

4. RECOLECCION Y DRENAJE DE AGUAS RESIDUALES

En las zonas densamente pobladas es necesario recolectar y remover las diferentes clases de agua y aguas residuales provenientes de todo lugar habitado. Además de cumplir con una necesidad sanitaria e higiénica, este proceso contribuye a mantener una calidad de vida adecuada.

Se presentan problemas cuando la construcción de edificaciones da lugar a la pavimentación de grandes terrenos, haciendo necesario el drenaje de las aguas pluviales. Después de varios años, esto puede provocar la disminución del nivel freático de agua subterránea. A menudo, este efecto se acentúa debido a que el agua pluvial, que antes podía escurrirse con lentitud y sin control alguno, una vez desarrolladas las construcciones, drena rápidamente y termina en las alcantarillas o en los cursos de agua. La vegetación, cuya importancia para el bienestar humano es cada vez más reconocida, sufre inevitablemente las consecuencias de este efecto. Los efectos de una pavimentación casi total de las superficies pueden observarse hoy en día en casi todas las grandes ciudades. Es posible que surjan cambios en el patrón de flujo del agua subterránea al instalarse los sistemas de drenaje, ya sea porque el agua subterránea tiende a fluir a lo largo de las tuberías del sistema o porque se infiltra en el mismo.

Un aspecto importante es que el agua recolectada no sólo debe ser descargada hacia cualquier lugar sino que además ha de ser purificada.

La recolección, disposición y tratamiento de las aguas residuales representan un factor de costo que no responde a beneficios a corto plazo. Es comprensible que en los países en desarrollo, el drenaje y tratamiento de las aguas residuales resulten poco económicos y sólo puedan realizarse a un costo razonablemente bajo. Sin embargo, la disposición de aguas residuales es una condición previa para satisfacer las necesidades más elementales de una población y dar paso a la industrialización.

Tanto las aguas residuales como las aguas pluviales deben ser evacuadas de las áreas pavimentadas.

4.1 DEFINICIONES

Todos los productos residuales en estado líquido, conjuntamente con la lluvia y las aguas superficiales e infiltradas, se conocen con el nombre de aguas residuales.

4.1.1 Métodos de disposición de aguas residuales

La disposición de las aguas residuales industriales, comerciales y domésticas puede realizarse mediante dos métodos:

- recolección en el lugar de origen y evacuación posterior, a través de diversos medios de transporte.

- método de transporte hidráulico, es decir, la recolección y la evacuación inmediata se efectúan mediante estructuras hidráulicas (alcantarillas, canales, etc.)

En el primer método, las aguas residuales se recolectan en pozos, los cuales son descargados con regularidad, por ejemplo, por medio de depósitos móviles tirados por animales o vehículos motorizados, y llevadas a un lugar adecuado para su tratamiento. Este método presenta grandes desventajas: por ejemplo, se debe mantener un amplio parque vehicular, además, durante el transporte y en las operaciones de carga y descarga, se contamina la atmósfera y el suelo. Este método sólo resulta apropiado con efluentes reducidos y cuando la planta de tratamiento no está muy alejada.

El segundo método incluye un sistema de alcantarillas y sus respectivas estructuras, conocidas como sistema de alcantarillado o de desagüe. Los efluentes deben evacuarse rápidamente y a través de rutas cortas, para evitar que se descompongan en las alcantarillas. El sistema de alcantarillado puede recolectar otros tipos de aguas residuales de la misma zona de drenaje, como agua pluvial, agua foránea, etc.

Los efluentes recolectados son transportados hasta una planta de tratamiento de aguas residuales y sometidos a diversos procesos. El agua residual satisfactoriamente purificada puede reutilizarse o descargarse en aguas receptoras. La materia sólida que quede en la planta después del tratamiento puede ser utilizada, descargada o incinerada.

4.1.2 Partes del sistema de alcantarillado

Los sistemas de disposición de aguas residuales comprenden:

- instalaciones sanitarias particulares,
 - red de alcantarillado público,
 - planta de tratamiento de aguas residuales,
 - estructuras y equipos para disposición de los efluentes y lodos tratados.
- a) Las aguas residuales y pluviales se recolectan en instalaciones receptoras en su lugar de origen. Desde allí, fluyen hacia el sistema sanitario particular y luego, a través de las tuberías de conexión, llegan al sistema de alcantarillado público, de donde (véase la Figura 4.1.-1) pasan a la planta de tratamiento y finalmente a las aguas receptoras.

En las edificaciones residenciales y comerciales, las instalaciones receptoras consisten en dispositivos sanitarios, tales como lavatorios, bañeras, inodoros, sumideros de piso, etc. Estas instalaciones receptoras deben contar con sellos hidráulicos para aguas residuales, (sifones invertidos) a fin de evitar que los olores desagradables de las instalaciones sanitarias ingresen en las habitaciones.

En las fábricas y establecimientos comerciales, las instalaciones receptoras incluyen tolvas, tanques, canales y medios similares.

El agua pluvial es recolectada en desagües y canaletas de techo, y en sumideros de patios y calles.

Las aguas residuales recolectadas en los sistemas de alcantarillado o instalaciones sanitarias interiores, de edificios, casas o patios, se descargan en las alcantarillas públicas a través de una conexión de servicio, que consiste en una tubería y un pozo de inspección o cajas de registro.

b) El sistema de alcantarillas (conocido también como sistema municipal de alcantarillado o sistema de recolección) comprende:

- tuberías: tuberías de gravedad o presión, y
- estructuras: pozos (conocidos también como buzones o bocas de visita), conductos, estaciones de bombeo, interceptores de arena, separadores de aceite, estanques recolectores de agua pluvial.

Las alcantarillas de las calles son utilizadas por diversos tipos de edificaciones (viviendas, fábricas, establecimientos públicos) y acarrear efluentes industriales y domésticos, agua foránea, y agua pluvial.

El sistema de alcantarillado de una ciudad se conoce como sistema de alcantarillado "público" o "municipal", mientras que los que utilizan las industrias se conocen como sistemas "industriales" de alcantarillado.

En el sistema de alcantarillado puede haber una o más tuberías. Los sistemas que transportan todos los efluentes (aguas residuales domésticas y agua pluvial) a través de una sola tubería (utilizando presión o no) se conocen como sistemas de alcantarillado combinado. Cuando los efluentes se acarrear separadamente en dos o más tuberías, el sistema de alcantarillado se denomina independiente (o separado). El número de tuberías depende de las diferentes calidades del efluente y de los posibles métodos de tratamiento.

El área descargada a una alcantarilla se denomina área de drenaje o de recolección. De acuerdo a la Norma DIN 2045, un área de drenaje es la zona limitada por cuencas o divisiones de drenaje, medida en proyección descendente sobre un plano horizontal y que descarga hacia un punto determinado a lo largo de la alcantarilla o curso receptor.

c) La planta de tratamiento de aguas residuales consiste en estructuras, equipos e instalaciones para el tratamiento de los efluentes antes de ser reutilizados o descargados en el curso receptor. El tipo de estructuras necesarias (depósitos, equipos, bombas, conductos, plantas de calentamiento, etc.) depende de la calidad de los efluentes, el método de tratamiento seleccionado y las condiciones de la localidad.

- d) Los efluentes y lodos, tratados, se evacúan en diversas formas. Los efluentes tratados pasan a ser reutilizados (en la industria o la agricultura) o descargados a un cuerpo de agua, una zanja de infiltración o un terreno con pendiente natural.

Se utiliza una desembocadura cuando los efluentes se descargan a un cuerpo de agua o a un terreno con pendiente natural. Se utiliza un distribuidor cuando se descargan a una zanja de infiltración.

Según sea su calidad, el lodo suele ser descargado, incinerado o esparcido en tierras de cultivo.

4.1.3 Esquema o planos de disposición de las aguas residuales

Un esquema de disposición de las aguas residuales muestra el plano horizontal (o de planta) y una sección longitudinal de las estructuras más importantes del sistema de alcantarillado, junto con sus ubicaciones relativas. El esquema se compone del colector principal, de los colectores secundarios, los aliviaderos, las estaciones de bombeo, los puentes de los canales y conductos, las plantas de tratamiento, la desembocadura en el curso receptor y las plantas de disposición de lodos. En la Figura 4.1.-1 puede apreciarse el plano horizontal de un sistema de alcantarillado /26/.

