

# GUÍAS PARA EL DISEÑO DE TECNOLOGÍAS DE ALCANTARILLADO



Lima, 2005

## Tabla de contenido

	<b>Página</b>
1. Objeto .....	4
2. Definiciones .....	4
3. Aplicación .....	6
4. Requisitos previos .....	6
5. Tecnologías de Alcantarillado .....	6
5.1. Alcantarillado convencional .....	6
5.2. Alcantarillado simplificado (RAS) .....	8
5.3. Alcantarillado de pequeño diámetro .....	10
5.4. Alcantarillado condominial .....	13
6. Parámetros de diseño .....	17
6.1. Periodo de diseño .....	17
6.2. Población de diseño .....	17
6.3. Dotación de agua .....	18
6.4. Caudales de aguas residuales .....	20
6.4.1. Factor de retorno ( C ) .....	20
6.4.2. Caudal de infiltración (Qi) .....	20
6.4.3. Caudal por conexiones erradas (Qe) .....	22
6.4.4. Caudales concentrados (Qc) .....	22
6.4.5. Coeficiente de flujo máximo (K) .....	22
7. Diseño de las redes de alcantarillado .....	25
7.1. Formulas para el diseño .....	25
7.1.1. Fórmula de Ganguillet – Kutter .....	25
7.1.2. Fórmula de Manning .....	26
7.2. Coeficiente de rugosidad .....	27
7.3. Flujo mínimo en las redes .....	28
7.4. Criterio de velocidad. ....	28
7.4.1. Velocidad mínima permisible .....	28
7.4.2. Determinación de la velocidad máxima .....	30
7.5. Tirante de agua .....	31
7.6. Criterio de Tensión tractiva .....	31
7.6.1. Tensión tractiva .....	32
7.6.2. Tensión tractiva mínima .....	33
7.7. Pendientes de alcantarillas .....	34
7.7.1. Pendiente mínima .....	34
7.7.2. Pendiente máxima admisible .....	35
7.8. Diámetro mínimo de colectores .....	35
8. Componentes del sistema de alcantarillado convencional .....	37
8.1. Conexión domiciliaria .....	37
8.2. Tuberías.....	37
8.2.1. Ubicación .....	37
8.2.2. Profundidad mínima .....	38
8.2.3. Profundidad máxima .....	38

8.3.	Cámaras de inspección .....	39
8.3.1.	Ubicación .....	39
8.3.2.	Separación máxima .....	39
8.3.3.	Tipos .....	40
8.3.4.	Canaletas media caña .....	42
8.3.5.	Cámaras con caída .....	42
8.3.6.	Control de remanso .....	42
9.	Componentes del sistema de alcantarillado simplificado .....	42
9.1.	Conexión domiciliaria .....	42
9.2.	Tuberías .....	44
9.2.1.	Ubicación .....	44
9.2.2.	Profundidad y recubrimiento mínimos .....	45
9.3.	Elementos de inspección .....	46
9.3.1.	Cámaras de inspección .....	46
9.3.2.	Dispositivos simplificados de inspección .....	49
10.	Componentes del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro .....	55
10.1.	Tuberías .....	55
10.2.	Tanque interceptor .....	56
10.3.	Elementos de Inspección. ....	56
10.4.	Colector del inmueble .....	57
10.5.	Conexión de servicio.....	57
10.6.	Elementos de Ventilación .....	57
11.	Componentes del sistema de alcantarillado condominial .....	58
11.1.	Tuberías .....	58
11.1.1.	Redes públicas .....	58
11.1.2.	Ramales condominiales en áreas planeadas .....	59
11.1.3.	Ramales condominiales en áreas no planeadas .....	61
11.1.4.	Profundidad de colectores .....	62
11.2.	Cámaras de inspección .....	62
11.3.	Conexiones domiciliarias .....	64
11.4.	Trampa de Grasas .....	66
12.	Fuerzas sobre colectores .....	67
12.1.	Fuerzas actuantes sobre tuberías enterradas .....	67
12.1.1.	Carga del terreno .....	67
12.1.2.	Cargas de tráfico-tuberías de concreto .....	69
13.	Costos .....	72
14.	Referencias .....	72

## Especificaciones técnicas para el diseño de sistemas de alcantarillado

### 1. Objeto

Normalizar el diseño de sistemas de alcantarillado de aguas residuales por gravedad.

### 2. Definiciones

- **Sistema de alcantarillado:** Conducto de servicio público cerrado, destinado a recolectar y transportar aguas residuales que fluyen por gravedad libremente bajo condiciones normales.
- **Sistema de alcantarillado sanitario simplificado (RAS):** Sistema de alcantarillado sanitario destinado a transportar y recolectar aguas residuales, utilizando redes de escasa profundidad que parten de las instalaciones sanitarias del lote y que son diseñadas bajo el criterio de simplificación y minimización de materiales y criterios constructivos.
- **Sistema de alcantarillado sanitario de pequeño diámetro:** Sistema de alcantarillado sanitario destinado a transportar y recolectar aguas residuales previamente sedimentadas en un tanque interceptor, el cual es dispuesto entre la conexión domiciliar y las redes de alcantarillado.
- **Sistema de alcantarillado sanitario condominial:** Sistema de alcantarillado sanitario destinado a recolectar y transportar aguas residuales utilizando el ramal condominial como unidad básica de conexión.
- **Ramal condominial:** Tubería que recolecta aguas residuales de un conjunto de edificaciones que descarga a la red pública en un punto.
- **Red pública:** Conjunto de tuberías que reciben las aguas residuales de ramales condominiales o conexiones domiciliarias.
- **Aguas residuales:** Desecho líquido constituido por aguas domésticas e industriales y aguas de infiltración.
- **Aguas domésticas:** Desecho líquido resultante de los hábitos higiénicos del hombre en actividades domésticas.
- **Caudal por infiltración (Qi):** Agua proveniente del subsuelo, indeseable para el sistema separado y que puede penetrar en las alcantarillas.
- **Cuenca de contribución:** Conjunto de áreas contribuyentes, cuyas aguas residuales fluyen hacia un punto único de concentración.

- **Instalación sanitaria domiciliaria:** Conjunto de tuberías de agua potable, alcantarillado, accesorios y artefactos que se encuentran dentro de los límites de la propiedad.
- **Conexión domiciliaria:** Es el colector de propiedad particular que conduce el agua residual de una edificación hasta la red colectora.
- **Canal:** Estructura hidráulica cubierta destinada al transporte de aguas residuales.
- **Colector:** Es una tubería que funcionando como conducto libre, recibe la contribución de aguas residuales en cualquier punto a lo largo de su longitud.
- **Profundidad del colector:** Diferencia de nivel, entre la superficie de la razante de la vía y la solera del colector.
- **Altura de recubrimiento del colector:** Diferencia de nivel, entre la superficie del terreno y la clave del colector.
- **Cámara de inspección o pozo de visita:** Cámara visitable a través de una abertura existente en su parte superior, destinada a permitir la reunión de dos o más colectores. Además, tiene la finalidad de permitir la inspección y el mantenimiento de los colectores.
- **Red de alcantarillado sanitario:** Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza.
- **Tramo de colector:** Longitud de colector comprendida entre dos cámaras de inspección o tubos de inspección y limpieza sucesivos.
- **Área tributaria:** Superficie que drena hacia un tramo o punto determinado.
- **Coefficiente de retorno o a aporte (C):** Relación entre el volumen de agua residual que llega a las alcantarillas y el volumen de agua abastecida.
- **Coefficiente de punta:** Es la relación entre el caudal medio y el caudal máximo horario. Usualmente determinado por fórmulas en las cuales interviene la población y las características de consumo de agua.
- **Caudales de aporte:** Son caudales de contribución medio, máximo y mínimo (l/s). Deben ser considerados los coeficientes que intervienen en la determinación de estos caudales.
- **Caudal de diseño:** Caudal máximo horario de contribución de aguas residuales, más los caudales adicionales por infiltración, se calcula para la etapa inicial y final de periodo de diseño.

### **3. Aplicación**

La presente guía se aplicará en el diseño de sistemas de alcantarillado, convencional y no convencional, del tipo separado que excluye por completo el agua pluvial.

### **4. Requisitos previos**

Para la elaboración de un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias es aconsejable disponer estudios previos a su diseño, que permitan caracterizar la región desde el punto de vista físico y socioeconómico, conocer los sistemas existentes de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico y considerar los planes de desarrollo urbano y ordenamiento territorial. Esto debe contribuir a seleccionar la alternativa más adecuada y factible, técnica, económica, financiera y de menor impacto ambiental

### **5. Tecnologías de alcantarillado aplicable al medio rural**

#### **5.1. Alcantarillado convencional**

Los sistemas convencionales de alcantarillado son el método más popular para la recolección y conducción de las aguas residuales. Está constituido por redes colectoras que son construidas, generalmente, en la parte central de calles y avenidas e instaladas en pendiente, permitiendo que se establezca un flujo por gravedad desde las viviendas hasta la planta de tratamiento (véase figura 1).

Otro componente de este sistema son las conexiones domiciliarias que se conecta con la red de desagüe de las viviendas, con la finalidad de transportar las aguas residuales desde ellas a las alcantarillas más cercanas.

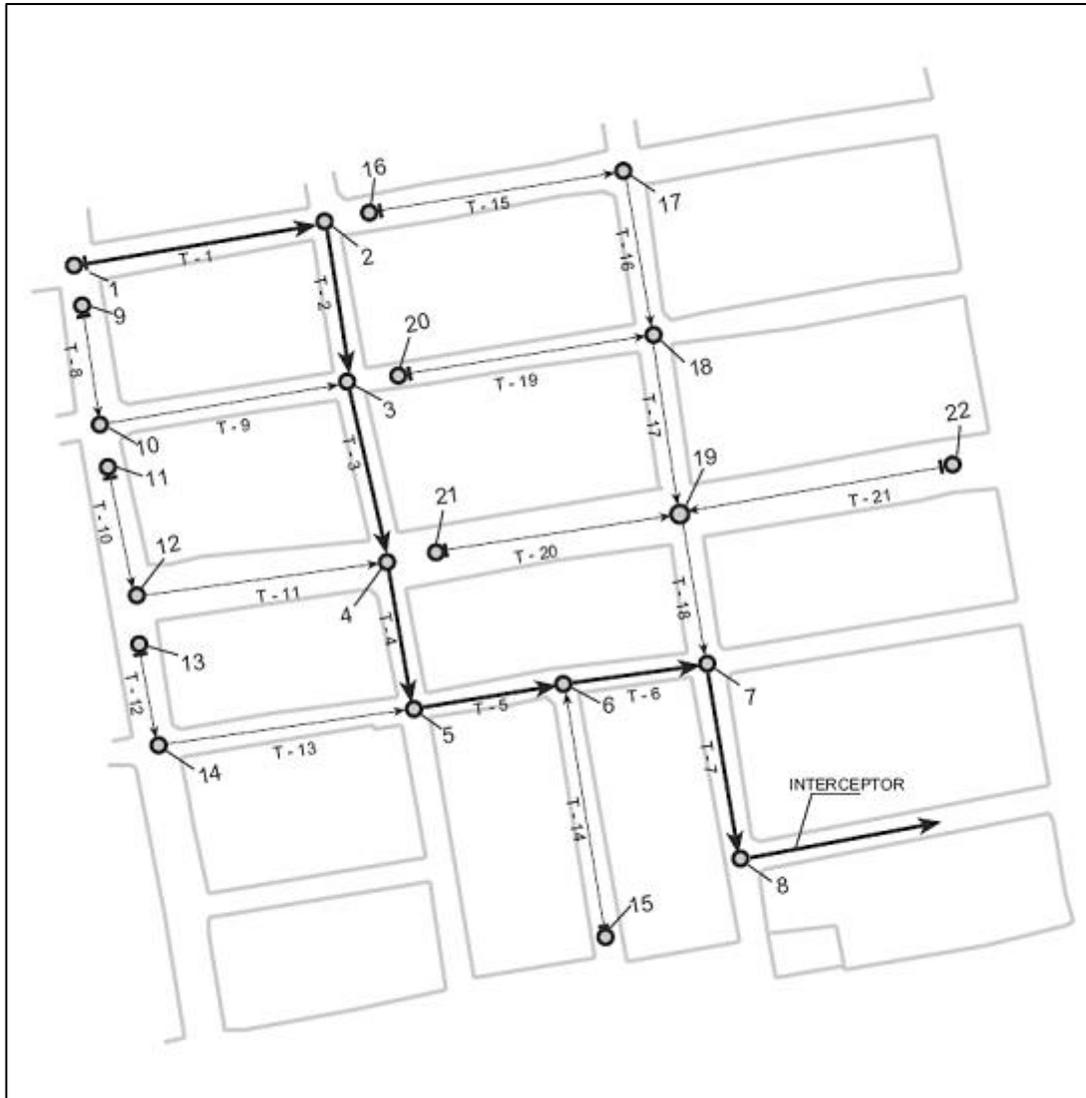
El componente complementario más importante son los buzones de inspección, que se ubican principalmente en la intersección de colectores, en el comienzo de todo colector y en los tramos rectos de colectores a una distancia hasta de 250 m. La principal función de estas cámaras es la limpieza de los colectores para evitar su obstrucción.

Los colectores son generalmente de 200 mm o mayor, siendo excepcionales los de 150 mm., y son normalmente instalados a una profundidad mínima de 1 m.

Las principales desventajas de la aplicación de este sistema en zonas rurales son:

- Los colectores son instalados a grandes profundidades, demandando excavaciones muy profundas que incrementa notablemente los costos de construcción.
- Es necesario utilizar cámaras de inspección profundas de costo de construcción elevado, que se incrementan por mayor excavación, mayor utilización de encofrados y/o empleo de bombeo para bajar el nivel freático.
- Las viviendas situadas a una cota inferior que la calle tendrán dificultades para descargar sus aguas residuales por gravedad.

- Los criterios de diseño son muy rígidos y exigentes, alguno de los cuales se mantienen en la actualidad aparentemente sin sustento técnico, incrementando los costos de construcción. Una revisión de las normas de diseño de redes convencionales de alcantarillado llevada a cabo en Brasil, encontró que estas eran muy similares (y en algunos casos aún mas exigentes) a aquellas usadas por George Waring Jr. en su diseño de su primer sistema separativo en los Estados Unidos en 1880.



**Figura 1. Esquema de una red de alcantarillado convencional.**

## 5.2. *Alcantarillado simplificado (RAS)*

Este sistema se originó en Brasil a fines de la década de los años 70, como una alternativa frente al sistema de alcantarillado convencional. Su desarrollo comienza después del reconocimiento que la causa principal del costo elevado del alcantarillado convencional eran las exigentes normas de diseño, y que estas normas estaban impidiendo la expansión de la cobertura del servicio de alcantarillado a comunidades urbanas de bajos ingresos. Esto motivó la revisión de las normas de diseño y el posterior surgimiento de criterios técnicos más apropiados con los cuales se redujeron los costos de construcción.

Las redes de alcantarillado simplificado (RAS) están formadas por un conjunto de tuberías y accesorios que tienen la finalidad de coleccionar y transportar los desagües, bajo condiciones técnicas y sanitarias adecuadas, y a un costo accesible a las poblaciones de bajos ingresos, que normalmente son las beneficiarias del sistema

Las RAS, se diseñan bajo los mismos criterios hidráulicos que las redes convencionales, sólo se diferencian de ellas en la simplificación y minimización del uso de materiales y de los criterios constructivos. Las principales ventajas del alcantarillado simplificado son:

- Reducción de los costos de construcción, principalmente, a través de la minimización de la profundidad de las excavaciones para los colectores y el empleo de dispositivos simplificados de inspección.
- Los colectores no necesariamente son colocados en la calzada de calles o avenidas. Son proyectados por veredas o jardines, alejados de la zona de tráfico vehicular para protegerlos contra choques mecánicos. De esta manera se logra minimizar las excavaciones tanto en profundidad como en anchura. En algunos casos se proyectan redes dobles, en ambos lados de la calle.
- Los buzones costosos empleados en el alcantarillado convencional son reemplazados por elementos de inspección más simples y económicos, tales como, los dispositivos de inspección, los terminales de limpieza y las cajas de paso. Sólo en algunos casos, aún se conserva y es necesario la instalación de los buzones convencionales (véase ítem 9).
- Se reducen los diámetros mínimos y el recubrimiento de los colectores. El diámetro mínimo especificado es 150 mm, pero excepcionalmente se podrían emplear colectores con 100 mm de diámetro. La excavación mínima aceptable es de 0,65 m., si los colectores van tendidos sobre veredas y jardines.
- Con las RAS se introdujeron métodos más precisos para el cálculo y control de las condiciones de auto limpieza; los criterios antiguos de control de las velocidades, en base al total o la mitad de las secciones mojadas, fueron sustituidos por el concepto de fuerza de arrastre.

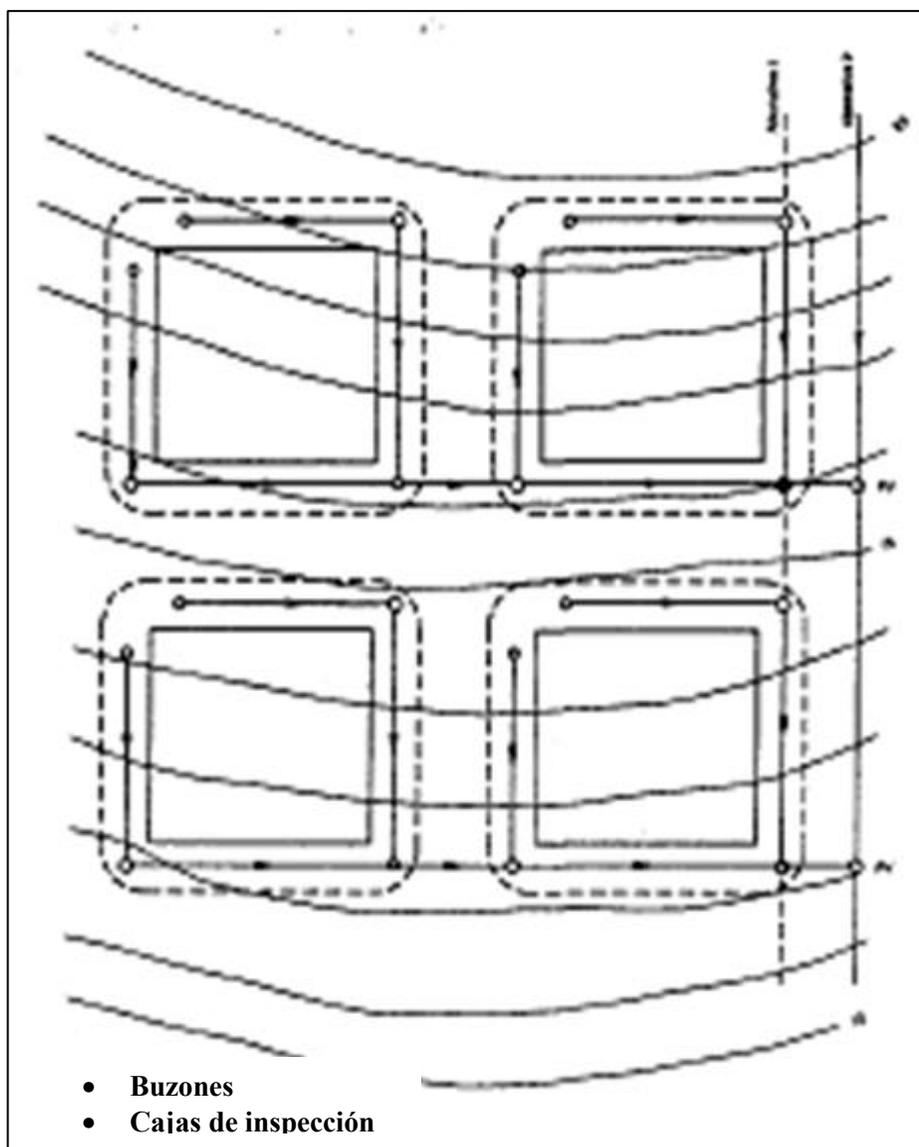
- Las pendientes de colectores en las redes simplificadas son menores que aquellas empleadas para tender las alcantarillas en el sistema convencional. Por ejemplo, una práctica común en sistemas convencionales es tender un colector de 150 mm con una pendiente de 1 en 150 (es decir, cerca de 0,007 m/m). En contraste, los más recientes esquemas construidos en Brasil (basados en el criterio de arrastre en lugar de velocidad mínima), usan colectores de 100 mm tendidos con pendientes de 1 en 213 (0,0045).

Este sistema funciona bien, mientras la proporción inicial de conexiones a la red sea elevada (a menudo superior al 90 por ciento; con el sistema convencional puede tardar muchos años para alcanzar este nivel de conexiones), y por tanto los flujos de aguas residuales resultantes sean correspondientemente altos. Los obstáculos son muy raros, incluso en los tramos iniciales de la red donde el flujo es intermitente: los sólidos se mueven en una secuencia de deposición, transporte, deposición y transporte hasta que la alcantarilla haya colectado las aguas residuales de un área suficientemente extensa como para que el flujo deje de ser intermitente. Esta secuencia de deposición-transporte-deposición- transporte, funciona mejor en los colectores de diámetro pequeño que en los de gran tamaño.

Las aguas residuales recolectadas y transportadas por redes simplificadas deberán ser conectadas a una red de alcantarillado convencional, para su conducción hasta el punto de disposición final.

La aplicación de este sistema de alcantarillado se recomienda para poblaciones que tengan una densidad poblacional mayor a 150 hab/ha y un consumo de agua per cápita de por lo menos 60 l/hab/día.

Los costos de construcción del alcantarillado de redes simplificadas son 20% a 30% inferiores a los costos de un alcantarillado convencional.



**Figura 2. Esquema de una red de alcantarillado simplificado.**

### **5.3. Alcantarillado de pequeño diámetro**

Los sistemas de alcantarillados de pequeño diámetro (véase figura 3) están diseñados a fin de que los colectores sólo reciban la porción líquida de las aguas residuales domésticas para su disposición y tratamiento. La arena, grasa y otros sólidos que podrían obstruir los tubos son separados del flujo de desechos en tanques interceptores instalados aguas arriba de cada conexión a los colectores; los sólidos que se acumulan en los tanques se extraen periódicamente para su disposición segura.

