Conjunto anillo tapa:** Es para el cierre de la cámara en su parte superior. La tapa debe ser del tipo calzada, de manera que permita el paso de vehículos sobre ella. Para la red de drenaje se recomienda este tipo de tapas aunque el acceso se ubique sobre la vereda.
- **Escalines y bastones o barandas:** Son de acero galvanizado o protegidos contra la oxidación, se adosan a las paredes de la chimenea y el cuerpo para facilitar el acceso. En algunos casos se puede no colocar escalines y el personal de mantención emplea sus propias escaleras. Esto puede justificarse para evitar el peligro de escalines dañados para restringir el acceso.

A continuación Figura 5.5-25 se muestra una cámara de inspección tipo a, con los elementos previamente descritos:





**Figura 5.5-25**  
Detalle Cámara Tipo a

**Tipos de Cámaras de Inspección**

Existen tres tipos de cámaras: tipo a, tipo b y especiales, las que se seleccionan de acuerdo al mayor diámetro de los colectores involucrados y a la profundidad total entre el nivel del Radier y la calzada.

- **Cámaras de Inspección tipo a:** conformada por chimenea, cono, cuerpo, radier, tapa y escalines. Utilizada en lugares públicos con posibilidad de tránsito de vehículos sobre ella (en calzadas, estacionamientos, pasajes, patios de carga, incluso veredas). Constituida de hormigón armado o también pueden ser prefabricadas.
- **Cámaras de Inspección tipo b:** solo se conforma de cuerpo, además disponen de una losa en la parte superior, donde se pone la tapa. El uso está limitado según profundidades menores dependiendo del diámetro del colector. También existen cámaras prefabricadas pero constituidas de albañilería.
- **Cámaras de Inspección Especiales:** estas cámaras se utilizan cuando no pueden emplearse las cámaras anteriores, y se adoptan cuando la altura disponible entre el radier de la canaleta y la altura de la calzada es menor a 0.9 [m].

En el caso de usar cámaras de inspección prefabricadas, del tipo empleadas en redes públicas de alcantarillados, ellas deben ser dimensionadas según la Norma Chilena NCh 1623.

**Tabla 5.5-10**

Dimensiones para Cámaras

Diámetros		Banqueta K	Cámara		
Canaleta	Cuerpo		Tipo A	Tipo B	
			m	m	
mm	mm	mm	Desde H	Desde H	Hasta H
175	1.30	29	1.74	1.14	1.73
200	1.30	31	1.76	1.16	1.75
250	1.30	36	1.81	1.21	1.80
300	1.30	40	1.85	1.25	1.84
350	1.30	45	1.90	1.30	1.89
400	1.30	49	1.94	1.34	1.93
450	1.30	54	1.99	1.39	1.98
500	1.30	58	2.03	1.43	2.02
550	1.80	68	2.13	1.53	2.12
600	1.80	72	2.17	1.57	2.16
650	1.80	77	2.22	1.62	2.21
700	1.80	81	2.26	1.66	2.25
800	1.80	90	2.35	1.75	2.34
900	1.80	99	2.44	1.84	2.43
1000	1.80	100	2.53	1.93	2.52

### **Radieres**

El tipo de radier está definido según la solución que se desea lograr, ya sea en el inicio del colector, en el final del colector, o en el transcurso de él, comprendiendo cruces, desniveles y curvas.

El tipo de radier indica dirección, sentido de escurrimiento y la intersección con otra red.

Para identificar las cámaras primero se asigna una letra correspondiente al tipo de cámara, seguida de un número perteneciente al tipo de radier, por ejemplo: a-1, a-2, b-1, b-2, etc.

