

# **ELEMENTOS URBANOS DE INFRAESTRUCTURA DE AGUAS LLUVIAS**

## **1. INTRODUCCIÓN**

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.

### **1.1 OBJETIVOS**

La aplicación de esta norma para abordar los problemas de las aguas lluvias en zonas urbanas 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.

### **1.2 USO DE ESTA GUÍA**

Estas definiciones 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.

### **1.3 MARCO REGLAMENTARIO**

El proyectista considerará las recomendaciones de otros instructivos de ordenamiento territorial, tales como el 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.

Especialmente considerará como referencias la Ley 19.525 de Aguas Lluvias, Plan Maestro de Aguas Lluvias del Gran Santiago y la Guía de Diseño de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos del MINVU.

### **1.4 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.

## **2. ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE SOLUCIÓN**

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 norma, dar especial atención al destino que se dará a los excesos de las aguas generadas y considerar las opciones técnicas de solución disponibles.

### **2.1 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:

- a) Respetar el sistema general de drenaje y la capacidad de los colectores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.
- b) Evitar la inundación de calles y bienes para períodos de retorno preestablecidos en las condiciones de diseño.
- c) 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.
- d) 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.
- e) 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.
- f) 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.
- g) 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.

### **2.2 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:

- a) 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.

b) 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.

c) 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

## **2.3 ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE SOLUCIÓN**

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:

### **2.3.1 Etapa 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:

a) 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.

b) 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.

c) 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.

d) 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.

### **2.3.2 Etapa 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.

- a) 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.
- b) 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.

### **2.3.3 Etapa 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.

- a) 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.
- b) Cauces naturales. Estabilizar y proteger contra la erosión los cauces naturales y pequeñas quebradas incorporándolas a las áreas verdes del lugar.

### **2.3.4 Etapa 4. Colectores Subterráneos.**

Disponga 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.

## **3. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA**

El sistema de drenaje y sus elementos se proyectan y dimensionan de manera que operen con los criterios señalados en esta norma cuando se les someta a una tormenta de diseño, la que se define para un período de retorno preestablecido con una duración y precipitación total determinadas. Para cualquier tormenta de igual o menor precipitación, duración o período de retorno, el sistema debe operar sin fallas ni inconvenientes. Para controlar el riesgo de falla del sistema se fija un periodo de

retorno de diseño, con lo cual se asegura la existencia de soluciones de similar calidad de servicio para el público.

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) El período de retorno se selecciona de acuerdo al riesgo de falla que se está dispuesto asumir para el sistema o elemento a dimensionar. En proyectos de drenaje urbano de aguas lluvias se deben considerar dos tipos de tormentas, una de diseño, con la cual se dimensionan los elementos del sistema con períodos de retorno de 2 años, 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 de 100 años.

b) 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.

c) 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.

d) 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. Para estos efectos se recomienda diseñar la red secundaria con tormentas que concentran su mayor intensidad al inicio.

e) 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 secundaria se consideran tormentas espacialmente uniformes en una urbanización.

### **3.1 RELACIONES INTENSIDAD, DURACIÓN, FRECUENCIA: IDF**

Estas relaciones permiten caracterizar las tormentas en un lugar. Se establecen en base a un análisis estadístico de las lluvias registradas en pluviógrafos de la zona. 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.

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

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

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. CFT es el coeficiente de frecuencia, que para la Región Metropolitana adopta los siguientes valores:

**Tabla 1**

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

CD<sub>D</sub> 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:

**Tabla 2**

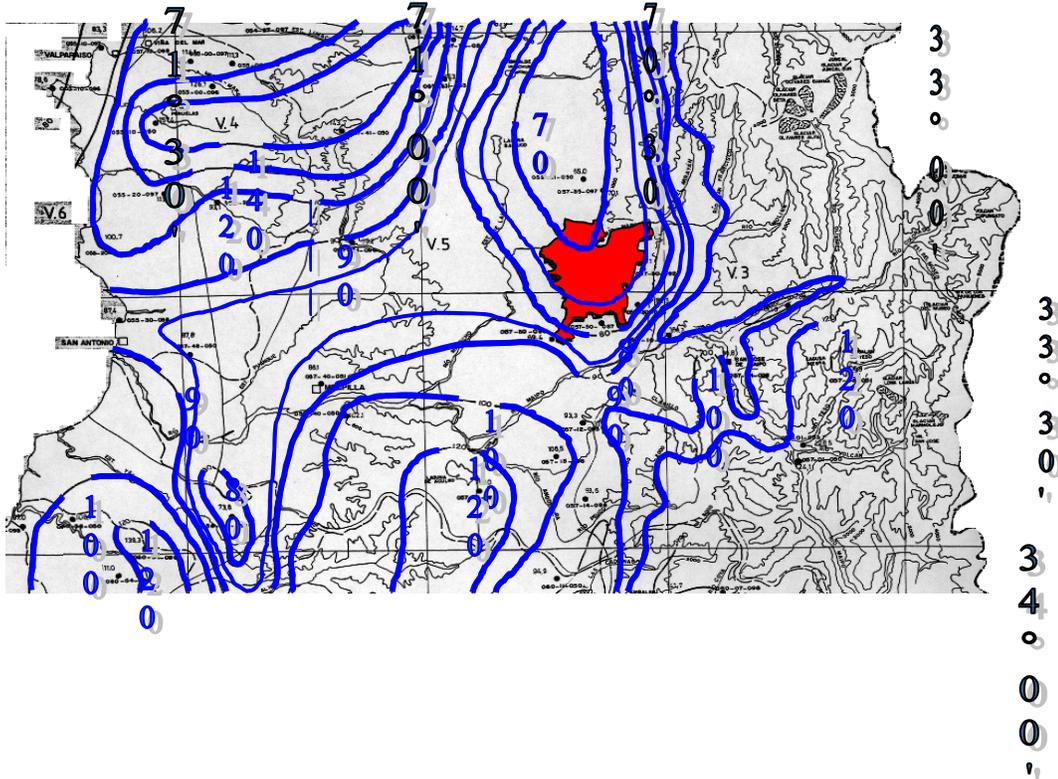
Duración (hr)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
T=2 y 5 años CD <sub>D</sub>	0,19	0,30	0,47	0,60	0,70	0,77	0,82	0,86	0,92	1,00
T=10 ó más años CD <sub>D</sub>	0,17	0,26	0,41	0,53	0,63	0,71	0,77	0,82	0,90	1,00

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

**Tabla 3**

Duración (minutos)	5	10	15	20	30	40	50	60
CD <sub>D</sub>	0,29	0,45	0,57	0,66	0,79	0,87	0,94	1,00

Finalmente PD<sub>10</sub> 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 1.



**Figura 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:

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

y se mide habitualmente en (mm/hora).

### 3.2 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.

### 3.2.1 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:

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

Donde  $T_{ci}$  en [min] es el tiempo de viaje en el elemento  $i$ , estimado a su vez como:

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

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:

Elementos planos, como patios. 
$$V = \frac{h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} + \sqrt{gh}$$

Elementos de conducción, como cauces. 
$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} + \sqrt{g \frac{A}{b}}$$

### 3.2.2 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.

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

Cuencas rurales no planas con escurrimiento preferentemente concentrado.

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

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.

### 3.2.3 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.

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

Para cunetas, colectores y cauces en general relativamente anchos.

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

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

- T<sub>c</sub> = Tiempo de concentración, en minutos.
- L = Longitud del escurrimiento superficial, en metros.
- L<sub>1</sub> = 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/hora.
- 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, según Tabla 4.

**Tabla 4**

Tipo de superficie	Coefficiente 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
----------------------------	-------

### 3.3 TORMENTAS DE DISEÑO

Para dimensionar los elementos de las obras de drenaje de una urbanización se supondrá que sobre la cuenca se recibe una tormenta de diseño, de manera que para todas las tormentas iguales o menores a ella las obras funcionan adecuadamente. Para tormentas mayores se aceptará que los elementos vean sobrepasadas sus capacidades de diseño, pero se verificará que no provoquen problemas graves.

a) Para obras de conducción, las que se deben dimensionar para conducir un gasto Q, la tormenta de diseño se selecciona a partir de las curvas IDF del lugar con el período de retorno de diseño y una duración igual 1 hora si el área de la cuenca es menor a 50 ha. y el tiempo de concentración de la cuenca es menor a 1 hora. Si tanto el área de la cuenca o su tiempo de concentración es mayor al mencionado previamente, usar tormentas de diseño de 24 horas de duración. En todo caso el caudal máximo de diseño en una tubería se determinará con la intensidad media producida en el tiempo igual al tiempo de concentración del área aportante a dicha tubería (ver 3.6.2).

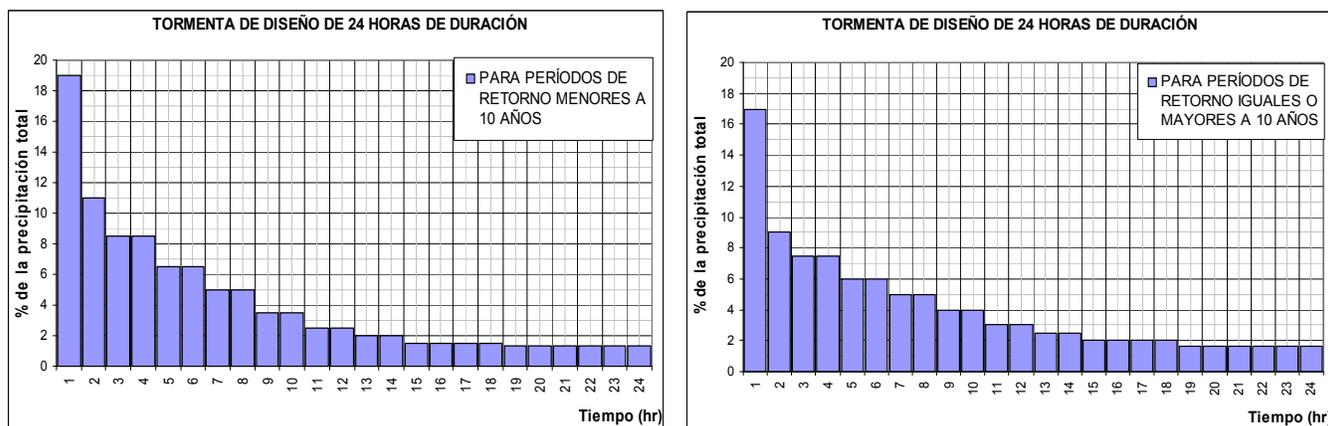
b) Para obras de almacenamiento, o cuando no se tiene certeza sobre la estimación del tiempo de concentración, es conveniente seleccionar como tormenta de diseño una de 24 horas de duración con intensidades obtenidas de la curva IDF para el período de retorno de diseño.

Cada lugar en la Región Metropolitana tiene un conjunto de curvas IDF característico, posible de obtener con los coeficientes de duración y frecuencia para la Región y la precipitación de referencia obtenida del mapa de isoyetas de la Figura 1. La precipitación total obtenida a partir de las curvas IDF debe distribuirse temporalmente según se indica en las siguientes tablas y figuras. En primer lugar se muestran las propiedades de una tormenta de diseño de 2 ó 5 años de período de retorno en la Región Metropolitana, con una duración total de 24 horas, obtenida directamente de la curva IDF.

**Tabla 5**

Duración acumulada, hr	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Duración parcial, hr	1	1	2	2	2	2	2	2	4	6
Precipitación acumulada, % (para T < a 10 años)	19	30	47	60	70	77	82	86	92	100
Precipitación parcial, % (para T < a 10 años)	19	11	17	13	10	7	5	4	6	8
Precipitación acumulada, % (para T ≥ 10 años)	17	26	41	53	63	71	77	82	90	100
Precipitación parcial, % (para T ≥ 10 años)	17	9	15	12	10	8	6	5	8	10

La Figura 2 muestra la distribución temporal de la precipitación para una tormenta de diseño de 24 horas en la Región Metropolitana para períodos de retorno menores de 10 años en la figura de la izquierda y de 10 años o mayores a la derecha. Para obtener la precipitación, el valor de cada intervalo debe multiplicarse por la precipitación diaria del lugar para el período de retorno considerado.



**Figura 2:** Tormenta de diseño para lluvias de 24 horas de duración. Porcentaje de la precipitación diaria que cae en cada intervalo horario.