A diferencia del alcantarillado convencional por gravedad que es diseñado como canal abierto, el alcantarillado de pequeño diámetro puede ser diseñado con tramos cuya línea de gradiente hidráulica se encuentra por encima del trazo de la tubería. De esta

manera, el flujo dentro de la tubería de alcantarillado de pequeño diámetro puede ser alternado con tramos trabajando como canal y otros a presión. Durante el desarrollo del proyecto, deberá efectuarse un análisis por separado de los tramos que tengan condiciones de flujo y gradientes más o menos homogéneas.

Puntos elevados donde la sección del tubo cambia de totalmente lleno a canal abierto, así como los puntos extremos de largos tramos planos resultan críticos durante la operación del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro. En los puntos críticos, el alcantarillado debe ser diseñado con un perfil hidráulico por debajo de las salidas de los tanques interceptores para evitar el represamiento en los tanques interceptores y el ingreso de las aguas residuales hacia el interior de las viviendas.

Las ventajas principales que se obtienen al emplear este sistema son las siguientes:

- a) Requerimiento reducido de agua para el transporte de la pequeña cantidad de sólidos provenientes del tanque séptico. Así, a diferencia de los alcantarillados convencionales, los alcantarillados de pequeño diámetro pueden emplearse sin temor a los atoros donde el consumo doméstico de agua es bajo o donde se necesitan largos tramos planos con pocas conexiones.
- b) Costos de excavación reducidos, ya que al removerse los sólidos molestos, no es necesario que las redes se diseñen para mantener una velocidad de flujo mínima para su autolimpieza. Por eso, en vez de instalarlos en una línea recta con gradiente uniforme, se les puede colocar en una alineación curvilínea con gradiente variable o de inflexión. Esto reduce los costos de excavación, ya que el alcantarillado puede seguir la topografía natural de manera más aproximada que los alcantarillados convencionales y evitar la mayoría de las obstrucciones en su camino.
- c) Costos de materiales reducidos, en vista que los caudales de diseño del alcantarillado de pequeño diámetro son menores que los caudales de diseño del alcantarillado convencional, gracias a la acción igualadora y compensadora del tanque interceptor, el tamaño de las redes no convencionales se verán reducidas. Además, se pueden reemplazar los costosos pozos de inspección con registros o puntos de limpieza más simples y de menor costo.
- d) Requerimientos de tratamiento reducidos, ya que en las plantas de tratamiento no se necesita efectuar el tamizado, la remoción de arena ni la sedimentación primaria, ya que estos procesos unitarios se realizan en los tanques interceptores.
- e) El sistema es muy simple, fácilmente comprendido por la población. Emplea tuberías comunes tendidas sobre tramos superficiales. Los costos de construcción son mínimos, aproximadamente un tercio del alcantarillado simplificado y una quinta parte del costo del sistema convencional. Además de esta ventaja, el sistema proporciona el tratamiento primario de cuya construcción y operación se encargan los usuarios.

La desventaja principal del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro es la necesidad que tienen de una evacuación y disposición periódica de los sólidos de cada tanque interceptor del sistema. La experiencia con el sistema es limitada y variada. En consecuencia y a pesar de sus obvias ventajas, éste debe ser usado con criterio y adoptado sólo en situaciones donde existan provisiones suficientes para asegurar una sólida organización para el mantenimiento. Esta organización debe ser capaz también de ejercitar un efectivo control sobre las conexiones al sistema. Deben tomarse precauciones especiales para prevenir las conexiones ilegales, ya que es posible que no se instalen tanques interceptores en dichas conexiones, y de esa manera se introduzcan sólidos en un sistema que no está diseñado para manejarlos. Esto podría crear serios problemas operacionales.

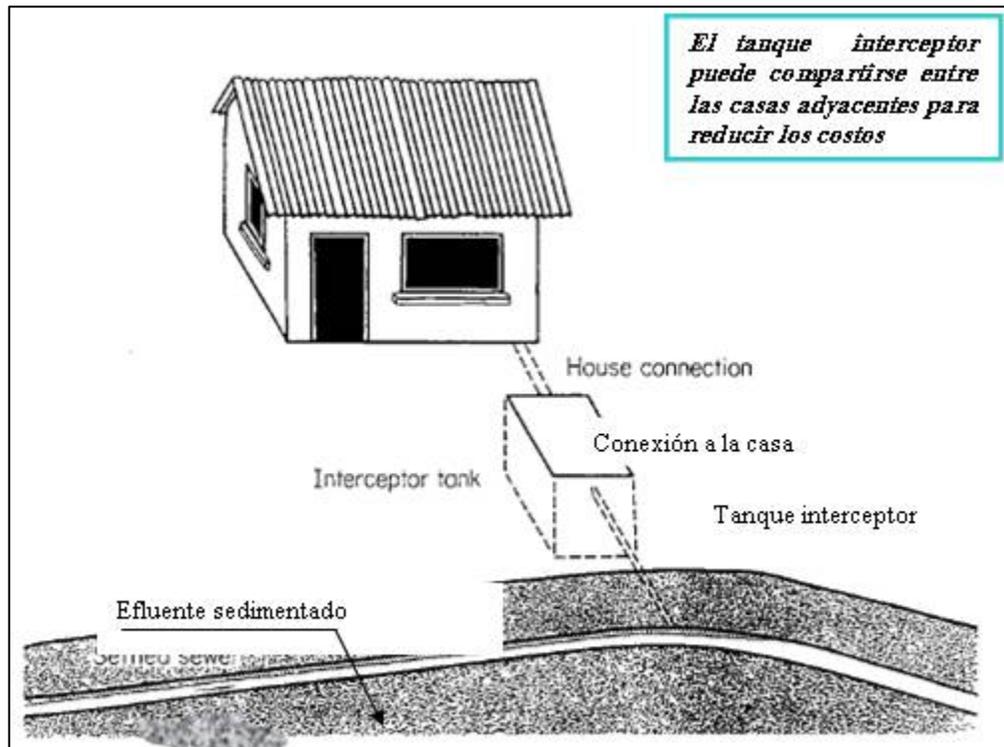
Otra desventaja de este sistema es que no puede manejar agua residual de tipo comercial que tenga alto contenido de arenisca o sólidos sedimentables. Los restaurantes pueden ser conectados si están equipados con trampa de grasas eficientes.

Los olores son el problema más común, se produce cuando el sulfuro de hidrógeno del efluente del tanque séptico escapa a la atmósfera, también cuando los sistemas de ventilación de la vivienda son inadecuados. Un diseño apropiado de ingeniería puede controlar los problemas de olor.

El sistema de alcantarillado de pequeño diámetro es un sistema que se adapta mejor para pequeñas comunidades, zonas periféricas, poblados costeros, etc. Se ha aplicado a lugares de baja densidad demográfica, a grandes terrenos en donde el suelo tiene bajos coeficientes de infiltración. El sistema también es apropiado para un grupo aislado de casas y asentamiento rurales. En los Estados Unidos existen ejemplos corrientes que están prestando servicios de 10 a 100 casas.

Además, estos sistemas son más eficientes en cuanto al costo cuando la densidad de las viviendas es reducida, el terreno presenta ondulaciones de magnitud moderada, y la elevación final del sistema es menor a toda o casi toda el área de servicio. Los sistemas también pueden ser efectivos en donde el terreno es demasiado plano para instalar alcantarillados convencionales sin que se requieran excavaciones profundas, en donde el suelo es rocoso o inestable o en donde el nivel freático es elevado.

Finalmente, este sistema es apropiado para que las comunidades tengan un bajo consumo de agua, quizás menores a 30 l/hab/día.



**Figura 3. Diagrama esquemático del alcantarillado de pequeño diámetro.**

#### **5.4. Alcantarillado condominial**

El sistema de alcantarillado condominial se origina en Brasil en la década de los años 80 como una alternativa de menor costo al sistema convencional. Las características básicas de este sistema son las siguientes:

- Los colectores frecuentemente son tendidos interiormente a las viviendas, partiendo de las instalaciones sanitarias del lote, siguiendo el recorrido más favorable de acuerdo a la pendiente del terreno y evitando excavaciones profundas. Las redes también podrán ser trazadas exteriormente a las viviendas, a través de jardines y veredas, como en el alcantarillado simplificado. De esta manera es posible obtener ahorros sustanciales en cuanto a la longitud, el diámetro y la profundidad de las tuberías empleadas.
- El trazado de las redes deberán hacerse siguiendo el criterio de servir a bloques urbanos vistos como una sola unidad, en lugar de servir a lotes de manera individual. Al conjunto de lotes que funcionan como unidad de servicio se le denomina “condominio” y se le define como el grupo de lotes (manzana) que es atendido por una misma red o tubería condominial (véase figura 4). Cada manzana es considerada como si fuera la proyección horizontal de un edificio. De esta manera, las redes condominiales dentro de una cuadra se construyen a lo largo de las propiedades privadas de sucesivas (lotes) con el permiso de los dueños.

- Este sistema es aplicable tanto a áreas planeadas como no planeadas (véase figura 4).
- Los elementos de inspección y mantenimiento de redes son sencillos y de bajo costo de construcción.
- Para adoptar el modelo condominial es importante e imprescindible integrar el trabajo social y la participación comunitaria con los aspectos técnicos de ingeniería y diseño. El diseño definitivo del sistema se elaborará luego de la participación de la comunidad beneficiaria. El diseño preliminar será solamente referencial con los elementos necesarios para la definición de los metrados principales y los correspondientes presupuestos para la contratación de las obras.
- El modelo condominial implica, por lo tanto, un enfoque global no sólo respecto del diseño de ingeniería y su puesta en funcionamiento, sino también desde el punto de vista de la participación comunitaria o intervención social en todas las fases del proceso así como en la adquisición de conocimientos por los usuarios a través de la educación sanitaria y ambiental. Al involucrar al usuario en todo el proceso - planificación y diseño, construcción y mantenimiento de las redes- es posible lograr una reducción aun mayor de los costos.

Las aguas residuales recolectadas y transportadas por las redes condominiales serán descargadas a una red principal, la cual podrá ser diseñada bajo los criterios de una red convencional (véase figura 4).

Al igual que el sistema simplificado el alcantarillado condominial será apropiado para zonas de alta densidad poblacional y donde el consumo de agua sea por lo menos 60 l/hab/día.

Las ventajas del sistema condominial respecto al sistema convencional se puede resumir en lo siguiente:

*En la construcción:*

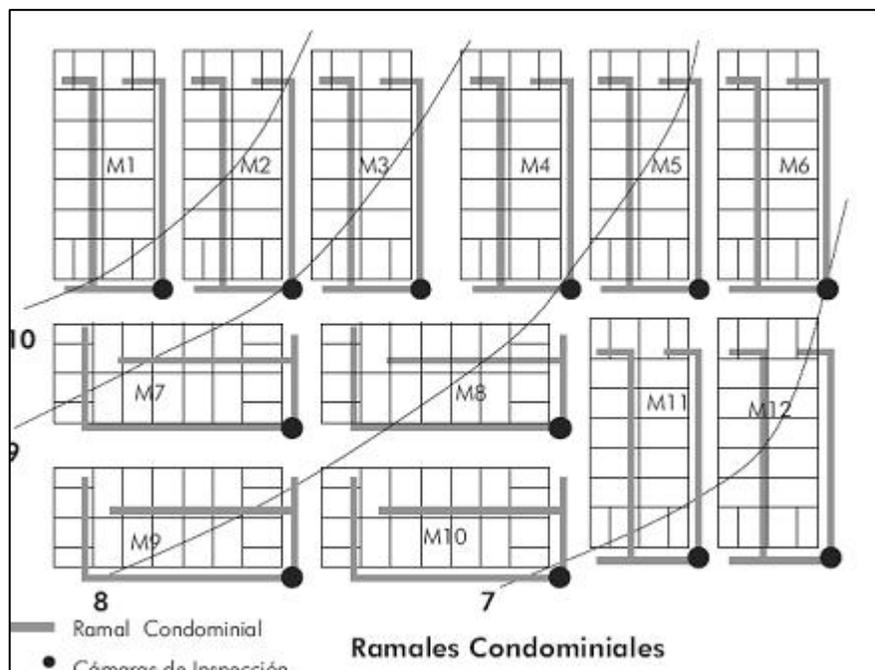
- Menor extensión de redes.
- Menores profundidades de cavado.
- Menores diámetros de tuberías.
- Menor cantidad de elementos de inspección.
- Reducción de pérdidas para el operador, dado que hay un mayor control por parte de las organizaciones condominiales.
- En consecuencia, menor costo de inversión.

*En la operación y mantenimiento:*

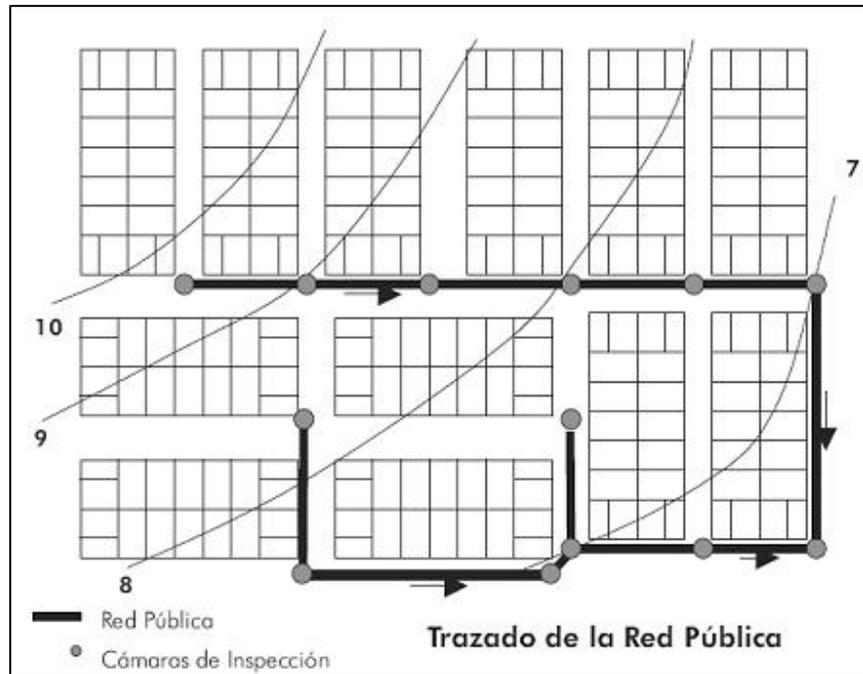
- Independencia entre ramales y redes.
- Sistema sectorizado por condominios.
- Mayor facilidad para operación y mantenimiento.
- Utilización de equipos más sencillos para operación y mantenimiento.
- En consecuencia, menores costos en operación y mantenimiento.

Adicionalmente, el componente social que caracteriza al sistema condominial, genera entre otras las siguientes ventajas:

- La participación de los usuarios en la construcción, operación y mantenimiento, permite menores costos de implantación y promueve una mejor utilización del sistema de alcantarillado.
- La solución técnica es el resultado de un proceso de decisión participativa de los usuarios, lo cual contribuye a una mayor apropiación por parte de éstos y consecuentemente, a su sostenibilidad.
- Los usuarios son los principales beneficiarios del ahorro que representa la implantación del sistema condominial



**Figura 4. Esquema de una red de alcantarillado condominial.**



a.- Trazado de una red condominial en un área planeada

b. – Red pública en un área planeada

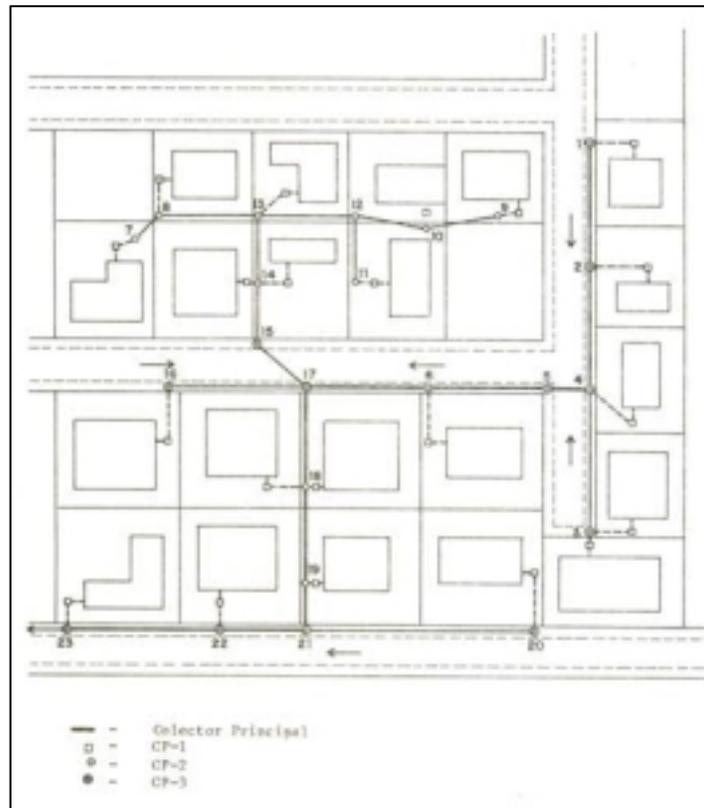


Figura 4c. Trazado de redes condominiales en áreas no planeadas.

## **6. Parámetros de diseño**

### **6.1. Periodo de diseño**

El período de diseño permite definir el tamaño del proyecto en base a la población a ser atendida al final del mismo. Si el período de un proyecto es corto, inicialmente el sistema requerirá una inversión menor, pero luego exigirá inversiones sucesivas de acuerdo con el crecimiento de la población. Por otro lado, la ejecución de un proyecto con un período de diseño mayor requerirá mayor inversión inicial, pero luego no necesitará de nuevas inversiones por un buen tiempo.

Además, con periodos de diseño largos, el flujo en las alcantarillas estará por muchos años debajo del caudal de diseño, por lo cual las velocidades serán menores a las previstas y el desempeño del sistema será menor al esperado.

En proyectos de alcantarillado en el medio rural se recomienda asumir periodos de diseño relativamente cortos, del orden de 20 años, considerando la construcción por etapas, con el fin que se reduzca al mínimo y se puedan ajustar los posibles errores en las estimaciones de crecimiento de población y su consumo de agua.

Otro criterio que podría considerarse, es el que relaciona el periodo de diseño con el tamaño de la población del proyecto, tal como se muestra a continuación:

- Localidades de 1 000 a 15 000 habitantes : 10 a 15 años.
- Localidades de 15 000 a 50 000 habitantes : 15 a 20 años.

### **6.2. Población del proyecto**

La cantidad de alcantarillado sanitario que se construirá en una comunidad depende de la población beneficiada y de su distribución espacial. Los tipos de población que normalmente se toman en cuenta son:

Población actual, es la población existente en el momento de la elaboración de los diseños de ingeniería.

Población al inicio del proyecto, es la población que va a existir en el área estudiada al inicio del funcionamiento de las redes. Cabe observar que entre la población actual y esta población puede haber una diferencia significativa, en función del tiempo de implantación de las obras.

Población al fin del proyecto, es la población que va a contribuir para el sistema de alcantarillado, al final del período del proyecto.

Para estimar estas poblaciones, serán necesarios, por lo menos, los dos estudios que se explican a continuación. Los resultados de ambos deberán evaluarse y definir la opción más probable:

El primer estudio pondrá énfasis en la población futura, resultante de la ocupación total del área de acuerdo al plan maestro de desarrollo urbano o plan regulador de uso de suelo establecido por el municipio. El resultado será la población de saturación, producto del número de viviendas por la densidad de ocupación prevista; pero sin referencia temporal.

El segundo estudio se relaciona con el crecimiento de la población en función del tiempo, a partir de la población verificada al inicio mediante datos censales en el área de proyecto y tasas de crecimiento anual, sin considerar las limitaciones del plan regulador. El proyectista deberá tener cierta precaución en utilizar la tasa promedio más representativa del crecimiento de la población en base a datos censales otorgadas por el organismo oficial que regula estos indicadores.

Además, se tendrá que tomar en cuenta que el número de habitantes por vivienda y la densidad de ocupación, generalmente, tienen relación directa con el nivel de ingresos de la comunidad. En áreas de altos ingresos, el número medio de personas en una vivienda puede ser de 3,5 hab / vivienda. En áreas de bajos ingresos, este número puede llegar a ser tan alto como 10 hab / vivienda. Para las proyecciones se deberá obtener una cifra real de la densidad ocupacional basada en los levantamientos demográficos realizados durante la caracterización del área. Los valores siguientes pueden ser considerados como una primera referencia de la densidad de ocupación:

**Cuadro 1. Densidad poblacional.**

Tipo de zona según nivel de ingresos	Densidad poblacional (hab/vivienda)
Alto	4,0
Medio	5,5
Bajo	7,0

Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas con dominiales de alcantarillado sanitario. Programa de Agua y Saneamiento. Bolivia

Por último, es importante prever la ocurrencia de casos poco comunes en los que la población del área del proyecto cambia repentinamente, ya sea por la construcción de algún núcleo habitacional grande, o por ejemplo por el eventual retiro de algún asentamiento.

El proyecto de alcantarillado sanitario se deberá entender, no como un servicio público independiente, sino como un componente del proceso de desarrollo urbano.

### **6.3. Dotación**

Los estimados de los flujos de aguas residuales provenientes de las viviendas se basan comúnmente en el consumo de agua de la familia. Por esto, para diseñar el sistema de alcantarillado, habrá que definir la dotación de agua potable por habitante. La dotación, a su vez, dependerá del clima, el tamaño de la población, características económicas, culturales, información sobre el consumo medido en la zona, etc.

El agua que se consume en las casas de bajos ingresos lo es sustancialmente para fines higiénicos y alimenticios. Existe en la literatura brasileña un estudio publicado en 1905, que estableció el consumo promedio diario por individuo (véase cuadro 2) y que está muy próximo a los consumos actualmente observados empíricamente en las áreas pobres del Brasil, pudiendo admitirse como referencia en los cálculos de las redes de alcantarillado. De cualquier modo, siempre que fuera posible, se deberá emplear datos que se puedan obtener en el mismo lugar del proyecto.

**Cuadro 2. Consumo promedio diario de agua por individuo.**

<b>Naturaleza</b>	<b>Consumo (l/hab/día)</b>
Bebida	2
Preparación de alimentos	6
Lavado de utensilios	2 - 9
Lavado de manos y cara	5
Baño	10 - 30
Lavado de ropa	1a - 15
Limpieza de recipientes sanitarios	9 - 10 b
Pérdidas eventuales	6 - 13
<b>Total</b>	<b>50 - 90</b>

Fuente: Manual de redes de alcantarillado simplificado.