Para los proyectos de aguas lluvias se utilizan los mismos 52 tipos de radier definidos para las redes de aguas servidas, los que se muestran en la Figura 5.5-26 y Figura 5.5-27, a continuación:

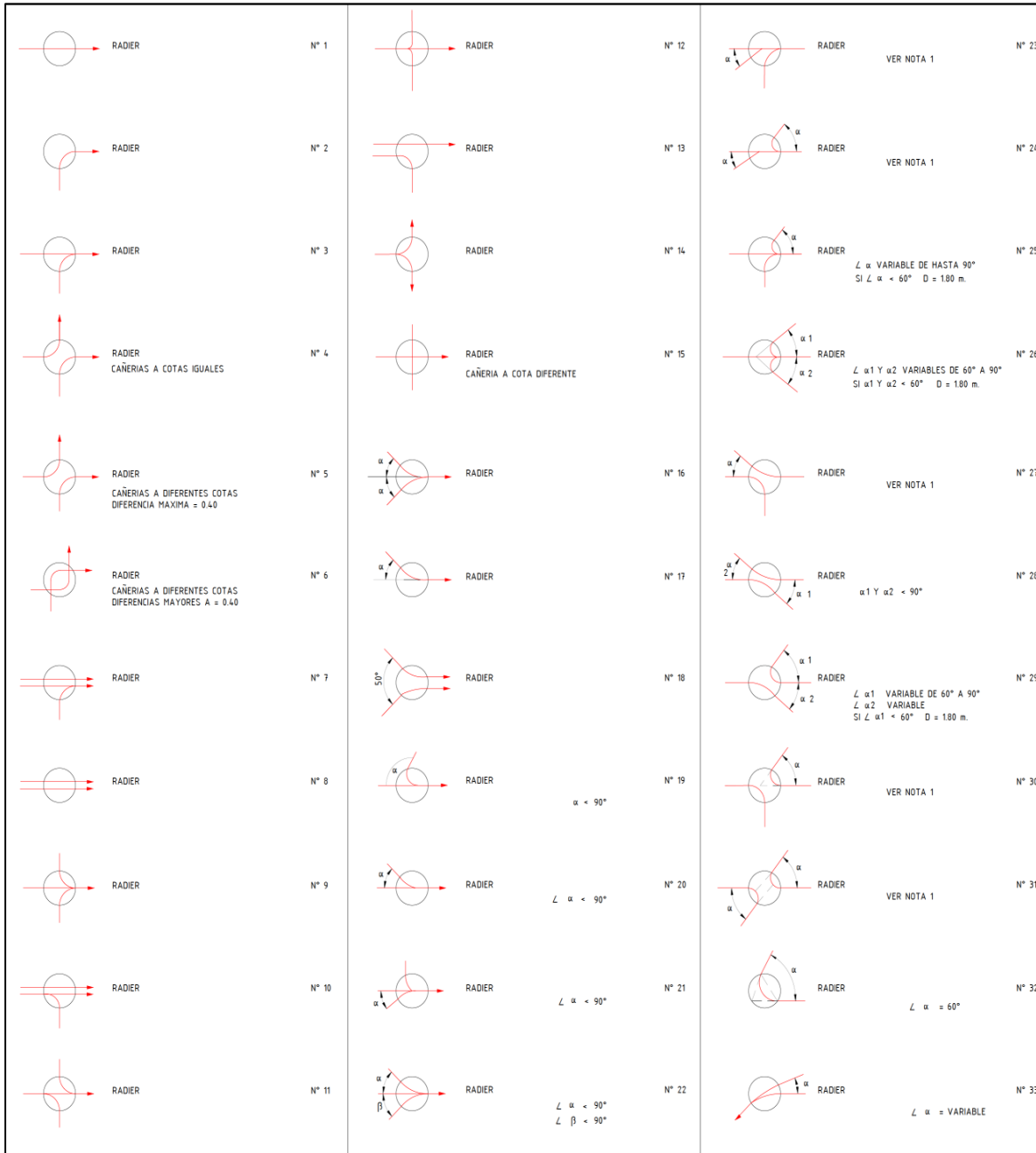


Figura 5.5-26  
Tipos de radier (parte 1)