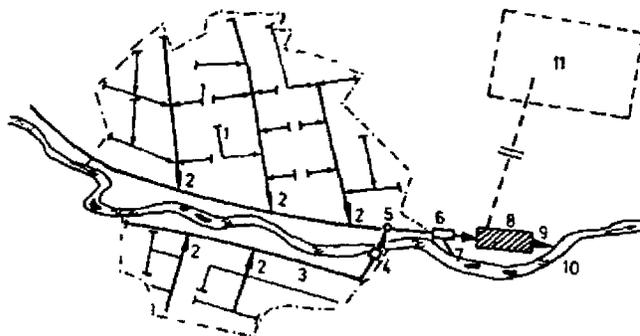


Figura 4.1.-1: Esquema de disposición de las aguas residuales (plano horizontal)

- | | |
|---|--|
| 1. Alcantarillas (de servicio, secundarias) | 7. Conducto de rebose |
| 2. Colectores secundarios | 8. Planta de tratamiento |
| 3. Colector principal | 9. Tubería de descarga y desembocadura |
| 4. Conducto | 10. Curso receptor |
| 5. Pozo recolector | 11. Campos de utilización de lodos |
| 6. Cámara de rebose | |

En la Figura 4.1.-2 aparece la sección longitudinal (perfil vertical) de una planta de tratamiento de aguas residuales.

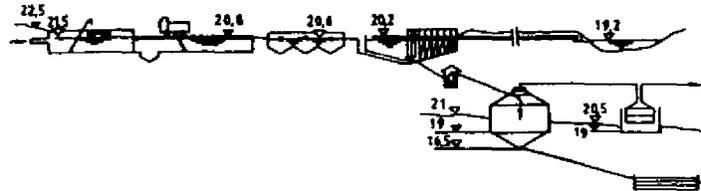


Figura 4.1.-2: Sección longitudinal de una planta de tratamiento de aguas residuales

Un sistema de drenaje puede desarrollarse en formas diferentes, dependiendo de variadas circunstancias. En la Figura 4.1.-3 se presentan diversos esquemas de distribución, tomando como ejemplo un sistema combinado de alcantarillado.

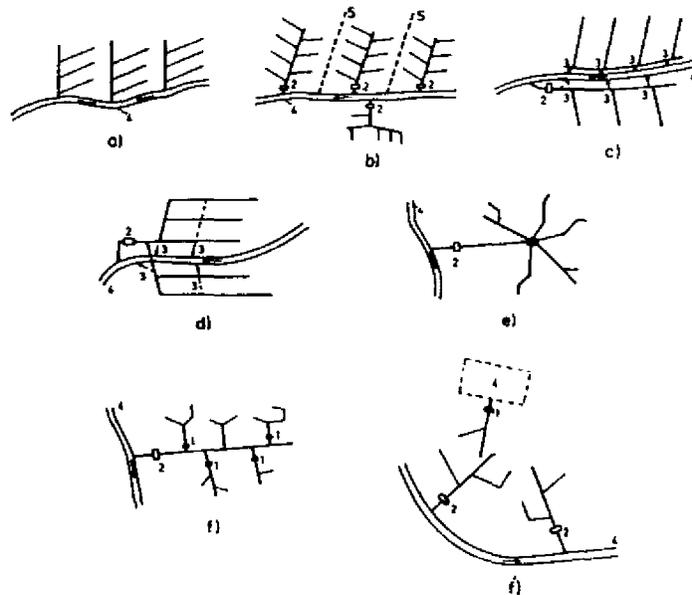


Figura 4.1.-3: Esquemas de distribución

- | | |
|----------------------------------|---|
| a. sistema transversal | e. sistema arterial |
| b. sistema parcial | f y f'. sistemas distritales (adecuados para grandes extensiones) |
| c. sistema de intercepción | |
| d. sistema paralelo | |
| 1. Estación de bombeo | 4. Curso receptor |
| 2. Planta de tratamiento | 5. Límite de las áreas de drenaje |
| 3. Aliviadero de aguas pluviales | |

Estos esquemas son muy importantes para el diseño general de los sistemas de evacuación de aguas residuales y constituyen la base en la planificación de estas estructuras.

La disposición de las estructuras constitutivas de un sistema de alcantarillado dependerá de la ubicación del curso receptor, del volumen de las aguas residuales, de las características especiales de las áreas de drenaje, de los aspectos topográficos, de la posición de la planta de tratamiento de aguas residuales, etc.

4.2 TIPOS DE SISTEMAS Y METODOS DE DRENAJE (DESAGÜE)

4.2.1 Sistemas de drenaje o de evacuación de las aguas residuales

Un sistema de evacuación de las aguas residuales consiste en el conjunto de las estructuras necesarias para un método particular de recolección y evacuación de aguas residuales. Un sistema se compone, entonces, de las estructuras del alcantarillado, de la planta de tratamiento y de las instalaciones de descarga.

Para una ciudad, puede existir un solo sistema de drenaje o varios sistemas separados. La construcción, la operación y el costo de todas las instalaciones de drenaje dependerá, en gran medida, de la solución que se decida.

En la Figura 4.2.-1 se muestran las instalaciones de drenaje para una ciudad empleando un sistema único (Figura 4.2.-1a) y dos sistemas independientes (Figura 4.2.-1b).

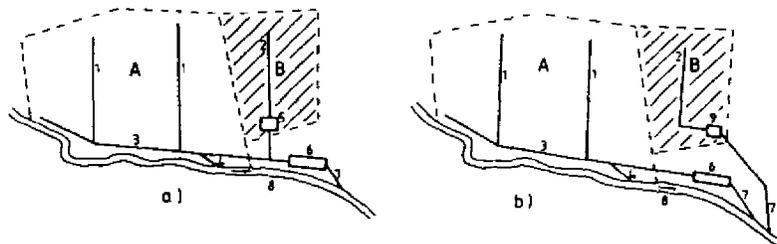


Figura 4.2.-1: Sistemas de drenaje

- | | |
|--|---|
| a. sistema único de drenaje | b. sistema doble de drenaje |
| 1. Colectores | 6. Planta de tratamiento de aguas residuales |
| 2. Colectores de los patios | 7. Estructuras de descarga |
| 3. Colector principal | 8. Curso receptor |
| 4. Rebose de agua pluvial | 9. Planta de tratamiento para residuos industriales |
| 5. Planta de tratamiento previo para residuos industriales | |
| A. Ciudad | B. Area (zona) industrial |

4.2.2 Métodos de drenaje

4.2.2.1 Sistemas de alcantarillado combinados y separados

Una zona puede ser drenada utilizando un sistema de alcantarillado combinado o separado. En algunos casos, por razones económicas por ejemplo, se pueden emplear ambos métodos dentro de un mismo sistema de alcantarillado. Una parte del distrito puede descargarse por medio de un sistema combinado y la otra parte mediante un sistema separado. Es el caso de cuando existe un viejo sistema de alcantarillado o cuando existen varios cursos receptores.

Un sistema combinado de alcantarillado recolecta y evacúa todo tipo de aguas residuales en un solo sistema de tuberías (agua residual doméstica, industrial, pluvial, y foránea).

Un sistema separado de alcantarillado recolecta y evacúa las aguas residuales contaminadas y el agua pluvial en tuberías independientes.

Ambos métodos se utilizan con éxito. Ambos poseen ventajas y desventajas que pueden ser decisivas en la planificación de un sistema de alcantarillado (Cuadro 4.2.-1).

Dos tuberías son suficientes para un sistema municipal de alcantarillado: una destinada a las aguas servidas, aguas infiltradas y aguas foráneas, y la otra, a las aguas pluviales. En las zonas industriales, el número de tuberías se determina según el número de los diferentes tipos de aguas residuales. En la Figura 4.2.-2 se muestra, por ejemplo, un esquema de disposición de aguas residuales con siete tuberías diferentes en una planta química /26/.

Normalmente, la construcción de un sistema combinado de alcantarillado es menos costosa que la de un sistema separado debido a que sólo se debe instalar una tubería en las calles utilizando muy poco espacio. Esto representa una ventaja significativa cuando las calles son estrechas. Otra ventaja es que las tuberías necesitan menos limpieza, ya que el agua pluvial se encarga de esta tarea. Por otro lado, es probable que se requieran plantas de tratamiento más grandes y una lluvia abundante podrá provocar una inundación de los sótanos si no se adoptan medidas preventivas.