Quizás uno de los factores que más influye en el consumo de agua de una población sea su nivel de ingresos, en el cuadro 3 se muestra, como referencia, niveles de ingreso y su respectivo consumo de agua.

**Cuadro 3. Ingresos y dotación de agua.**

<b>Tipo de área a ser atendida según nivel de ingresos</b>	<b>Dotación per cápita (L/hab/día)</b>
Alto	250-180
Medio	180-120
Bajo	120-80

Fuente: Manual de diseño y construcción de sistemas con dominiales de alcantarillado sanitario. Programa de Agua y Saneamiento. Bolivia

No se deben considerar factibles los flujos que excedan los 120 l/hab/día en las comunidades de bajos ingresos, ya que indican un fuerte derroche de agua, suponer valores mayores de consumo son injustificados y conducirá a soluciones excesivamente costosas y, por consiguiente, inalcanzables.

#### **6.4. Caudales de aguas residuales**

Para determinar el caudal de aguas residuales que se utilizará en el diseño de los sistemas de alcantarillado, se debe considerar los siguientes factores:

##### *6.4.1. Factor de retorno (C)*

La cantidad de aguas residuales generada por una comunidad es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas a través del riego de jardines, abrevado de animales, limpieza de viviendas y otros usos externos. El porcentaje de agua distribuida que se pierde y no ingresa a las redes de alcantarillado, depende de diversos factores, entre los cuales están: los hábitos y valores de la población, las características de la comunidad, la dotación de agua, y las variaciones del consumo según las estaciones climáticas de la población. En áreas áridas de Estados Unidos, por ejemplo, el factor de retorno es tan pequeño como 0,4, mientras que en las zonas peri urbanas de Brasil es mayor, 0,8, sin embargo, en los proyectos se han empleado valores más bajos, 0,65.

Es recomendable estimar este factor en base a información y estudios locales, sin embargo, cuando no puedan ser realizados es recomendable asumir valores entre 0,80 a 0,85.

##### *6.4.2. Caudal de infiltración ( $Q_i$ )*

El caudal de infiltración incluye el agua del subsuelo que penetra las redes de alcantarillado, a través de las paredes de tuberías defectuosas, uniones de tuberías, conexiones, y las estructuras de los pozos de visita, cajas de paso, terminales de limpieza, etc.

El caudal de infiltración se determinará considerando los siguientes aspectos:

- Altura del nivel freático sobre el fondo del colector.
- Permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual.
- Dimensiones, estado y tipo de alcantarillas, y cuidado en la construcción de cámaras de inspección.
- Material de la tubería y tipo de unión.

En el cuadro 4, se recomienda tasas de infiltración en base al tipo de tubería, al tipo de unión y la situación de la tubería respecto a las aguas subterráneas.

**Cuadro 4. Valores de infiltración en tuberías.**

	Caudales de Infiltración (l/s/km)							
	Tubo de cemento		Tubo de arcilla		Tubo de arcilla vitrificada		Tubo de P.V.C	
Unión	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma
Nivel Freático bajo	0,5	0,2	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1	<b>0,05</b>
Nivel Freático alto	0,8	0,2	0,7	0,1	0,3	0,1	0,15	0,5

Fuente: Norma Boliviana NB 688-01 de Alcantarillado Sanitario

#### 6.4.3. Caudal por conexiones erradas ( $Q_e$ )

Se deben considerar los caudales provenientes de malas conexiones o conexiones erradas, así como las conexiones clandestinas de patios domiciliarios que incorporan al sistema aguas pluviales. El caudal por conexiones erradas puede ser del 5% al 10% del caudal máximo horario de aguas residuales.

#### 6.4.4. Caudales concentrados ( $Q_c$ )

Son contribuciones debido a instalaciones no habitacionales que presentan un consumo bastante superior al domestico, son caudales sobretodo correspondientes a descargas de industrias pequeñas o de establecimientos comerciales.

#### 6.4.5. Coeficiente de flujo máximo ( $K$ )

La relación entre el caudal medio diario y el caudal máximo horario se denomina “coeficiente de flujo máximo”. Este coeficiente varía de acuerdo a los mismos factores que influye en la variación de los caudales de abastecimiento de agua (clima, patrón de vida, hábitos, etc.), pero es afectado en menor intensidad, en función al porcentaje de agua suministrada que retorna a las alcantarillas y al efecto regulador del flujo a lo largo de los conductos de alcantarillado, que tiende a disminuir los caudales máximos y a elevar los mínimos.

El coeficiente de flujo máximo podrá ser obtenido mediante las siguientes ecuaciones, es importante observar que este coeficiente tiene una relación inversa con el tamaño de la población:

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (\text{Harmon}) \quad (6.1)$$

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = \frac{5}{P^{0.2}} \quad (\text{Babbit}) \quad (6.2)$$

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = \frac{7}{P^{0.1}} \quad (\text{Flores}) \quad (6.3)$$

$$K = K_1 \times K_2$$

Donde:

- P = Población en millares de habitantes.
- p = Población en habitantes.
- K1 = Relación entre caudal máximo diario y el caudal medio diario, igual a 1,2.
- K2 = Relación entre caudal máximo horario y el caudal medio horario, igual a 1,5.

#### 6.4.6. Caudal de diseño

Los caudales que discurrirán a través de las redes de alcantarilla para el inicio y fin del proyecto se calculan de la siguiente manera:

##### ✓ Caudal medio

$$Q_{med} = \frac{C \times P \times \dot{D}}{86400} \quad (6.4)$$

Donde:

- Q = Caudal medio.
- C = Coeficiente de retorno (0.80)
- P = Población que puede ser de acuerdo al cálculo del caudal máximo o mínimo.
- Pi = Población al iniciar el funcionamiento del sistema.
- Pf = Población para el alcance del proyecto.
- Dot = Consumo promedio de agua, en litros por persona por día.

##### ✓ Caudal máximo horario

$$Q_{mh} = K \times Q_{med} \quad (6.5)$$

Donde:

- Qmh = Caudal máximo horario
- K = Coeficiente de flujo máximo

##### ✓ Caudal de diseño

El dimensionamiento de los conductos deberá atender los máximos caudales de descarga según la siguiente expresión:

$$Q_d = Q_{mh} + Q_i + Q_e + Q_c \quad (6.6)$$

Donde:

- Q<sub>mh</sub> = Caudal máximo horario.
- Q<sub>i</sub> = Caudal de infiltración.
- Q<sub>e</sub> = Caudal por conexiones erradas.
- Q<sub>c</sub> = Caudal concentrado en un punto de las redes.

✓ Caudal por tramos en la red

Para el cálculo del caudal en cada tramo de la red, se debe tomar el caudal máximo de contribución (ecuación 6.5), luego dividirla por el tamaño total de la red, obteniendo el caudal unitario (Q<sub>u</sub>), en L/(s.km) de red:

$$Q_u = \frac{Q_{mh}}{L} \quad (6.7)$$

Donde:

L = tamaño de la red.

Para el cálculo de la contribución de desagües en un tramo, basta multiplicar el tamaño de la red aguas arriba, incluyendo el tramo en cálculo, por el caudal unitario y por la tasa de infiltración (Q<sub>i</sub>), sumando a continuación los caudales concentrados que han sido descargados en la red:

$$Q = (Q_u + T_i) L_m + Q_c \quad (6.8)$$

Donde:

L<sub>m</sub>=tamaño de la red aguas arriba, que incluye el tramo en calculo.

Existe otro método para el cálculo de caudales en cada tramo de le red, en el cual los caudales para el diseño de cada tramo serán obtenidos en función a su área tributaria. Para la delimitación de áreas se tomará en cuenta el trazado de colectores, asignando áreas proporcionales de acuerdo a las figuras geométricas que el trazado configura, la unidad de medida será la hectárea (Ha).

El caudal de diseño será el que resulte de multiplicar el caudal unitario (l/s/Ha) por su área correspondiente. El tramo podrá recibir caudales adicionales de aporte no doméstico (industria, comercio y público) como descarga concentrada.

## 7. Diseño de redes de alcantarillado

El diseño de un sistema de alcantarillado por gravedad se realiza considerando que durante su funcionamiento, se debe cumplir la condición de autolimpieza para limitar la sedimentación de arena y otras sustancias sedimentables (heces y otros productos de desecho) en los colectores. La eliminación continua de sedimentos es costosa y en caso de falta de mantenimiento se pueden generar problemas de obstrucción y taponamiento. En el caso de flujo en canales abiertos la condición de autolimpieza está determinada por la pendiente del conducto. Para tuberías de alcantarillado, la pendiente mínima puede ser calculada utilizando el criterio de velocidad mínima o el criterio de la tensión tractiva

Los criterios de diseño empleados en los sistemas de alcantarillado estudiados anteriormente son similares, a continuación se explica cada uno de ellos.

### 7.1. Formulas para el diseño

Considerando que el flujo en las tuberías de alcantarillado será uniforme y permanente, donde el caudal y la velocidad media permanecen constantes en una determinada longitud de conducto, para los cálculos hidráulicos se pueden emplear las siguientes ecuaciones:

#### 7.1.1. Fórmula de Ganguillet – Kutter

El cálculo de la velocidad es mediante la ecuación de Chezy:

$$V = C \sqrt{R S} \quad (7.1)$$

El valor del coeficiente de descarga de C de Chezy, de acuerdo a Ganguillet – Kutter es:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (7.2)$$

Donde:

- V = Velocidad (m/s)
- C = Coeficiente de descarga de Chezy.
- R = Radio hidráulico (m)
- S = Pendiente (m/m)
- N = Coeficiente de rugosidad

7.1.2. *Fórmula de Manning*

Tiene la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (7.3)$$

Donde:

- V = Velocidad (m/s).
- n = Coeficiente de rugosidad (adimensional).
- R = Radio hidráulico (m).
- S = Pendiente (m/m).

Para tuberías con sección llena:

$$\text{Velocidad: } V = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (7.4)$$

Continuidad:  $Q = V A$

$$\text{Caudal: } Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (7.5)$$

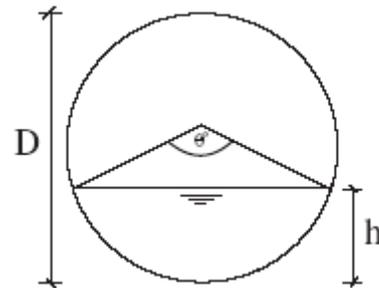
Para tuberías con sección parcialmente llena:

El grado central  $\theta$  en grado sexagesimal:

$$\theta = 2 \arccos \left( 1 - \frac{2h}{D} \right)$$

Radio hidráulico:

$$R = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{360 \text{sen } \theta}{2\pi} \right)$$



Velocidad:

$$V = \frac{0.397 D^{\frac{2}{3}}}{n} \left( 1 - \frac{360 \text{sen } \theta}{2\pi\theta} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (7.6)$$

Caudal:

$$Q = \frac{D^{\frac{8}{3}}}{7257.15 n (2\pi\theta)^{\frac{2}{3}}} (2\pi\theta - 360 \text{sen } \theta)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (7.7)$$

Analizando la ecuación de Manning se observa que la influencia del radio hidráulico sobre el caudal, al comparar tuberías de diámetros muy próximos y de características relativamente homogéneas, no es significativa. Este aspecto adquiere mayor importancia en las tuberías de diámetro reducido, de modo que en ellas la influencia del radio hidráulico puede no considerarse.

En base a este análisis Macedo (1987), determinó la ecuación de velocidad de flujo solo en función del caudal y la pendiente, la cual arroja resultados que tiene una desviación del 5% con respecto a los que se obtienen con la ecuación de Manning. Esta simplificación es solo aplicable para el diseño de redes de alcantarillado simplificadas (RAS), ramales condominiales y redes de aguas sedimentadas.

$$V = 2.81 Q^{\frac{1}{4}} S^{\frac{3}{8}} \quad (7.8)$$

Donde:

- Q = Caudal en la sección (L/s).
- V = Velocidad de flujo (m/s).
- S = Pendiente del colector (m/m).

## 7.2. *Coefficiente de rugosidad*

Para el diseño de alcantarillas nuevas y en la comprobación de la capacidad de alcantarillas existentes bien construidas, se recomienda emplear un coeficiente de rugosidad de Manning y Kutter-Ganguillet (n) de 0,013. Deberán utilizarse valores superiores de n en alcantarillas ya construidas, en las cuales se realice alguna de las siguientes observaciones: desgaste considerable, desviaciones en las alineaciones y pendientes, variaciones de las dimensiones interiores, existencia de sedimentos y construcción de baja calidad.

El valor de n de 0,013, se deberá emplear incluso con tuberías de materiales relativamente lisos como PVC o arcilla vitrificada, la resistencia al flujo de una tubería no depende principalmente de su tipo de material, mas bien de un conjunto de factores tales como: la capa de película biológica que se desarrolla en las paredes de las tuberías, el número de conexiones domiciliarias, pozos de registro y otras instalaciones complementarias que perturban el flujo permaneciendo invariables, independientemente del material del conducto.

Por tanto, teniendo en cuenta el grado de incertidumbre inherente al proyecto y construcción de alcantarillas, el valor de  $n$  a adoptar para el diseño de todos los sistemas de alcantarillado no debe de ser inferior de 0,013.

### **7.3. Flujo mínimo en las redes**

Los cálculos de diseño de alcantarillas convencionales asumen condiciones de estado constante. En la práctica el flujo en los tramos iniciales de las redes de alcantarillado son muy variables, dependiendo en cualquier momento, de la cantidad de ramales que descargan y los sanitarios que son evacuados.

De lejos, los flujos máximos ocurren ante la descarga de los inodoros sanitarios, los cuales se extienden como ondas a través de las redes, siendo amortiguados por la fricción en las paredes internas de los colectores y por su paso por las cámaras de inspección, a mayor recorrido por las redes el amortiguamiento es mayor.

Es recomendable emplear un “flujo mínimo” en el diseño de alcantarillas, especialmente en las que se encuentran en los tramos iniciales de la red o donde no se disponga información para los cálculos. Es decir, se deben emplear la ecuación (6.5) para calcular el caudal máximo horario (flujo pico), pero sujeto a un mínimo valor especificado.

El flujo pico mínimo aplicado en el diseño de alcantarillas, representa el flujo pico que resulta de la descarga de un inodoro sanitario. Si el flujo pico en el tramo del colector en consideración es menor que  $q_{\min}$ , entonces este último se utiliza en el diseño.

De acuerdo a la experiencia Brasileña el flujo pico mínimo se fija en 1,5 l/s, aunque originalmente se empleaba un valor de 2,2 l/s.

### **7.4. Criterio de velocidad**

El diseño de redes de alcantarillado se debe realizar en función de un caudal inicial ( $Q_i$ ), que es el caudal máximo al inicio del proyecto, y un caudal final ( $Q_f$ ), que es el caudal máximo al final del periodo de diseño. A “ $Q_i$ ” le corresponde la velocidad promedio mínima del flujo ( $V_i$ ) y a “ $Q_f$ ” la velocidad promedio máxima ( $V_f$ ). El cálculo de la velocidad mínima ( $V_i$ ), es para evitar la deposición excesiva de materiales sólidos, y la de la velocidad máxima ( $V_f$ ), es para evitar que ocurra la acción abrasiva de las partículas sólidas transportadas por las aguas residuales

#### **7.4.1. Velocidad mínima permisible**

La determinación de la velocidad mínima del flujo reviste fundamental importancia, pues permite verificar la autolimpieza de las alcantarillas en las horas, cuando el caudal de aguas residuales es mínimo y el potencial de deposición de sólidos en la red es máximo. A su vez, la velocidad mínima de autolimpieza es fundamental para conducir a la minimización de las pendientes de las redes colectoras, principalmente en áreas planas, haciendo posible economizar la excavación y reducir los costos.

El criterio de velocidad mínima se emplea desde hace más de un siglo. En el año 1880, George Waring Jr. diseñó el primer sistema separativo de Estados Unidos, considerando una velocidad mínima de 0,60 m/s para los caudales máximos. Waring, argumentó que si esa velocidad se alcanzaba por lo menos una vez al día, el sistema podría funcionar sin problemas.

La práctica normal es proyectar el alcantarillado con una pendiente que asegure una velocidad mínima de 0,60 m/s, cuando el flujo de diseño se produce a sección llena (75% del diámetro de la tubería) o semillena (50% del diámetros de la tubería). En el primer caso, cuando el tirante sea menor al máximo (75% D), las velocidades serán menores de 0,60 m/s. En el segundo caso, cuando el tirante es menor a la mitad del diámetro de la tubería, la velocidad será menor de 0,60 m/s, mientras que para tirantes mayores a la mitad del diámetro, la velocidad estará ligeramente superior de 0,60 m/s.

Macedo (1962), en base a la experiencia Brasileña, comentaba que “obedeciendo el límite mínimo de velocidad de 0,15 m/s en las horas de mínimo consumo, la auto limpieza estará garantizada si durante la ocurrencia del caudal máximo, ocurre por lo menos una velocidad de 0,6 m/s, simultáneamente con el tirante mojado mínimo necesario. En estas condiciones se removerán los sedimentos dejados por los caudales mínimos”.

Según Metcalf y Eddy (1995), la velocidad en la zona próxima a la solera de la alcantarilla tiene gran influencia sobre la velocidad global de circulación y que una velocidad media de 0,3 m/s es suficiente para evitar depósitos importantes de sólidos. Resultados similares se obtuvieron en Brasil, donde a principios de los años '80 se construyeron redes de alcantarillado, considerando una velocidad de 0,3 m/s, sin haberse comprobado que hubo perjuicios en el funcionamiento de la red.

Estos mismos investigadores han dejado entrever que la calidad esperada para la construcción de las alcantarillas influye en la selección de la velocidad mínima, si se espera una construcción con mano de obra no especializada y con materiales de relativa calidad se tendría que fijar un valor conservador de velocidad y viceversa si se espera una alta calidad de construcción, la velocidad que se selecciona para el diseño podría ser menor.

Con el desarrollo del alcantarillado simplificado, surgieron nuevos criterios de velocidad para asegura la condición de auto limpieza en las tuberías. A continuación se mencionan estos criterios, los cuales también pueden aplicarse para el diseño de colectores condominiales.

Según Azevedo-Netto (1992), no es la mejor opción considerar la velocidad del flujo en la sección total o en la mitad de la sección, por que estas velocidades se producen en situaciones específicas que no corresponden a casos prácticos. Es más exacto controlar las velocidades que corresponden a los flujos estimados. Para la velocidad mínima se deberá considerar el caudal máximo en la etapa inicial del proyecto y la velocidad máxima se calcula para el flujo máximo al final del periodo de diseño.

La velocidad mínima no debe ser menor de 0,45 ó 0,50 m/s. Es mejor aceptar un valor inferior para el flujo “real”, que fijar un valor mayor para un flujo hipotético (sección llena o semillena).

La velocidad mínima se deberá calcular para un tirante mojado de 0,20 veces el diámetro de la tubería y la velocidad máxima para un tirante de 0,8 veces el diámetro.

En las redes de alcantarillado de pequeño diámetro, no es necesario mantener una velocidad mínima de autolimpieza, ya que estas se diseñan para recolectar solamente la fase líquida del agua residual. Sin embargo, las velocidades a lo largo de las tuberías deben ser mayores que la velocidad mínima requerida para transportar mezclas de aire o gases con líquidos en tuberías descendientes después de las curvas:

$$V \geq 1.36 \sqrt{9.8 D \text{ sen}\phi} \quad (7.9)$$

Donde:

- V = Velocidad en la red (m/s)
- D = Diámetro de la tubería.
- $\phi$  = Angulo de inflexión de la red.

#### 7.4.2. Determinación de la velocidad máxima

Como se mencionó anteriormente, la acción erosiva sobre la tubería es el factor más importante a efecto de la determinación de la velocidad máxima de las aguas residuales.

Considerando los valores máximos de velocidad hay dos condiciones que observar

- De los resultados de una amplia investigación hecha en Holanda se desprende que una velocidad de flujo entre 4,0 y 5,0 m/s causa menos erosión que las velocidades entre 2,5 y 4,0 m/s.
- Se debe evitar la mezcla de aguas residuales y aire, limitando velocidades más de 5 m/s.

Por tanto, es recomendable calcular la máxima pendiente admisible para una velocidad final  $V_f = 5$  m/s.

Por otro lado, cuando la velocidad final ( $V_f$ ) sea superior a la velocidad crítica ( $V_c$ ), la altura máxima de lámina líquida admisible debe ser 0,5 del diámetro del colector, asegurando la ventilación del tramo. La velocidad crítica es definida por:

$$V_c = 6 \sqrt{gR} \quad (7.10)$$

Donde:

- V<sub>c</sub> = Velocidad crítica (m/s)  
g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)  
R = Radio hidráulico (m)

### 7.5. *Tirante de Agua*

El alcantarillado convencional usualmente se calcula para transportar el caudal de diseño, con una altura de flujo del 75% del diámetro de la tubería, no permitiéndose en ningún momento que la alcantarilla trabaje a presión. Este criterio de diseño no especifica un valor de nivel de agua mínimo en la alcantarilla. Una publicación Brasileña (1985), indica que existen dos razones por el cual los sistemas convencionales eran diseñados sin considerar este criterio: a) Falta de estudios que sustente la adopción de un valor límite mínimo y b) Convencimiento de los diseñadores que no era necesario, en vista de la existencia de pruebas respecto a que las descargas frecuentes en la red, facilitan la resuspensión del material depositado cuando el agua discurre con tirantes mínimos.

Estudios mas recientes recomiendan mantener el nivel de agua en las alcantarillas por encima del 20% del diámetro de la tubería (0,2 D). Con esta profundidad de flujo la velocidad será cerca del 56% de la velocidad con la sección total (75% D). Si la velocidad en un colector que va lleno es de 0,6 m/s, la velocidad con 0,2 D resultaría en 0,34 m/s. Para tener una velocidad de flujo de 0,45 m/s con 0,2 D, la velocidad en la sección total tiene que ser 0,80 m/s.

Los mismos estudios recomiendan fijar el nivel máximo de agua en la alcantarilla en el 80% del diámetro (0,8 D). Es fácilmente demostrable que con este nivel en un colector circular se alcanza la velocidad más alta. La parte vacía de la sección por encima de 0,8 D se emplea para ventilación, movimiento de los gases, sirviendo además para los flujos excepcionales.