**Ejemplo 1:** Encontrar la tormenta de diseño de 24 horas de duración para un período de retorno de 20 años en una urbanización ubicada en la zona norte de Santiago en los 33°20' de latitud sur y 70°40' de longitud oeste.

**Solución:**

De acuerdo a la Figura 1, para la ubicación indicada de la urbanización la precipitación de 1 día y 10 años de período de retorno es de 70 mm. De la Tabla 1 el coeficiente de frecuencia para 20 años de período de retorno  $CF_{20} = 1,14$ . Luego la precipitación en el lugar de 24 horas de duración y 20 años de período de retorno es:

$$P_{24}^{10} = 1,14 \cdot 70 = 79,8mm$$

Utilizando los coeficientes de la Tabla 5, la lluvia de diseño de 20 años de período de retorno y 24 horas para este lugar es:

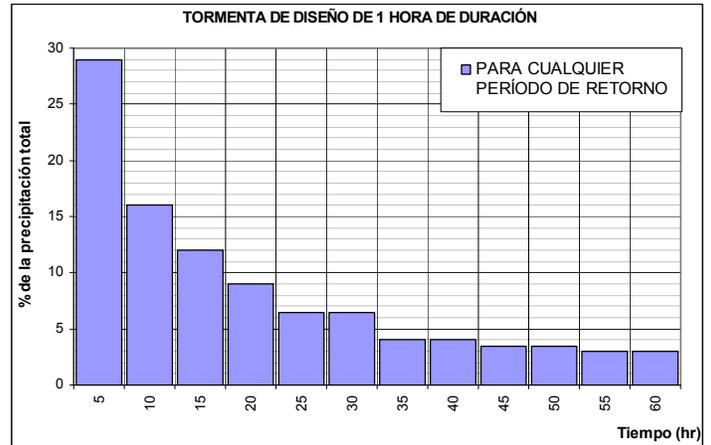
Duración acumulada, hr	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Duración parcial, hr	1	1	2	2	2	2	2	2	4	6
Precipitación acumulada, %	17	26	41	53	63	71	77	82	90	100
Precipitación acumulada, mm	13,6	20,7	32,7	42,3	50,3	56,7	61,4	65,4	71,8	79,8
Precipitación parcial, mm	13,6	7,1	12,0	9,6	8,0	6,4	4,7	4,0	6,4	8,0
Intensidad, mm/hr	13,6	7,1	6,0	4,8	4,0	3,2	2,4	2,0	1,6	1,3

En la Figura 3 se muestran las propiedades de tormentas de diseño de 1 hora de duración y cualquier período de retorno en la Región Metropolitana. Para obtener los valores de precipitación debe multiplicarse el valor de cada intervalo por la precipitación total horaria del lugar para el período de retorno.

**Tabla 6**

Duración acumulada, minutos	5	10	15	20	30	40	50	60
Precipitación acumulada, %	29	45	57	66	79	87	94	100
Duración parcial, minutos	5	5	5	5	10	10	10	10
Precipitación parcial, %	29	16	12	9	10	8	7	6

**Figura 3:** Tormenta de diseño para lluvias de 1 hora de duración y períodos de retorno de 2 a 100 años. Porcentaje de la precipitación horaria para cada intervalo de tiempo.



### 3.4 COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía indica la proporción de la lluvia total que participa directamente en el escurrimiento. El resto de la precipitación queda detenida en las depresiones o moja el suelo, o se infiltra, o se evapora.

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 7**

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
<b>Parques, plazas y jardines</b>	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 8**

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 9**

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 5000m <sup>2</sup>	0,25	0,32	0,40
Sitios menores de 5000m <sup>2</sup>	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.

### 3.5 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 Tabla 10 para diversas comunas de la Región Metropolitana.

**Tabla 10**

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, Peñaflor	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

(\*) Se denomina CF a Acuífero Confinado, SCF a Acuífero Semi Confinado, LC a Acuífero Libre Cubierto y L a Acuífero Libre. Adaptado del estudio "Evaluación del Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea de Santiago Utilizada para Agua Poatable", EMOS, 1996.

### **3.6 ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Para calcular los caudales que se generan en una cuenca urbana cuando recibe una precipitación, es posible emplear diferentes procedimientos. Cuando las características de la cuenca lo permitan, se recomienda el empleo del Método Racional o el Método Racional Modificado, los cuales son ampliamente difundidos y usados debido a su sencillez. El proyectista podrá emplear otros métodos más complejos como la aplicación de programas especialmente preparados para el drenaje de aguas lluvias en cuencas urbanas u otros disponibles en la literatura técnica especializada cuyo empleo justificará técnicamente para el caso.

#### **3.6.1 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:

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

donde Q es el caudal a la salida de la cuenca, en litros por segundo; i la intensidad de la lluvia en mm/hora; A el área de la cuenca en m<sup>2</sup>; y C el coeficiente de escurrimiento de la superficie. Este método entrega un caudal constante a la salida de la cuenca para la lluvia de diseño.

#### **3.6.2 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.

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.

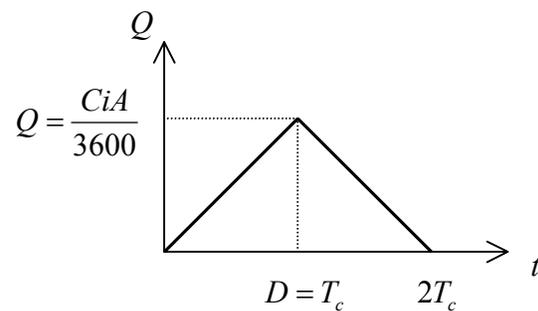
Para lluvias de duración inferior al tiempo de concentración se genera un hidrograma triangular con un tiempo de ascenso igual a la duración de la tormenta, un tiempo de descenso igual al tiempo de concentración de la cuenca y un caudal máximo menor al entregado por el Método Racional, dado por:

$$Q_{max} = \frac{D}{T_c} Q$$

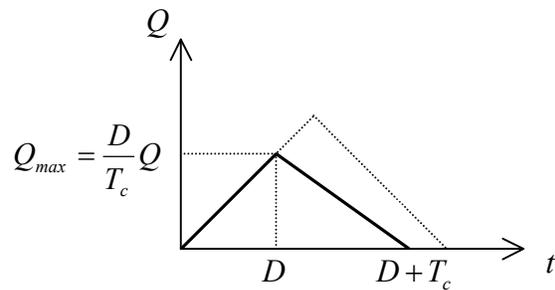
Donde Q es el valor entregado por el Método Racional, D la duración y Tc el tiempo de concentración.

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  $T_c$ .

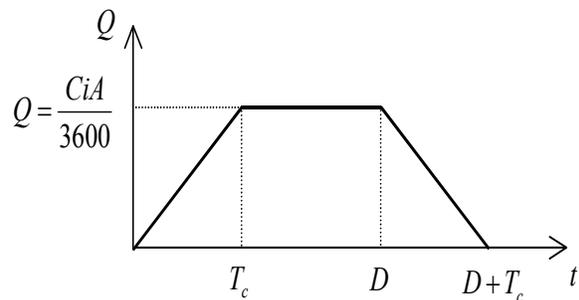
Las Figuras 4, 5 y 6 muestran gráficamente estos hidrogramas.



**Figura 4:** Hidrograma del Método Racional Modificado para tormentas de duración igual al tiempo de concentración.



**Figura 5:** Hidrograma del Método Racional Modificado para tormentas de duración menor al tiempo de concentración.



**Figura 6:** 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:

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

donde  $Q_{\max}$  [l/s] es el caudal máximo en una tubería,  $C$  es el coeficiente de escorrentía representativo del área aportante a dicha tubería,  $A$  [m<sup>2</sup>] el área aportante a dicha tubería,  $i$  [mm/hr] es la intensidad media de la precipitación,  $P_{T_c}^T$  la precipitación de diseño de periodo de retorno  $T$  y duración  $T_c$ ; y  $T_c$  [hr] es el tiempo de concentración del área aportante a la tubería.

**Ejemplo 2:** Para una urbanización de 8 ha ubicada en la zona norte de Santiago en los 33°20' de latitud sur y 70°40' de longitud oeste, se requiere calcular el hidrograma de diseño de una tormenta de 20 años de periodo de retorno y 24 horas de duración con el fin de dimensionar un estanque de retención. El coeficiente de escorrentía de la urbanización ponderado según el tipo de superficies es de 0,7 y el tiempo de concentración estimado es de 30 minutos. Use el Método Racional Modificado.

**Solución:**

De acuerdo al ejemplo 1, para la ubicación indicada de la urbanización la tormenta de diseño es:

Duración acumulada, hr	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Duración parcial, hr	1	1	2	2	2	2	2	2	4	6
Precipitación acumulada, %	17	26	41	53	63	71	77	82	90	100
Precipitación acumulada, mm	13,6	20,7	32,7	42,3	50,3	56,7	61,4	65,4	71,8	79,8
Precipitación parcial, mm	13,6	7,1	12,0	9,6	8,0	6,4	4,7	4,0	6,4	8,0
Intensidad, mm/hr	13,6	7,1	6,0	4,8	4,0	3,2	2,4	2,0	1,6	1,3

Dado que la duración de cada intervalo de precipitación de intensidad constante es de 1 hora, mayor al tiempo de concentración de 30 minutos, cada intervalo de precipitación producirá un hidrograma trapecial como se indica en la Figura 6, con un caudal máximo dado por:

$$Q_{\max} = \frac{C \cdot i \cdot A}{3600} = \frac{0,7 \cdot i \cdot 80000}{3600} = 15,56 \cdot i$$

$Q_{\max}$  es el caudal máximo en litros por segundo,  $C$  el coeficiente de escorrentía,  $i$  la intensidad de lluvia en milímetros por hora y  $A$  el área de la cuenca en metros cuadrados.

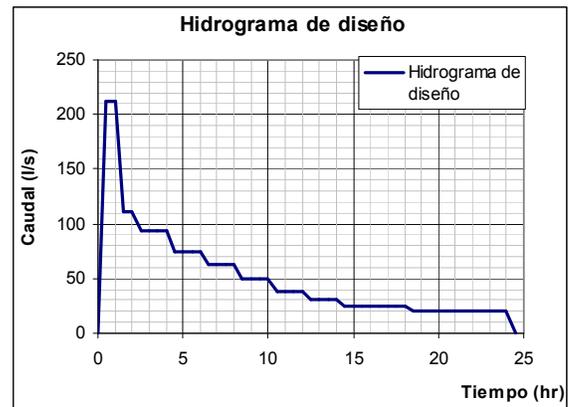
La lluvia durante la primera hora de duración producirá un hidrograma trapecial en el cual el caudal máximo se alcanzará luego de 30 minutos de iniciada la lluvia (valor correspondiente al tiempo de concentración). El caudal máximo se mantendrá constante hasta la hora de duración, a partir de ese instante decaerá linealmente a cero en un tiempo igual al tiempo de concentración.

Considerando intervalos horarios de duración, las intensidades de la tormenta y los caudales máximos que éstos generan son:

Duración acumulada, hr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Intensidad , mm/hr	13,6	7,1	6,0	6,0	4,8	4,8	4,0	4,0	3,2	3,2	2,4	2,4
Caudal máximo, l/s	212	110	93	93	75	75	62	62	50	50	37	37

Duración acumulada, hr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Intensidad , mm/hr	2,0	2,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Caudal máximo, l/s	31	31	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20

Superponiendo todos los hidrogramas que genera cada uno de los intervalos de precipitación de una hora de duración cada uno se obtiene el hidrograma de diseño de la cuenca, el cual se muestra en la Figura 7.



**Figura 7:** Hidrograma de diseño de la cuenca del ejemplo 2..

#### 4. TÉCNICAS DE GESTIÓN DE ESCURRIMIENTOS URBANOS

El proyectista debe considerar en la solución de aguas lluvias el uso de Técnicas Complementarias de Gestión de Esgurrimientos Urbanos (TCGEU), también conocidas como Técnicas Alternativas Complementarias, para reducir las externalidades negativas hacia aguas abajo generadas por el desarrollo urbano. El uso de estas técnicas requiere estudiar el proyecto de aguas lluvias en la etapa de planificación y diseño preliminar de la urbanización.

