

## Saneamiento y Alcantarillado/Gestión de Aguas Residuales.

Máster en Ingeniería y Gestión del  
Agua

Curso 2015/2016

**PROFESOR**  
**DAVID CASERO RODRÍGUEZ**



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## Índice

- 1.- Redes de saneamiento: diseño, construcción y materiales.
  - 1.1.- Introducción
  - 1.2.- Definiciones relativas a las aguas residuales
  - 1.3.- Definiciones relativas al saneamiento
  - 1.4.- Definiciones relativas a las redes de saneamiento
  - 1.5.- Orígenes históricos de las redes de saneamiento
  - 1.6.- Las redes de saneamiento en la historia moderna
  - 1.7.- Redes unitarias y separativas
  - 1.8.- Responsabilidad por daños producidos por las aguas residuales
  - 1.9.- Introducción al diseño de las redes de saneamiento
  - 1.10.- Ideas básicas a considerar en el proyecto de redes de saneamiento
  - 1.11.- El contenido de un proyecto de saneamiento
  - 1.12.- Cálculo de los caudales de aguas residuales
  - 1.13.- Cálculo del caudal de aguas pluviales
  - 1.14.- Cuencas vertientes y estudio de los tramos de la red
  - 1.15.- Tanques de tormenta
  - 1.16.- Acometidas a las redes de saneamiento
  - 1.17.- Pozos de registro
  - 1.18.- Elementos complementarios de los pozos de registro
  - 1.19.- Imbornales y sumideros
  - 1.20.- Cámaras de limpieza
  - 1.21.- Confluencia de colectores
  - 1.22.- Aliviaderos
  - 1.23.- Rápidos
  - 1.24.- Sifones
  - 1.25.- Elementos de ventilación
  - 1.26.- Areneros o desarenadores
  - 1.27.- Introducción a la construcción de las redes de saneamiento
  - 1.28.- Replanteo de las redes de saneamiento
  - 1.29.- Transporte y almacenamiento de los materiales en obra
  - 1.30.- Excavación

- 1.31.- Entibación de las zanjas
  - 1.32.- Agotamiento de las zanjas
  - 1.33.- Asiento de la tubería
  - 1.34.- Colocación de la tubería
  - 1.35.- Juntas y uniones
  - 1.36.- Relleno y compactación
  - 1.37.- Pruebas
  - 1.38.- Construcción de colectores “in situ”
  - 1.39.- Métodos especiales de construcción
  - 1.40.- Introducción a los materiales de las redes de saneamiento
  - 1.41.- Clasificación de las redes de saneamiento
  - 1.42.- Secciones de las redes de saneamiento
  - 1.43.- Los materiales de los tubos de las redes de saneamiento
  - 1.44.- Tubos de gres
  - 1.45.- Tubos de hormigón
  - 1.46.- Tubos de fibrocemento
  - 1.47.- Tubos de Poliéster reforzado con fibra de vidrio
  - 1.48.- Tubos de PVC
  - 1.49.- Tubos de polietileno y de polipropileno
  - 1.50.- Otros materiales plásticos para tubos de redes de saneamiento
  - 1.51.- Tubos de fundición
- 
- 2.- Explotación del Alcantarillado
    - 2.1.- Introducción
    - 2.2.- Vigilancia de la red y gestión de las acometidas
    - 2.3.- Limpieza de la red de saneamiento
    - 2.4.- Sistemas de limpieza
    - 2.5.- Medidas preventivas que reducen las labores de limpieza
    - 2.6.- Reparaciones de la red de saneamiento. Generalidades
    - 2.7.- Tipos de reparaciones. Programables o no programables
    - 2.8.- Eliminación de problemas de septicidad y de sulfídrico

- 2.9.- Control de una red de saneamiento
- 2.10.- Costes de explotación de una red de saneamiento
- 2.11.- Financiación del mantenimiento y explotación de las redes de saneamiento
- 2.12.- Estudios analíticos de los elementos constitutivos de las tarifas
  
- 3.- Introducción a las técnicas alternativas de saneamiento
  - 3.1.- Introducción a las técnicas alternativas de saneamiento
  - 3.2.- Nuevos planteamientos en el saneamiento de las aguas de lluvia
  - 3.3.- Aproximación a las técnicas alternativas de saneamiento
  - 3.4.- Algunas ideas sobre la estrategia de saneamiento asociado a técnicas alternativas
  - 3.5.- Concepción de las técnicas alternativas
  - 3.6.- Acciones de información de sensibilización
  - 3.7.- Método para la elección de las técnicas alternativas
  - 3.8.- Las técnicas alternativas y la legislación
  - 3.9.- Las calzadas con depósito de almacenamiento: definiciones y principios de funcionamiento
  - 3.10.- Los pozos de drenaje: definición y principios de funcionamiento
  - 3.11.- Las zanjas drenantes: definición y principios de funcionamiento
  - 3.12.- Cunetas y canales de retención: definiciones y principios de funcionamiento
  - 3.13.- Las cubiertas de edificios con sistemas de almacenamiento: definiciones y principios de funcionamiento