Por tanto, el diseño de redes simplificadas y con dominiales, recogiendo las recomendaciones de estos estudios considera mantener el nivel de agua en las alcantarillas en el siguiente rango:

$$0.2D < h / D < 0.8D \quad (7.11)$$

Donde:

- h = Nivel de agua en la tubería.  
D = Diámetro de la tubería.

### 7.6. *Criterio de la tensión tractiva*

Se considera que este método es el más práctico para calcular alcantarillas que tiene en cuenta la configuración y la sección mojada del conducto. Su aplicación permite el control de la erosión, la sedimentación y la producción de sulfuros, principalmente, en

zonas de topografía plana, donde la aplicación del criterio de velocidad mínima arroja resultados menos ventajosos en términos de diámetro, pendiente y profundidad de tuberías. Las normas de alcantarillado de países como Bolivia y Brasil incluye este criterio para el diseño de colectores.

### 7.6.1. Tensión tractiva

La tensión tractiva ó fuerza de arrastre ( $\tau$ ), es la fuerza tangencial por unidad de área mojada ejercida por el flujo de aguas residuales sobre un colector y en consecuencia sobre el material depositado. Como se muestra en la figura 5, en la masa de aguas residuales de un tramo de colector de longitud  $L$ , con área de sección transversal  $A$  y perímetro mojado  $P$ , la tracción tractiva estará dada por el componente del peso ( $W$ ) en dirección del flujo dividido por el área mojada:

$$\tau = \frac{W \sin \phi}{P L}$$

Donde:

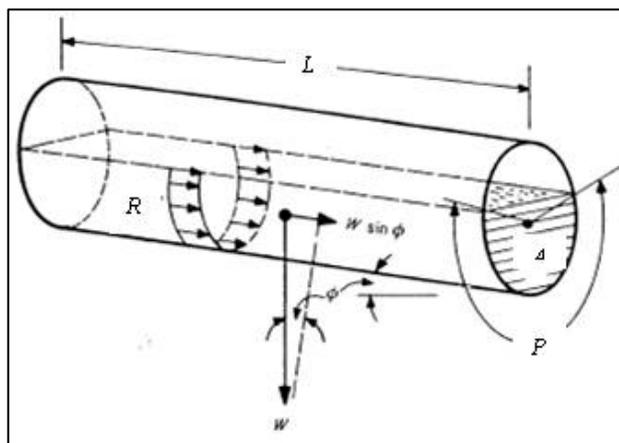
- $\tau$  = Tensión tractiva ( $\text{N/m}^2$ , Pa)
- $P$  = Perímetro mojado (m).
- $L$  = Longitud (m)
- $W$  = Peso (Newtons)

El peso ( $W$ ) está dado por:

$$W = \rho g A L$$

Donde:

- $\rho$  = Densidad de aguas residuales ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).



**Figura 5.- Definición de parámetros para tensión tractiva en un colector circular**

Si se considera que  $A/P$  es el radio hidráulico,  $R$ :

$$\tau = \rho g R \text{sen}\phi$$

Cuando  $\phi$  es pequeño,  $\text{sen}\phi = \tan\phi$ , y como la  $\tan\phi$  es la gradiente del colector,  $S$  (m/m), la ecuación de tensión tractiva puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\tau = \rho g R S \quad (7.12)$$

La pendiente del colector será calculada con el criterio de la tensión tractiva, según la ecuación 7.12.

Pendiente para tuberías con sección llena:

$$S = \frac{\tau}{\rho g \frac{D}{4}} \quad (7.13)$$

Pendiente para tuberías parcialmente llenas:

$$S = \frac{\tau}{\rho g \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{360 \text{sen}\theta}{2\pi\theta} \right)} \quad (7.14)$$

### 7.6.2. Tensión tractiva mínima

La tensión tractiva mínima para los sistemas de alcantarillado deberá tener como valor mínimo:

$$\tau_{\text{min}} = 1 \text{ Pa} \quad (7.15)$$

En los tramos iniciales de los colectores (arranque), en los cuales se presentan bajos caudales promedio tanto al inicio como al fin del periodo de diseño, se recomienda calcular la pendiente con una tensión tractiva de 1 Pa, y posteriormente, su verificación con caudales de aporte reales, no deberá ser menor a 0,6 Pa.

Mara (2000), indica que cuando existen dudas sobre la calidad de la construcción, debido a la calidad de los materiales de construcción, podría ser apropiado un valor mínimo de tensión tractiva de 1.5 Pa.

## 7.7. *Pendientes de alcantarillas*

### 7.7.1. *Pendiente mínima*

El diseño usual del alcantarillado convencional considera que la pendiente mínima que tendrá una alcantarilla, viene dada por la inclinación de la tubería con la cual se lograra mantener la velocidad mínima de 0,6 m/s, transportando el caudal máximo con un nivel de agua del 75% (0,75 D) del diámetro.

De no conseguirse condiciones de flujo favorables debido al pequeño caudal evacuado, en los tramos iniciales de cada colector (primeros 300 m) se deberá mantener una pendiente mínima del 0,8%.

La pendiente mínima de las redes simplificadas y condominiales, deberá calcularse para una tensión tractiva media mínima de  $\tau=1$  Pa y para un coeficiente de Manning de 0,013, la relación aproximada que satisface esta condición, de acuerdo a la norma Brasileña de alcantarillado, es la siguiente:

$$S_{\min} = 0.0055 Q_i^{-0.47} \quad (7.16)$$

Donde:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \text{m/m} \\ Q_i &= \text{flujo máximo de diseño l/s.} \end{aligned}$$

Si reemplazamos en la ecuación (7.16)  $Q_i = q_{\min} = 1,5$  l/s, para obtener la pendiente mínima en los tramos iniciales de los colectores, se obtiene un valor de  $4,55 \times 10^{-3}$  m/m ó 1/220, esta cifra podrá redondearse a 1/200 ó 5 por mil.

Esta pendiente es más ventajosa que la pendiente mínima recomendada en el diseño de redes convencionales (8 por mil), los costos de construcción se reducen debido a que demanda menores profundidades de instalación para las tuberías y a su vez menores costos de excavación, especialmente en zonas de topografía plana.

Para un coeficiente de Manning diferente de 0,013, los valores de tensión tractiva media o pendiente mínima a adoptar deben ser justificados.

Otro método para el calculo de la pendiente mínima de un colector, especificada en la Norma Boliviana de alcantarillado, es la que relaciona los caudales medio diario en la etapa inicial del proyecto ( $Q_{mi}$ ) y el caudal máximo de diseño ( $Q_{ll}$ ).

De acuerdo a este criterio la  $S_{min}$  debe determinarse para garantizar la condición de autolimpieza, desde la etapa inicial del proyecto, de acuerdo a la siguiente relación de caudales:

$$\frac{Q_{mi}}{Q_{II}} = 0.10 \text{ a } 0.15(10\% \text{ a } 15\%) \quad (7.17)$$

La pendiente mínima admisible en este caso será calculada de la siguiente forma:

- $\frac{Q_{mi}}{Q_{II}} = 0.10 \Rightarrow \frac{h}{D} = 0.2136 \therefore \theta \Rightarrow 2 \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right) = 110.11^\circ \Rightarrow RH = 0.1278D$

$$S_{min} = \frac{\tau_{min}}{\rho g RH} = \frac{\tau_{min}}{\rho g 0.1278D} \text{ (m/m)}$$

- $\frac{Q_{mi}}{Q_{II}} = 0.15 \Rightarrow \frac{h}{D} = 0.2618 \therefore \theta \Rightarrow 2 \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right) = 123.10^\circ \Rightarrow RH = 0.1525D$

$$S_{min} = \frac{\tau_{min}}{\rho g RH} = \frac{\tau_{min}}{\rho g 0.1525D} \text{ (m/m)}$$

Mara y Peña (2002), comparando las normas de diseño Brasileño y Boliviano, manifiestan lo siguiente: “A manera de conclusión, comparado con el actual procedimiento de diseño Brasileño, la norma Boliviana para el diseño de alcantarillado condominial es muy conservativa; específicamente la falta de consideración de un valor para  $q_{min}$ , resulta en gradientes innecesariamente mas pronunciados. Esto no solo incrementa los costos de la tecnología (particularmente en zonas planas) sino que además reduce el numero de usuarios que pueden ser servidos por cada tamaño de colector”.

#### 7.7.2. Pendiente máxima admisible

La pendiente máxima admisible será calculada para la velocidad máxima permisible.

#### 7.8. Diámetro mínimo de alcantarillas

Los criterios de diseño de las redes convencionales especifican que el diámetro mínimo de las alcantarillas será 200 mm (8”), tanto en habitaciones de uso de vivienda como de uso industrial.

Excepcionalmente y sólo en habilitaciones de uso de vivienda, podrá utilizarse alcantarillas de 150 mm (6") de diámetro; siempre y cuando su necesidad se sustente en mejores condiciones hidráulicas de funcionamiento o por su ubicación en zonas accidentadas con calles angostas, pero de fuertes pendientes.

En el sistema simplificado se recomienda adoptar tuberías de diámetros más pequeños, ya que en los tramos iniciales de la red donde el caudal es bajo, causa mayor nivel del flujo y grandes velocidades, implementado la autolimpieza. La experiencia en otros países, Latinoamérica y Estados Unidos, muestra que las alcantarillas con diámetros de 150 mm (6") instaladas en avenidas, no presentan mayores problemas de mantenimiento que los causados por las alcantarillas convencionales. En Brasil para ramales de alcantarillado de zonas residenciales se usa diámetro mínimo de 100 mm, considerando una longitud máxima de 400 m. El diámetro de 100 mm es usualmente especificado para calles no pavimentadas de comunidades peri urbanas.

Por tanto, el diámetro mínimo que se recomienda en el diseño de redes simplificadas es 150 mm (6"), siendo limitado el uso de las tuberías de 100 mm (4") para los casos donde se justifique técnicamente su requerimiento.

El diámetro mínimo a emplear en las redes condominiales será 100 mm, de las experiencias de Brasil y Bolivia no se ha reportado problemas mayores usando tuberías de este diámetro.

En los sistemas de pequeño diámetro las tuberías pueden ser de 75 mm (3") o mayores, pero el tamaño mínimo recomendado de la tubería es 100 mm (4") ya que las tuberías de 75 mm no se consiguen fácilmente y tienen que ser encargadas sobre pedido.

A continuación, se describe una secuencia de cálculo que se recomienda para el diseño de alcantarillas simplificadas y condominiales:

- a) Calcular los caudales inicial y final de aguas residuales ( $Q_i$  y  $Q_f$ , respectivamente, en L/s), que son los caudales en el inicio y final del periodo de diseño.
- b) Si el caudal calculado es menor el caudal mínimo pico diario de 1,5 L/s, entonces usar este valor para  $Q_i$ .
- c) Calcular la  $S_{min}$  con la ecuación 7,16. con  $q=Q_i$ .
- d) Calcular el diámetro con la ecuación 7,7 usando  $q=Q_f$ , nuevamente sujeto a un caudal mínimo de 1,5 L/s y para un tirante de 0,8D.

En este procedimiento, el valor del caudal mínimo ( $Q_i$ ) es usado para determinar la pendiente mínima y el valor del caudal máximo ( $Q_f$ ) para determinar el diámetro de la tubería.

## **8. Componentes del sistema de alcantarillado convencional**

### **8.1. Conexión domiciliaria**

La conexión domiciliaria deberá tener los siguientes componentes:

- El elemento de reunión constituido por una caja de registro cuyas dimensiones son especificadas en el cuadro 4.
- El elemento de conducción conformado por una tubería con una pendiente mínima de 15 por mil (acometida)
- El elemento de empalme o empotramiento constituido por un accesorio de empalme que permita libre descarga sobre la clave del tubo colector.

Se deberá ubicar a una distancia entre 1,20 a 2,00 m de la línea de propiedad, izquierda o derecha.

El diámetro mínimo de la conexión será 100 mm.

### **8.2. Tuberías**

#### **8.2.1. Ubicación**

Para efectuar el diseño del trazo definitivo de las tuberías, previamente se fijarán las secciones transversales de todas las calles del proyecto, con la ubicación acotada y a escala de todos los servicios públicos de electricidad, teléfonos, agua, desagüe, canales de regadío, etc., tanto existente como proyectado. A continuación se describen los criterios más importantes para la ubicación de las tuberías:

- En las calles de 20 m de ancho o menos se proyectará una línea de alcantarillado de preferencia en el eje de la calle.
- En las calles o avenidas de más de 20 m. de ancho, se proyectarán dos líneas de alcantarillado, una a cada lado de la vía, salvo el caso de que se justifique la instalación de una sola línea.
- Si el ancho de la vereda lo permite y no hay interferencia con otros servicios públicos, la tubería de alcantarillado podrá ubicarse en ella, pero la distancia entre la línea de propiedad y el plano vertical tangente al tubo, deberá ser como mínimo 2,0 m.
- La distancia mínima a cables eléctricos, telefónicos u otras instalaciones, será de 1,0 m. medido entre planos verticales tangentes.
- En vías peatonales, se puede reducir la distancia entre tuberías y entre estas y los límites de propiedad, siempre y cuando se siga las recomendaciones explicadas en el ítem 8.2.2.

### 8.2.2. *Profundidad mínima*

Los colectores se proyectarán a una profundidad tal, que asegure satisfacer la más desfavorable de las siguientes condiciones:

- La profundidad requerida para prever el drenaje de todas las áreas vecinas.
- La profundidad necesaria para no interferir con otros servicios públicos existentes /o proyectados, ubicados principalmente en las calles transversales a la línea del colector
- Un recubrimiento mínimo de 1 m. sobre la clave del colector en relación con el nivel de la calzada; salvo vías peatonales en que el recubrimiento podrá ser menor.
- Asegurar el drenaje de todos los lotes que den frente a la calle en la que estará ubicado el colector, considerando que por lo menos las dos terceras (2/3) partes de cada lote, en profundidad, pueda descargar por gravedad, partiendo la instalación anterior con 0,30 m. por debajo del nivel del terreno y con una pendiente mínima de quince por mil (15‰)

En vías peatonales pueden reducirse la distancia entre las tuberías, y entre estas y los límites de propiedad, así como los recubrimientos, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Se diseñe protección especial a las tuberías para evitar su fisuramiento o ruptura.
- Se utilicen tuberías de calidad que garantice que no se producirán filtraciones.
- Las vías peatonales diseñadas presenten elementos (bancas, jardines, etc.), que impidan el paso de vehículos.

### 8.2.3. *Profundidad máxima*

La profundidad máxima será aquella que no ofrezca dificultades constructivas, de acuerdo al tipo de suelo y que no obligue al tendido de alcantarillas auxiliares. La profundidad máxima admisible recomendada, será de 5,0 m.

### 8.3. Cámaras de inspección

Las cámaras de inspección serán ubicadas en la línea de alcantarillado para facilitar la limpieza y mantenimiento de las redes y evitar que se obstruyan debido a una acumulación excesiva de sedimentos.

#### 8.3.1. Ubicación

Se proyectarán cámaras de inspección en los siguientes casos:

- En el inicio de todo colector.
- En todos los empalmes de los colectores.
- En los cambios de dirección.
- En los cambios de pendiente.
- En los cambios de diámetro, con un diseño tal que las tuberías coincidan en la clave cuando el cambio sea de menor a mayor diámetro, y en el fondo cuando el cambio sea de mayor a menor diámetro.
- En los cambios de material.
- En los puntos donde se diseñan caídas en los colectores.
- En todo lugar que sea necesario por razones de inspección y limpieza.
- En cada cámara de inspección se admite solamente una salida de colector.

#### 8.3.2. Separación máxima

La separación máxima entre las cámaras de inspección será:

- Para tuberías de 150 mm : 80 m.
- Para tuberías de 200 a 250 mm : 100 m.
- Para tuberías de 300 a 600 mm : 150 m.
- Para tuberías de mayores diámetros : 250 m.

Otro criterio que podría considerarse en los diseños, es el que considera la separación de las cámaras de inspección en función a la utilización de equipos y métodos de limpieza, sean estos manuales o mecanizados:

- Si se utiliza equipo manual como ser varillas flexibles y sus respectivos accesorios, la distancia entre cámaras podrá ser de 50 a 70 m.
- Si se utiliza equipo mecánico (Sewer Roder), la distancia entre cámaras puede llegar a 100 m. y avanzar aún hasta los 150 m.
- Si los diámetros de los colectores son visitables y permiten una limpieza directa por un operador, la distancia puede ampliarse a 150 ó 200 m.

### 8.3.3. Tipos

#### Cajas de inspección o buzonetras

Se deberán emplear solo en vías peatonales cuando la profundidad sea tal que permita recubrimiento menor de 1 m sobre la clave del tubo. Sus dimensiones serán determinadas de acuerdo a los diámetros y profundidad de las tuberías, tal como especifica el cuadro 4. La distancia entre caja y caja no será mayor a 15,0 m (véase figura 6a)

#### Buzones

Se deberán emplear cuando la profundidad sea tal que permita recubrimiento mínimo de 1 m. sobre la clave del tubo. El diámetro interior de los buzones será 1.20 m. para tuberías de hasta de 800 mm de diámetro y de 1,50 m. para tuberías hasta de 1200 mm de diámetro. Los buzones podrán ser prefabricados o construidos en obra. El techo será una loza removible de concreto armado y llevara una abertura de acceso de 0,60 m de diámetro (véase figura 6b)

**Cuadro 4. Dimensiones de cajas de registro**

<b>Dimensiones interiores (m)</b>	<b>Diámetro máximo (mm)</b>	<b>Profundidad máxima (m)</b>
0,25 x 0,50	100	0,60
0,30 x 0,60	150	0,80
0,45 x 0,60	150	1,00
0,60 x 0,60	200	1,20

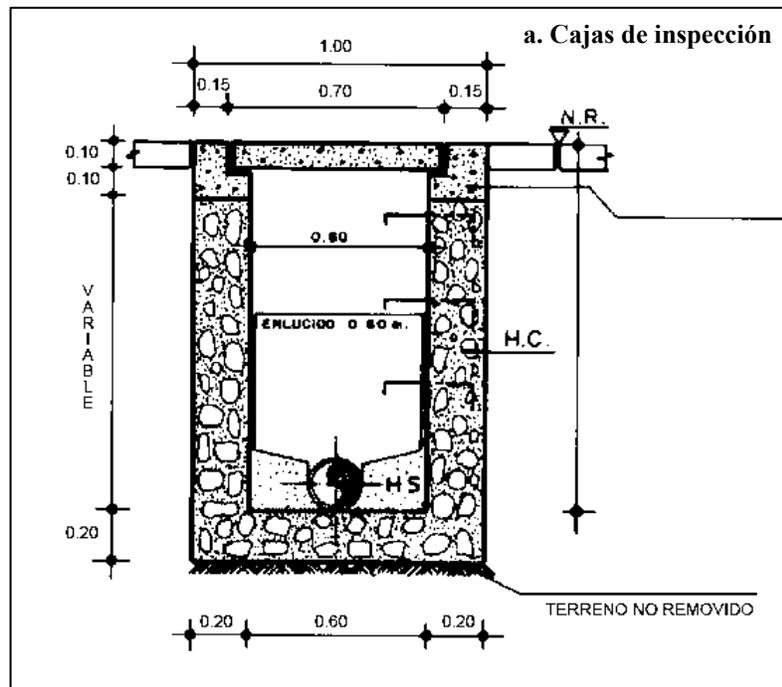


Figura 6a. Cajas de inspección convencional.

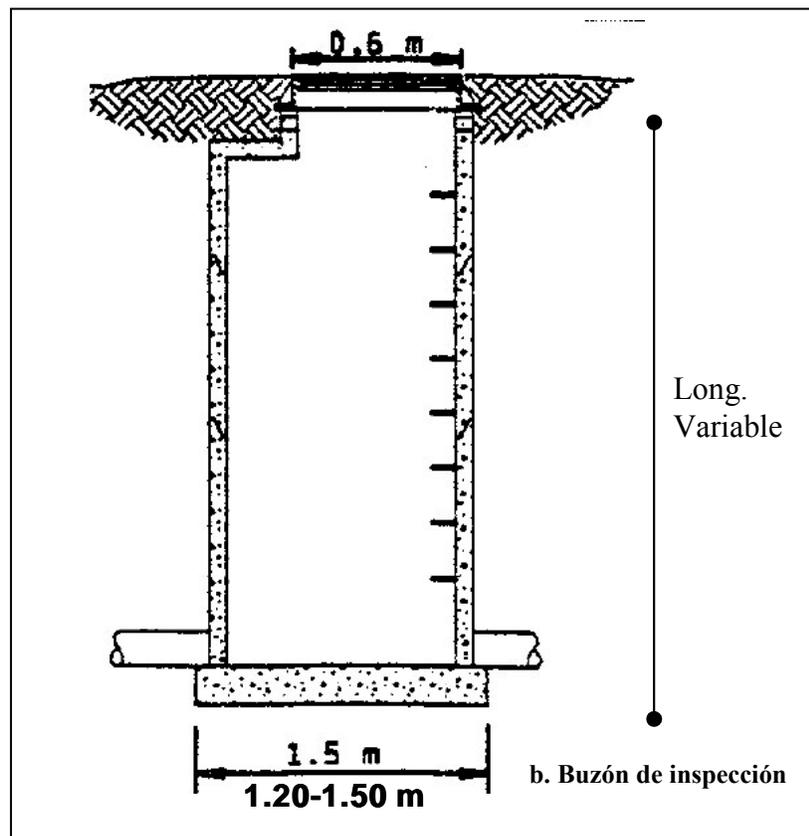


Figura 6b. Buzón de inspección convencional.

#### 8.3.4. *Canaletas media caña*

En el fondo de las cámaras de inspección, se deberá diseñar media caña en dirección del flujo, y una pendiente del 25% entre el borde de la media caña y las paredes laterales de la cámara

#### 8.3.5. *Cámaras con caída*

En las cámaras de inspección en que las tuberías no lleguen a un mismo nivel, se deberá proyectar caídas especiales cuando la descarga o altura de caída, con respecto al fondo de la cámara, sea mayor de 1 m.

#### 8.3.6. *Control de remanso*

Para evitar la formación de remansos, el fondo de la cámara de inspección deberá tener una pendiente similar a la pendiente mayor de los conductos que llegan a ella.

### **9. Componentes del sistema de alcantarillado simplificado**

#### **9.1. *Conexión domiciliar***

Es bastante similar al del sistema convencional, está constituido por una caja de conexión (o inspección) circular o cuadrada de 0,60 m de longitud, la cual va colocada en la vereda entre la casa y la línea de servicio (véase figura 7a). En algunos casos esta caja podría ser sustituido por un registro de limpieza más sencillo (véase figura 7b).