Las TCGEU utilizan espacio disponible en las urbanizaciones como plazas y parques, bandejones centrales en calles y avenidas, patios y estacionamientos para recuperar la capacidad de infiltración y retención de la cuenca disminuida por la urbanización. Son utilizadas para controlar el caudal máximo, reducir el volumen generado por la lluvia, prevenir la contaminación por arrastre y la erosión, remover contaminantes y conducir el flujo, con lo cual se pueden cumplir los criterios generales de diseño d, e, f y g de 2.1.

Las Técnicas Complementarias de Gestión de Esguerrimieutos Urbanos, TCGEU, se clasifican en varios tipos, según la función principal que cumplen. Estas son: Desconexión de Áreas Impermeables, Obras de Infiltración y Obras de Almacenamiento.

Para la metodología de diseño de estas, esta norma considera recomendable lo señalado en la publicación del MINVU, 1996, "Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño".

Los beneficios principales de este tipo de solución son aumentar la infiltración y la retención, con lo que se disminuye la esgorrentía máxima y total, colaborando con la remoción de contaminantes por medio de la filtración y la sedimentación, y permitir la construcción de redes colectoras de menor dimensión. Además son elementos efectivos en la recarga de agua subterránea en zonas urbanas.

#### **4.1 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 esguerrimiento. La mayoría de estas obras no significan costos adicionales para la urbanización, ya que forman de por sí parte de ella. Se trata 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 esguerrimiento 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.

##### **4.1.1 Zanja de Pasto**

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

##### **4.1.2 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.

### 4.1.3 Pavimentos Permeables

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



*Figura 7: Zanjas de pasto.*



*Figura 8: Franjas de pasto.*



*Figura 9: Pavimentos permeables.*

## 4.2 OBRAS DE INFILTRACION

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.

#### 4.2.1 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.

#### 4.2.2 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.

#### 4.2.3 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 20m, 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 10: Estanque de infiltración.*



*Figura 11: Zanja de infiltración en construcción.*



**Figura 12:** Pozo de infiltración semiprofundo.



### **4.3 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.

#### **4.3.1 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.

#### **4.3.2 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 13:** *Laguna.*

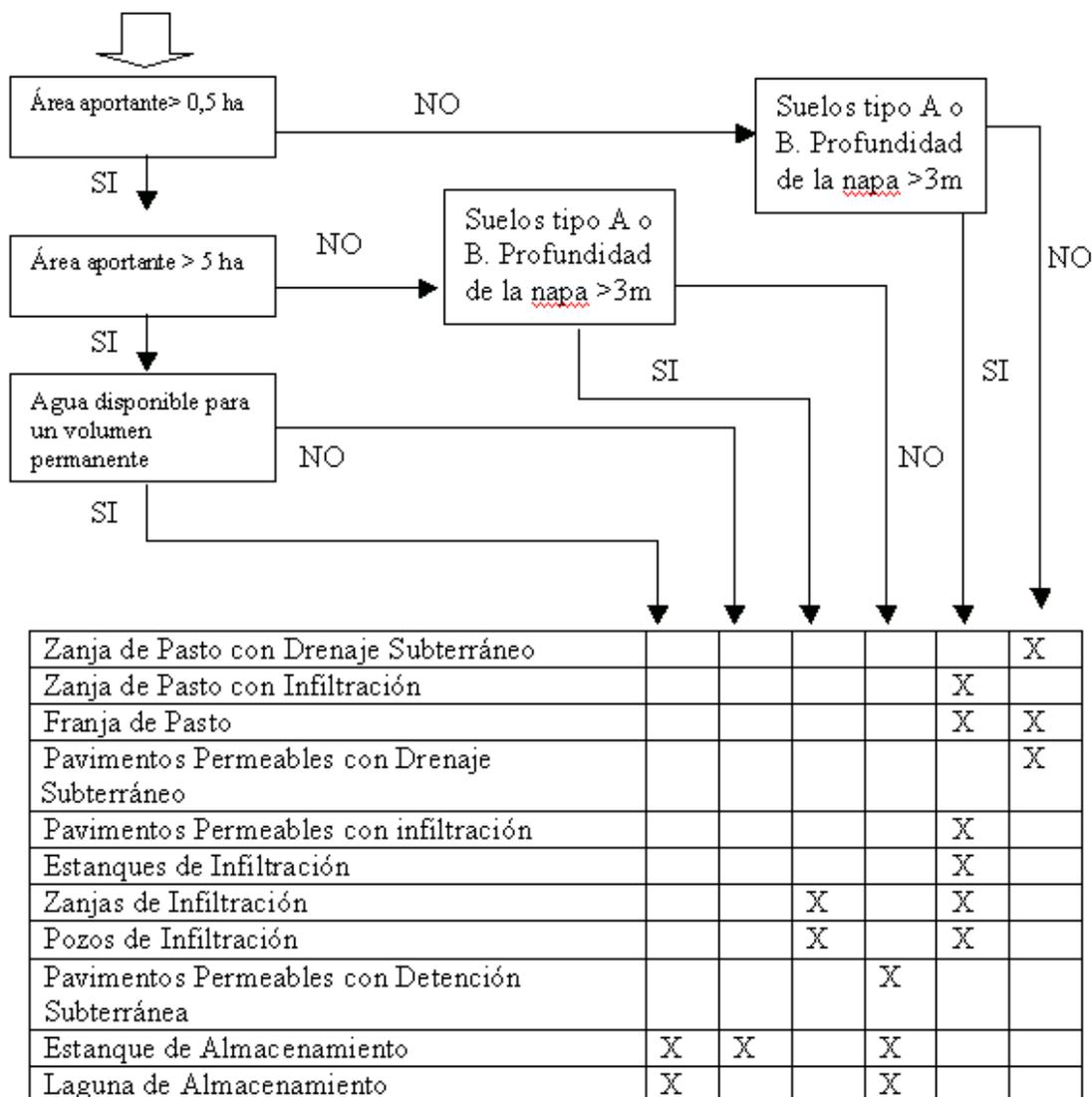


**Figura 14:** *Estanque.*



#### **4.4 SELECCIÓN DE OBRAS**

El proyectista podrá considerar para la selección de las obras lo propuesto en la siguiente figura.



**Figura 15:** Criterios de selección de Obras Alternativas.

Los suelos tipo A son aquellos con buenas características de infiltración (gravas y arenas limpias). Los suelos tipo B presentan tasas de infiltración moderadas, siendo suelos de textura gruesa con presencia de finos.

## 5. TRANSPORTE EN LAS CALLES Y SUMIDEROS

Las calles, veredas y otros elementos destinados al tránsito de personas 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.

## 5.1 ESCURRIMIENTO 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, de períodos de retorno de 2 años, no sobrepasen ninguna de las indicadas para cada tipo de vía en la Tabla 11.

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 las Tablas 11 y 12.

**Tabla 11**

<b>Tipo de vía vehicular</b>	<b>Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas menores</b>
Todos los tipos	No sobrepasar el nivel de la solera. El ancho de la cuneta inundada no debe sobrepasar de 1,0 m.

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 12. El exceso de agua debe ser conducido por los colectores para lo cual se dispondrá de suficientes sumideros.

**Tabla 12**

<b>Tipo de vía vehicular</b>	<b>Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas mayores</b>
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 velocidad media 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.
de Servicio	El nivel del agua no debe sobrepasar la solera.
Arteriales y Troncales.	Debe quedar al menos una pista libre de agua.

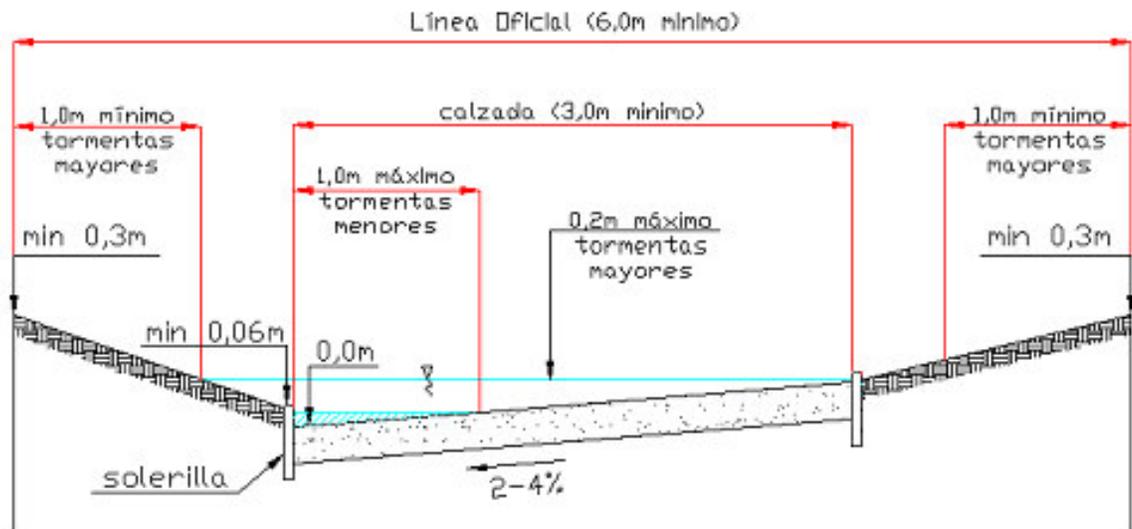
## 5.2 Perfiles transversales de calles y cunetas

Las calles reúnen y conducen hacia la red de drenaje las aguas lluvias que precipitan sobre ellas. Adicionalmente en las zonas de aguas arriba de una urbanización pueden recibir aguas lluvias que precipitan sobre los terrenos circundantes, para conducirlos a la red de drenaje, aunque 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 5.1.

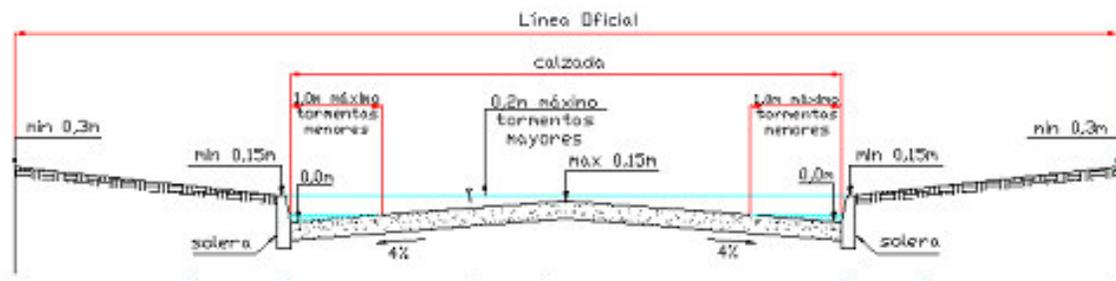
Para vías urbanas destinadas a la conducción y transporte de aguas lluvias el SERVIU podrá aprobar otros diseños que permiten una mayor capacidad hidráulica sin limitar la funcionalidad de la vía. Estos diseños buscan minimizar el riesgo de inundación de viviendas, facilitar el tránsito peatonal y vehicular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

### 5.2.1 Perfiles transversales de calles

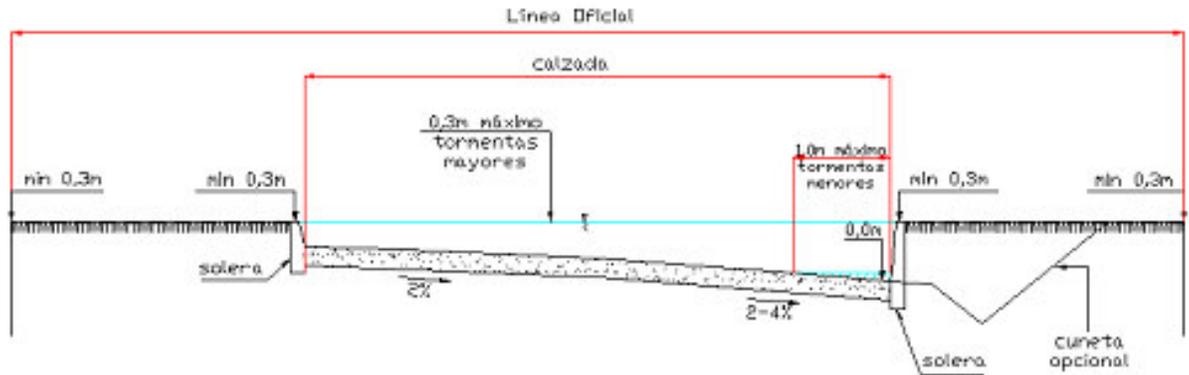
Para facilitar la conducción de aguas en las calles sin que se produzcan problemas, en los bordes de la calzada se formará una cuneta con la solera y el pavimento. La capacidad hidráulica de esta cuneta depende de la pendiente transversal del pavimento y de la pendiente longitudinal de la calle. Para 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.