En un sistema separado de alcantarillado quedan descartadas las desventajas del sistema combinado.

CUADRO 4.2.-1
COMPARACION ENTRE UN SISTEMA SEPARADO Y UN SISTEMA COMBINADO
HÖRLER /69/

Criterio	Sistema separado	Sistema combinado
a) Consideraciones económicas		
Número de tuberías	2 tuberías en cada calle	Una tubería
Operación, lavado limpieza	Más costoso	Más económico
Costo de los colectores	Más económicos en zonas bajas, siempre que el agua pluvial pueda evacuarse a alcantarillas instaladas a poca profundidad. La alcantarilla pluvial puede tener gradiente	A menudo, el costo es sustancialmente menor
Muchos cuerpos pequeños receptores de agua en el área de drenaje	Ventajoso, ya que el agua pluvial puede ser descargada en estos cuerpos de agua a través de alcantarillas más pequeñas y menos profundas	El nivel máximo de agua de estos cuerpos hídricos suele ser demasiado alto para los rebosadores de agua pluvial y ésta debe ser trasladada a través de grandes distancias
Plantas de tratamiento	Las aguas de refrigeración industrial pueden ser conectadas a la alcantarilla pluvial; esto ahorraría trabajo a la planta de tratamiento	Permiten un cierto grado de sobrecarga del cuerpo hídrico en época de lluvias; así, los costos de capital no serán más altos que en el sistema separado, siempre que la precipitación sea poca
Tuberías de servicio	Más costosos; deben instalarse 2 tuberías: una para el agua pluvial y otra para las aguas residuales	Más simple y económico

b) Consideraciones técnicas		
Contraflujo durante lluvias abundantes	Un contraflujo durante lluvias abundantes no provoca la inundación de los sótanos. Excepción: contraflujo a través del drenaje doméstico	Es posible una inundación del sótano
Contraflujo proveniente de la inundación por las aguas receptoras	Igual que en el caso anterior	Posible, según la altura del sótano y el nivel de crecida del agua del curso receptor
Flujo de estiaje	Poca profundidad del agua y poca fuerza de arrastre	Buenas condiciones para limpiar las alcantarillas
Presencia de aguas residuales agresivas	Las alcantarillas deben construirse con materiales resistentes	Las alcantarillas son muy amplias, lo cual brinda protección limitada contra la agresividad
Estación de bombeo	Las bombas operan constantemente	Además de bombas para las aguas residuales, debe haber bombas para el agua pluvial. Estas sólo operan pocas horas, anualmente, lo cual vuelve costosas las estaciones de bombeo
Disposición de las alcantarillas en las calles	Suele ser difícil la distribución de ambas alcantarillas	Menos problemático
c) Consideraciones sanitarias		
Reboses de agua pluvial	Ninguno para las aguas residuales	Alta contaminación del curso receptor (pero puede reducirse por medio de depósitos de clarificación de agua pluvial)
Lluvia leve de intensidad menor de 15 l/s.ha. (un 90% de precipitación anual)	Los desechos de las calles son transportados al curso receptor a través de la alcantarilla pluvial	Los reboses no llegan a funcionar y por tanto no contaminan el curso receptor

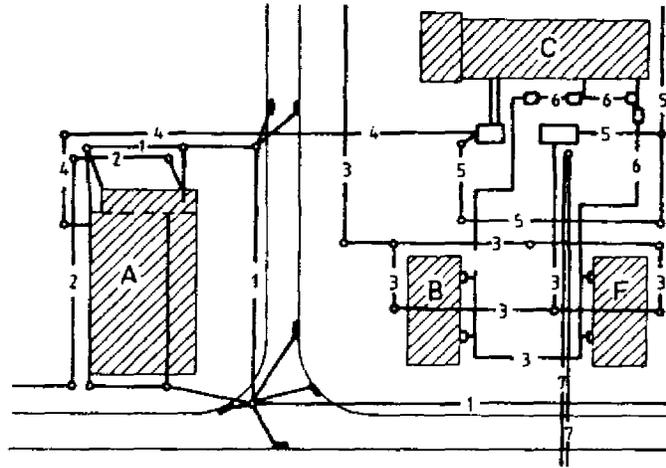


Figura 4.2.-2: Diagrama de los sistemas de alcantarillado en una planta química /26/

- | | |
|--|---|
| 1. Aguas de refrigeración y agua pluvial | 5. Aguas residuales que van al tanque de sedimentación |
| 2. Aguas residuales domésticas | 6. Aguas residuales industriales a ser neutralizadas y reutilizadas |
| 3. Acarreo por agua de la materia sólida | 7. Tubería de lodos |
| 4. Aguas residuales industriales | |

Una ampliación resulta igualmente más fácil. Las alcantarillas de aguas residuales pueden instalarse a menor profundidad que las alcantarillas pluviales. También es posible operar con menos estaciones de bombeo. Sin embargo, los costos de construcción son más elevados y su operación más costosa debido a los dos sistemas de tuberías.

Son importantes las consideraciones de tipo económico en el momento de decidir el método a utilizar. En muchos casos, un sistema combinado resulta más económico para las grandes ciudades edificadas en terrenos planos que para aquellos poblados en donde la supervisión es muy difícil. En los distritos con zonas industriales confinadas, resulta más ventajoso emplear el sistema separado.

Sin embargo, los factores principales que determinan los costos, y por tanto la selección del sistema, son el tipo del terreno y la naturaleza de las aguas receptoras.

4.2.2.2 Drenaje a presión y drenaje al vacío

En los últimos años se han desarrollado nuevos métodos, por medio de los cuales los efluentes son transportados por presión o al vacío hasta la planta clarificadora, y ya no exclusivamente por gravedad.

La comparación entre el método a presión y el de vacío demuestra que el primero se adecúa mejor a las zonas en donde las viviendas o las pequeñas comunidades se encuentran muy diseminadas, o en el caso de alcantarillas de gran longitud con un gradiente muy pequeño.

El método al vacío es eficaz para comunidades confinadas con más de 30 casas. Una zona cuyo radio abarque unos 2 km podrá descargarse por medio de una estación al vacío.

No obstante, no es posible establecer una regla general para el uso de sistemas de drenaje a presión o al vacío. Ello dependerá de las necesidades y las circunstancias imperantes en la localidad.

4.2.2.2.1 Sistemas de drenaje a presión

En un sistema de drenaje a presión, el agua residual fluye desde cada vivienda hasta un pozo recolector, o directamente hasta el tanque receptor de una planta de presión neumática.

En la Figura 4.2.-3 se presenta el diagrama de un sistema de drenaje a presión (COUSIN /41/).

De acuerdo a COUSIN, el drenaje a presión podría, en ciertos casos, resultar más económico que el drenaje por gravedad, por ejemplo:

- en distritos rurales con edificaciones dispersas, en especial si existen condiciones difíciles de subsuelo, agua subterránea con alto nivel freático y un terreno plano,
- en zonas con múltiples viviendas aisladas,
- cuando las tuberías de servicio están más profundas que la base de las alcantarillas públicas,
- cuando surgen nuevas zonas residenciales en el perímetro de las ciudades, en especial cuando se encuentran a grandes distancias y existen diferentes direcciones del flujo por gravedad.
- en lugares de campamento u otras áreas destinadas al turismo,
- cuando se desarrollan nuevos parques industriales.

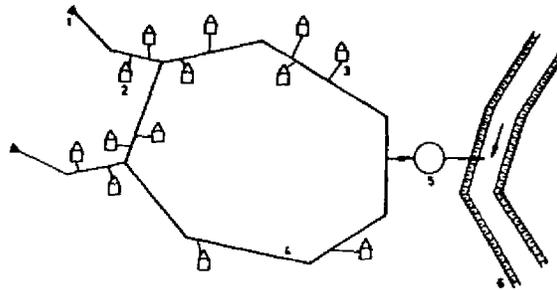


Figura 4.2.-3: Diagrama de un sistema de drenaje a presión /41/

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Estación de descarga | 4. Tubería a presión |
| 2. Vivienda conectada con bomba para aguas residuales | 5. Planta de tratamiento |
| 3. Conexión de servicio con tubería a presión | 6. Curso receptor |

La alcantarilla en sí puede instalarse a poca profundidad y con un gradiente muy reducido. La profundidad sólo deberá ser suficiente como para asegurar que el tránsito no llegue a causar daño alguno. Además, deberá haber sólo el gradiente necesario para asegurar el vaciado de la alcantarilla, aun cuando esto suceda con suma lentitud. El efluente es transportado principalmente mediante la presión producida por las bombas. Este método no sólo asegura una velocidad de flujo suficiente, sino que posibilita también la operación con velocidades más altas.