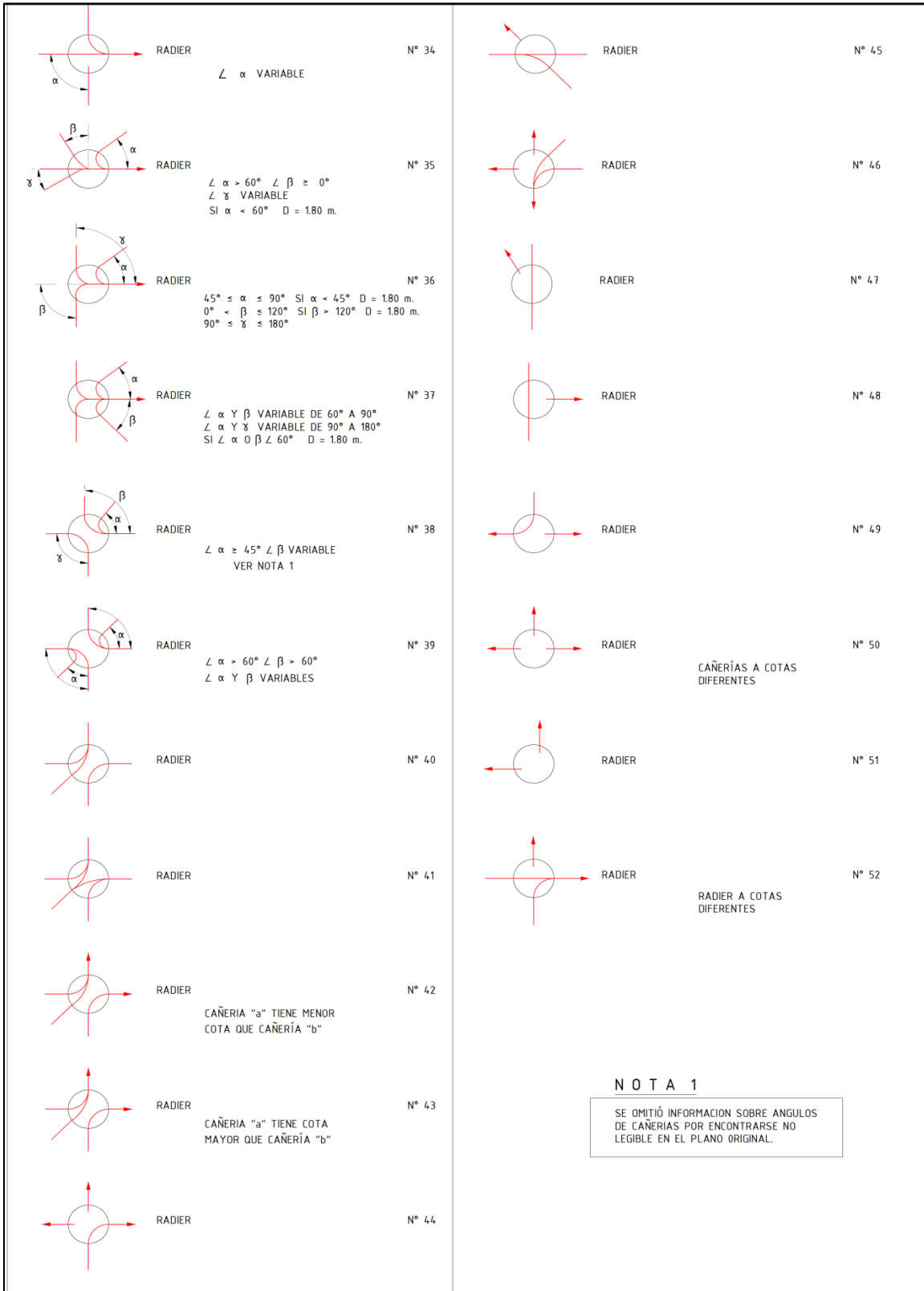


Figura 5.5-27  
Tipos de radier (parte 2)

### 5.5.5.2 Colectores superficiales

El proyectista debe considerar la conservación y/o mejoramiento de los cauces naturales que se encuentren al interior del área de desarrollo. En las nuevas urbanizaciones puede incorporar estos cauces a la urbanización con un diseño adecuado, considerando que en general los cauces abiertos presentan mayores capacidades de conducción que los cerrados cuando son superadas las capacidades de diseño. Sin embargo se debe tener cuidado con la utilización de canales de riego para el drenaje de aguas lluvias ya que ellos han sido diseñados con otros criterios y es muy difícil que se adapten para estos fines.