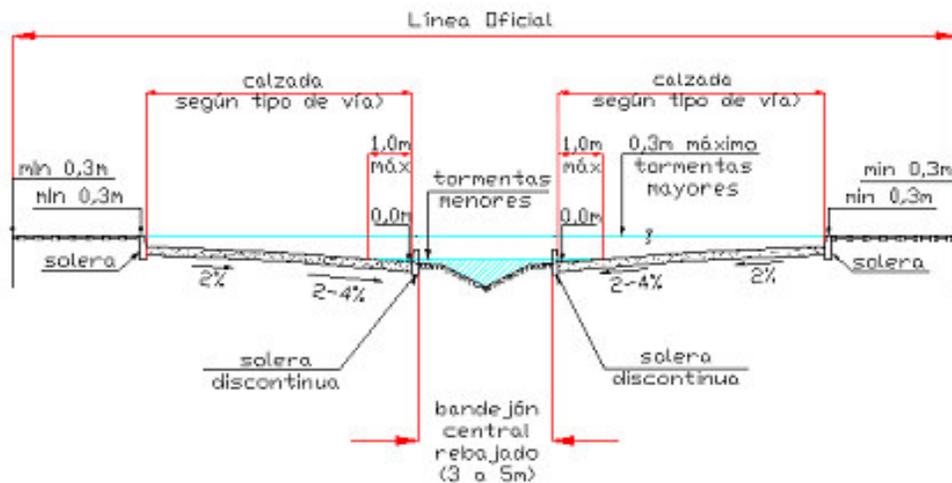
*Figura 16: Ejemplo de sección transversal alternativa en Pasajes.*



**Figura 17:** Ejemplo de sección transversal alternativa en Vías Locales y de Servicio con coronamiento al centro y cuneta a ambos lados de la calzada.



**Figura 18:** 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 19:** 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.

## 5.2.2 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 20:** Soleras discontinuas y drenaje mediante una pequeña zanja en el bandejón.



**Figura 21:** Bandejón central rebajado con capacidad de drenaje

### 5.3 CAPACIDAD HIDRAULICA DE LAS 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:

$$V = \left( \frac{A}{P} \right)^{2/3} \frac{I^{0,5}}{n}$$

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	=	Coefficiente de rugosidad de la superficie

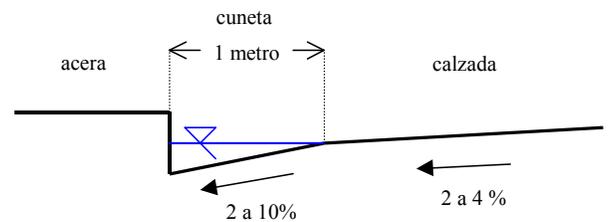
Desde el punto de vista del diseño la capacidad de conducción de aguas lluvias de las calles se considerará como el valor mínimo de las siguientes dos capacidades alternativas: considerando el ancho máximo permitido de la sección inundada, o la cuneta llena y un factor de reducción por otros uso de la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

### 5.3.1 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 22.



**Figura 22:** Geometría transversal de la cuneta simple

Considerando un ancho de inundación máximo permitido de 1,0 m en condiciones de diseño, las capacidades de conducción de aguas lluvias de las calles son las que se indican en la Tabla 13:

**Tabla 13**

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	0,17	1,7	0,22	3,3	0,26	5,2
0,004	0,19	1,9	0,25	3,8	0,30	6,1
0,005	0,22	2,2	0,28	4,2	0,34	6,8
0,006	0,24	2,4	0,31	4,6	0,37	7,4
0,007	0,26	2,6	0,33	5,0	0,40	8,0
0,008	0,27	2,7	0,36	5,3	0,43	8,6
0,009	0,29	2,9	0,38	5,7	0,45	9,1
0,010	0,31	3,1	0,40	6,0	0,48	9,6
0,020	0,43	4,3	0,56	8,4	0,68	13,5
0,030	0,53	5,3	0,69	10,3	0,83	16,6
0,040	0,61	6,1	0,80	11,9	0,96	19,1
0,050	0,68	6,8	0,89	13,3	1,07	21,4
0,060	0,75	7,5	0,97	14,6	1,17	23,4
0,070	0,81	8,1	1,05	15,8	1,27	25,3
0,080	0,86	8,6	1,12	16,9	1,35	27,1
0,090	0,92	9,2	1,19	17,9	1,44	28,7
0,100	0,97	9,7	1,26	18,9	1,51	30,2

*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 1,0 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 14, para flujos con 1,0 m de ancho.

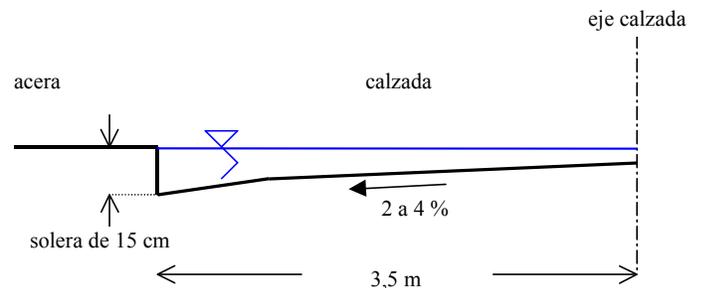
Pendiente longitudinal de la calle (1)	Cuneta simple 5%		Cuneta simple 6%		Cuneta simple 7%		Cuneta simple 10%	
	Velocidad (m/s)	Gasto (l/s)	Velocidad (m/s)	Gasto (l/s)	Velocidad (m/s)	Gasto (l/s)	Velocidad (m/s)	Gasto (l/s)
0,003	0,30	7,5	0,34	10,2	0,37	13,1	0,46	23,2
0,004	0,35	8,7	0,39	11,7	0,43	15,1	0,54	26,8
0,005	0,39	9,7	0,44	13,1	0,48	16,8	0,60	29,9
0,006	0,43	10,7	0,48	14,4	0,53	18,5	0,66	32,8
0,007	0,46	11,5	0,52	15,5	0,57	19,9	0,71	35,4
0,008	0,49	12,3	0,55	16,6	0,61	21,3	0,76	37,9
0,009	0,52	13,1	0,59	17,6	0,65	22,6	0,80	40,2
0,010	0,55	13,8	0,62	18,6	0,68	23,8	0,85	42,3
0,020	0,78	19,5	0,87	26,2	0,96	33,7	1,20	59,9
0,030	0,95	23,9	1,07	32,1	1,18	41,3	1,47	73,3
0,040	1,10	27,6	1,24	37,1	1,36	47,7	1,69	84,7
0,050	1,23	30,8	1,38	41,5	1,52	53,3	1,89	94,6
0,060	1,35	33,8	1,51	45,4	1,67	58,4	2,07	103,7
0,070	1,46	36,5	1,64	49,1	1,80	63,0	2,24	112,0
0,080	1,56	39,0	1,75	52,5	1,93	67,4	2,39	119,7
0,090	1,65	41,3	1,86	55,7	2,04	71,5	2,54	127,0
0,100	1,74	43,6	1,96	58,7	2,15	75,4	2,68	133,9

**Tabla 14**

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

### 5.3.2 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 23:** Esquema del escurrimiento a cuneta llena.

Para estimar la capacidad de las calles con la 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 soleras de 15cm, y las capacidades máximas a considerar con cunetas simples y pendientes transversales típicas son los que se muestran en la Tabla 15:

**Tabla 15**

Pendiente longitudinal de la calle (1)	Factor de corrección n	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 16.

**Tabla 16**

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 que 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 sobrepasa las velocidades máximas permitidas de 2 m/s, 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.

## 5.4 SUMIDEROS

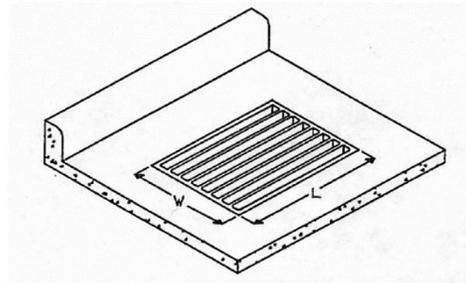
El proyecto de aguas lluvias debe considerar sumideros para captar y conducir el escurrimiento superficial, preferentemente de las calles, hacia los elementos de la red secundaria.

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.

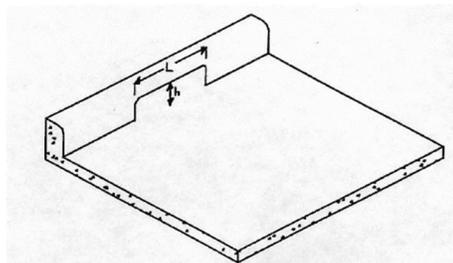
### 5.4.1 Tipos de sumidero

Se emplearán sumideros según los tipos aprobados por el 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:

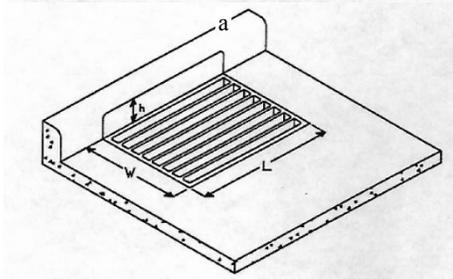
- a) Sumideros horizontales, con rejilla, ubicados en la cuneta. Funcionan efectivamente dentro de un rango amplio de pendientes de la calle, pero las rejillas se obstruyen con facilidad y pueden generar inconvenientes para ciclistas y peatones. Tipos S3 y S4 del SERVIU.
- b) Sumideros laterales de abertura 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.
- c) 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 24:** Sumidero horizontal.



**Figura 25:** Sumidero lateral.



**Figura 26:** Sumidero mixto

a

b

### 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.

a) 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):

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

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

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

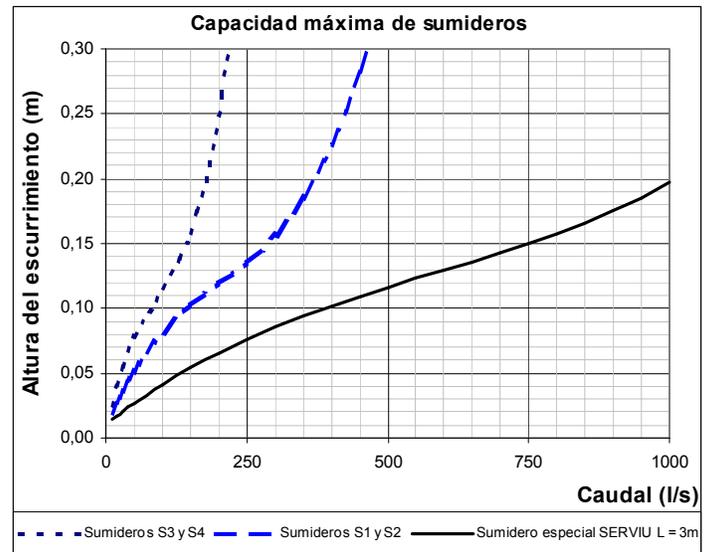
b) Un sumidero lateral de largo  $L$  (a lo largo de la cuneta, en metros), y altura de abertura  $a$  (vertical, en metros), puede evacuar como máximo un caudal  $Q_m$  (m<sup>3</sup>/s):

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

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

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 27:



**Figura 27:** Capacidad máxima de sumideros tipo del SERVIU.

### 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 solo parte del escurrimiento 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  $Q_s$  es el caudal captado por el sumidero,  $Q$  el caudal que escurre por la cuneta aguas arriba del sumidero,  $Q_m$  la capacidad máxima de captación del sumidero según 5.4.2. E la eficiencia global del sumidero cuyo valor máximo es 1,0.  $E_H$  la eficiencia del sumidero horizontal y  $E_L$  la eficiencia del sumidero lateral.

a) 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:

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

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

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

b) 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 5.4.2.