Según sea el número de bombas en funcionamiento, en estos sistemas puede ocurrir que la alcantarilla se encuentre bajo presión, lo cual no sucede en un sistema de drenaje por gravedad. La intensidad de la presión puede ser mayor que el nivel de la calle, haciendo imposible conectar los sumideros. Los sistemas a presión son una variedad del sistema separado de alcantarillado.

4.2.2.2 Sistemas de drenaje al vacío

Este tipo de sistema fue comprobado por LILJENDAL /../ en Suecia, en 1960. La materia fecal a ser evacuada se diluye con agua y se "aspira", es decir, es succionada con fuerza hacia la bomba de vacío en forma de pequeñas gotas. Frente a la bomba de vacío se encuentra un tanque en el cual se recolecta el agua. En un principio, este método estaba destinado a evacuar las aguas residuales provenientes de comunidades aisladas o zonas de campamento.

En la Figura 4.2.-4 se presenta el diagrama de un sistema de drenaje al vacío (WINKELMAYR /180/). Al descargar el inodoro, se abre la válvula de salida. El contenido de la taza del inodoro pasa a ser aspirado por el aire que ingresa en el sistema.

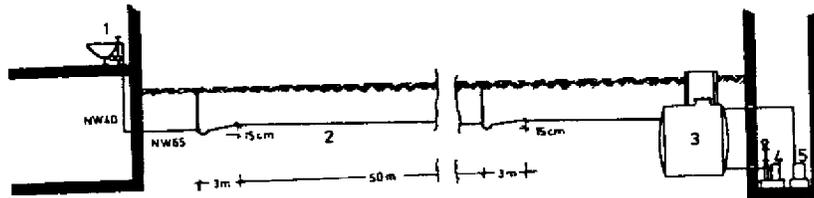


Figura 4.2.-4: Diagrama de un sistema de drenaje al vacío /180/

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Inodoro al vacío con válvula | 3. Tanque |
| 2. Tuberías horizontales de plástico | 4. Bomba para aguas residuales |
| | 5. Bomba de vacío |

Las ventajas de un sistema al vacío son las siguientes (WINKELMAYR):

- fácil de construir, poca profundidad, no hay retención de agua, el agua residual no puede escapar al subsuelo ya que las fugas se detectarían de inmediato (ingreso de agua foránea),
- bajos costos de construcción, comparaciones hechas hasta el momento indican un porcentaje de ahorro aproximado del 50%,
- económico a nivel de operación (por ejemplo, unos 0,50 DM/habitante) para agua residual fecal,
- la intersección de otras tuberías no representa problemas,
- las tuberías pueden estar más altas que las tuberías de abastecimiento de agua,
- el inodoro al vacío ventila eficazmente la habitación.

Este sistema es apropiado cuando:

- no hay agua pluvial que deba ser evacuada,
- el agua debe ser economizada o la cantidad de agua residual debe ser mínima,

- el declive del terreno no es suficiente como para permitir un flujo libre por gravedad,
- las construcciones están muy diseminadas,
- el nivel del agua subterránea es alto,
- la producción de agua residual es intermitente (como en el caso de las zonas de campamento y los balnearios; es particularmente útil para ser conectado directamente a los inodoros al vacío de las casas rodantes),
- deben hacerse instalaciones sanitarias en edificaciones ya terminadas,
- existen inodoros móviles, en las embarcaciones.

Los sistemas de drenaje al vacío poseen otra ventaja: sólo se requiere suministrar energía auxiliar a la estación de bombeo al vacío. Todas las válvulas de corredera en el tanque de vacío pueden ser controladas y operadas por medio de válvulas auxiliares accionadas por flotadores y por el mismo vacío, en las alcantarillas. Sin embargo, se necesitan dos tanques de vacío pues durante la succión no debe existir ninguna conexión con los puntos de toma fuera de uso (de otro modo, se vaciarían los sellos de agua provocando un fuerte ruido). Este sistema posee una capacidad limitada, puesto que no debe exceder una intensidad de succión de unos 5 m.

4.2.2.3 Otros métodos

El término drenaje "completo" se utiliza para designar a todas las aguas residuales y superficiales que son recolectadas y evacuadas. El término drenaje "incompleto" se aplica al procedimiento contrario.

Los sistemas comunes de drenaje "incompleto" consisten en tuberías que recolectan las aguas residuales dentro de un edificio, llevándolas hasta un pozo de recolección cercano con o sin rebose. Aquellos pozos sin rebose deberán ser vaciados periódicamente.

Los que sí tienen rebose (pero que carecen de una conexión al sistema de alcantarillado) funcionan como pozos de sedimentación y descargan aguas que contienen pocos sólidos; no obstante, éstas no son tratadas y no son higiénicamente seguras. Por lo tanto, tales pozos sólo pueden emplearse en forma provisional, por ejemplo hasta que nuevos edificios sean conectados al sistema de alcantarillado existente o a otro nuevo.

Un sistema de drenaje "completo" debe ser la base de cualquier plan de desarrollo para una zona densamente poblada. Si no existe la posibilidad de construir en el futuro una conexión a la planta de tratamiento de aguas residuales, las viviendas deberán contar con pozos de retención y el rebose de los mismos, deberá descargarse en tuberías cerradas que converjan hacia el futuro sistema de alcantarillado.

De acuerdo a los "Requisitos normales para la descarga de aguas residuales" en la República Federal de Alemania, las aguas residuales industriales que se descargan directamente en el agua receptora deben ser tratadas de la manera siguiente:

- Las aguas de procesamiento una vez tratadas preliminarmente en su punto de origen (en plantas de clarificación múltiples o simples), deberán recolectarse y tratarse en una planta central. Las aguas de refrigeración y las aguas superficiales ligeramente contaminadas no deberán mezclarse con las aguas de procesamiento.
- Después de su purificación, todas las aguas residuales, las aguas de refrigeración, las aguas superficiales ligeramente contaminadas, y las aguas dulces de rebose, deberán descargarse conjuntamente en el curso receptor a través de una sola salida.
- Las aguas residuales sanitarias provenientes de las fábricas, deberán descargarse en el sistema de alcantarillado municipal.

4.3 PLANIFICACION DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE

El diseño básico de los sistemas de evacuación de las aguas residuales en las ciudades o zonas industriales, por lo general, está a cargo de las autoridades públicas. Estas pautas aseguran que el planeamiento de la administración del agua en las zonas en desarrollo esté de acuerdo con los planes que se ejecuten a nivel regional y nacional.

Un sistema de alcantarillado deberá ser diseñado y administrado siguiendo iguales consideraciones a las aplicadas en el caso de un sistema de abastecimiento de agua.

El diseño de un sistema de alcantarillado requiere un alto grado de conocimiento y experiencia, por lo tanto, sólo deberá estar a cargo de ingenieros competentes.

4.3.1 Diseño preliminar

Como regla fundamental, todo sistema de alcantarillado deberá ser estudiado considerando las variaciones posibles con el fin de encontrar la mejor solución. Asimismo, se deberán evaluar los detalles de las diversas opciones, al margen de si éstas llegan a formar parte o no del esquema final. Un ejemplo de ello es analizar las diferentes opciones según el punto de vista económico. No se deberá omitir esta etapa de planificación, basándose en consideraciones que puedan resultar "poco económicas" o "difíciles de llevar a cabo".

La solución óptima, se decidirá en base a criterios que consideren aspectos naturales, sociales, técnicos y económicos.