En zonas de alto riesgo de obstrucción, mercados y restaurantes por ejemplo, se colocaran cajas deflectoras entre la vivienda y la caja de inspección para evitar el ingreso de basura y otros sólidos de gran tamaño que podrían obstruir la alcantarilla. Las dimensiones de esta caja es de 0,60 m x 0,60 m x 0,80 m, será construida de concreto y deberá colocarse un deflector a 0,60 m de la zona de ingreso (véase figura 7a.).

La línea de acometida deberá tener una pendiente mínima de 15 por mil y en todos los casos es recomendable efectuar la unión de esta con la tubería de servicio a través de un accesorio o codo, efectuando la perforación en la clave del tubo, garantizando, de esta manera, la entrada de las aguas residuales domiciliarias por la parte superior y manteniendo invariable la sección hidráulica.

Alternativamente, el empalme de la acometida con el colector de servicio podría realizarse mediante una derivación en “Y” y una curva de 45°, tal como lo muestra la figura 7c.

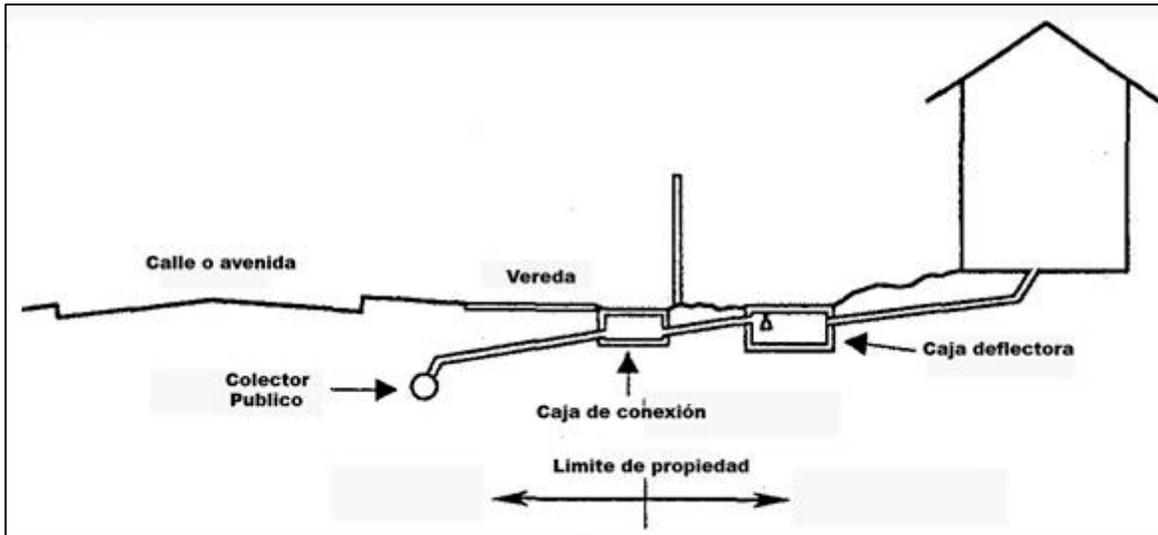


Figura 7a.- Conexión domiciliar simplificada.

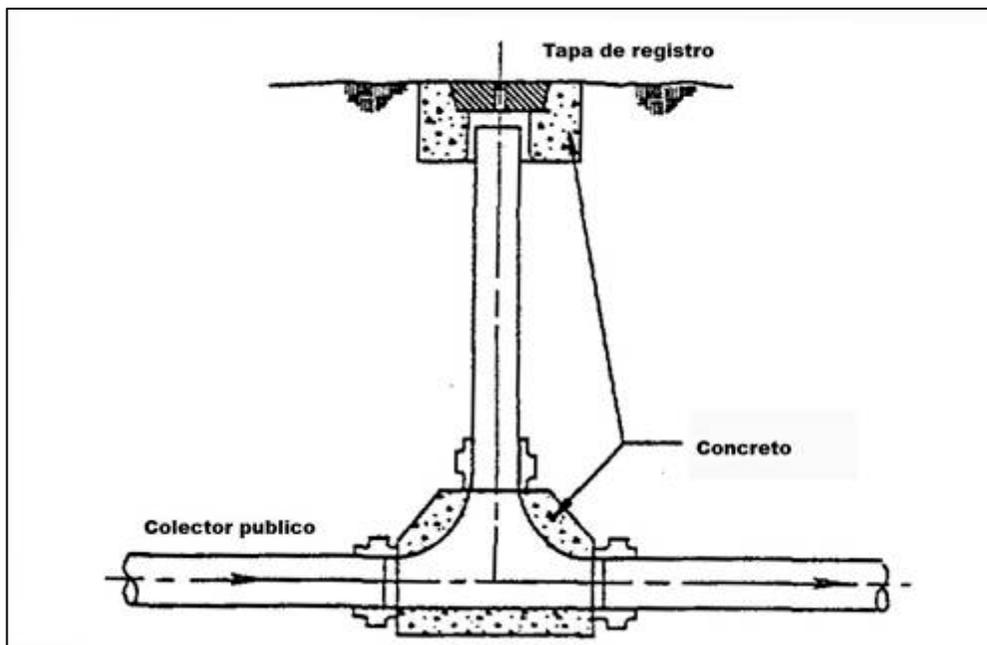
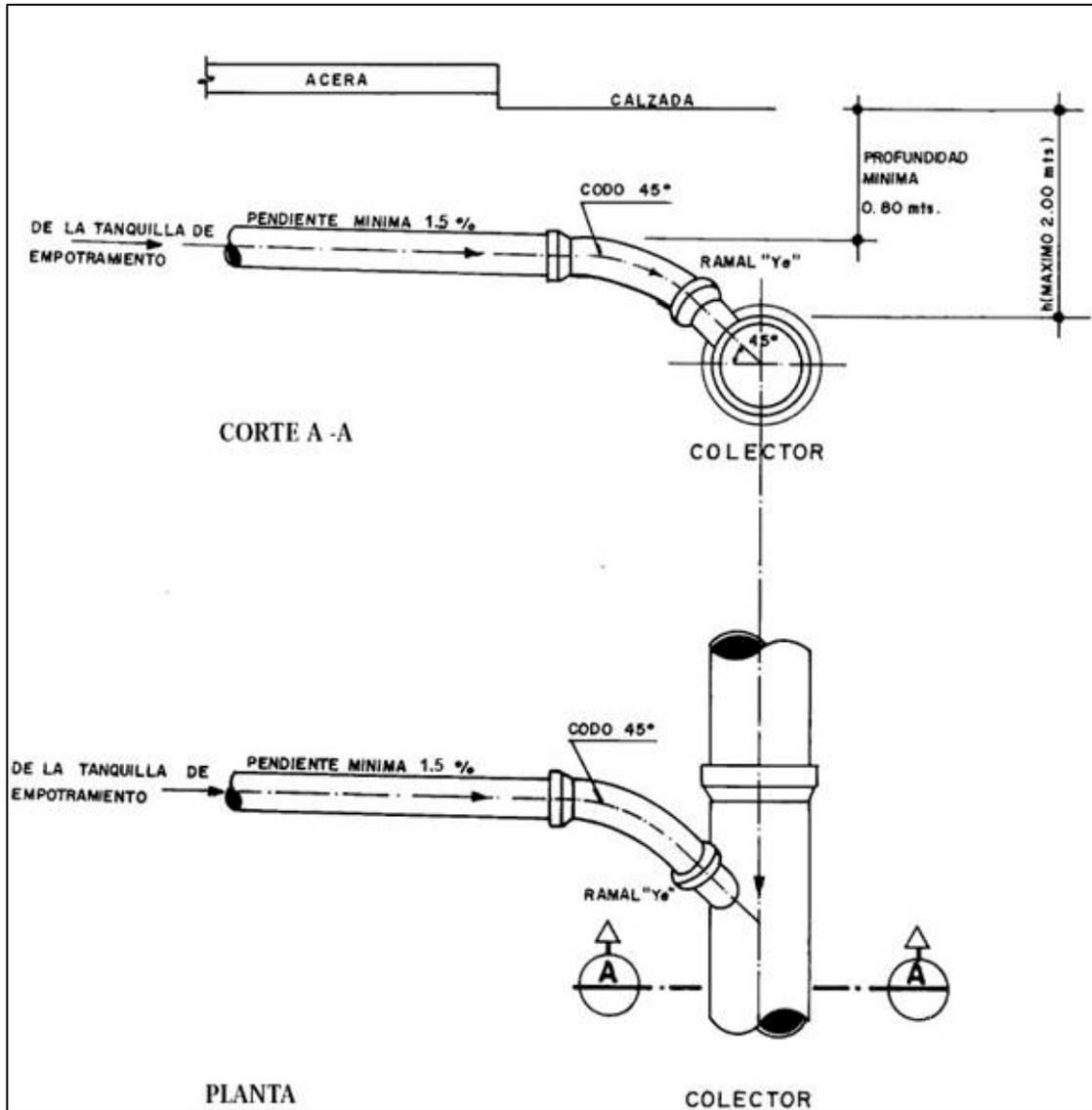


Figura 7b.- Registro de inspección.



**Figura 7c. Empalme entre acometida y colector de alcantarillado.**

## 9.2. Tuberías

### 9.2.1. Ubicación

Para evitar excavaciones profundas, grandes colectores o interceptores e inmensas estaciones de bombeo, se debe considerar de manera prioritaria la subdivisión de la red total en dos o más pequeños sistemas separados. Aunque el trazado de redes es también parte importante del diseño de sistemas convencionales, la optimización de longitud de tuberías y la subdivisión de redes toma aun mayor importancia en los proyectos de sistemas simplificados.

Donde sea factible, el área del proyecto debe ser definido por subcuencas de drenaje independientes, cada una conduciendo las aguas residuales hasta el punto de conexión con una red convencional o hacia su propia planta de tratamiento. De esta manera, se evita concentrar las aguas residuales en grandes cuencas de saneamiento y concebir sistemas complejos de elevada inversión inicial y de altos costos de operación.

Además, para minimizar la excavación y el costo de restauración del pavimento, las redes serán, hasta donde sea posible, localizadas fuera de las zonas de tráfico pesado, generalmente bajo las veredas (en ambos lados de la calle, si es necesario) en lugar de ser tendidas por el centro de la calle. No es recomendable la ubicación de colectores en calles muy estrechas donde se dificulte el acceso para el mantenimiento.

Si las redes son trazadas por las calzadas, se ubicaran entre el medio de la calle y el costado de la calzada; a partir de un punto, ubicado como mínimo a 1,30 m. del límite de propiedad y hacia el centro de la calzada.

El trazado debe considerar el obtener el mayor número posible de tramos de cabecera (caudal de aguas arriba igual a cero), con lo cual se incrementará el número de tramos de mínima profundidad, suficiente para instalar redes de desagüe en los lotes del tramo. De este modo, se debe procurar siempre que sea posible, trazados tipo “espina de pez” (véase figura 8) al contrario de los trazados “serpenteados” (véase figura 9).

#### 9.2.2. Profundidad y recubrimiento mínimos

Al punto de partida de los colectores pequeños la profundidad mínima debe ser suficiente para: (a) permitir todas las conexiones a los hogares y (b) tener un recubrimiento sobre la corona de la tubería que la proteja contra daños estructurales de cargas externas.

En el sistema simplificado, las profundidades mínimas de las alcantarillas serán determinadas por el recubrimiento mínimo de las tuberías de acuerdo al cuadro 5.

**Cuadro 5. Recubrimiento mínimo de las redes simplificadas.**

Ubicación del colector	Profundidad mínima (m)
En las áreas verdes y veredas	0,45-0,65
Red principal por la calzada de la vía pública	0,85-1,00

Considerando este criterio se obtienen las profundidades de colectores recomendadas en la figura 10 a.

La elevación de las viviendas no es un criterio que se considere para fijar el nivel de las soleras de las tuberías. Si las viviendas alrededor del colector principal, están a una elevación mas baja que hace imposible la conexión por gravedad, es responsabilidad del propietario de encontrar otra forma de hacer la conexión. En algunos casos cuando la topografía lo permite, la conexión domiciliaria de una vivienda puede extenderse, a través de la propiedad de los vecinos (siempre y cuando este lo permite y le proporcione un derecho de paso) y descargar a una caja común, solucionando de esta manera el problema de la elevación (véase figura 10b).

### 9.3. Elementos de inspección

En el alcantarillado simplificado se usan los siguientes elementos de inspección:

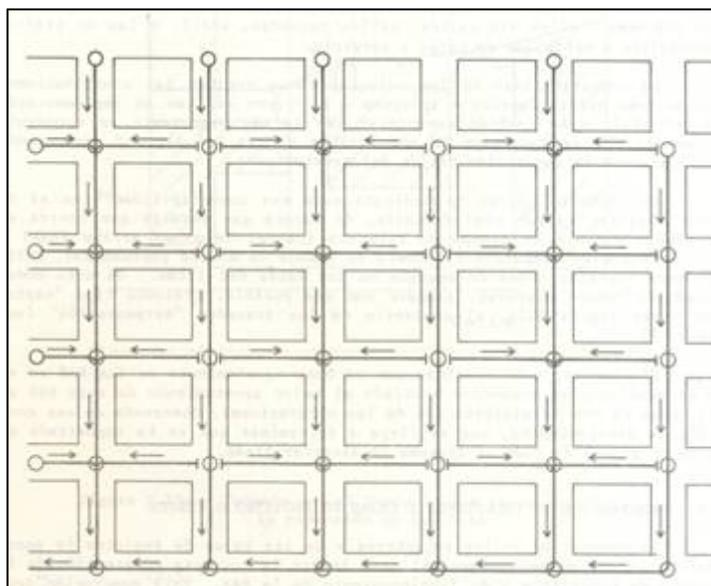
#### 9.3.1. Cámaras de inspección

Los buzones simplificados son similares a los convencionales, pero con menor diámetro, la longitud de estos ha sido reducido de 1,20 a 1,50 m, que normalmente tiene el buzón convencional de 0,60 a 0,90 m. (véase figura 11a).

El criterio del diseño de los buzones convencionales, de que ingrese personal para mantenimiento, ha sido eliminado debido a la poca profundidad de las redes simplificadas y la disponibilidad de modernos sistemas de limpieza. Para pequeñas alcantarillas donde la infiltración es nula, podrían ser construidos con tuberías de concreto prefabricadas o anillos de concreto con loza en el fondo.

Cuando la red de alcantarillado es tendida por las calzadas, en tuberías con profundidades mayor a 1,20 m se deben instalar buzones convencionales, un modelo recomendado y usado en países como Brasil y Bolivia es el buzón con cámara de inspección (de 1,20 ó 1,50 de diámetro) y chimenea de acceso de 0,60 m de diámetro (véase figura 11b).

Los criterios de ubicación de los buzones simplificados son similares a los empleados en el sistema convencional.



**Figura 8.- Trazado en forma de “espina de pez” de una RAS.**

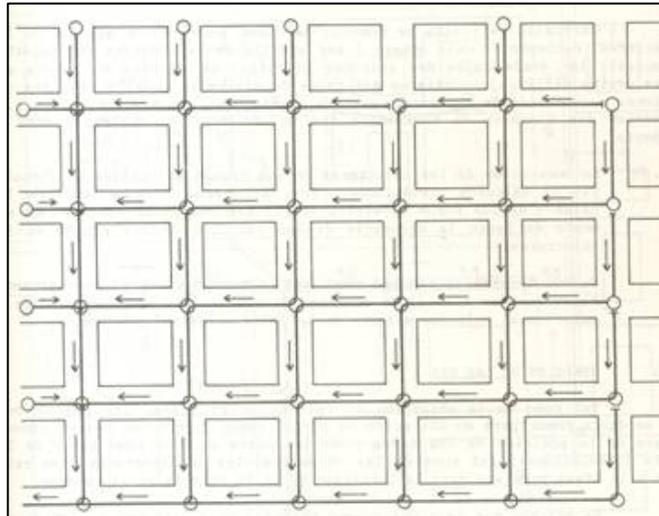


Figura 9. Trazado en forma de serpenteada de una RAS.

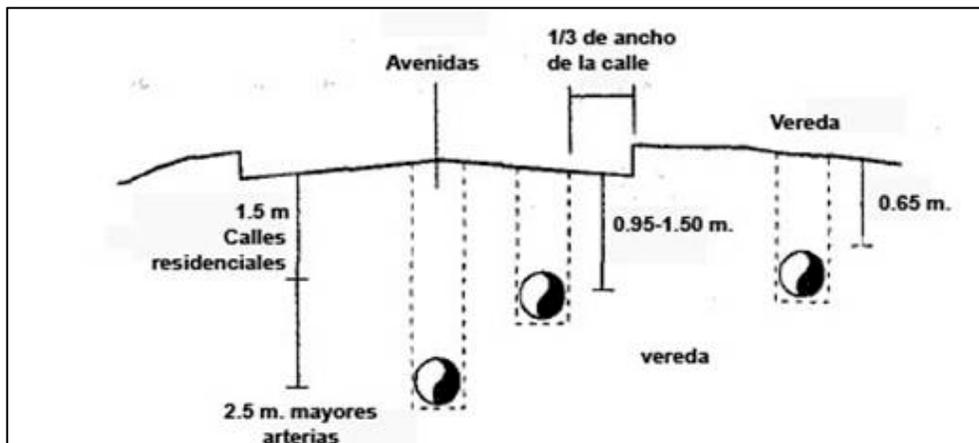


Figura 10 a. Mínima profundidad de alcantarillas.

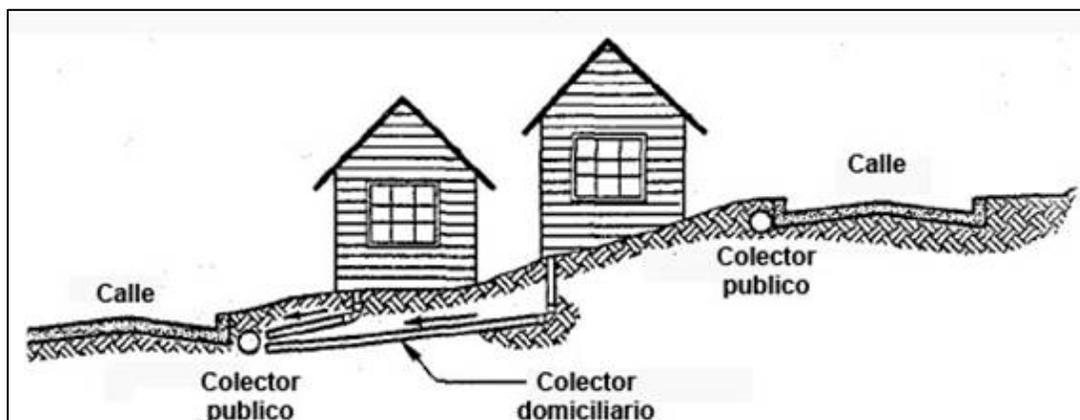
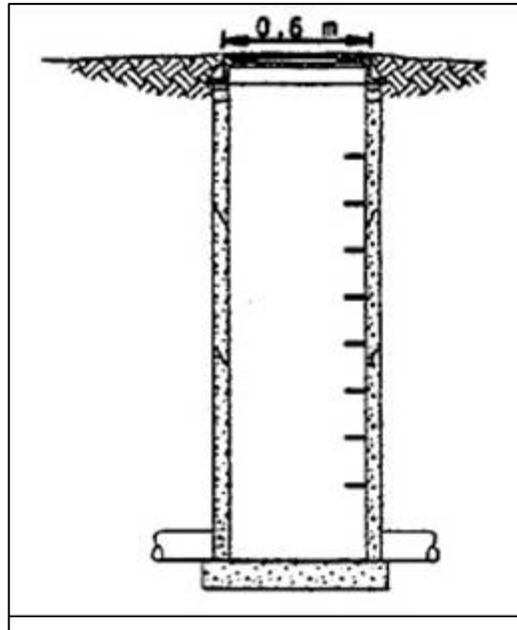
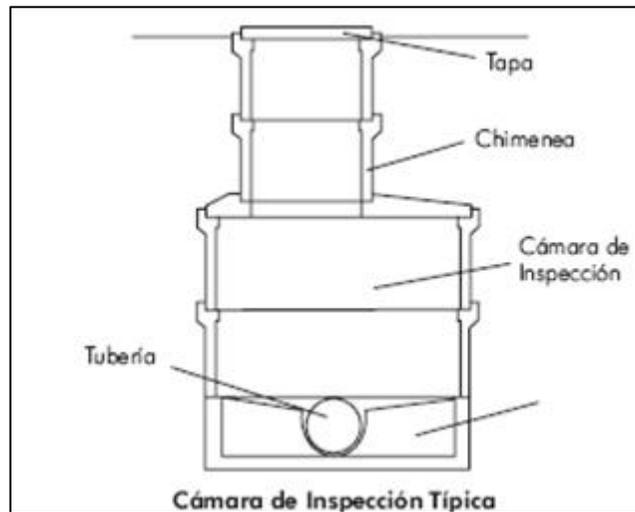


Figura 10 b. Conexión a través de bloques.



**Figura 11a. Buzón simplificado.**



**Figura 11b. Buzón con cámara y chimenea para tuberías (profundidad > 0,90 m.).**

### 9.3.2. *Dispositivos simplificados de inspección*

Debido a que el costo de las Cámaras de Inspección tiene una incidencia importante y muy elevada en la construcción del sistema de alcantarillado, es recomendable asumir simplificaciones en la red que están condicionadas a la disponibilidad de un equipo de mantenimiento y limpieza adecuado, sea éste mecánico o en especial de tipo hidráulico (succión-presión). Este sistema simplificado, además de reducir los costos por unidad de inspección y limpieza, permite incrementar la longitud de inspección, lo que a su vez incide en la reducción de los costos de la red de alcantarillado. El empleo de estos dispositivos ya ha sido incluido en las normas de alcantarillado de países como Brasil y Bolivia.

Los accesorios simplificados de la red son los que se mencionan a continuación:

Terminal de Limpieza (TL). En los casos de redes ubicadas en las aceras, calles sin salida o vías y calles secundarias de tráfico liviano, las cámaras de arranque del alcantarillado pueden ser sustituidas por terminales de limpieza. Este terminal deberá ser construido utilizando dos Curvas de 45° (véase figura 12).