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

**Tabla 17**

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, m <sup>2</sup>	0,22	0,15	0,93
Sumidero Lateral			
Largo L, en metros	0,98	---	3,0
Altura a, en metros	0,1	---	0,1
Eficiencia de Sumideros			
Condición de diseño (1m en la cuneta) para cualquier pendiente longitudinal	0,90	0,80	1,00
Flujo a cuneta llena			
Pend. long. de la calzada < 0,01	0,45	0,40	0,75
0,01 ≤ Pend. long. de la calzada ≤ 0,05	0,25	0,20	0,75
Pend. long. de la calzada > 0,05	0,10	0,05	0,50

#### **5.4.4 Ubicación de los sumideros**

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

- a) 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.
- b) 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.
- c) 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.
- d) Siempre que la cantidad acumulada de agua en la cuneta sobrepase la cantidad máxima permitida para condiciones de diseño.
- e) Se prohíbe la colocación de sumideros atravesados transversalmente en las calzadas.
- f) 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.
- g) 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

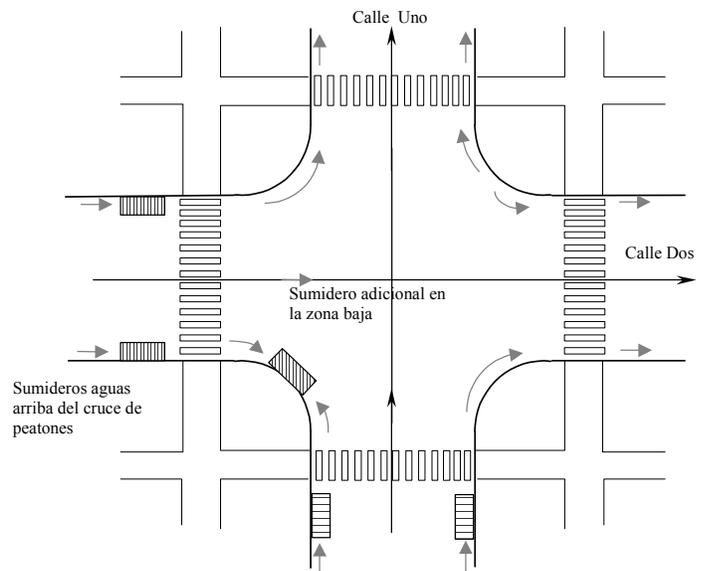
hacia aguas abajo del flujo en el colector. Para este empalme podrá emplearse piezas especiales.

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

## 5.5 INTERSECCIÓN DE CALLES

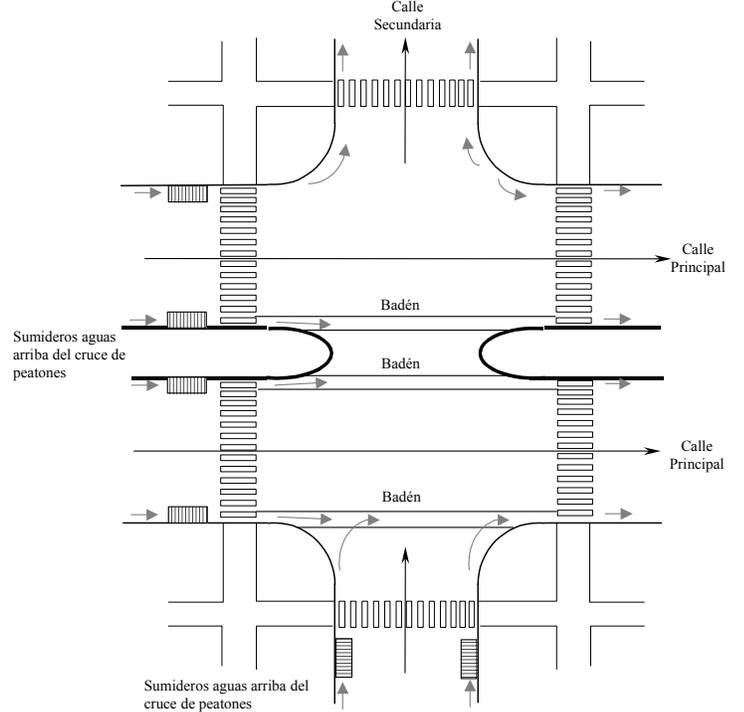
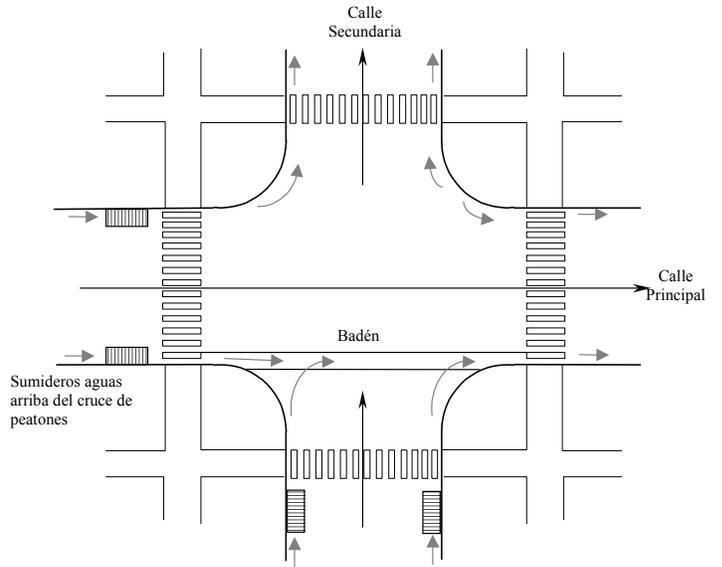
Para el diseño de intersecciones mantener los siguientes criterios:

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

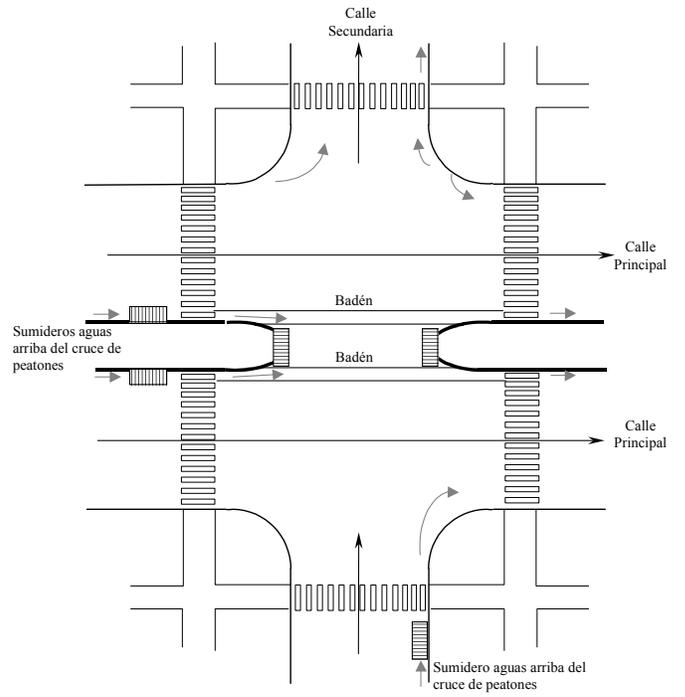


**Figura 28:** Sumideros en cruce de calles de igual importancia sin supresión de los coronamientos. Las flechas indican la dirección del flujo de aguas lluvias y la pendiente principal de la calzada.

**Figura 29:** 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 30:** 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 31:** Sumideros en cruce de calle con badejón central para calzada con cunetas a un solo lado de la calzada en el badejón central. Las flechas indican el sentido de flujo y la pendiente principal de la calzada.

## 6. 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 utilizar 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.

### 6.1. Colectores subterráneos

En este caso el sistema de conducción de la red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formada por tuberías y cámaras, que reciben el agua desde los sumideros y la conducen hacia un punto de entrega.

Los tubos de los colectores son generalmente circulares prefabricados de materiales como mortero de cemento comprimido, fibrocemento, PVC 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.

#### 6.1.1 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:

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

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

donde:

V= Velocidad media del flujo, en metros por segundo.

Q= Gasto, en metros cúbicos por segundo.

- I= Pendiente de fondo del tubo, en metro por metro, (adimensional).  
 D= Diámetro interior del tubo, en metros.  
 n= Coeficiente de rugosidad de Manning, según la Tabla 18:

**Tabla 18**

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

Considerando un coeficiente de rugosidad de 0,012 los caudales en (l/s) para tuberías de distintos diámetros y pendientes se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 19**

Diámetro (mm)	Pendiente (%)						
	0,1	0,2	0,5	0,8	1,0	2,0	5,0
300	32	46	72	92	102	145	229
400	70	99	156	197	221	312	493
500	126	179	283	358	400	566	894
600	206	291	460	582	650	920	1454
700	310	439	694	877	981	1387	2193
800	443	626	990	1252	1400	1980	3131
900	606	857	1356	1715	1917	2711	4286
1000	803	1135	1795	2271	2539	3590	5677
1200	1306	1846	2919	3693	4128	5839	9232

(\*) En los casilleros en gris se excede la velocidad máxima permitida de 3 m/s

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

- El diámetro mínimo de los colectores debe ser 400mm.
- 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 0,9m/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.

### **6.1.2 Cámaras**

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 mantenimiento 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:

- a) Al inicio de la red.
- b) Cuando corresponda cambio de diámetro en el colector.
- c) Cuando corresponda un cambio de pendiente del colector.
- d) Cuando se requiera un cambio de orientación o dirección del colector.
- e) Cuando corresponda cambio del material del tubo.
- f) Cuando se necesite intercalar una caída o cambio de nivel brusco del tubo.
- g) Cuando confluyan dos o más colectores.
- h) En tramos rectos cada 120 metros como máximo.

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

## **6.2 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.

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

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

- a) Mantener su trazado original, sin considerar su entubamiento salvo para obras de arte.
- b) Desarrollar obras para controlar la erosión, evitar la sedimentación y en general mantener estable la sección del cauce natural.
- c) 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.

d) 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 publicas para usos recreacionales o de paisajismo.

## 6.2.2 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 Figuras 32 a 35 se presentan algunos ejemplos de canales de drenaje que conducen aguas lluvias urbanas.

**Figura 32:** Canal de drenaje urbano en un área verde, con taludes tendidos.



**Figura 33:** Canal de drenaje urbano con protección para erosión y caída para disipación de energía.



**Figura 34:** Canal de drenaje de aguas lluvias con protección de erosión para flujos más habituales.





**Figura 35:** 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.

### **6.3 CONTROL DE LA EROSIÓN EN LOS CAUSES 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:

- a) Utilizar taludes tendidos mínimo 5:1 (H:V), para aumentar el área de la sección, evitar la erosión y facilitar la mantención.
- b) Ocupar el espacio disponible para aumentar el ancho superficial del escurrimiento, de manera de disminuir la altura.
- c) Utilizar pendiente longitudinal baja, controlando la cota con caídas y disipadores de energía incorporados con beneficios paisajísticos a la urbanización.
- d) Verificar el cumplimiento de restricción de velocidad máxima del flujo.
- e) 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 20 se especifican algunas restricciones para controlar la erosión en las condiciones de flujo máximo, con crecidas del orden de  $T = 100$  años.

**Tabla 20**

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

## **7. TUNEL LINER**

### **Movimiento de tierras**

Este sub-capítulo comprende todas las partidas del movimiento de tierras necesario para la colocación de los sumideros, con sus respectivas cámaras de inspección, y las uniones de sumideros a colector.

La colocación de las uniones de sumideros a colector se hará preferentemente en zanjas abiertas, las cuales tendrán las formas y dimensiones que se detallan en los planos de proyecto.

Las calidades de terreno, tienen carácter informativo.

#### **a) Excavación en zanja**

La Inspección autorizará el inicio de las excavaciones una vez recibidos los trazados, las profundidades serán las indicadas en los perfiles longitudinales del proyecto, más el espesor necesario para colocar la cama de apoyo cuando ésta se ha especificado. Deberán respetarse la forma, dimensiones y taludes detallados en los planos de proyecto.