#### **Utilización de cauces naturales**

Para mantener los cauces naturales y utilizarlos como parte de la red de drenaje es importante considerar los siguientes aspectos:

- Mantener su trazado original, sin considerar su entubamiento salvo para obras de arte.
- Desarrollar obras para controlar la erosión, evitar la sedimentación y en general mantener estable la sección del cauce natural
- Mantener la operación del cauce con la urbanización igual que cuando se encontraba en condiciones naturales, vale decir que no debe desbordarse o socavar el lecho si es que para lluvias similares no se presentaban dichas fallas en condiciones naturales
- La urbanización puede requerir un aumento en la capacidad del cauce, para lo cual este debe estar provisto de zonas de inundación para crecidas mayores ( $T = 100$  años o similar), las que se deben diseñar como áreas verdes con taludes tendidos, de al menos 5:1 (H:V), considerando que cuando no funcionen como zona inundable sean áreas públicas para usos recreacionales o de paisajismo

## Canales de drenaje de aguas lluvias

También se pueden diseñar canales artificiales de drenaje de aguas lluvias, los que deben considerar su utilización para otros fines cuando no hay crecidas, así como la protección de la erosión.

En las Figura 5.5-28, Figura 5.5-29, Figura 5.5-30 y Figura 5.5-31 se presentan algunos ejemplos de canales de drenaje que conducen aguas lluvias urbanas.



**Figura 5.5-28**

Canal de drenaje urbano en un área verde, con taludes tendidos



**Figura 5.5-29**

Canal de drenaje de aguas lluvias con protección de erosión para flujos más habituales



**Figura 5.5-30**

Canal de drenaje urbano con protección para erosión y caída para disipación de energía



**Figura 5.5-31**

Canal de pasto

Tanto para los cauces naturales urbanos, como para los colectores abiertos, debe considerarse un diseño adecuado para controlar la erosión y mantener estable la sección. Esto puede requerir incorporar caídas y disipadores de energía también de diseño especial.

### **Control de la erosión en los cauces naturales**

Para el diseño de colectores abiertos y el mejoramiento y mantención de cauces naturales, debe considerarse el control de la erosión en el diseño.

En este tipo de obras, el control de la erosión se basa principalmente en la disminución de la velocidad del escurrimiento y el control de la altura de agua. Para esto, el proyectista debe considerar lo siguiente:

- Utilizar taludes tendidos mínimo 5:1 (H:V), para aumentar el área de la sección, evitar la erosión y facilitar la mantención



- Ocupar el espacio disponible para aumentar el ancho superficial del escurrimiento, de manera de disminuir la altura
- Utilizar pendiente longitudinal baja, controlando la cota con caídas y disipadores de energía incorporados con beneficios paisajísticos a la urbanización
- Verificar el cumplimiento de restricción de velocidad máxima del flujo
- Utilizar enrocado o algún tipo de material o elemento que controle la erosión, sobretodo en la zona por donde fluye el agua con caudales altos

En la Tabla 5.5-11 se especifican algunas restricciones para controlar la erosión en las condiciones de flujo máximo, con crecidas del orden de T = 100 años.

**Tabla 5.5-11**

Restricciones para controlar la erosión en condiciones de flujo máximo para T=100 años

<b>Propiedad</b>	<b>Valor Máximo</b>
<b>Altura de agua (m)</b>	1,5
<b>Pendiente de fondo (%)</b>	0,6
<b>Número de Froude</b>	
Cubierta sin vegetación	0,3
Cubierta de pastos naturales	0,3
Cubierta de pastos de jardín	0,6
<b>Velocidad (m/s)</b>	
Cubierta sin vegetación	0,7
Cubierta de pastos naturales	0,9
Cubierta de pastos de jardín	1,5

**5.5.6 Plantas elevadoras**

Las estaciones de bombeo son sistemas electromecánicos cuyo propósito es elevar el nivel energético de un fluido. En lo que respecta al saneamiento urbano, las plantas elevadoras son utilizadas principalmente cuando la topografía del lugar a sanear no permite implementar una solución gravitacional para evacuar las aguas recolectadas, como por ejemplo en pasos bajo nivel.