Tubos de inspección y limpieza (TIL). Pueden ser empleados en reemplazo de un buzón de inspección en los cambios de dirección, pendiente, material y diámetro, en profundidades menores a 3 m. Son elementos generalmente prefabricados (véase figura 13).

Cajas de paso en cambios de dirección (CP). En casos de calles curvas, las Cámaras de Inspección situadas anteriormente en los puntos de cambio de dirección, con hasta 45° de deflexión, pueden ser eliminadas y sustituidas por cajas de paso sin inspección. La sustitución de Cámaras de Inspección por cajas de paso, debe ser evitada en tramos donde la pendiente de los colectores fuese inferior a 0,007 m/m (0,7 %) para tubos de 6" (150 mm) y de 0,005 m/m (0,5 %) para tubos de 8" (200 mm) (véase figura 14).

Cajas de paso en cambios de pendiente. En los casos de cambio de pendientes, y siempre que el colector no tenga una altura de tapada mayor de 3,0 m de profundidad, la Cámara de Inspección puede ser sustituida por una caja de paso.

Cajas de paso en cambios de diámetro. En los casos de cambio de diámetro en un tramo de colector, la Cámara de Inspección puede ser sustituida por una caja de paso sin inspección. Esta solución sólo puede ser adoptada para colectores con profundidad menor a 3,0 m (véase figura 15).

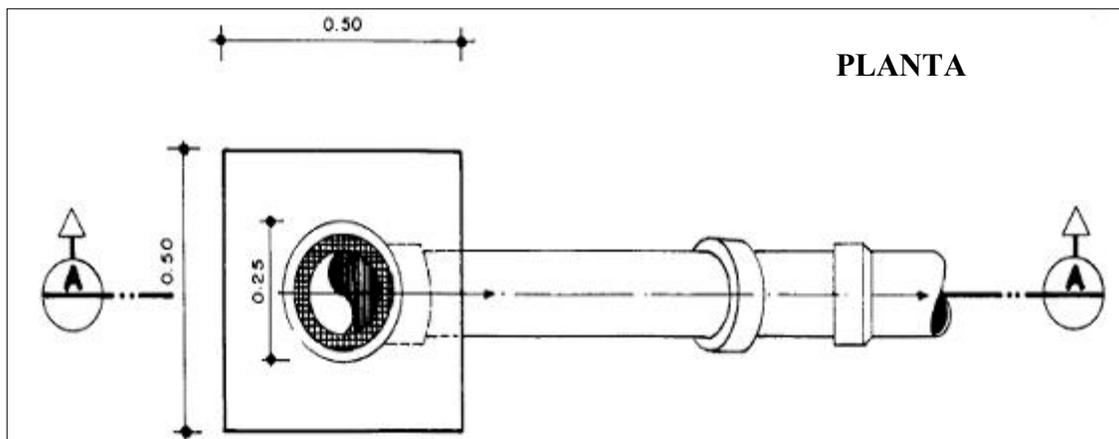
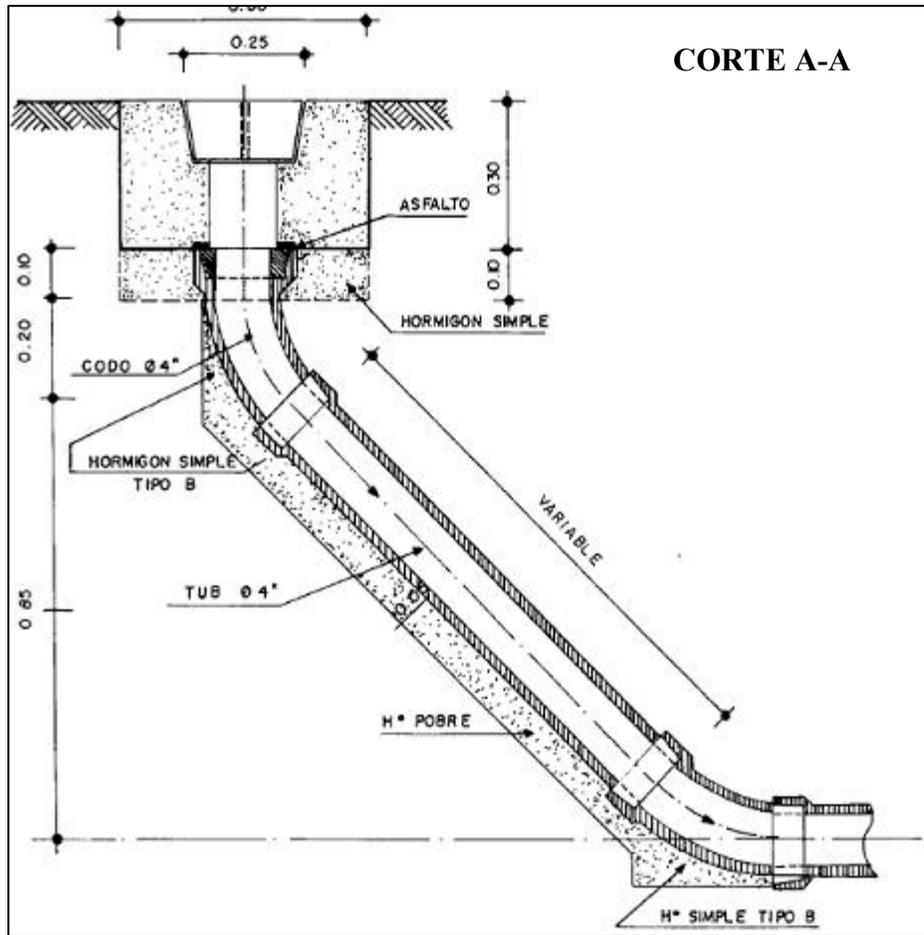


Figura 12a. Terminal de limpieza (TL) con codos de 45°.



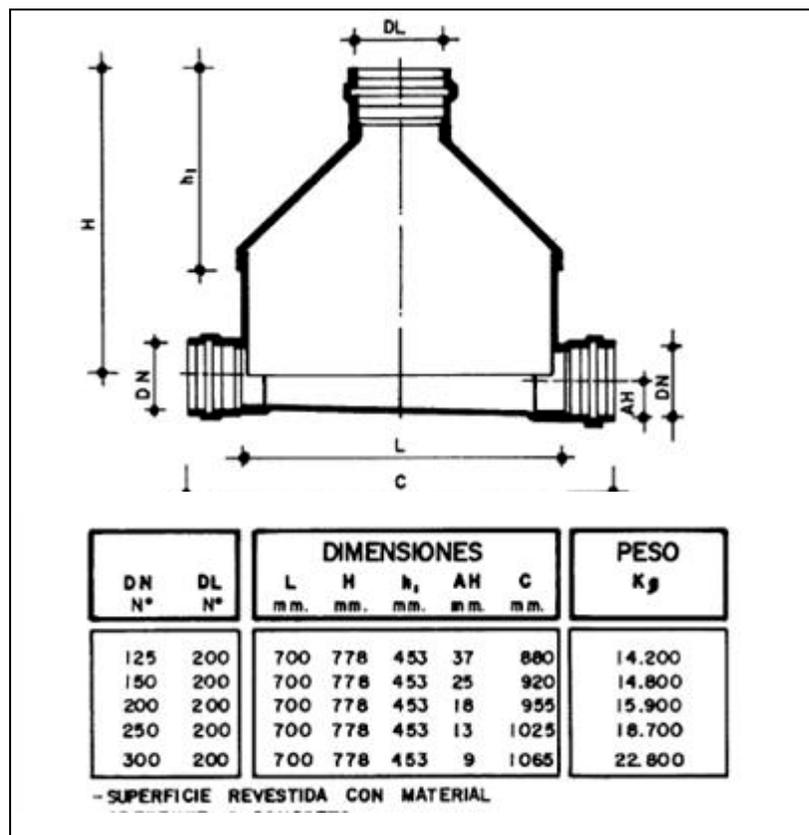
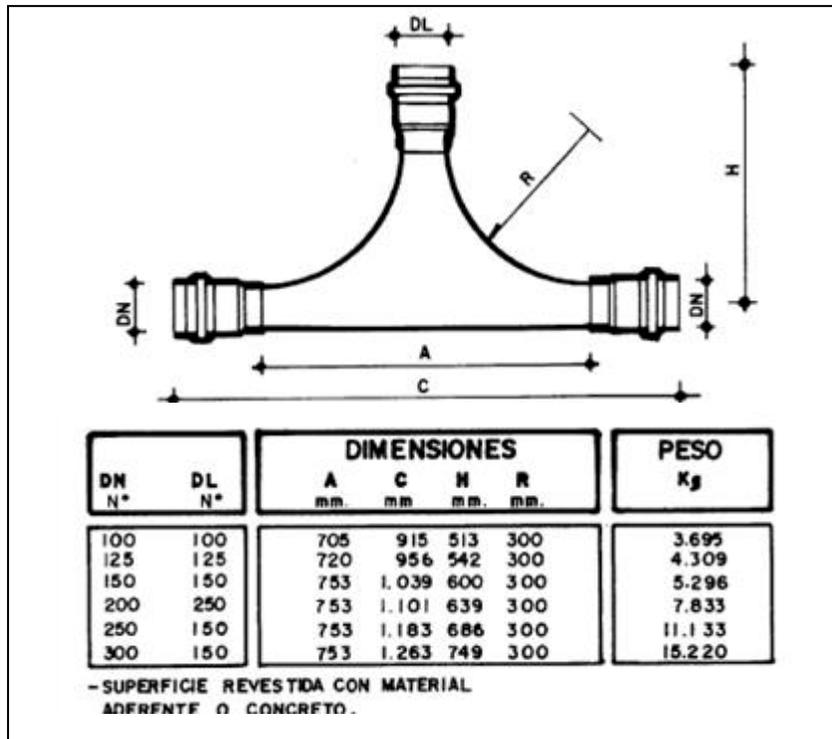


Figura 13. Tubos de inspección y limpieza (TIL).

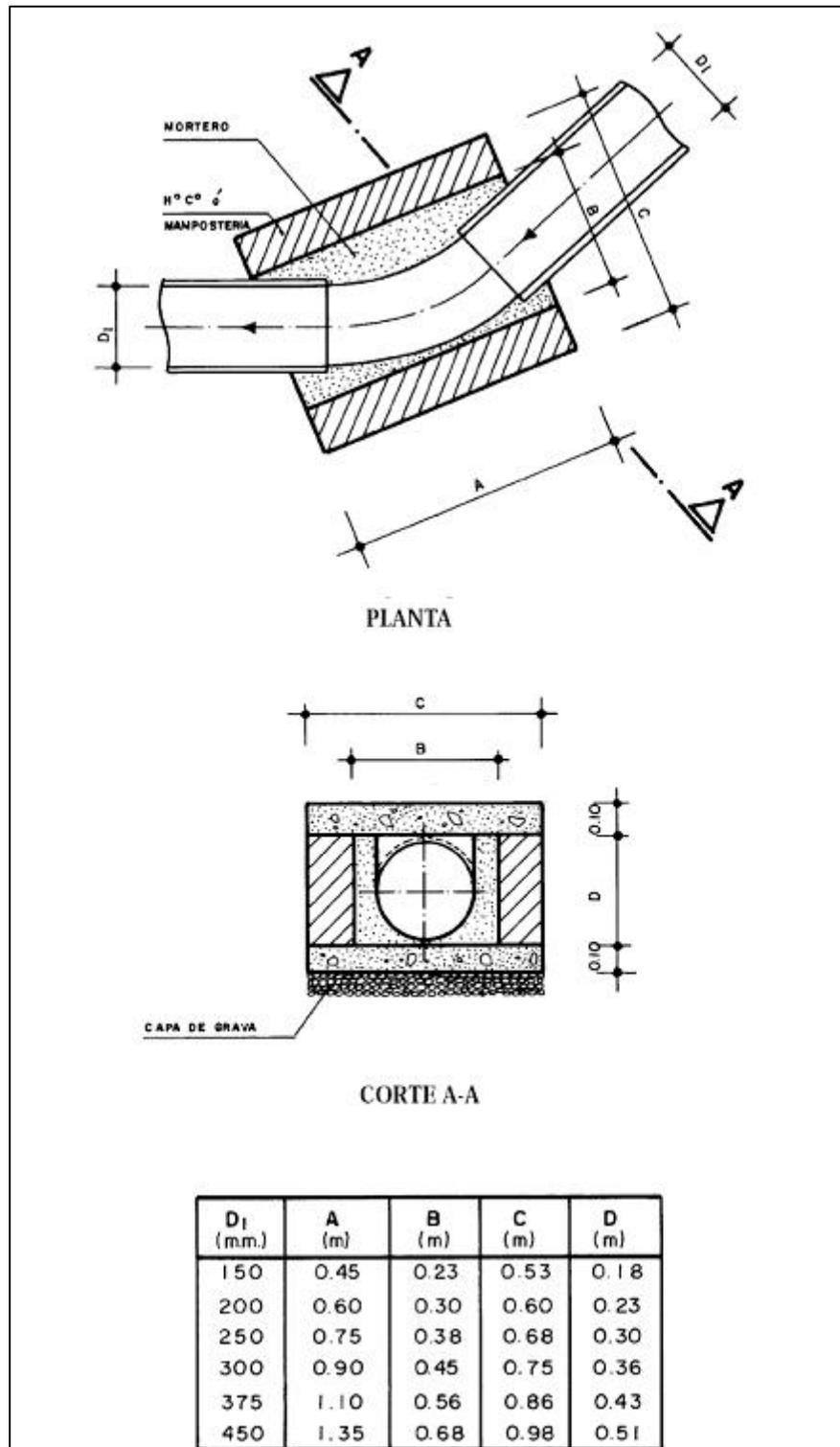


Figura 14. Caja de paso para cambio de dirección.

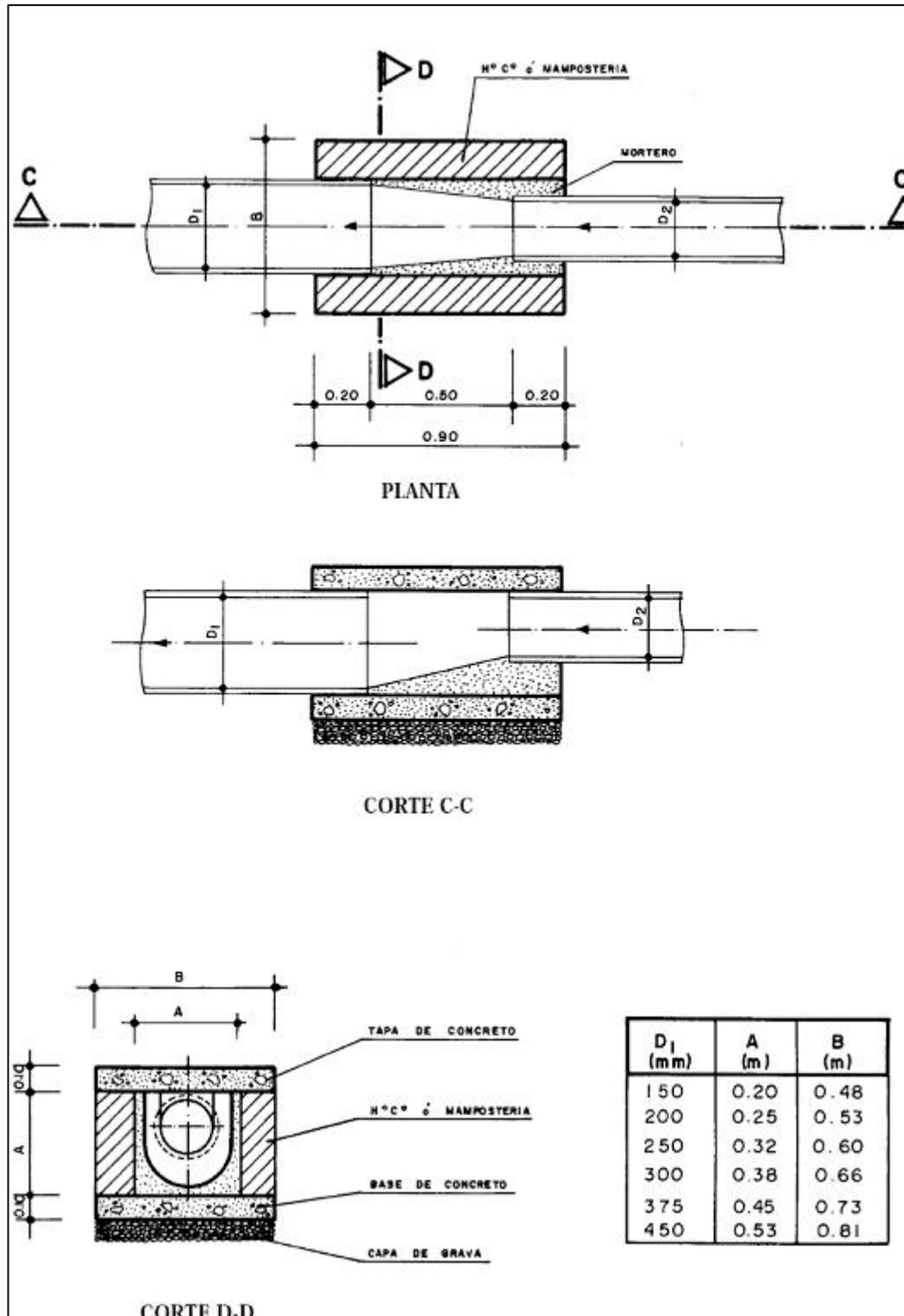


Figura 15. Caja de paso para cambio de diámetro.

## **10. Componentes del sistema de alcantarillado de pequeño diámetro**

### **10.1. Tuberías**

Los colectores son tuberías de plástico de pequeño diámetro (diámetro mínimo entre 75 a 100 mm) que están enterradas a una profundidad suficiente para recolectar las aguas residuales sedimentadas que provienen de la mayoría de conexiones por gravedad. A diferencia de los colectores convencionales, los colectores de pequeño diámetro no están necesariamente colocados sobre una gradiente uniforme con alineamiento recto entre los pozos de inspección o los registros de limpieza. Como no transporta sólidos, permite la existencia de tramos de la tubería que trabajan adecuadamente, aun a presión, con pendientes positivas o negativas, siempre que la presión de la tubería no provoque el reflujó de las aguas residuales hacia los tanques sépticos conectados al tramo. No es necesario considerar la pendiente y la velocidad mínimas y máximas por que el líquido está libre de sólidos; por lo tanto, las tuberías pueden seguir la topografía del terreno utilizando al máximo la energía que resulta de la diferencia de cotas entre aguas arriba y aguas abajo.

Las tuberías de PVC o de polietileno de baja densidad se utilizan para los colectores de pequeño diámetro. Sus ventajas incluyen peso liviano, alta resistencia contra impactos, resistencia a la corrosión, flexibilidad, etc.

La configuración de las redes se empieza seleccionando un punto de descarga final y los límites del servicio, los cuales generalmente son fijados para ajustarse a las áreas de drenaje natural. Dentro de estos límites se selecciona las rutas de los ramales y los colectores principales, las cuales deben considerar los siguientes aspectos:

- Ubicación y elevación del tanque interceptor.
- Derechos de paso y retiros fronterizos.
- Desarrollo futuro previsto.
- Restauración del sitio.
- Interrupción para los residentes o para el tránsito.

La ubicación y descarga de los tanques interceptores, junto con la topografía local, establecerán en la mayoría de los casos las rutas y profundidades necesarias de los colectores. Se deberán respetar los derechos de paso y retiros fronterizos existentes, pero si se pueden reducir significativamente los costos de excavación mediante otra ruta, se pueden necesitar otros retiros fronterizos especiales.

Al ubicar las rutas, una consideración importante será el costo para componer pavimentos, sardineles y acequias y otras estructuras que se pueden deteriorar durante la construcción. El alineamiento curvilíneo permitirá que en el trazado se puedan evitar ciertas estructuras, pero esto debe planearse cuidadosamente a fin que los desvíos en las juntas no excedan aquellos permitidos por el fabricante de tuberías. Además, es más recomendable tender tuberías a ambos extremos de una calle, que evitar cruzarla y construir pasos de calle costosos.

La profundidad de la tubería debe ser la mínima necesaria para prevenir el daño que podría ocurrir por las cargas por movilización de tierra y de vehículos, y por la congelación. La profundidad típica cuando no se esperan una carga alta por movilización de tierras o de camiones, es de 60 a 75 cm.

### **10.2. *Tanque interceptor***

Es el tanque al cual se descargan las aguas residuales de la vivienda, es un tanque hermético, enterrado, con una toma de entrada y una de salida con deflectores. Está diseñado para retener el flujo del líquido de 12 a 24 horas y para remover del caudal líquido tanto los sólidos flotantes como los sedimentables. También proporciona un considerable volumen de espacio para el almacenamiento de los sólidos, los cuales se extraen periódicamente a través de una puerta de acceso. Comúnmente se utiliza como tanque interceptor un tanque séptico de una sola cámara.

El tanque interceptor se diseña para cumplir cuatro funciones:

- a) **Sedimentación**: La función principal del tanque es remover los sólidos en suspensión de las aguas residuales. Se debe diseñar para dar condiciones de quietamiento por un lapso suficiente para permitir que los sólidos sedimentables se depositen en el fondo y los sólidos flotantes lleguen a la superficie.
- b) **Almacenamiento**: Para evitar la necesidad de remover los sólidos con demasiada frecuencia, se debe diseñar el tanque para almacenar el lodo y la espuma por el periodo de tres años.
- c) **Digestión**: Se produce debido al almacenamiento prolongado de los sólidos en el tanque, las bacterias realizan la degradación de los sólidos orgánicos en condiciones anaerobias, originando la reducción del volumen de lodos y generando gases anoxicos y de mal olor.
- d) **Atenuación del flujo**: Los tanques interceptores proveen un almacenamiento igualador limitado que reduce el flujo máximo. Se han registrado casos donde el caudal se ha visto reducido de 11 l/hora a menos de 4 l/hora. La atenuación aumenta a medida que aumenta el área superficial líquida del tanque.

### **10.3. *Elementos de inspección***

Los registros de limpieza e inspección y las cajas de visita permiten el acceso a los colectores para su inspección y mantenimiento. En muchas circunstancias se prefieren los registros de limpieza antes que las cajas de visita porque cuestan menos y pueden sellarse herméticamente; se evitan así la mayor parte de la infiltración y arena que comúnmente ingresan a través de las paredes y tapas de las cajas de visita. Las cajas de visita se recomiendan en los encuentros principales de los colectores, en cambios muy bruscos de dirección, o en sitios donde es difícil construir un registro, por tener muy profunda la tubería (véase figura 16).