- Los criterios de índole natural son: disponibilidad de las aguas receptoras, condición del suelo, perfil del subsuelo, calidad de las aguas residuales, condiciones climatológicas, extensión del área de drenaje.
- Los criterios sociales se refieren a: el grado de adquisición compulsiva de propiedades rurales o urbanas; asistencia gubernamental incluidas las reducciones o retrasos en otros rubros del gasto social.
- Los criterios técnicos y económicos requieren principalmente que se elija la solución menos costosa.

El diseño de un sistema de alcantarillado, generalmente, incluye:

- diseños preliminares a modo de perfil general,
- un diseño que sirva para obtener el permiso de construcción (diseño maestro),
- un diseño detallado de las estructuras, que incluya descripciones, dibujos y cálculos estáticos e hidráulicos, procesamiento de datos en computadora, cálculos (plan de costos) y costo estimado de operación.

Los diseños preliminares y los diseños maestros deberán comprender abundante información técnica y las justificaciones relativas a cada caso. También deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

- para las autoridades encargadas de la inspección: sólo necesitará tener una breve reseña del diseño del sistema, dado que ya tienen los conocimientos técnicos necesarios.
- para el cliente: proporcionarle explicaciones pormenorizadas, dado que con frecuencia no posee un conocimiento especializado sobre el tema.

La descripción deberá proporcionar una información exhaustiva sobre las razones para optar por un determinado diseño, así como explicaciones sobre la ejecución técnica, los costos, la eficiencia y los posibles efectos del sistema en términos de la administración del recurso y en términos económicos.

Los dibujos comprenden: plano general, plano de ubicación, secciones longitudinales, plano de estructuras y dibujos especiales o de detalles.

Los cálculos hidráulicos y estáticos comprenden, en general, todos los datos necesarios para establecer la dimensión de las alcantarillas y otras estructuras. Los cálculos deben presentarse de manera tal que permitan ser verificados.

El cómputo o metrado de las dimensiones debe ser presentado en la forma más detallada posible.

Los costos estimados de construcción y operación pueden ser de decisiva importancia; por lo tanto, deberán realizarse con la máxima precisión.

4.3.2 Criterios para el diseño de un sistema de disposición de aguas residuales

El diseño de un sistema de alcantarillado debe ser elaborado tomando en cuenta los códigos o normas de zonificación respectivos.

Por lo general, toda la zona designada se conectará a un solo sistema de alcantarillado. También es posible que una sola área, sea drenada por medio de varios sistemas (véase la Figura 4.2.-1); por ejemplo, diferentes zonas industriales pueden contar con sistemas de alcantarillado propios. Lo importante es encontrar la solución adecuada para la evacuación de las aguas residuales en cada parte del área.

En primer lugar, el diseño deberá presentar el tipo de sistema de drenaje seleccionado, el curso receptor, la planta de tratamiento y el método de disposición de lodos.

4.3.2.1 Selección del sistema de drenaje

El tipo de sistema de drenaje seleccionado, dependerá de varios principios técnicos y económicos. Estos criterios deberán interrelacionarse. Cada solución técnica representa un costo económico y por lo tanto deberá ser evaluada en términos económicos (dinero, materiales, mano de obra). Las soluciones de menor costo deberán ser examinadas con mayor profundidad.

Los aspectos más importantes a ser considerados son:

- si las aguas residuales de una ciudad y de las zonas industriales circundantes se drenarán en forma conjunta o separada. En este aspecto, se debe considerar, también, si los poblados vecinos serán conectados o no al sistema.
- método de drenaje: sistemas de alcantarillado combinados, separados o mixtos.
- diversos alineamientos posibles de los colectores principales.
- diversos cursos receptores, de los cuales se seleccionará los más cercanos y económicos.
- diferentes lugares de ubicación de la planta de tratamiento.
- descargas en el curso receptor.
- disposición de lodos (descarga en terrenos) o utilización en la agricultura.

Los cálculos económicos y técnicos deberán realizarse para cada alternativa, incluyendo los siguientes elementos:

- desembolso total de capital,
- posible desembolso gradual de capital,
- desembolso mínimo para mantenimiento de los sistemas,
- costos (de capital y de operación) de la recolección y tratamiento de las aguas residuales y la disposición de lodos.

Para definir las alternativas, se necesitan los datos siguientes:

- volumen de las aguas residuales,
- calidad de las aguas residuales,
- parámetros del proceso de tratamiento de las aguas residuales,
- utilización existente del agua,
- estudios geotécnicos y topográficos,
- estudios geológicos, hidrológicos y meteorológicos,
- calidad del curso receptor.

Todos estos estudios deben llevarse a cabo considerando las normas y regulaciones públicas.

Al momento de planificar un sistema de alcantarillado, se debe tomar en cuenta el uso del terreno en el área a ser drenada, incluyendo aquellas áreas no pobladas o que serán abandonadas dentro de 15 ó 20 años. Así mismo, hay que considerar un eventual desarrollo de la zona, a fin de que las instalaciones puedan adaptarse y/o expandirse sin dificultad. (Figura 4.3.-1). Además, en el diseño del nuevo sistema, se deberá considerar las instalaciones de drenaje ya existentes. En tales casos, la mejor solución podría ser la creación de un sistema paralelo o de un sistema de alcantarillado interceptor (Figura 4.3.-2). Cuando se amplía un sistema de alcantarillado, es posible transformarlo en un sistema separado y utilizar las alcantarillas existentes para las aguas residuales. Tales soluciones, sin embargo, son difíciles de llevar a cabo.

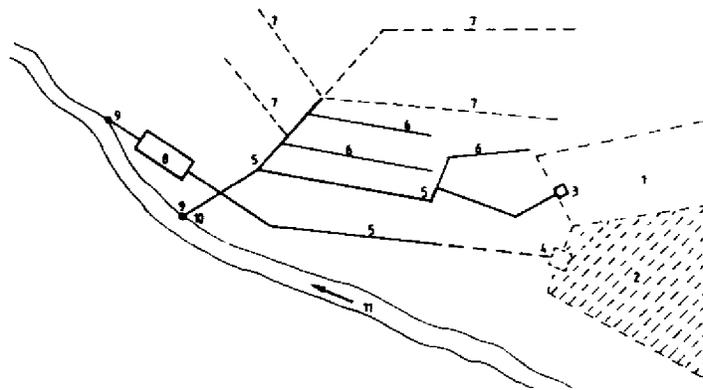


Figura 4.3.-1: Esquema de un sistema de alcantarillado para una ciudad en desarrollo

- | | |
|--|--|
| 1. Zona industrial (primera etapa) | 6. Colectores secundarios |
| 2. Zona industrial (en el futuro) | 7. Colectores previstos |
| 3. Planta de tratamiento previo de efluentes (primera etapa) | 8. Planta de tratamiento de aguas residuales |
| 4. Planta de tratamiento de efluentes | 9. Estructura de descarga |
| 5. Colectores principales | 10. Rebose de agua pluvial |
| | 11. Curso receptor |

Por lo tanto, un sistema de alcantarillado deberá ser diseñado de manera tal que las expansiones futuras de la ciudad, no causen ningún problema. Un buen ejemplo es, sin duda, la alcantarilla principal de Roma (cloaca máxima), la cual está en uso desde hace 2000 años.

El costo de la evacuación de las aguas residuales, expresado en moneda nacional o internacional, constituye un buen indicador y es un factor decisivo para la economía del sistema seleccionado. Se deberán determinar estos costos especiales, referentes, tanto a la construcción como a la operación.

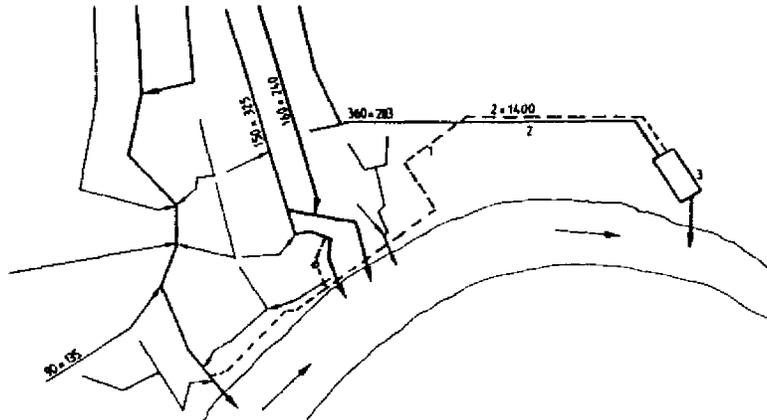


Figura 4.3.-2: Plan para expandir la capacidad de un sistema de alcantarillado mediante una alcantarilla interceptora

1. Colector interceptor proyectado
2. Colector existente
3. Planta de tratamiento de aguas residuales

En resumen, el diseño óptimo de un sistema de alcantarillado deberá decidirse en base a un análisis de los criterios anteriores. A partir de esto, quedará claro si, resulta o no más económico, construir uno o más sistemas. Los aspectos sociales, técnicos y económicos de las diferentes posibilidades, también deberán tomarse en cuenta al momento de escoger la mejor solución (¡la cual no necesariamente será la menos costosa!).