Una planta elevadora puede poseer una configuración de una o más bombas, en serie o paralelo, actuando simultáneamente o disponiendo de unidades de reserva. Las unidades de reserva son aquellas que entran en operación ante la posible falla en una de las bombas.

En general, las plantas elevadoras de aguas lluvias son diseñadas considerando un volumen de almacenamiento, para así, evitar que las bombas trabajen a su máxima capacidad durante tiempos prolongados.

Existen dos tipos básicos de estaciones de bombeo, con pozo húmedo y con pozo seco. La elección del sistema debe considerar varios aspectos, tanto económicos como técnicos. Para mayores detalles referentes al diseño de plantas elevadoras, consultar el Manual de Drenaje urbano de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

## 5.6 TIPOS DE PROYECTOS Y SUS REQUERIMIENTOS

### 5.6.1 Requerimientos mínimos de los proyectos

Para que un proyecto de aguas lluvias sea concebido como tal, debe presentar un mínimo de documentos que permitan facilitar la lectura del resultado final. Los documentos mínimos, son:

#### Proyecto de Aguas Lluvias

Documentos:

- Memoria Técnica de Aguas Lluvias
- Especificaciones Técnicas de Aguas Lluvias
- Presupuesto
- Itemizado
- Otros documentos

Planos:

- Planta de Áreas Aportantes
- Planta Proyecto Aguas Lluvias
- Perfiles Longitudinales
- Perfiles Transversales
- Detalles
- Cuadros de Resumen

#### 5.6.1.1 Memoria Técnica de Aguas Lluvias

La memoria técnica debe ser un documento que plasme el estudio, el diseño, verificaciones y cualquier cálculo que permita llegar al resultado final. Debido a lo anterior, debe ser desarrollado por un Ingeniero Civil del área de la construcción. Los Tópicos que debe abordar son:

- **Descripción, Generalidades, Contexto:** Es la parte inicial del estudio en donde se introduce a la problemática del asunto, y el contexto histórico y/o territorial. Se puede presentar una cronología de eventos, tales como inundaciones que han afectado al lugar de estudio. Debe ser incluido todo tipo de información, mapas, registros fotográficos que permitan a quien lee por primera vez, hacerse una idea general de la situación. Es importante la síntesis, y si se posee registros descriptivos más amplios, quizás sea oportuno dejarlo en un anexo.
- **Objetivos:** Se debe describir o explicar cuál es el objetivo del estudio, es decir, a qué nivel de ingeniería se desea llegar y que tipo de resultados se presentarán.
- **Marco Reglamentario y Antecedentes:** Se dan a conocer las normas y antecedentes bibliográficos que rigen el diseño. Además, se debe hacer referencia a estudios

topográficos, mecánicas de suelo, estudios de impacto ambiental y cualquier estudio complementario que haya sido considerado en el diseño.

- **Caracterización Hidrológica:** Se debe describir el procedimiento con el cual se obtienen los parámetros más importantes que caracterizan la lluvia de diseño, a saber: Precipitación, Períodos de Retornos utilizados, duraciones de tormenta, curvas IDF, hietogramas, etc.
- **Caracterización de las cuencas o áreas aportantes:** Mostrar los parámetros que caracterizan a cada área aportante o cuenca, desde el punto de vista del diseño. Los parámetros variarán según el método de lluvia-escorrentía que se utilice y deben estar en completa concordancia con lo que se muestre en la planta de áreas aportantes.
- **Método de lluvia-escorrentía:** Se debe presentar y describir como se aplica el método lluvia-escorrentía utilizado en el proyecto. Es importante una buena elección en el método a utilizar, según el grado de exactitud o de realismo que se quiera alcanzar al representar fenómenos de la naturaleza. Un método más exacto puede significar más tiempo de diseño y cálculo para el proyectista. En general, para proyectos privados o públicos pero con áreas aportantes no tan grandes (menores a 50 Ha) se utiliza el Método Racional.