Para la tubería de hasta  $D=600\text{mm}$  proyectada, el ancho en el fondo de la zanja deberá ser igual al diámetro nominal del tubo más 0,60 m., la pared de la zanja se ha supuesto vertical para profundidades mayores a 2,00m y con taludes 1/10 para profundidades menores a 2,00m.

El Contratista deberá ejecutar las entibaciones que sean necesarias para asegurar la estabilidad de los taludes, cumpliendo con las dimensiones mínimas establecidas en los planos de proyecto.

Se incluye el volumen necesario para el relleno de una cama de arena y el espesor de la base de los tubos cuando corresponde.

Los volúmenes de excavación que se señalan en el capítulo "cubicaciones" corresponden a una cubicación geométrica de las secciones resultantes de aplicar los criterios indicados.

El Contratista deberá incorporar en su precio unitario, dependiendo del método constructivo que utilice, la mayor excavación que requiera efectuar para ejecutar la obra, especialmente en el caso de zanjas profundas en los terrenos con tendencia al desmoronamiento.

De acuerdo con la información obtenida de la exploración, se trata de suelos trabajables con retroexcavadora y/o manualmente que corresponden a suelos Tipo III, según la clasificación de la ex-DOS.

No habrá reclasificación de los materiales excavados los que serán considerados en su totalidad como material común.

La excavación en zanjas en el estrato de terreno común podrá realizarse a mano o a máquina. Cuando la excavación se ejecute con máquinas, ésta deberá detenerse 20 cm por sobre la cota de excavación indicada, continuándose en forma manual hasta llegar al sello.

Las excavaciones deberán regularse por tramos de tal modo que las zanjas permanezcan abiertas un mínimo de tiempo.

La protección de estructuras o instalaciones enterradas, como ser cámaras, cañerías, fundaciones de edificios, etc., será responsabilidad del Contratista, quién deberá reparar a su cargo las estructuras o instalaciones que resulten dañadas por la ejecución de los trabajos.

El Contratista deberá prever los sistemas necesarios para agotar las infiltraciones de aguas al lugar de las excavaciones.

Además, deberá tomar todas las precauciones necesarias para drenar o desviar las aguas superficiales afluentes a la excavación, evitando que éstas penetren a ella. Cualquier daño provocado a terceros como consecuencia de las excavaciones será de exclusiva responsabilidad del Contratista, quién deberá cubrir los gastos de reparación que se originen.

El fondo de las excavaciones, aún cuando se considere cama de apoyo, deberá quedar suficientemente plano, eliminándose todas las protuberancias y rellenando las depresiones existentes, compactando el terreno de fundación adecuadamente.

El nivel de sello de las excavaciones deberá ser autorizado por la I.T.O., una vez que el Contratista efectúe ensayos y demuestre mediante certificados emitidos por un laboratorio reconocido y aceptado por el SERVIU que se cumplen las densidades especificadas.

En el caso de producirse sobre-excavaciones, éstas serán de cargo del Contratista y deberán rellenarse según se especifica en el ítem "Relleno de Excavaciones".

**b) Cama de apoyo de tuberías**

Después de haberse aprobado la zanja, en el caso de tubos sin armar, el contratista formará una base de 10 cm de espesor, sobre la cual se apoyará el tubo con material arenoso de tamaño máximo 3/8". En el caso de los tubos de Hormigón de Base Plana el tamaño máximo será 1/4", proporcionando un soporte firme y uniforme para la tubería a lo largo de la zanja.

La Cama de Arena se compactará ya sea a mano con pisón o con placa compactadora, hasta alcanzar una Densidad Relativa del 70%.

**c) Relleno de excavaciones**

Después de construidas las obras correspondientes a las excavaciones y con la autorización de la I.T.O., se procederán a rellenar hasta dar a los terrenos los niveles indicados en los planos del proyecto, o en su defecto, el existente antes de la ejecución de las obras.

Las cubicaciones de rellenos consideran los volúmenes geométricos por rellenar.

Los materiales a utilizar, así como la forma de ejecutar estos rellenos, se ajustarán a lo estipulado a las Especificaciones Técnicas Generales para Obras de Colectores de Aguas Lluvias del Manual.

El Contratista deberá entregar los rellenos bien consolidados, reconstituyéndose el estado de compactación del suelo.

Una vez colocado el tubo, la compactación del relleno se hará por capas con material seleccionado. Las primeras capas hasta llegar a una altura de 0,40 metros sobre la clave del tubo, se colocarán en forma manual y se compactarán con pisón a mano, hasta alcanzar una densidad del 95% de la densidad P.M. Se tendrá especial cuidado en evitar desviaciones en la alineación o daños en la estructura de los tubos. No se aceptarán piedras grandes, escombros, escorias, ni que se emplee lodo como material de relleno. Las capas indicadas tendrán un espesor de 10 cm.

Se deberá cuidar que durante la colocación del tubo exista un contacto continuo del relleno con todo el contorno del tubo, cuidando de no dañar la tubería durante la compactación.

Sobre la cota indicada anteriormente se colocarán capas de 0,20 metros de espesor máximo suelto con material proveniente de la excavación, las que se compactarán con placa vibratoria, hasta alcanzar una densidad mínima del 95% de la densidad Proctor Modificado (Ensayo AASHTO T-99). Se aceptará un tamaño de 2".

Las 5 capas superiores, esto es un espesor mínimo de 1,00 metro bajo la cota de subrasante de pavimentación, deberán llegar a una densidad igual o superior al 95%

de la óptima obtenida en el ensayo AASHTO T-99. Este relleno deberá efectuarse con material granular que tenga un IP < 15.

No se aceptarán como materiales de relleno suelos orgánicos del tipo OL.OH y P.T.; suelos que contengan desecho, bolones de más de 30 cm, u otros materiales extraños; ni suelos finos con media o alta plasticidad (CH.MH); o con límite líquido superior a 50. La nomenclatura utilizada corresponde a la del Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (U.S.C.S.).

Las capas quedarán al nivel que tenía el terreno antes de abrir la zanja, salvo indicación de la Inspección para su modificación. El terreno deberá quedar listo para iniciar las obras de pavimentación si corresponde.

Alrededor y debajo de los postes de las líneas de electricidad y teléfonos que se encuentren a lo largo del trazado, el terreno se compactará cuidadosamente desde todos los costados.

En el caso de producirse sobre-excavaciones, el relleno correspondiente deberá efectuarse con hormigón pobre. Se podrá combinar con bolón desplazador sólo en el caso que dicha sobre-excavación sea de un espesor mayor de 0,10 metros.

Este ítem incluye los ensayos para determinar las características de los materiales y densidades de rellenos.

#### **d) Retiro y transporte de excedentes**

Los excedentes de tierra de las excavaciones, roturas de pavimentos y otros materiales no utilizados en los rellenos deberán ser transportados a botadero, los cuales deberán ser ubicados por el Contratista.

Los botaderos serán lugares autorizados para ser utilizados como tal, debiendo obtener el Contratista los permisos correspondientes.

El contratista deberá preocuparse de la mantención de los botaderos, de depositar el material en forma ordenada y de manera de permitir el escurrimiento de las aguas. El material se depositará con taludes estables.

Se estima el volumen de excedentes en un 10% del volumen excavado, más el 130% del volumen desplazado por las cañerías e instalaciones.

## **TUBERÍAS COLECTORES Y SUMIDEROS**

### **TUNEL LINER**

El presente punto se refiere al suministro y montaje en Túnel Liner de colectores de aguas lluvias.

Las actividades de tuneleado comprenden la excavación circular del diámetro correspondiente, el suministro y montaje de la estructura de soporte del suelo compuesta de planchas de acero corrugado apernadas entre si, que constituyen el

Túnel Liner. También se incluye la inyección de mortero de relleno entre suelo y estructura, el suministro y colocación de malla ACMA y la construcción del colector interior de hormigón armado H25 hecho de manera de mantener 50 mm de espesor mínimo. El hormigón de este revestimiento interior debe fabricarse con cemento siderúrgico.

Las obras tienen el siguiente proceso de ejecución:

**a) Replanteo:**

A través del levantamiento topográfico de la región, se hace el replanteo en el terreno, definiendo el eje del túnel a ejecutar, así como los puntos de inflexión de las bocas de inspección, cámaras, etc. Previamente, se debe replantear la posición exacta de los colectores de aguas servidas dispuestos a ambos lados del túnel, debiendo mantener una distancia horizontal libre mínima de 1,5m entre el colector existente de aguas servidas y el borde de la excavación para el túnel.

**b) Pozos de Ataque:**

Para el inicio se arman tres anillos de acero fuera de la excavación, respetando la nivelación y alineamiento del proyecto, los que se emplean como plantilla. Se ubicarán puntos convenientes en los pozos de ataque para la instalación de esta estructura. Estos serán revestidos y apuntalados perimetralmente en los casos en que a juicio de la Inspección Técnica de Obra se encuentre comprometida la estabilidad de las paredes del pozo. Esta estructura produce un área suficiente como para alojar en posición conveniente un volumen suficiente de material excavado permitiendo la extracción vertical del mismo. Además la estructura tendrá pórticos de sustentación para las vías metálicas, que permitirán el transporte vertical del material desde el fondo del pozo con un huinche neumático. Es de notar que en cada pozo en ambos frentes de servicio estamos ocupando un área muy restringida en la superficie de la calle. De este modo, todas las actividades de las cercanías de la obra, pueden continuar sin sufrir la menor interferencia o disturbio, inclusive con el mantenimiento normal del tráfico vehicular.

**c) Excavación y montaje:**

Una vez excavados los frentes o piques de ataque verticales en el extremo de trabajo del túnel, se inicia el proceso de ejecución del Túnel Liner con la instalación de un soporte metálico debidamente afianzado a las planchas del tuneleado, el cual tendrá una plataforma y un huinche en la parte superior que permitirá la extracción del material de excavación. Se replantea el eje de alineación del túnel en el frente de ataque y comienzan las sucesivas series de excavación y montaje de los anillos apernados de acero, cuyos detalles se indican más adelante.

Replantear el eje de la obra. Seguido a la alineación en el pozo de ataque, se comienza la excavación, la que debe ejecutarse sin permitir los desmoronamientos, para lo cual se podrá aplicar lechada de cemento con acelerante, y en casos extremos, antes de excavar efectuar inyecciones en el terreno sobre la bóveda que se excavará. Estas actividades las ejecuta el especialista en construcción de Túnel Liner, quien utilizará planchas de acero de 2,5 mm de espesor, con recubrimiento

de zinc por inmersión en caliente con un mínimo de 610 gr-Zn/m<sup>2</sup>, sumando ambas caras. El espesor de la chapa está dimensionado para resistir carga del tipo H-25, además de la carga muerta debida a la cuña de suelo sobre la generatriz superior del anillo.

La siguiente etapa consiste en el montaje del primer anillo, apernando las planchas de éste al anillo anterior y entre si, comenzando desde la clave y descendiendo en forma simétrica hacia ambos lados hasta lograr cerrar la estructura. Después de montado el primer anillo del Túnel Liner, la repetición de una nueva serie de operaciones permitirá el montaje del anillo siguiente y así sucesivamente. Cada anillo tiene una longitud en su ancho de 0,457 m y se compone de determinado número de chapas corrugadas, galvanizadas, en función del perímetro del túnel. Además, cada tres anillos colocados, debe procederse a la inyección del mortero entre coraza y terreno, asegurando a su vez, que diariamente debe quedar inyectado el mortero de relleno en toda la extensión del avance diario del Túnel Liner, antes de darse por terminada la jornada.

En general, el método de ejecución lo determinan: el diámetro (o luz) del túnel, el tipo de suelo, la presencia de agua y el recubrimiento de suelo sobre la clave del túnel.

Los recubrimientos aseguran estabilidad de acuerdo a lo calculado por los instaladores consultados. En caso de aparecer suelos inestables se emplearán métodos adecuados para garantizar la seguridad de la obra, evitando los desmoronamientos, como por ejemplo, entibaciones, shotcrete, etc. El montaje de las planchas se debe realizar a una velocidad tal que el suelo permanezca sin apoyo el mínimo tiempo posible. De esta forma se evitan eventuales desmoronamientos y los descensos que estos ocasionan.