4.3.2.2 Selección del sistema de canalización

También en este caso se debe seleccionar al mejor sistema en base a estudios comparativos.

Algunas soluciones son simples, como en el caso de las ciudades en donde cabe considerar un máximo de dos líneas de tuberías, o en el caso de aquellos poblados en donde la mejor opción está representada por un sistema combinado. En casos excepcionales, cuando los recursos financieros son limitados, se deberá construir una alcantarilla independiente para las aguas residuales domésticas, permitiendo que el agua pluvial se escurra naturalmente sobre la superficie.

En la Figura 4.3.-3 se muestra el ejemplo de un análisis técnico en la planificación de un sistema de alcantarillado, según ATV /1/.

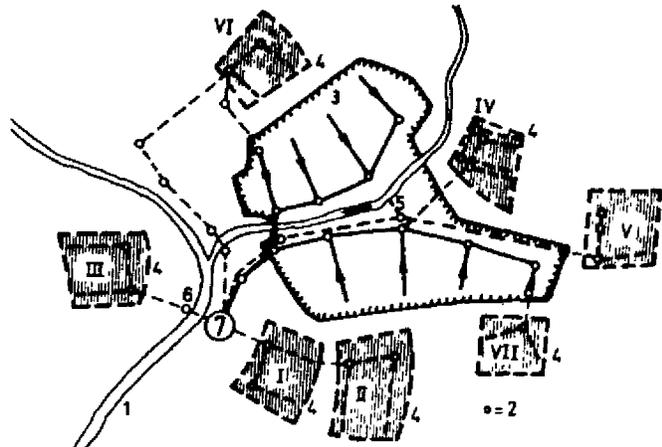


Figura 4.3.-3: Ejemplo de un análisis técnico en la planificación de un sistema de alcantarillado

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Curso receptor | 5. Rebose |
| 2. Estación de bombeo | 6. Sifón |
| 3. Ciudad considerada | 7. Planta de tratamiento de aguas residuales, colector necesario |
| 4. Expansión proyectada de la ciudad | |
| I - VII. áreas pobladas | |

El número de tuberías requeridas para las aguas residuales industriales dependerá de las características del agua. Habrá que considerar la posible reutilización de las aguas residuales industriales en la misma planta, en las industrias cercanas o en la agricultura. En algunos casos es ventajoso mezclar las aguas residuales provenientes de diversas industrias (por ejemplo, residuos ácidos con residuos alcalinos).

Se pueden utilizar los canales abiertos (por ejemplo, las cunetas de las calles) en reemplazo de los canales cerrados para transportar el agua pluvial hasta el inicio del sistema de alcantarillado.

4.3.2.3 Planificación de un sistema municipal de drenaje

La mayor parte del desembolso de capital (cuando menos de un 60 a 70%) destinado al sistema global de evacuación de las aguas residuales, corresponde a la construcción de la red de alcantarillado. El sistema que se utilice, la profundidad determinada para las alcantarillas, los elementos técnicos y económicos, y la construcción y operación del sistema son factores decisivos

para una evacuación satisfactoria y económica de las aguas residuales municipales. En un sistema de alcantarillado se trabaja con un mismo elemento de construcción (por ejemplo una tubería de 1 m de longitud), innumerables veces; de modo que todo ahorro significativo por metro lineal, repercutirá, también, de manera considerable en los costos globales.

Un sistema de alcantarillado deberá diseñarse en función al desarrollo futuro del área de drenaje a consideración. El sistema habrá de proyectarse con una duración no menor de 50 años, considerando también la resistencia del material de las tuberías. El problema, en este caso, radica en que los niveles de mayor proyección, como la planificación a nivel regional, sólo abarcan un período de 20 años, y en oportunidades anteriores, los planes fueron sometidos a constantes reformulaciones, a pesar del poco tiempo transcurrido. En los países en desarrollo, con frecuencia, tales planes no existen, o existen solamente para el caso de grandes ciudades. Sin embargo, la planificación para el futuro siempre es necesaria, en tanto que el reemplazo de las alcantarillas en áreas ya cubiertas, resulta técnica y administrativamente difícil, al igual que demasiado costoso.

El diseño de un sistema de alcantarillado comprende las siguientes subdivisiones:

- selección del sistema de alcantarillado,
- distribución y delimitación del área de drenaje para cada colector,
- cálculo del volumen de agua residual (véase la sección 4.3.3),
- cálculo hidráulico de los cortes transversales de las tuberías (véase la sección 4.3.4),
- cálculo estático de los cortes transversales (véase la sección 4.3.5),
- alineamiento, gradiente y profundidad de las alcantarillas,
- disposición de las tuberías en las calles, en corte transversal y longitudinal,
- diseño de las estructuras (véase la sección 4.4.2).

El plano básico debe incluir el alineamiento aproximado de los colectores, ya sea en un sistema combinado o separado, la ubicación de la planta de tratamiento de las aguas residuales y el método de evacuación de los lodos y las aguas residuales.

Cualquiera sea el sistema seleccionado, el siguiente paso consistirá en diseñar la red de alcantarillado, factor central para determinar los mejores métodos de construcción y operación.

Este plano de diseño incluirá el trazo del colector principal, los colectores secundarios, las áreas a ser drenadas a través de bombas, la ubicación de las estaciones de bombeo, los canales subterráneos (para cursos de agua, calles y

rieles) y los puntos de descarga en el curso receptor. Asimismo, se incluirá las áreas de drenaje y la profundidad de los puntos de registro, al igual que los canales de alimentación, la profundidad de las tuberías iniciales y el volumen de las aguas residuales.

La sección longitudinal de cada colector se trazará luego en base a esta información. En esta etapa, será posible realizar un cálculo aproximado de los perfiles de las tuberías. También se hará la determinación final de las secciones transversales y las dimensiones de las estructuras (bombas, sifones, etc.).

Los planos pertinentes deberán elaborarse de acuerdo a los procedimientos establecidos. Primero se deberá trazar un plano general del proyecto, en el cual se indicará el trazo proyectado de las tuberías, utilizando un mapa topográfico de escala 1:25.000 ó 1:50.000 (para proyectos más grandes, puede usarse uno de escala 1:100.000 a 1:500.000). Además, deberán indicarse las características importantes, tales como tuberías de gran longitud - existentes y proyectadas - calles o caminos, áreas protegidas, etc. Adicionalmente, se trazarán otros planos en las escalas siguientes:

- Planos de planta a una escala de 1:500 a 1:5000
- Planos verticales o cortes longitudinales
 - a una escala de 1:500 a 1:5000 para dimensiones horizontales
 - a una escala de 1:100 para dimensiones verticales
- Diseño de estructuras
 - a una escala de 1:100

4.3.2.4 Remoción de depósitos de las alcantarillas

Al diseñar un sistema de alcantarillado, deberá preverse la remoción de los sedimentos que se acumulan en las alcantarillas. Para ello se requerirá un desembolso adicional de capital. Si los sedimentos no son removidos, se convertirán en un peligro para la salud.

4.3.2.5 Selección de cuerpos receptores

La selección de los cuerpos receptores dependerá de las condiciones naturales, es decir, de los cuerpos de agua allí presentes y de las normas locales relativas a la descarga de aguas residuales.

El volumen máximo a ser descargado, se determinará por la capacidad asimilativa del curso receptor. Por lo general, será necesario obtener el permiso respectivo antes de descargar el agua residual. La ubicación de la descarga se determinará contando con la aprobación de las autoridades encargadas de la administración del recurso. La evacuación deberá hacerse en algún punto, río abajo de la ciudad.