Sin embargo, para proyectos con áreas aportantes grandes o proyectos de gran relevancia, es importante utilizar métodos más exactos. Es especialmente necesario utilizar programas de simulación computacional, cuando se desea realizar una evaluación social mediante la metodología de proyectos de aguas lluvias de MIDESO, ya que ésta exige plantearse en distintos escenarios de períodos de retorno, duración de tormentas y con lluvias de intensidad variable en el tiempo, lo cual genera una gran cantidad de datos a procesar que sólo este tipo de programas puede facilitar.

- **Verificaciones y Resultados:** Se presentarán resúmenes de resultados del diseño, tales como tablas de resumen de cámaras, sumideros, tuberías, zanjas de infiltración, etc. Es recomendable que como los cálculos relacionados con este tipo de proyectos genera muchos valores y datos (caracterización hidrológica, caracterización de áreas aportantes, los métodos lluvia-escorrentía y verificaciones), puedan ser presentados en anexos, y en el cuerpo de la memoria sólo los más relevantes o resúmenes de éstos.

#### 5.6.1.2 Especificaciones Técnicas de Aguas Lluvias

Las especificaciones técnicas deben presentar un estándar técnico mínimo correspondiente al que se presenta en esta norma. Sin embargo, el proyectista puede presentar mejoras o añadir otros ítems que sean necesarios en el proyecto, los cuales serán revisados por el departamento de Serviu correspondiente.

#### 5.6.1.3 Presupuesto, Itemizado

Deberá ajustarse al formato que exija el departamento correspondiente. En algunos casos puede ser necesario o exigible un análisis de precios unitarios, para detallar las consideraciones tomadas en tales ítems. Para proyectos presentados en la Unidad de Revisión e Inspección de Pavimentos Particulares, será exigible presentar el presupuesto ajustado a los formatos de dicha unidad y utilizando los precios tipo que este manual presenta.

#### 5.6.1.4 Planos

Todos los planos deben tener la viñeta del departamento correspondiente y una planta de ubicación. Además, hay ciertos formatos en cuanto a tipos de letras, colores y grosores de líneas que deben ajustarse al estándar definido. Referente a su contenido, los requerimientos mínimos son:

##### **Planta de Áreas Aportantes**

Es una planta que debe mostrar las áreas aportantes utilizadas en el diseño de colectores, zanjas, sumideros y otro tipo de obras. Según la complejidad del proyecto y favoreciendo la legibilidad de la información quizás sea necesario presentar la misma información en distintas plantas y así mostrar las áreas aportantes según el tipo de obra que se está diseñando. Un buen análisis de áreas, que luego se plasme en dicha planta, debería permitir diferenciar áreas permeables de las que no lo son. Además, es importante incluir cuadros de resumen y cualquier tipo de ayuda gráfica que permita entender la subdivisión de áreas y el sentido de escurrimiento que se utiliza en el cálculo, tales como, flechas de sentido del escurrimiento, nodos, áreas coloreadas, etc.

En proyectos grandes, cuyas áreas o cuencas aportantes involucran varias hectáreas, se hace necesario incluir el contexto territorial en el cual está situado. Por lo tanto, se debe mostrar una extensión de territorio mayor a la involucrada en el proyecto y en donde se visualicen calles, plazas, sectores industriales, curvas de nivel, etc. De esa forma, se puede visualizar en que área definida en el Plan Maestro está situado el proyecto y su contexto.

##### **Planta Proyecto de Aguas Lluvias**

En esta planta se muestra lo existente, lo proyectado y lo que se demuele. Además, se muestran trazados de agua potable, alcantarillado y gas que son los servicios que por lo general pueden tener interferencias con las obras proyectadas. Otros servicios con sus trazados se deben mostrar si existiera la posibilidad de tener interferencias o cercanía a sus tuberías y cámaras.