Los registros de inspección y limpieza deben estar dispuestos en las cabeceras de la red, en el cruce de dos o más colectores, en cambios muy bruscos de dirección, en los puntos altos para evitar la acumulación de gases y en tramos rectos a intervalos de 120 a 300 m (véase figura 17).

Si fuera necesario se deber proyectar la instalación de buzones a lo largo de la red, en este caso se seguirán los criterios de diseño de las cámaras de inspección convencionales.

#### ***10.4. Colector del inmueble***

Este colector debería ser una tubería de 75 a 100 mm de diámetro, instalada en una gradiente negativa uniforme suficiente como para transportar sólidos fecales, pero no tan grande como para que se encallen sólidos en la línea. Los gradientes recomendados son los siguientes: a) 1 a 30 para tubería de 75 mm y b) 1 en 40 para tubería de 100 mm. Los codos que tengan más de 45° deben tener un registro de limpieza; asimismo, debe asegurarse la hermeticidad de todas las juntas.

#### ***10.5. Conexión de servicio***

Las conexiones de servicio desde el tanque interceptor hasta la alcantarilla pública deben tener el mismo diámetro, o preferiblemente un diámetro menor que esta última. Las conexiones al colector público generalmente están hechos con accesorios en T sanitaria o T común. Si existe un punto alto en el colector público cerca de donde se debe realizar la conexión, se debe hacer un esfuerzo para procurar que la conexión se realice en ese punto, para que funcione como aliviadero de aire.

#### ***10.6. Elementos de ventilación***

Se deben ventilar los colectores para mantener las condiciones de flujo libre. La ventilación dentro de las redes domésticas son suficientes, salvo donde se instalan colectores de gradiente inflectiva. En tales casos, se debe ventilar los puntos altos del colector, ya sea ubicando los puntos altos en las conexiones o instalando un registro de limpieza con una tapa de ventilación. Los colectores que se colocan sobre una gradiente continua negativa, no necesitan ventilación para funcionar adecuadamente.

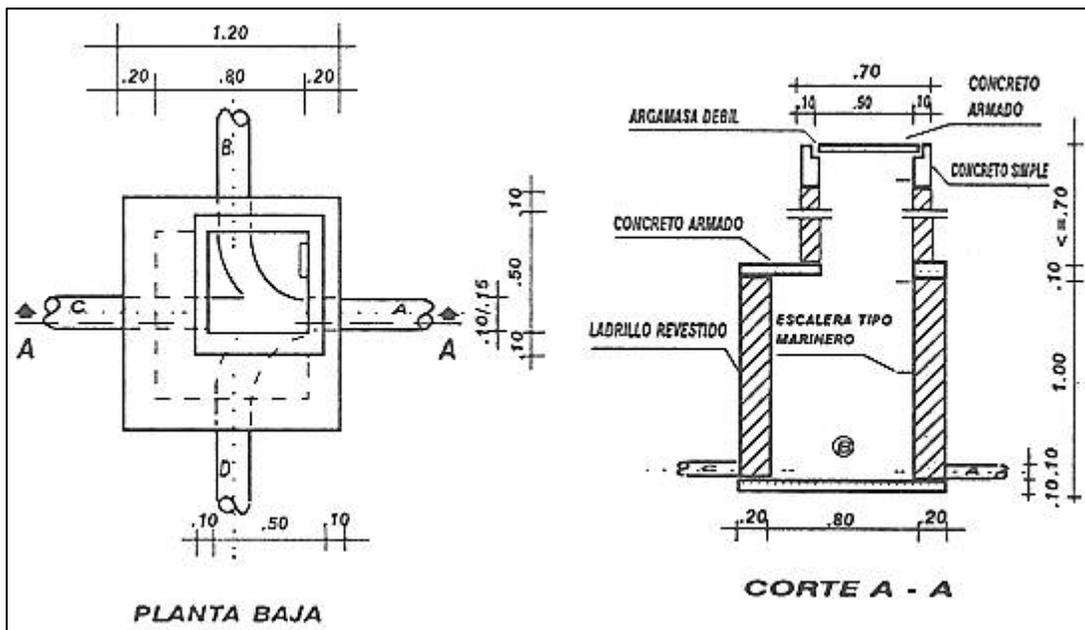
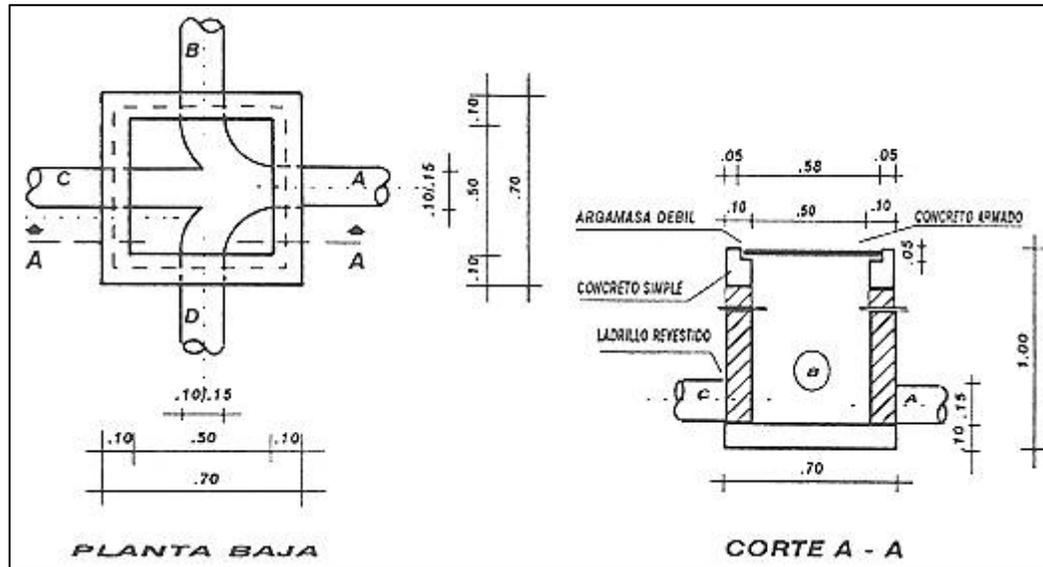
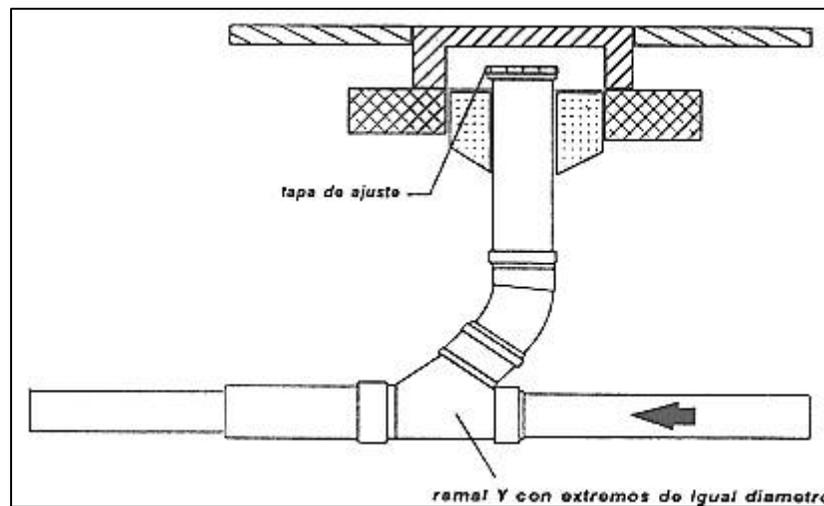
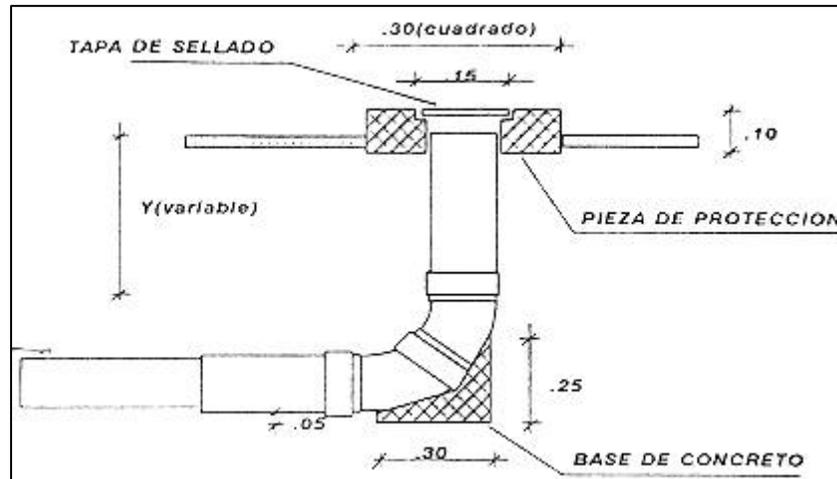


Figura 16. Cajas de visita empleado en alcantarillados de pequeño diámetro.



**Figura 17. Registros de inspección y limpieza –  
Alcantarillado de pequeño diámetro.**

## 11. Componentes del sistema de alcantarillado condominial

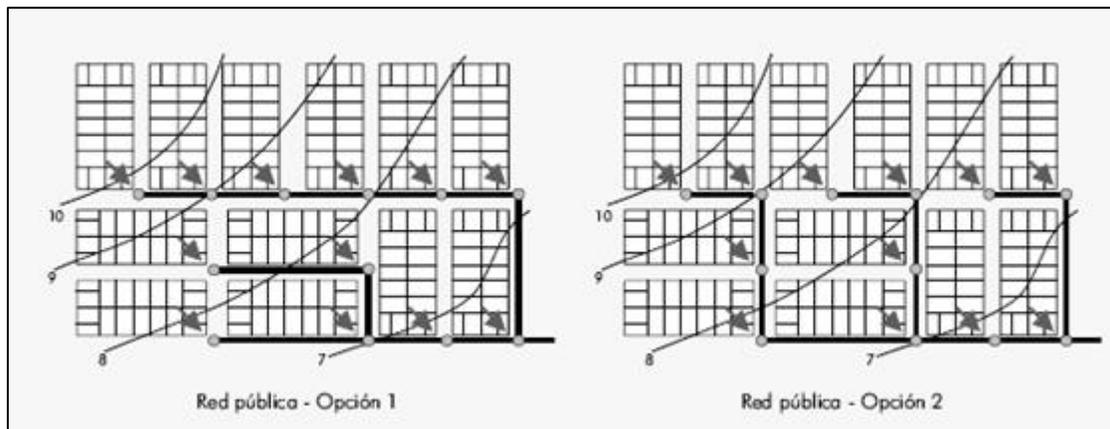
### 11.1. Tuberías

#### 11.1.1. Redes públicas

En el sistema condominial las redes principales son tangentes a las manzanas y un conjunto de viviendas se conecta a la red mediante un único punto de conexión. La red pública es el conjunto de tuberías que reciben las aguas residuales de ramales condominiales o conexiones domiciliarias y sólo se aproxima a la manzana para recibir el ramal condominial, en vez de rodearla, como en el sistema convencional. Esta red puede ser diseñada bajo los criterios del sistema convencional y/o simplificado.

El trazado de las redes públicas se realizará a partir de los puntos de cota más elevada (arranque) hacia el punto de cota más baja (descarga) y siguiendo el drenaje natural del terreno. El proyectista deberá analizar las alternativas de trazado para obtener la menor extensión de red y conectar todos los manzanos. En la figura 18, a manera de ejemplo, se presentan dos opciones.

La red pública puede ser ubicada en el centro de calle o avenida. Sin embargo, de preferencia será ubicada en las áreas más protegidas del tránsito vehicular, utilizando, siempre que sea posible, las aceras, los parques y los jardines existentes. La opción de trazado seleccionada se indica en



**Figura 18. Trazado de red pública de alcantarillado condominial.**

#### *11.1.2. Ramales condominiales en áreas planeadas*

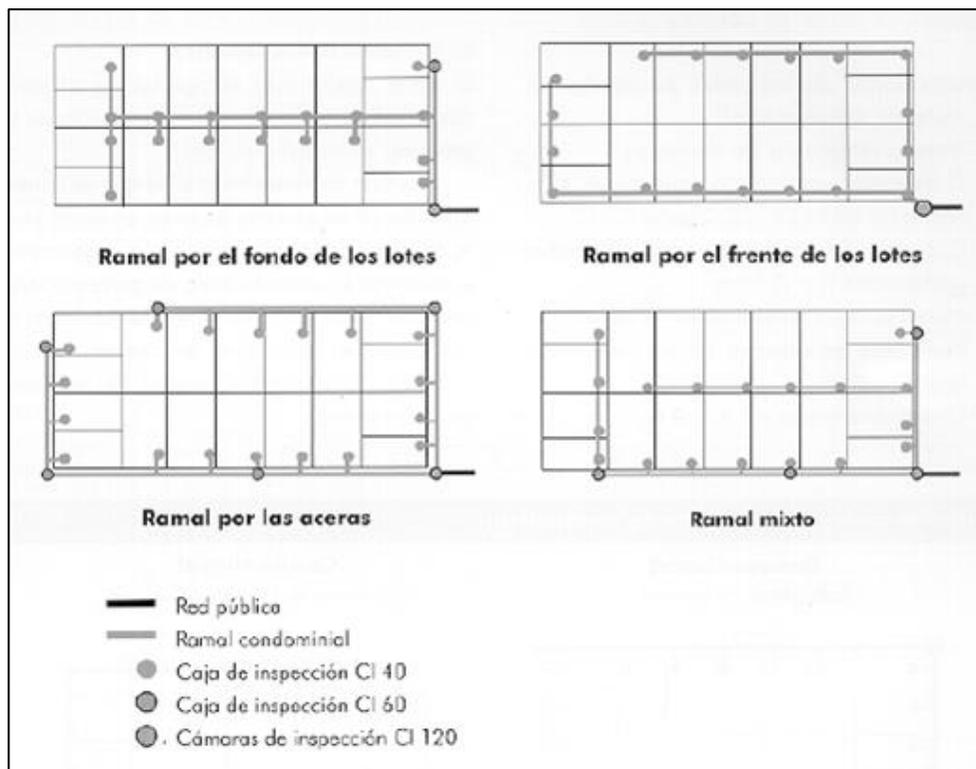
El ramal condominial recoge las aguas residuales de un conjunto de viviendas conectadas en un punto de la red principal. El grupo de viviendas o lotes que se conectan a la red de alcantarillado en un único punto de la red principal conforma un condominio.

Según el drenaje natural del terreno, el proyectista definirá la ubicación más probable del ramal condominial que atenderá cada manzana, conectando todas las edificaciones hasta un punto de la red pública. Según la topografía y el trazado urbano, una manzana podrá tener más de un ramal condominial.

En el sistema condominial existen cuatro alternativas de trazado de los ramales. La escogencia de la alternativa, de acuerdo a la factibilidad técnica, corresponde a los usuarios, considerando que cada alternativa tiene un costo y el usuario asume la responsabilidad de pagarlo. Las alternativas de trazado de ramales condominiales son las siguientes (véase figura 19):

- Ramal por el fondo de los lotes.
- Ramal por el frente de los lotes.
- Ramal por las aceras.
- Ramal mixto.

En cualquiera de las cuatro alternativas mencionadas, la ejecución, la operación y/o el mantenimiento del ramal pueden ser o no responsabilidad del condominio.



**Figura 19. Alternativas de trazado de las redes condominiales.**

### 11.1.3. Ramales condominiales en áreas no planeadas

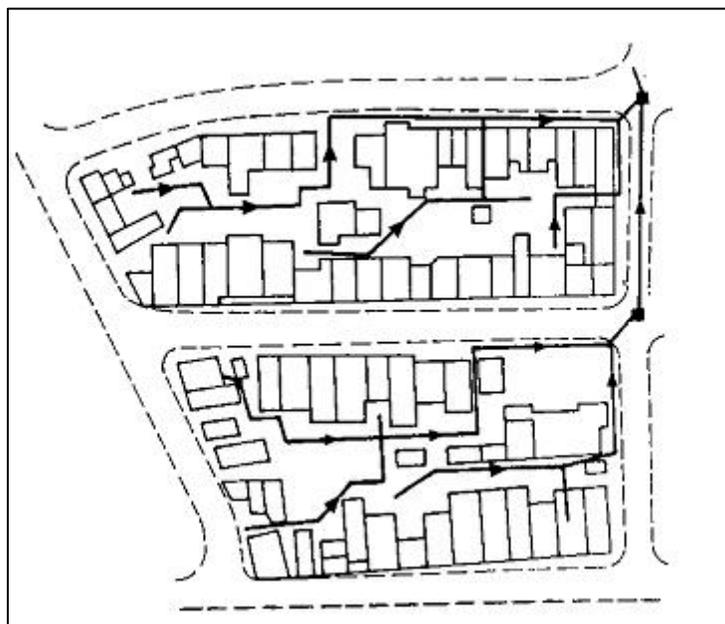
#### ✓ Redes internas al lote

El trazado de los colectores comienza internamente desde el lote a partir de la ubicación de baño y los demás equipos sanitarios. El criterio de trazado será minimizar las profundidades de los colectores y seguir la topografía del terreno para alcanzar al máximo las líneas naturales del flujo. Siguiendo este criterio se debe reducir al máximo el tamaño de las conexiones domiciliarias.

#### ✓ Redes externas al lote

Estas redes realizan la recolección multifamiliar de los desagües, a través de una o más cuadras, o de unidades conjuntas de viviendas que conforman cuadras típicas, con las conexiones colectoras intramuros (que pasan por dentro de los muros de las casas). El trazado es realizado intentando la búsqueda de los puntos más bajos del terreno y en lo posible independientemente del trazado urbanístico existente en el lugar. Pueden encontrarse situaciones en que sea necesario penetrar a un colector por una cuadra habitacional, recortándola durante la búsqueda de la vaguada

(camino óptimo para la descarga de las redes) del flujo, siempre que esto haya sido en común acuerdo con la población de aquella cuadra (véase figura 20).



**Figura 20. Ramales condominiales en un área no planeada.**

#### 11.1.4. Profundidad de colectores

La profundidad mínima de instalación de una tubería será definida en función del recubrimiento mínimo de las tuberías de acuerdo al cuadro 6 y la posibilidad de permitir la correcta conexión de las conexiones domiciliarias a la red pública de alcantarillado.

**Cuadro 6. Recubrimiento mínimo de las tuberías en sistemas de alcantarillado condominiales.**

Ubicación del colector	Profundidad mínima (m)
En los lotes	0.20-0.30
En las áreas verdes y veredas	0.45-0.65
Red principal por la calzada de la vía pública	0.85-1.00

#### 11.2. Cámaras de inspección

En el diseño de un sistema condominial, el proyectista debe prever un elemento de inspección en cada una de las siguientes situaciones:

- En el inicio de todo colector.
- En la conexión de la instalación intradomiciliaria en el ramal condominial.
- En cualquier punto donde la tubería cambia de diámetro, dirección o pendiente.
- En cualquier punto donde haya empalme de colectores.
- Las cámaras de inspección serán de dos tipos.

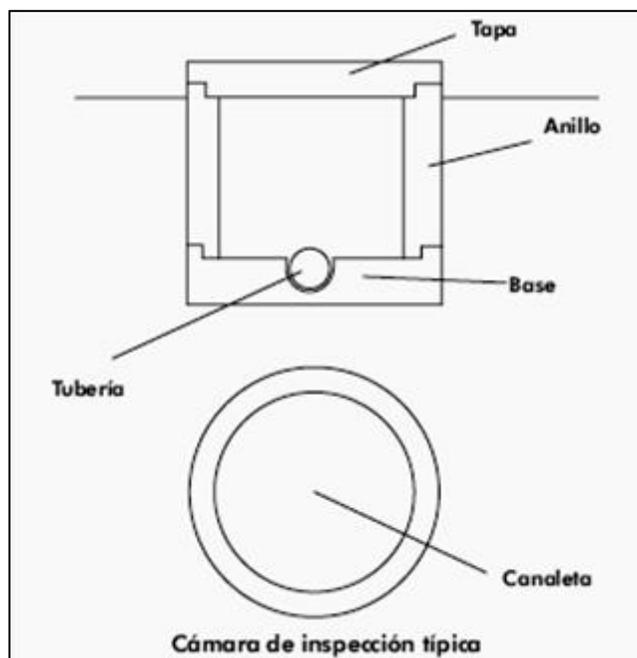
En un sistema condominial se usan normalmente los siguientes elementos de inspección, de acuerdo con la profundidad de la tubería:

✓ Caja de inspección- Tipo CI40

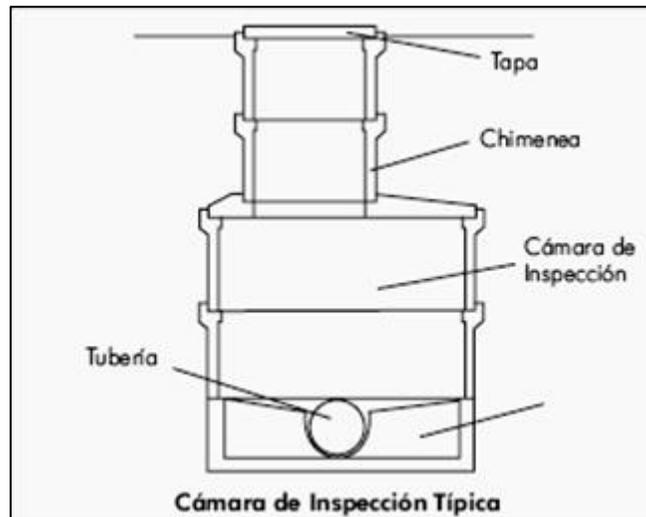
Se ubicará en el ramal condominial, de preferencia en un área protegida. Tendrá un diámetro de 0,40 m y será instalado cuando la profundidad de las tuberías es menor a 0,90 m. La separación máxima de estas cajas de inspección será 20 m. Se utilizarán en la conexión entre la instalación intradomiciliaria y el ramal condominial (véase figura 21).

✓ Buzoneta- Tipo CI60

Se ubicarán en las redes principales cuando la profundidad de las tuberías se encuentren entre 0,90 a 1,20 m. La separación máxima entre buzonetos será de 60 m para tuberías de 150 mm y de 80 m para tuberías de 200 mm. El diámetro de esta caja de inspección será de 0,60 m (véase figura 21).