**d) Uniones apernadas:**

Las planchas se unen al anillo precedente mediante pernos y tuercas de 5/8" x 1 1/4" suministrados junto con las planchas, que deben ser distribuidos a lo largo de las pestañas laterales de dicho anillo. Las planchas de cada anillo se apernan entre sí mediante pernos y tuercas de las mismas dimensiones anteriores. Estos, sin embargo, poseen un resalte cuadrado en la base del vástago y cuentan con golillas de presión del tipo clip. Este sistema mantiene el perno en la perforación de la plancha, el que también es cuadrado, para permitir que la tuerca se apriete por el interior del túnel.

**e) Inyección de mortero:**

Los espacios vacíos que resulten entre la cara externa del Túnel Liner y el terreno natural deben rellenarse, a fin de evitar deformaciones posteriores. Para ello, se inyectará, a presión controlada, un material de relleno, que puede ser mortero fluido de cemento-arena. La frecuencia de las inyecciones será la necesaria para controlar eventuales deformaciones de la estructura y/o descensos de pavimento y dependerá del tipo de suelo, tamaño del túnel, y el relleno sobre la clave de la

estructura. Se exige, a lo menos, ejecutar ésta cada tres anillos y de todas formas, diariamente al cierre de la jornada.

**f) Obstáculos e imprevistos:**

Si durante la ejecución de las tareas se encontrasen obstáculos de cualquier tipo o características, no previstas, que dificultasen la instalación normal de los módulos o secciones, exigiendo procedimientos especiales para su extracción, el Contratista deberá dar cuenta a la Inspección de Obra y los efectos de su intervención.

Previo y durante la ejecución de los túneles, se deberán ejecutar las siguientes actividades:

- Excavación de los frentes de ataque. Esta excavación puede tener las dimensiones de la zanja abierta o más bien las cámaras extremas del túnel. No se aceptarán excavaciones verticales, salvo que estén debidamente entibadas.

- Disponer un área despejada para el almacenamiento de materiales, acopio provisorio del material excavado y una cancha de preparación del mortero de relleno.

- Topógrafo para el replanteo oficial del rumbo, alineamiento en el inicio y verificaciones periódicas posteriores.

- Transportar el material extraído de la excavación del túnel a botadero, el cual el especialista dejará acopiado en la superficie natural del terreno, junto al frente de ataque. La frecuencia de extracción debe ser tal que no atrase las faenas de ejecución del túnel.

- Tramitación de permisos

- Proteger los piques de acceso para evitar la entrada de aguas de canales o lluvias.

- El avance del túnel será de preferencia desde aguas abajo hacia aguas arriba.

Se debe establecer un Libro de Novedades para el túnel, que refleje fielmente todo lo relacionado con la faena de éste. El Contratista deberá designar un encargado para el túnel, que tendrá por tarea controlar el avance y calidad de las obras y consignarlo en los respectivos libros.

El corte transversal del túnel tiene un revestimiento interior de hormigón y malla de acero que se hará en todo el perímetro interior del túnel.

El revestimiento tendrá un espesor mínimo de 50 mm medidos al eje neutro. Este revestimiento se hará con hormigón armado H25, elaborado con cemento siderúrgico y armadura de malla ACMA C-139. Es conveniente adicionar al hormigón pelos de fibra para ayudar a restringir la retracción.

La terminación del revestimiento será tipo T3 y el diámetro final interno será igual a 1800 mm.

En el hormigón de revestimiento interior de los túneles se materializarán juntas de dilatación cada 10 m, mediante cinta de PVC Sika O-15 o similar, y protegido interiormente con un sello elástico tipo Sikaflex 1A o similar.

Durante la ejecución del túnel deberá restringirse la circulación en la pista que se encuentre inmediatamente sobre el (o los) frentes de avance de las obras, debido a que en ese momento la estructura de soporte estará en construcción y existirá un segmento de excavación sin protección.

El instalador deberá demostrar experiencia comprobable en la ejecución de túneles en suelo blando bajo carreteras. Deberá poseer personal entrenado en faenas comunes en minería, tales como: métodos de sostenimiento y refuerzo, inyecciones y montaje de estructura metálica. Deberá disponer del equipo para la inyección a presión de mortero, de forma de asegurar el buen contacto de la plancha de Túnel Liner con el terreno circundante. Todo lo anterior, con el objeto de prevenir y controlar eventuales deformaciones y asentamientos del terreno.

Una vez construido y afianzado el escudo metálico (Túnel Liner) y endurecido el mortero entre el escudo y el terreno natural, se procederá a la conformación del colector de hormigón hecho in situ, para los diámetros indicados en la introducción. A continuación se indica la secuencia del trabajo:

- Se debe limpiar completamente el interior del tramo de Túnel Liner construido.
- Disponer la malla de acero tipo ACMA C139 amarrada en todo el perímetro interior y contra el Túnel Liner.
- Disponer y alinear los moldajes interiores circulares metálicos con el diámetro de terminación deseado de acuerdo a la modulación establecida.
- Control y aprobación topográfica de los tramos a hormigonar, incluyendo sus juntas.
- Asegurar la posición del moldaje en su ubicación de diseño, mediante adecuados sistemas de pernos posicionadores u otros elementos de probada eficacia.
- Bombeo a presión del hormigón H-25. Considerar que este deberá ser a presión controlada y con inyección distribuida a lo largo del módulo. Deberá mantenerse la evacuación del aire, evitando la formación de bolsas de aire;
- Descimbre de los moldajes.
- Tratamiento de orificios y juntas.

## **Suministro, transporte, colocación y prueba de tubería de Hormigón.**

Los tubos a utilizar deberán cumplir las siguientes características:

- Tubería clase II:  
 $f_c' = 276 \text{ kg/cm}^2$  (Resistencia cilíndrica del hormigón).
- Cemento Puzolánico: Tipo V norma ASTM C-150-77
- Relación agua/cemento:  $A/C \leq 0,45$
- Norma Aplicable: ASTM C-76-M (tubería para junta flexible).

El transporte de las tuberías deberá efectuarse siguiendo las recomendaciones del fabricante al respecto, cuidando en todo caso de planificar la carga, transporte y descarga, de modo de evitar daños en los tubos por efecto de golpes, esfuerzos excesivos o falta de acuíñamiento. Durante el proceso de descarga deberán revisarse los tubos y rechazarse todos aquellos que presenten grietas y quebraduras, retirándolos de la faena.

Los tubos a suministrar deberán llevar marcado el nombre o la marca registrada del fabricante y el sello de calidad correspondiente.

La I.T.O. deberá tener acceso a los procesos de fabricación y exigir todos los ensayos que den seguridad a la calidad del producto final. Todos los gastos que demanden los ensayos y certificaciones que exija la I.T.O. serán de costo del Contratista.

Cuando se especifique dado de hormigón, el Contratista sólo podrá colocar los tubos después de que la I.T.O. haya recibido conforme la cama inferior del dado, verificando su resistencia, cotas u pendientes.

Esta faena no podrá, en todo caso, ejecutarse antes de 7 días de efectuada la cama señalada, o en su defecto, hasta que el hormigón adquiera una resistencia igual o superior a la indicada en los Planos de Proyecto.

Previo a la instalación de los tubos sobre la cama de hormigón se colocará en forma uniforme un mortero de una dosis mínima de 400 kg de cem/m<sup>3</sup>, el cual deberá ser desplazado por los tubos y sus uniones, rellenando el espacio entre éstos y la cama de apoyo.

Las uniones se emboquillarán con mortero de 807,5 kg cm por m<sup>3</sup> de argamasa y arena fina que pase por el tamiz de 0,5 mm.

Después de colocados los tubos se probará en el terreno sometiéndose a las pruebas establecidas en la Norma NCh 1362.

Para las uniones de los sumideros a colector, se utilizarán tubos de hormigón simple.

## **CÁMARAS DE INSPECCIÓN.**

Incluye las cámaras de los colectores de aguas lluvias.

### **a) Cámaras Tipo**

Las Cámaras Tipo se han designado y deberán ejecutarse de acuerdo con nomenclatura y el cuadro de cámaras del proyecto. Se ubicarán conforme a lo indicado en los planos de Planta y Perfiles Longitudinales del proyecto.

Todos los hormigones se confeccionarán y colocarán atendiendo a lo indicado en los planos tipo y tendrán las dosificaciones mínimas indicadas en ellos. Los radieres, pies derechos, conos y chimeneas se ejecutarán con hormigón de 170 kg cm por m<sup>3</sup> de concreto.

Los radieres se estucarán con mortero de 510 kg cm por m<sup>3</sup> de argamasa, hasta 0,20 m como mínimo sobre la parte más alta de la banquetta. La parte interior de las cámaras que no lleve estuco deberá quedar con la superficie lisa, debiéndose usar molde metálico o de madera revestido con metal.

Las losas de hormigón armado de las cámaras tipo b y especiales serán confeccionados con hormigón tipo H-30.

El movimiento de tierras correspondiente a las cámaras está incluido en estas especificaciones. En la cara inferior de cada tapa se pintará con rojo el número de las cámaras que corresponda, según el plano del proyecto. No se dejarán canaletas para empalmes por construirse en el futuro.

El diámetro interior del cuerpo será de 1.800 y 1.300 mm respectivamente.

Las cámaras especiales se construirán según las dimensiones y en la ubicación señalada en planos de detalles del proyecto. Se utilizará hormigón tipo H-30 y enfierradura de calidad A63 - 42H.

En el caso de hormigones que deban adherirse a hormigones existentes, deberá efectuarse un picado cuidadoso de la estructura existente, dejando armaduras de empalme de 40 cm mínimo de longitud.

### **b) Tapa de cámara tipo calzada.**

Las tapas se ejecutarán y colocarán de acuerdo con el Detalle Tapa Circular Tipo Calzada "SERVIU", que se puede consultar en el menú de Normativas y Manuales de la página web de la Subdirección de Pavimentación <http://pavimentacion.serviurm.cl/>. Se incluye la armadura metálica con su relleno de hormigón de 425 kg-cm/m<sup>3</sup>, estuco de 595 kg-cm/m<sup>3</sup> de argamasa y anillo de fierro fundido de 82 kg de peso aproximado. La colocación del anillo está incluida en la confección de las cámaras.

### **c) Escalines.**

Se consulta el suministro de escalines de fierro galvanizado de 3/4. Se colocarán según lo indican los planos, Se usará fierro galvanizado en baño, rechazándose electrolítico. Su colocación se efectuará de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

## **SUMIDEROS DE AGUAS LLUVIAS**

### **a) Sumidero Tipo doble S2 con cámara decantadora y tapa tipo calzada**

Deberá asentarse en terreno no removido. En caso contrario, se harán los rellenos necesarios para su estabilidad, con hormigón de 127,5 kg cm por m<sup>3</sup> de concreto. Las tuberías para los sumideros y el movimiento de tierra correspondiente están incluidos en los capítulos pertinentes.

Los sumideros se ejecutarán de acuerdo con los planos y el cuadro correspondiente del proyecto. Se usará hormigón 170 kg cm por m<sup>3</sup> de concreto, excepto en la viga que soporta la solera, que será de hormigón armado de 340 kg, cm por m<sup>3</sup> de concreto. Los estucos tendrán 1 cm de espesor y serán de 510 kg cm por m<sup>3</sup> de argamasa y alisados con cemento puro.

El fierro para las rejillas y demás deberá cumplir con lo establecido en el “Pliego para la construcción de Alcantarillado”. No se aceptarán sopladuras ni fallas de ninguna especie, ni podrán éstas repararse con plomo u otro material. Serán de fierro laminado de 0,98 m x 0,41 m, D.O.S. tipo grande.

Se incluye para el sumidero: excavación, relleno y retiro de excedentes, rotura de pavimentos, suministros de materiales para hormigones y estucos, fierro y toda la mano de obra, incluso la colocación de la rejilla. La confección de cámaras de acceso de los sumideros D.O.S. tipo doble S2, incluye el suministro y la colocación de la tapa tipo calzada con su anillo.

Las uniones de sumideros se efectuarán con tubos de hormigón simple.

El presente ítem comprende la provisión de todos los materiales y mano de obra necesaria para construir cada sumidero, según los planos de proyecto. Se excluye el suministro e instalación del tubo de hormigón que conecta al sumidero con la Cámara de Inspección o colector.