Se deberán considerar los siguientes criterios al momento de seleccionar el cuerpo receptor:

- El cuerpo receptor y la desembocadura deberán hallarse lo más cercanos posible de la ciudad o la zona industrial donde se utiliza el sistema de alcantarillado, teniéndose en cuenta la cantidad de estructuras necesarias para transportar las aguas residuales hasta dicho receptor. Esto afecta el desembolso de capital y los costos de operación del proceso de descarga.
- Los costos adicionales que significaría una variación en el curso del agua (ampliación, desviación, excavación, etc.) influirán, también, en la selección del lugar apropiado.

En algunos casos, el desembolso de capital podrá reajustarse conforme vaya incrementándose el volumen de aguas residuales o varíe la calidad del cuerpo receptor.

Los cursos receptores constituyen un factor decisivo en el diseño de sistemas de alcantarillado. Es algo que deberá considerarse en los planos que incluyan todos los cursos existentes en el área de drenaje y en el área correspondiente al agua pluvial. Deberá considerarse además que el área de planeamiento en cuestión podría estar contaminada. Otro aspecto importante a ser investigado, es el uso del agua que se encuentra aguas abajo del área de drenaje, que podría estar siendo utilizada para agua potable, piscinas públicas, etc. Si se prevén problemas relacionados con la descarga de aguas residuales en el curso receptor, el proyecto deberá incluir recomendaciones para los cambios constructivos necesarios de los cursos de agua, tales como ensanchamiento, desviación, profundización, etc.

4.3.2.6 Selección del esquema para una red de alcantarillado

La primera etapa consiste en obtener los mapas, planos y croquis, necesarios.

La segunda etapa importante consiste en inspeccionar la zona. El proyectista deberá familiarizarse con las condiciones topográficas y, de ser posible, examinar la validez actual de los planos disponibles a través de inspecciones eventuales. La experiencia ha demostrado que las nuevas construcciones o estructuras, aparecen en los mapas sólo después de varios años. Para cerciorarse de la dirección del flujo, las descargas y los contornos principales, éstos deberán ser trazados en los planos o mapas respectivos.

Los perfiles longitudinales deberán incluir el relieve topográfico del área, la ubicación proyectada para la planta de tratamiento, las condiciones del subsuelo, el ancho de las calles y la intensidad del tránsito vehicular (en previsión de las obras viales), los principales productores de aguas residuales, los monumentos históricos, así como la factibilidad de adquirir o no edificios y terrenos mediante expropiación.

Los colectores principales, generalmente se instalan en las partes más bajas de la ciudad, para que así, alcancen a cubrir una mayor área (a un menor costo). De ser posible, las aguas residuales deberán fluir sólo por gravedad, sin la ayuda de bombas. Pero si fuera necesario el bombeo, el colector principal deberá ser colocado lo más cerca posible de la planta de tratamiento. Además el trazado deberá situarse cerca del curso receptor para que las tuberías de rebose del agua pluvial sean de menor longitud.

Los colectores deberán tenderse sobre terrenos con suficiente capacidad de carga. Esto reduce los costos; las estructuras suplementarias serán necesarias cuando el terreno tenga escasa capacidad de soporte de carga; se incluyen aquí rellenos, antiguos rellenos sanitarios y terrenos cuyo nivel freático haya disminuido. En el caso de áreas estrechas, deberá considerarse las distancias entre las edificaciones existentes o por construirse.

Se deberán considerar además los requisitos especiales para el drenaje de aguas superficiales. Si éstas se drenan a través de canales abiertos, los mismos deberán seguir gradientes naturales. En caso contrario, el uso del terreno podrá verse gravemente afectado cuando existan pendientes excesivas. Es probable que también se requiera proteger las pendientes para evitar deslizamientos de tierra, lo cual podría representar mayores costos, debido a las excavaciones y otras obras esenciales.

Por lo general, los colectores se instalan en las vías principales. Durante la construcción, se deberá tener el cuidado de asegurar un flujo continuo del tránsito vehicular. Algunas veces, será necesario reubicar los colectores aunque ello implique mayores costos o, en todo caso, construir un túnel bajo las zonas de tránsito.

Este problema suele presentarse en los países en desarrollo, donde no hay muchas calles anchas. La disposición de los colectores en estas vías deberá ser, por lo tanto, planificada con anticipación.

Si existe una zona verde a lo largo de las calles, el colector deberá estar instalado allí; así se podrá construir y reparar sin necesidad de interrumpir el tráfico. Para evitar perforar demasiado los grandes colectores a causa de numerosas conexiones, se instala un colector secundario al costado del colector principal y hasta dos si la calle tiene más de 30 - 50 m de ancho. Los colectores para aguas residuales municipales siempre habrán de instalarse en propiedades públicas. El acceso a las mismas, deberá ser constante por razones de mantenimiento y reparación, o para la instalación de nuevas conexiones. Esto se realizará más fácilmente, si quedan excluidos los propietarios de terrenos particulares.

Los colectores secundarios se instalarán conforme avance el desarrollo de las viviendas. Es normal, en la planificación urbana, que la construcción de viviendas se haga a lo largo de las vías públicas y, por lo tanto, a lo largo de las alcantarillas públicas; constituye un principio básico el que los dueños de las propiedades cuenten con su propia conexión. La selección del diseño para estas conexiones deberá realizarse de acuerdo a los diferentes tipos de desarrollo urbano y a la necesidad de contar con soluciones económicas.

Se han construido sistemas utilizando conexiones combinadas, con lo cual se reduce la inversión hasta en un 20% empleando colectores laterales y colectores normales (Figura 4.3.-4 a-c).

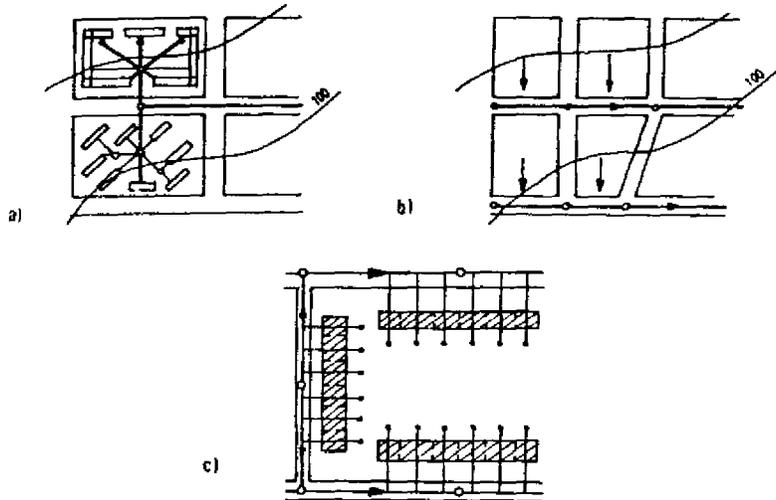


Figura 4.3.-4: Tendido de conexiones de servicio y de colectores secundarios

- a. con conexiones domiciliarias combinadas;
- b. con colectores laterales;
- c. colectores normales.

Los colectores deberán tenderse a poca profundidad. En el Cuadro 4.3.-1 aparece la relación entre profundidad y costo (BÖHNKE y DOETSCH /33/).

Un sistema separado para agua pluvial posee características especiales, ya que en las ciudades, este tipo de agua puede removerse superficialmente (escorrentía) o a través del subsuelo (infiltración). Un sistema de recolección de agua pluvial puede ser:

- abierto,
- cerrado,
- parcialmente abierto, parcialmente cerrado.

El método abierto (mediante cunetas) posee ciertas ventajas: en los pequeños poblados, en las comunidades construidas en terrenos planos, o como un método inicial en los países en desarrollo. Es más seguro transportar el agua pluvial en forma abierta en los tramos iniciales del sistema de alcantarillado, incluso dentro de una ciudad. El agua pluvial también puede

transportarse a través de los sumideros de las calles. Cuando el volumen de agua excede la capacidad de las cunetas, ésta ingresa al sistema de alcantarillado cerrado a través de sumideros especiales.