**Figura 21. Caja de inspección empleada en los sistemas de alcantarillado condominial.**



**Figura 22. Buzón empleado en los sistemas de alcantarillado condominial.**

✓ Buzón

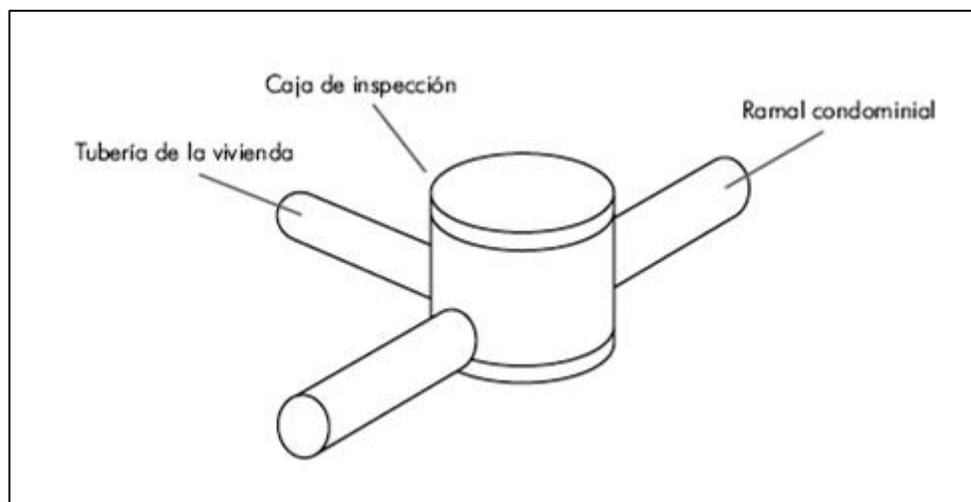
Deberá ser ubicada en la red pública cuando la profundidad de las tuberías sea mayor a 1,20m. La separación máxima será de acuerdo a lo especificado en el diseño del sistema de alcantarillado convencional (véase figura 22).

**11.3. Conexiones domiciliarias**

Las conexiones domiciliarias pueden ser dentro y fuera del lote:

✓ Conexión dentro del lote

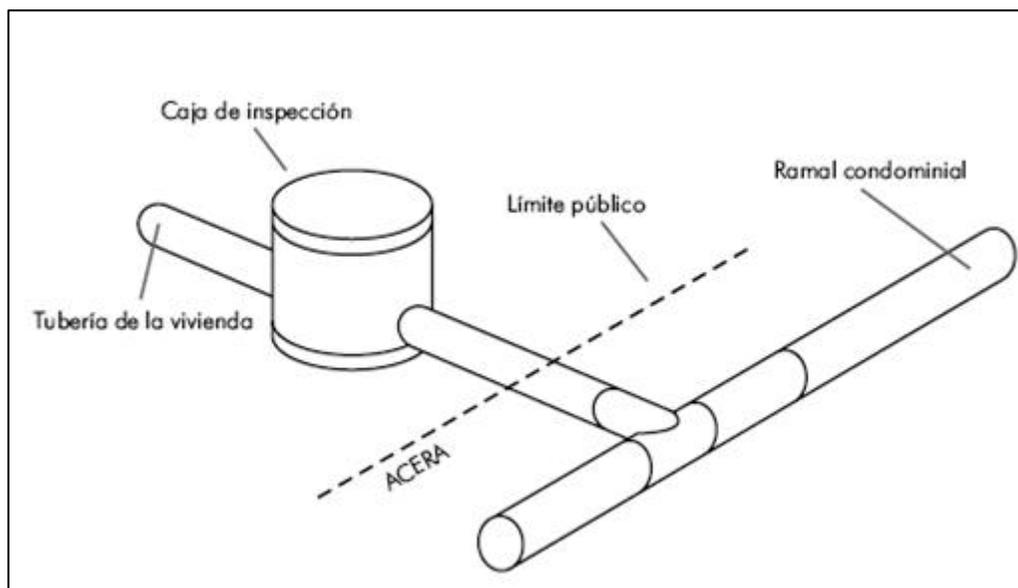
Si el ramal condominial se encuentra dentro del lote, la conexión de la vivienda se realizará mediante una “caja de inspección” (véase figura 23). La caja de inspección deberá ser instalada durante la construcción del ramal condominial, una en cada lote o vivienda. El usuario será responsable de la conexión de sus instalaciones intradomiciliarias, una vez que el sistema se encuentre concluido y próximo al inicio de funcionamiento.



**Figura 23. Conexión domiciliaria interna.**

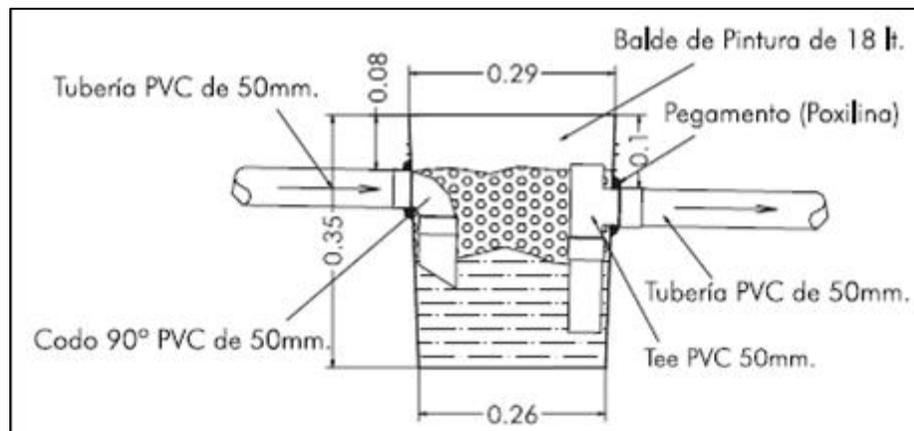
✓ Conexión fuera del lote

Si el ramal condominial se encuentra fuera del lote (acera), la conexión de la vivienda se realizará mediante un accesorio de PVC tipo “T”, “Y” o una “Silleta”. El accesorio de PVC será conectado mediante una tubería corta a la caja de inspección que estará ubicada dentro del lote, en una zona más protegida y próxima al límite público (véase figura 24).



**Figura 24. Conexiones domiciliarias fuera del lote.**





## 12. Fuerzas sobre colectores

En el diseño de alcantarillas, se debe determinar las características de la tubería que resistirá una determinada profundidad de instalación en función a las fuerzas actuantes a la que estará sometida. También puede aplicarse el procedimiento inverso, es decir, conociendo las fuerzas actuantes sobre la tubería y las características de la misma, se determina la profundidad a la cual deberá instalarse.

Por tanto, en el diseño de tuberías enterradas las condiciones que fijan las cargas que soportan son:

- Carácter, dirección y magnitud de las fuerzas.
- Propiedades físicas del material de la tubería.
- El tipo de apoyo sobre el cual se coloque la tubería.

### 12.1. Fuerzas actuantes sobre tuberías enterradas

Las cargas a las cuales estarán sometidos los colectores enterrados son principalmente dos tipos:

- La carga del terreno o cargas muertas.
- Las cargas de tráfico o cargas vivas.

#### 12.1.1. Carga del terreno

Llamadas también carga muerta proviene del peso del material de relleno sobre la tubería y sus alrededores. La magnitud de estas cargas es proporcional a la densidad del relleno, al ancho de la zanja y a la profundidad a la cual se instala la tubería.

Otros factores que influyen sobre la magnitud de esta carga son: la naturaleza del material del lecho, el método de soporte de la tubería y la rigidez de la tubería.

La rigidez de la tubería es uno de los factores con mayor influencia, ya que afecta el comportamiento mecánico de la misma frente a la acción de las fuerzas que actúan sobre ella mientras se encuentra enterrada. En el caso de las tuberías rígidas, las cargas aplicadas son absorbidas completamente por el tubo mientras que en las tuberías flexibles solo parte de la carga es soportada por la estructura del conducto. En dicho caso el tubo se deforma aumentando su diámetro horizontal, comprimiendo el terreno adyacente, generándose una resistencia pasiva del suelo que contribuye a soportar las cargas.

Se consideran tuberías flexibles aquellas que permiten deformaciones transversales de más del 3% sin que haya fractura y tuberías rígidas las que no permiten más de 1% sin presentar fractura. Ya que el comportamiento de las tuberías flexibles bajo cargas externas es diferente al de las tuberías rígidas, las normas de instalación son también diferentes.

Para la determinación de las cargas muertas en tuberías flexibles y rígidas se recomienda el uso de la teoría y ecuación de Marston.

Según esta teoría la carga muerta ( $W_m$ ) se determina de la siguiente manera:

$$W_m = (C_o - C_1) \times (w) \times (D) \times (B) \quad (\text{para tuberías flexibles})$$

$$W_m = (C_o - C_1) \times (w) \times (D)^2 \quad (\text{para tuberías rígidas})$$

Donde:

- $W_m$  = Carga muerta en  $\text{kg/cm}^2$ .
- $C_o$  y  $C_1$  = Coeficientes de Marston.
- $w$  = Densidad del material de relleno en  $\text{kg/cm}^3$ .
- $D$  = Diámetro externo de la tubería.
- $B$  = Ancho de la zanja.

Los valores característicos de los coeficientes experimentales para diferentes suelos y métodos de tendido se muestran en la figura 25. En todas, excepto las zanjas angostas, se obtiene algún alivio del esfuerzo por la presencia horizontal de la tierra, la cual es, ordinariamente, de 20 a 30% de la presión vertical.

Valores de densidad del material de relleno los cuales se pueden utilizar en los cálculos que se muestran a en el cuadro 7.

**Cuadro 7. Cálculo de valores de densidad.**

Tipo de Suelo	$W(\text{Kg/m}^3)$
Granulado y falto de cohesión	1700
Grava y arena	1900
Húmedo y fangoso	2000
Arcilla, lodo espeso	2100
Arcilla saturada	2200

### 12.1.2. Cargas de tráfico-tuberías de concreto

Son ocasionadas por el tráfico de vehículos sobre las vías. Se calcula por el procedimiento de BOUSSINESQ-HOLL-NEWMARK. La expresión es;

$$W_v = P_v \phi D$$

Donde:

- $W_v$  = Sobrecarga móvil en el tubo debido al tráfico.
- $P_v$  = Presión en la clave del tubo, debido a la sobrecarga móvil.
- $\phi$  = Coeficiente de impacto y de concentración.
- $D$  = Diámetro exterior del tubo.

El coeficiente de impacto viene determinado en función del espesor del relleno de acuerdo a:

- $\phi = 1 + \frac{0.3}{t^{0.6}}$  para calles y carreteras
- $\phi = 1 + \frac{H^{0.6}}{t}$  para vías férreas y aeropuertos

Los valores de presión por sobrecarga móvil pueden ser tomados para diferentes vehículos de la figura 26.

#### ✓ Coeficiente de construcción

La valorización numérica de las condiciones normales en la construcción de alcantarillas se la puede efectuar por medio de los coeficientes de construcción o factor de carga  $E_z$ , indicados la figura 27. Los coeficientes  $E_z$ , indican cuántas veces, de acuerdo a su colocación, la resistencia del tubo es mayor a la correspondiente al ensayo de carga de los tres apoyos.

#### ✓ Comprobación de la seguridad a la rotura

La carga del ensayo de tres apoyos es utilizada como medida de comparación de la seguridad a la rotura de los tubos instalados, para ello se debe cumplir con la condición.

$$E_z P_s \geq n_1 W_v + n_2 P_v$$

Donde:

- $E_z$  = Factor de seguridad a la rotura.
- $P_s$  = Carga de prueba de los tubos en la clave (método de los tres apoyos).
- $n_1$  = Coeficiente de seguridad para carga estática.
- $n_2$  = Coeficiente de seguridad para carga dinámica.

Como valores de los coeficientes de seguridad se recomiendan:

- n1 = 1,5 para condiciones favorables de suelo.
- n1 = 1,8 para condiciones desfavorables de suelo.
- n2 = 1,5 para espesores con relleno  $\geq 1,0$  m.
- n2 = 1,5 a 2,0 para espesores de relleno de 1,0 a 0,5 m.

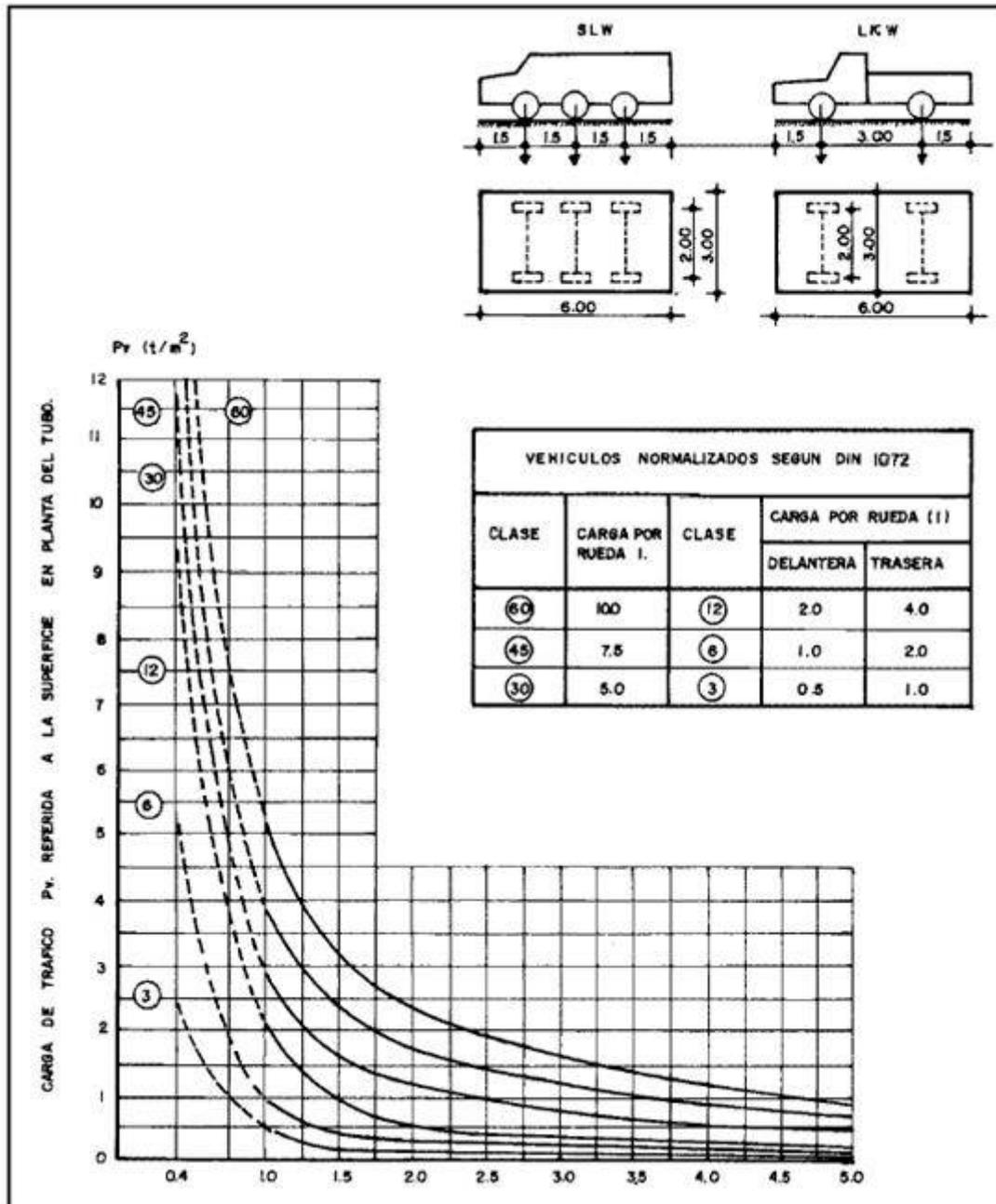


Figura 26. Presión en la clave del tubo debido a la sobrecarga móvil.

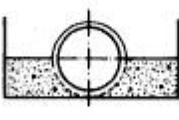
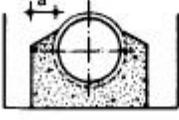
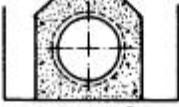
N°	TIPOS DE APOYO	Ez
1	 <p>TUBO COLOCADO EN EL FONDO DE LA ZANJA CON ALOJAMIENTO PARA CAMPANA COLOCACION INADMISIBLE</p>	1.1
2	 <p>FONDO DE ZANJA PREFORMADO A 90° CON ALOJAMIENTO PARA CAMPANA</p>	1.5
3	 <p>TUBO SOBRE RELLENO APISONADO DE GRAVA Y CON ALOJAMIENTO DE CAMPANA</p> <p><math>a = 5 \text{ cm} + 1/10 \text{ } \varnothing</math> MIN = 10 cm</p>	1.5
4	 <p>TUBO SOBRE CAMA DE HORMIGON H15</p> <p><math>A = 90^\circ</math>    <math>b = B_e</math> <math>a = 5 \text{ cm} + 1/10 \text{ } \varnothing</math> MIN = 10 cm</p>	1.8
5	 <p>TUBO SOBRE CAMA DE HORMIGON A 120° EL RESTO DE LA SOLERA DE H° (H 15) COMO EN 4</p>	2.0
6	 <p>TUBO EN ZANJA RELLENA DE HORMIGON H 15 APISONADO HASTA RIÑONES</p>	2.0
7	 <p>HORMIGONADO POR ENCIMA DE RIÑONES</p> <p><math>a = 1/4 \text{ } \varnothing</math>, MINIMO 10 cm Ez = 3 (H 15) Ez = 4 (H 17,5)</p>	3-4
8	 <p>TUBO ENVUELTO DE HORMIGON H 17,5</p> <p><math>a = 1/4 \text{ } \varnothing</math>, MINIMO 10 cm</p>	6.0

Figura 27. Tipos de apoyo.

### 13. Costos

De acuerdo a estudios realizados por el Banco Mundial (1994) y la Organización Panamericana de la Salud (1992), los costos de capital de los sistemas de alcantarillado, excluyendo el tratamiento de aguas residuales, se encuentran en los rangos siguientes:

- |                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| • Alcantarillado de pequeño diámetro | US\$ 35-85 por persona   |
| • Alcantarillado condominial         | US\$ 65-105 por persona  |
| • Alcantarillado simplificado        | US\$ 170-240 por persona |
| • Alcantarillado convencional        | US\$ 240-390 por persona |

Los costos del alcantarillado de pequeño diámetro dependen de si las viviendas disponen o no del tanque séptico. El alcantarillado convencional es más barato que el alcantarillado simplificado, que a su vez es más barato que el alcantarillado convencional. Por tanto, el alcantarillado condominial es generalmente preferido.

Los costos financieros del alcantarillado condominial son más bajos aun. En Natal al noreste de Brasil (donde el alcantarillado condominial fue desarrollado al principio de los años 1980s), el costo de capital en 1981 era US\$ 325 por vivienda; la Compañía de Agua y Alcantarillado pudo recuperar sus costos de inversión en 30 años aproximadamente, sobrecargando la factura del agua en solo 40% (en lugar del 100 por ciento para casas servidas por el alcantarillado convencional). El cobro de agua tuvo una tarifa mínima de US\$ 3,75. Con lo cual los costos financieros del sistema condominial fueron realmente bajos: solo US\$ 1,50 por vivienda por mes.

### 14. Referencias

- Bakalian A et al. Simplified sewerage: design guidelines. Washington, DC, The World Bank, 1994 (Water and Sanitation Report No.7).
- Guimaraes ASP. Redes de esgotos simplificadas. Brasília, Programa das Naciones Unidas para o Desenvolvimento/Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 1986.
- Azevedo Netto JM. Innovative and low cost technologies utilized in sewerage. Washington, DC, Panamerican Health Organization, 1992 (Environmental Health Program Technical Series No. 29).
- Otis RJ, Mara DD. The design of small bore sewer systems. Washington, DC, The World Bank, 1985 (TAG Technical Note No.14).
- United States Environmental Protection Agency. Folleto informativo de sistemas descentralizados. Alcantarillado por gravedad de diámetro reducido. Washington, DC, 2000.
- Mara, D. (1996). Low-cost Sewerage. Chichester: John Wiley & Sons.

- Mara, D. D., Sleigh, P. A. and Tayler, K. (2001): PC-based Simplified Sewer Design.
- Mendonça, S. R. (1985). Métodos Iterativos nos Cálculos analíticos de condutos en sistemas de abastecimiento de agua y esgotos sanitarios
- Programa de Agua y Saneamiento (2001). Sistemas Condominiales de Alcantarillado. Manual de Diseño y Construcción. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Proyecto Piloto El Alto-Bolivia).
- Programa de Agua y Saneamiento (2001). Sistemas Condominiales de Alcantarillado. Guía de Procedimientos. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Proyecto Piloto El Alto-Bolivia).
- Programa de Agua Potable y Alcantarillado (2002). Guía de Implantación de la Tecnología Condominial por una Empresa de Saneamiento. Sistema Alternativo de Bajo Costo de Alcantarillado Sanitario. PROAGUA/GTZ.
- ABNT/NBR 9649: Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitario.
- Dirección General de Saneamiento Básico (2002): Norma Boliviana NB 688. Instalaciones Sanitarias -Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales.
- Dirección General de Saneamiento Básico (2002): Norma Boliviana NB 688. Reglamento Nacional 688. Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Alcantarillado.
- Fair, G. M., Geyer J. C. y Okun D.A. Ingeniería Sanitaria de Aguas Residuales. Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales. Limusa, México, 1997.
- Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y Reutilización. Tercera Edición. España. McGraw-Hill. 1996.
- Arocha, S. Alcantarillado. Vega, España, 1983.
- Hernández, A. Saneamiento y Alcantarillado. Colegio de Ingenieros de Caminos, España, 1997.
- Cámara Peruana de la Construcción (2002). Reglamento Nacional de Construcciones.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (1994). Reglamento de Elaboración de Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.

- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (1994). Especificaciones Técnicas para Ejecución de Obras.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (2003). Reglamento de Elaboración de Proyectos Condominiales de Agua Potable y Alcantarillado para Habilitaciones Urbanas y Periurbanas de Lima y Callao.
- PAVCO. Manual Técnico. Sistema Alcantarillado Junta UNI-SAFE PAVCO.