## **ROTURA Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS**

En los lugares en que deben ejecutarse excavaciones bajo calzadas pavimentadas u otras obras de pavimentación se considera la rotura de dichas obras y su posterior reposición, las que se harán de acuerdo con las disposiciones entregadas en los planos del proyecto y estas Especificaciones Técnicas.

Así mismo, deberán cumplirse las disposiciones incluidas en el presente Manual.

La extracción de soleras se deberá efectuar en forma de no dañarlas, ya que se considera su recolección. En todo caso, el contratista deberá reponer aquellas que a juicio de la I.T.O. resulten dañadas.

Se deberá señalar debidamente las obras durante el día y la noche, para evitar accidentes.

Será de cargo del contratista el pago de permisos, derechos, garantías, etc., así como toda tramitación necesaria.

## **8. RECEPCIÓN DE PROYECTOS**

A continuación se presentan dos planillas de verificación. La primera planilla es una planilla de verificación técnica, la cual deben incorporar todos los proyectos de diseño de redes secundarias al ser presentados para su aprobación. Esta servirá para verificar las condiciones del proyecto y su cumplimiento con criterios y aspectos específicos de esta norma. También servirá al SERVIU para verificar que el proyecto haya seguido los criterios de diseño y especificaciones de esta norma.

Esta planilla tiene por objeto orientar al proyectista y al revisor en la búsqueda de soluciones al problema de las aguas lluvias en la urbanización. Sin embargo la aceptación del proyecto por parte del SERVIU no necesariamente estará sujeta al cumplimiento estricto de las preguntas indicadas en la planilla.

La segunda planilla de verificación es una ficha para la recepción de proyectos de aguas lluvias, de modo de verificar que la presentación del informe cumple con los aspectos formales para su tramitación y archivo.

### **8.1 FICHA DE RECEPCIÓN DE PROYECTOS**

#### **FICHA DE RECEPCIÓN E INGRESO DE PROYECTOS DE AGUAS LLUVIAS**

Fecha de Ingreso: \_\_\_\_\_

	SI	NO
Carta de Presentación		
Memoria		
Certificados e Informes de Laboratorio		
Especificaciones Técnicas		
Cubicación Cantidades de Obras		
Cubicación Movimientos de Tierras		
Presupuesto		
Planos del Proyecto		
Planilla de Verificación Técnica		
Disquete o CD con el Proyecto		

Carpeta con Carátula		
----------------------	--	--

Observaciones:
----------------

Nombre del Encargado de Recepción:

\_\_\_\_\_

Firma y Timbre :

\_\_\_\_\_

## 9. PRESENTACIÓN DE PROYECTOS

El Proyecto de Red de colectores secundarios de aguas lluvias debe ser presentado para su aprobación por parte del SERVIU Metropolitano por un profesional responsable autorizado por el servicio.

El proyecto debe incluir los siguientes aspectos:

- Memoria.
- Certificados e informes de laboratorio (si corresponde).
- Especificaciones Técnicas Generales y Especiales.
- Cubicación y presupuesto.
- Planos.
- Planilla de Chequeo.
- Factibilidad de Aguas Lluvias

### 9.1 MEMORIA

Consiste en un informe ejecutivo de carácter técnico en el que se exponen los principales aspectos del proyecto. Incluyendo:

**Generalidades.** Principales características del proyecto:

- a) Individualización del proyecto.
- b) Objetivos y criterios de diseño.
- c) Ubicación: Región, Provincia, Comuna, urbanización o loteo.
- d) Límites del terreno.

- e) Propietario.
- f) Profesional responsable.
- g) Fecha de presentación.
- h) Red Principal según el Plan Maestro.
- i) Esquema general de solución.
- j) Periodos de retorno adoptados.
- k) destino de las aguas lluvias generadas.

#### **Antecedentes.**

- a) Áreas drenadas según tipo.
- b) Antecedentes sobre precipitaciones.

#### **Hidrología.**

- a) Lluvias de diseño.
- b) Tiempos de concentración.
- c) Coeficientes de escurrimiento.
- d) Caudales producidos para lluvias de diseño.
- e) Caudales para tormentas mayores.

#### **Dimensionamiento Hidráulico.**

- a) Caudales máximos de diseño en las calles.
- b) Tipos y ubicación de sumideros.
- c) Red de colectores. Tamaños y pendientes.
- d) Cámaras. Ubicación, tipos y dimensiones.
- e) Verificación de condiciones de tormentas mayores.

#### **Estructuras.**

- a) Excavaciones.
- b) Dimensionamiento estructural de elementos.

## **9.2 CERTIFICADOS E INFORMES DE LABORATORIO**

Incluir si corresponde, los certificados o informes de laboratorio que justifiquen algunas de las opciones adoptadas en el proyecto.

## **9.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS**

Aplican las de este Manual.

## **9.4 CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO**

La cubicación y el presupuesto se elaboran en base a los precios y partidas contenidos en este Manual.

## **9.5 PLANOS**

Los planos deberán consignar todos los elementos necesarios para la correcta construcción de las obras, así como para proceder a su aceptación y aprobación.

Deberán incluirse al menos los siguientes:

- a) Plano de ubicación. Emplazamiento de las obras y su relación con el sistema general de drenaje, con indicación clara del destino de las aguas recolectadas.
- b) Plano de planta. Ubicación de los principales elementos, en relación a las calles, sumideros, cámaras de inspección, red de colectores, elementos de captación y entrega.
- c) Perfiles longitudinales. Según el recorrido del flujo.
- d) Detalles de elementos importantes y obras complementarias. Cámaras y piezas especiales.
- e) Simbología de las obras de aguas lluvias y pavimentación.

## ANEXO A

### DISEÑO DE TALUDES EN EXCAVACIONES

Cuando realizamos una excavación afectamos la estructura y equilibrio natural del sistema. Al romper el equilibrio, el sistema tiende a equilibrarse nuevamente, pero esta respuesta dependerá del tipo de suelo que sea afectado.

En el caso de las arenas, la tendencia al equilibrio ocurre de forma rápida que en suelos arcillosos, ya que éstos poseen cohesión.

El tiempo en que ocurre la restauración del equilibrio depende de muchos factores entre ellos están:

- Ángulo de roce
- Granulometría
- Consistencia
- Humedad
- Permeabilidad
- Estratigrafía
- Factores climatológicos (agua, lluvia, deshielos, sequía)
- Vibraciones

A continuación se realiza un análisis simplificado para obtener el ángulo de talud estable dependiendo del tipo de suelo para zanjas sin solicitaciones externas (tránsito u otros). El análisis se ha dividido en dos grupos de suelos: cohesivos y no cohesivos.

#### Suelos Cohesivos

En el caso de los suelos no cohesivos es posible realizar excavaciones con pared vertical hasta una profundidad crítica a partir de la cual la tensión horizontal anula a la cohesión del suelo.

De la teoría de elasticidad tenemos que el esfuerzo horizontal es igual a:

$$\sigma_H = \frac{\gamma_T \cdot H}{N\phi} - \frac{2 \cdot c}{\sqrt{N\phi}}$$

$$N\phi = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Donde:

- $\sigma_H$  = Esfuerzo horizontal
- $\gamma_T$  = Densidad total
- H = Profundidad en la que se mide  $\sigma_H$
- c = Cohesión del suelo

$\phi$  = Ángulo de fricción interna del suelo

Utilizando la ecuación anterior, podemos determinar una altura hasta la cual se puede realizar una excavación con paredes horizontales sin que se produzca el derrumbe de las mismas. Despejando se obtiene:

$$H = \frac{2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}{\gamma_T}$$

En arcillas se obtiene un amplio rango de valores para  $c$  y  $\phi$ , ya que éstos parámetros no sólo dependen de la geometría o rugosidad de las partículas de suelo (caso de  $\phi$ ), también dependerán de la composición química de éste que produce la atracción entre las partículas del mismo (cohesión). Por lo tanto, entregar valores típicos para este tipo de suelos sería demasiado arriesgado para el diseño de taludes, siendo recomendable utilizar valores obtenidos mediante ensayos de laboratorio.

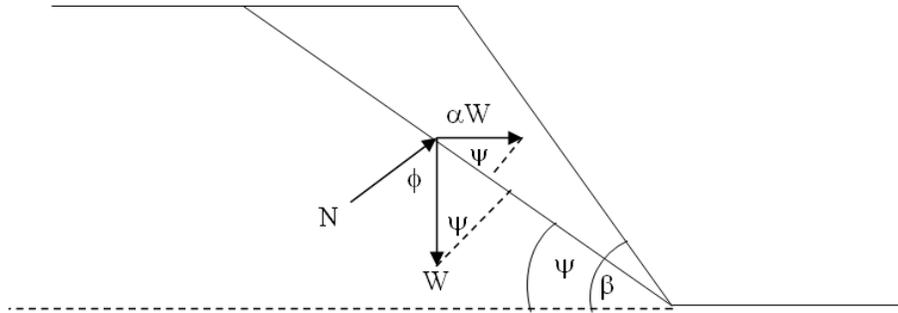
Clasificación	$\phi$ (°)	C (t/m <sup>2</sup> )	$\gamma_T$ (t/m <sup>3</sup> )	Hcrítico (m)
<b>Limo o Arena Limosa</b>				
Suelto	27	0,5	1,3	1,20
Denso	30	0,75	2	1,30
<b>Arcilla</b>				
Saturada	0	1	1,1	1,50
No saturada	20	1,5	1,7	2,50

### Suelos No Cohesivos

En el caso de suelos no cohesivos, debido a que las propiedades del suelo están más restringidas a la geometría de la partícula, o bien, a la rugosidad de cada una de ellas, pueden establecerse valores tipo para el diseño.

Para el caso de este tipo de suelos, es recomendable realizar las excavaciones considerando paredes con pendiente.

En la figura siguiente se ilustran las fuerzas actuantes en una cuña de falla hipotética de suelo.



Las fuerzas solicitantes están dadas por:

$$\sum F_{sol} = W \cdot \text{sen}(\psi) + \alpha \cdot W \cdot \text{cos}(\psi)$$

Y las fuerzas resistentes por:

$$\sum F_{res} = T = c \cdot L + N \cdot \text{tg}(\phi)$$

Donde:

$$N = W \cdot \text{cos}(\psi) - \alpha \cdot W \cdot \text{sen}(\phi)$$

El factor de seguridad al deslizamiento es:

$$FS = \frac{\sum F_{res}}{\sum F_{sol}} = \frac{c \cdot L + (W \cdot \text{cos}(\psi) - \alpha \cdot W \cdot \text{sen}(\phi)) \cdot \text{tg}(\phi)}{W \cdot \text{sen}(\psi) + \alpha \cdot W \cdot \text{cos}(\psi)}$$

En el caso de suelos no cohesivos se tiene que  $c \rightarrow 0$ , pero considerando el caso más conservador supone  $c=0$ . Por otro lado, para conservar estable el talud debe cumplirse que,  $\psi = \beta$  y  $FS \geq 1.3$  para el caso sísmico. Con esto obtenemos la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{1 - \alpha \cdot \text{tg}(\beta)}{\text{tg}(\beta) + \alpha} \cdot \text{tg}(\phi) \geq 1.3$$

Luego, el ángulo de talud crítico  $\beta$  estará dado por:

$$tg(\beta) = \frac{tg(\phi) - \alpha \cdot FS}{FS + \alpha \cdot tg(\phi)}$$

Para Santiago, el coeficiente sísmico es de  $\alpha=0.25$ , por tanto, la ecuación anterior se reduce a:

$$tg(\beta) = \frac{tg(\phi) - 0.33}{1.3 + 0.25 \cdot tg(\phi)}$$

De acuerdo a la ecuación anterior, la siguiente tabla adjunta ángulos de talud dependiendo del tipo de suelo:

Clasificación	$\phi'$ (°)	tan( $\beta$ )	Talud	
			H:	V
Limo No Plástico	28	0,249	1:	4,0
	30	0,286	1:	3,5
Arena Uniforme Fina a Media	30	0,286	1:	3,5
	34	0,363	1:	2,8
Arena bien graduada	34	0,363	1:	2,8
	40	0,487	1:	2,1
Arena y Grava	38	0,444	1:	2,2
	42	0,531	1:	1,9

Nota:

(1) Obtenidos de Basic Soils Engineering, 1957.