Por lo general, la escala utilizada es de 1:500 y en algunos casos de proyectos que no abarcan grandes sectores se podría utilizar una escala 1:250. La simbología se debe adecuar a la vigente por Serviu.

Se deben visualizar claramente las obras proyectadas y el sentido de escurrimiento en tuberías y en la superficie de las calles. Las cámaras, cámaras especiales, sumideros, zanjas de infiltración y cualquier tipo de obra deben estar correctamente numeradas y caracterizadas con sus parámetros de diseño.

##### **Perfiles Longitudinales**

Los perfiles longitudinales por lo general se presentan en escala horizontal 1:500 y vertical 1:50, es decir, la escala vertical aumentada 10 veces respecto a la horizontal. Debido a esto, si los trazados de colectores en planta se extienden en forma recta, puede ser conveniente mostrar el perfil longitudinal correspondiente a ese tramo en planta, en la misma lámina.

La información que se debe mostrar en los perfiles es la siguiente:

- En el dibujo: Tuberías con sus grosores y pendientes, refuerzos de tuberías, cámaras y profundidades de cámaras. Cruces e interferencias de servicios, eje de calles que cruzan, espesores en el pavimento proyectado y cualquier tipo de obra que se cruce con el trazado en planta del colector.
- En la parte superior: Numeración de cámaras, simbología del tipo de radier, código del radier, título del perfil indicando el tramo que abarca y las escalas utilizadas.
- En la parte inferior, guitarra de información: Distancias parciales, distancias acumuladas, cotas de terreno existente, rasante proyectada, cotas de radier, largo de tubería, pendiente, materialidad, caudales, velocidad de escurrimiento, movimiento de tierra.

### **Perfiles transversales**

Los perfiles transversales permiten visualizar interferencias y paralelismos de servicios. Según los requerimientos propios de cada proyecto, será la cantidad de perfiles transversales. En algunos casos podría ser necesario tener perfiles cada 20m longitudinales y en otros casos bastaría con un perfil por cada cuadra.

La información que se debe mostrar en los perfiles es la siguiente:

- En el dibujo: Perfil transversal que abarque la faja pública (de línea oficial a línea oficial). Se deben ver tuberías del colector proyectado, tuberías de otros servicios, refuerzos de tuberías, anchos de calzada, aceras, veredas, espesores de pavimentos, eje del perfil, distancias de tuberías respecto a alguna referencia de interés, cotas de radier de tuberías.
- En la parte superior: Título del perfil, escalas utilizadas.
- En la parte inferior: Distancias parciales y acumuladas respecto al eje del perfil, cotas de rasante de los pavimentos.

### **Detalles Constructivos**

Es importante que las obras estén bien detalladas, incluso métodos constructivos. Los detalles constructivos deben estar de acuerdo a los vigentes por Serviu y en algunos tipos de obras será necesario que el proyectista los desarrolle.

### **Cuadros de Resumen**

Los cuadros de resumen son necesarios porque facilitan la lectura de los planos y por lo tanto de la ejecución. Como concepto general, se deben hacer cuadros de resumen de todo tipo de obras que se puedan numerar y definir parámetros importantes en su diseño y ejecución.

La información que se debe mostrar en los perfiles es la siguiente:

- Cuadros de Resumen de Cámaras: Numeración de la cámara, tipo de cámara, tipo de radier, altura, cota de rasante, cotas de radier entrada y salida, diámetro del cuerpo, mayor diámetro de canaleta, escalines, banqueta.
- Cuadros de Resumen de Tuberías: Largo, diámetro, pendiente, materialidad, cámara de inicio y término.

- Cuadros de Sumideros: Numeración, tipo de sumidero. Respecto a la conexión al colector su largo, diámetro, pendiente, refuerzo.
- Cuadros de Resumen de Sistemas de infiltración: Cámaras decantadoras, dimensiones de la zanja, etc.