CUADRO 4.3.-1
DATOS SOBRE EL COSTO DE EXCAVACION Y RELLENO DE UN TRAMO DE TUBERIAS /33/

DN mm	Profundidad de la excavación (en m)	SC 2* DM/m	SC 3 - 5 DM/m	SC 6 DM/m	SC 7 DM/m
100 - 200	1,50	56 - 92	42 - 56	62 - 95	95 - 177
	1,75	64 - 101	48 - 70	70 - 116	110 - 215
	2,00	121 - 153	106 - 136	129 - 181	174 - 298
250 - 400	1,50	71 - 104	53 - 71	79 - 124	124 - 185
	1,75	73 - 119	60 - 90	90 - 151	143 - 223
	2,00	142 - 188	121 - 155	152 - 221	212 - 304
500 - 600	1,50	87 - 116	64 - 85	96 - 151	152 - 228
	1,75	100 - 150	73 - 114	110 - 191	166 - 227
	2,00	162 - 220	137 - 178	174 - 264	250 - 369

* SC 2 = tipo de suelo 2

Las ciudades poseen por lo general un sistema de alcantarillado separado y el agua pluvial suele ser transportada a través de colectores cerrados.

Las mismas reglas se aplican tanto en el caso del agua pluvial como en el del agua residual. La solución más económica consiste, a menudo, en contar con varias desembocaduras hacia el curso receptor, en tanto que esto, permite reducir la sección transversal de las alcantarillas después de la escorrentía. Sin embargo, si los reboses del agua pluvial tienen una longitud considerable, podría resultar más económico colocar una sección transversal amplia, en la tubería principal.

Podría ser conveniente, por ejemplo, construir el colector en una primera etapa, con las dimensiones finales pero con menos reboses de agua pluvial; para luego instalar más reboses, a medida que vaya siendo necesario. Un procedimiento similar puede seguirse en el caso de las cuencas de captación de agua pluvial. En una primera etapa, se les puede distribuir e instalar y, a medida que se extiende el área de drenaje conectada, se podrán construir también tanques de retención para distribuir la descarga por un período más prolongado. El agua pluvial proveniente de las afueras de la comunidad, deberá transportarse directamente hasta el curso receptor mediante tuberías de derivación.

4.3.2.7 Distribución y delimitación del área de drenaje para cada colector

El área total a ser drenada mediante un sistema de alcantarillado se denomina área de drenaje (AE). En los terrenos montañosos, el área de drenaje coincide generalmente con el área hidrológica delimitada por las cuencas. En los terrenos planos, las áreas de drenaje deberán delimitarse utilizando la inclinación natural del terreno para drenar el agua pluvial.

Para calcular el área de drenaje, se determina la bisectriz del ángulo de las cuadras y se unen los puntos de intersección de dichas bisectrices (Figura 4.3.-5). En terrenos con pendientes, se deberá delimitar las áreas de drenaje de acuerdo a las condiciones locales (Figura 4.3.-6).

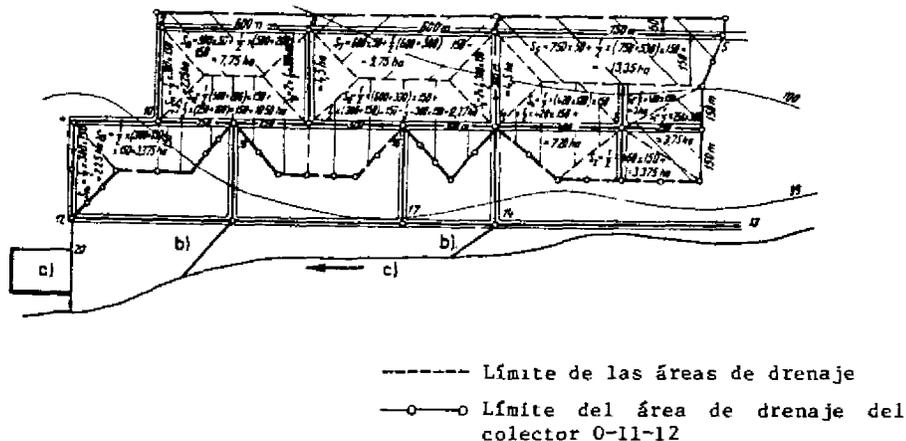


Figura 4.3.-5: Distribución y delimitación de las áreas de drenaje

- a. planta de tratamiento,
- b. rebose de agua pluvial,
- c. curso receptor

Debido a las condiciones locales, en un sistema de alcantarillado separado sobre terreno plano, las áreas de drenaje para aguas residuales domésticas serán las mismas que las destinadas para el agua pluvial. Sin embargo, en terrenos con pendientes, las aguas residuales y el agua pluvial, tendrán áreas de drenaje diferentes.

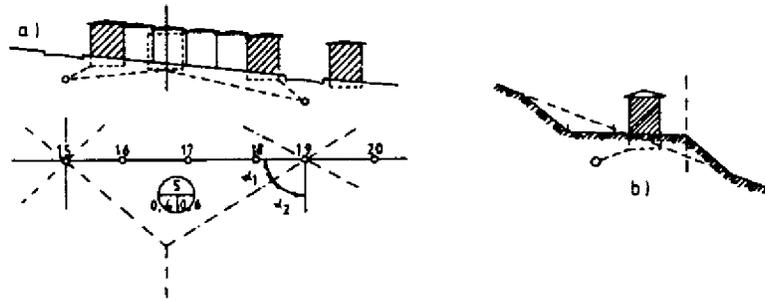


Figura 4.3.-6: Límites del área de drenaje

a. en terrenos con pendientes

b. con zanjas y terraplenes

4.3.3 Cálculo del volumen de agua residual

El volumen de agua residual fluctúa como consecuencia de la actividad humana y de los fenómenos naturales (precipitación, infiltración de agua subterránea). Cuando se diseña un sistema de alcantarillado, es necesario conocer los valores máximos y mínimos que puedan presentarse. No obstante, los sistemas de alcantarillado no se diseñan considerando el flujo máximo posible de agua pluvial y de agua superficial, pues ello resultaría demasiado costoso.

Para diseñar un sistema de alcantarillado, se deberán considerar todos los tipos de aguas residuales, determinándose además en cada caso el índice de flujo (gasto) respectivo. Los cálculos suelen realizarse utilizando diferentes cuadros.

El volumen de agua residual se determina sumando diferentes tipos de agua residual en base a los siguientes principios de cálculo:

- para el agua residual doméstica, la cantidad se calcula en base a la demanda de agua, considerando las condiciones desfavorables para el sistema de alcantarillado;
- para el agua de infiltración y otros tipos de agua que ingresan en el sistema accidentalmente (también denominadas aguas foráneas), la cantidad se calcula por proyección o en base a la experiencia (publicaciones especializadas);
- para las aguas residuales de origen comercial e industrial, el cálculo se efectúa en base a los datos proporcionados por las industrias y otras ramas técnicas;

- para la precipitación, se utiliza la "precipitación prevista";
- para el agua superficial, el gasto se determina en base a un estudio hidrológico.

4.3.3.1 Cálculo del volumen de agua residual doméstica

En el diseño de un sistema de alcantarillado se toma como base la demanda específica de agua per cápita. Se presume que no ocurrirán pérdidas durante el uso del agua, su tratamiento y distribución. (Para obtener cálculos exactos, se podrá deducir la cantidad de agua utilizada en usos no sanitarios y la utilizada en agua contra incendio, a este volumen final se le denomina agua de retorno).

Los colectores y demás estructuras que constituyen el sistema de alcantarillado se diseñan en base al gasto máximo diario, como se muestra en el Cuadro 4.3.-2 (ATV A 118/4/). Cuando no se disponga de otros datos, se podrá utilizar como base un gasto máximo de 5 l/s por 1000 habitantes.

CUADRO 4.3.-2
GASTO ESPECIFICO MAXIMO /4/

Número de habitantes de la población	Gasto diario de agua residual W_s l/persona por día	Gasto máximo específico	
		$\frac{1}{x} \cdot w_s$	q_h l/s 1000 personas
1	2	3	4
<5.000	150	1/8	aprox. 5,0
5.000 - 10.000	180	1/10	
10.000 - 50.000	220	1/12	
50.000 - 250.000	260	1/14	
>250.000	300	1/16	

En las áreas de drenaje cuya densidad demográfica es uniforme y su demanda de agua específica es constante, el gasto máximo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_h = A_{E_f} \cdot q_{h_f} \quad [l/s]$$