#### Bibliografía

- 1.- HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio. Saneamiento y Alcantarillado. Nº 7 de la colección Señor del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- 2.- MORCILLO BERNALDO DE QUIRÓS, F. Explotación y Gestión de un Sistema de Depuración. Experiencia del P.I.A.M.
- 3.- CANAL DE ISABEL II. Normas para el Abastecimiento de Agua. Ed. Canal de Isabel II. Madrid 1991.
- 4.- CATALÁ MORENO, F. Cálculo de Caudales en Redes de Saneamiento. Nº 5 de la Colección Señor del Colegio de Ingenieros de Caminos

## 1.- Redes de saneamiento: diseño, construcción y materiales.

### 1.1.- Introducción

La calle fue durante siglos el modo que tenían los habitantes de los pueblos y de las ciudades para evacuar sus aguas residuales. El clásico "agua va" fue el método de nuestros antepasados para avisar al viandante cuando arrojaban por la puerta o por la ventana dichas aguas. En Roma, magistrados especiales se sentaban bajo sus sombrillas, en las esquinas que correspondían, para resolver las quejas de peatones a los que se había ensuciado con el contenido de bacinillas<sup>1</sup> arrojadas a la calle.

En las ciudades medievales mayoritariamente son los cerdos los que se encargan de limpiar los excrementos de las calles como queda reflejado en algunos capítulos de las ordenanzas municipales que tratan de los derechos de los vecinos a alimentarlos con los desechos públicos. En algunas zonas geográficas eran ayudados por los cuervos, milanos y buitres a los que se les consideraba como basureros sagrados.

Este sistema de evacuación alternará durante muchos siglos con el que se denomina sistema estático de evacuación. Está constituido por los estercoleros, los pozos negros impermeables, los pozos negros o fosos de cenizas, las letrinas en seco y los depósitos de lodos de retirada periódica. Se situaban en el terreno contiguo a las viviendas, generalmente en los patios, procurando respetar la vía pública.

En esencia estos sistemas consistían en reunir y almacenar los desechos fecales en depósitos pequeños (depósitos móviles) o grandes (depósitos fijos) y retirarlas periódicamente. Las aguas residuales producidas se vertían en el terreno y, por infiltración penetraban en el subsuelo, se recogían en fosas sépticas especiales o se evacuaban por redes especiales, a las que se daba alguno de los nombres árabes: "albañales", "alcantarillas", "atarjeas" o el romano "cloacas".

Con posterioridad se establecerán canales centrales en los empedrados del viario, que se pueden considerar como los inicios de las redes de saneamiento. Eran simples rebajes en el terreno, de sección cualquiera y de poca profundidad, cuyo fin era recoger las aguas residuales que se arrojaban a la calle, conservando estas dignamente transitables. Se inician de este modo las redes de saneamiento como medio de evacuación de las aguas superficiales y residuales. A diferencia de lo que sucede con los sistemas estáticos, se construyen en el exterior de las viviendas.

---

<sup>1</sup>) Recipiente de barro vidriado, alto y cilíndrico, que servía para recibir los excrementos del cuerpo humano. En Roma, en casa de los ciudadanos más ricos, había un esclavo dedicado exclusivamente a estos menesteres.

El caso más notable de la historia de las redes de saneamiento es el de la civilización romana. Hay que hacer notar sin embargo que la mayor parte de las casas no tenían un lugar en la que los propietarios pudieran evacuar los excrementos. En las viviendas populares de dos pisos lo normal era que existiese un hoyo al pie de la escalera destinado a estos menesteres. Es en las áreas de la ciudad cubiertas de mármol, como el foro imperial, en la que existen las cloacas, alguna de las cuales se pueden considerar como obras maestras de drenaje y perduran y son utilizadas en nuestros días.

La aparición de las redes de saneamiento unitarias seguidas de los restantes procedimientos de evacuación, inicia la era de los grandes trabajos colectivos de saneamiento que han servido de salvaguarda de la salud pública.

La red de saneamiento tiene misión recoger las aguas residuales de las zonas habitadas y conducir las a un cierto punto para su evacuación o tratamiento.

Los principios generales de una red de saneamiento son los siguientes:

- Deben recoger y conducir rápidamente, sin estancamientos ni fugas, tanto las aguas pluviales como las residuales domésticas o industriales.
- Debe evitarse que cualquier tipo de producto vertido a la red contamine durante su trayecto o al término del mismo, tanto las aguas subterráneas como las superficiales, para lo cual es necesaria la perfecta estanqueidad de los tubos. Es primordial por otra parte que las aguas residuales sean conducidas a una estación depuradora.

La red de saneamiento debe estar concebida, siempre que las características del terreno lo permitan, para asegurar el movimiento por gravedad y con velocidad suficiente, para que no se produzcan depósitos y se facilite la autolimpieza.

El proyecto de una red de saneamiento deberá considerar los aumentos previsibles de caudal debidos a los crecimientos futuros, tanto de población como de industrias. También deberá tener en cuenta las circunstancias de diferente índole a las que estará sometida la red en el tiempo, de forma que tenga asegurado su rendimiento tanto a medio como a largo plazo.

El diseño e implantación de una red de saneamiento exige un minucioso trabajo de ingeniería. Es por ello que los distintos elementos de la misma tienen que ser de un tamaño adecuado ya que, en caso contrario, podrán desbordarse y producir daños en las propiedades cercanas, además de peligros para la salud pública y perjuicios en general. La determinación de las dimensiones necesarias se consigue sobre la base de la estimación de la cantidad de agua residual y al

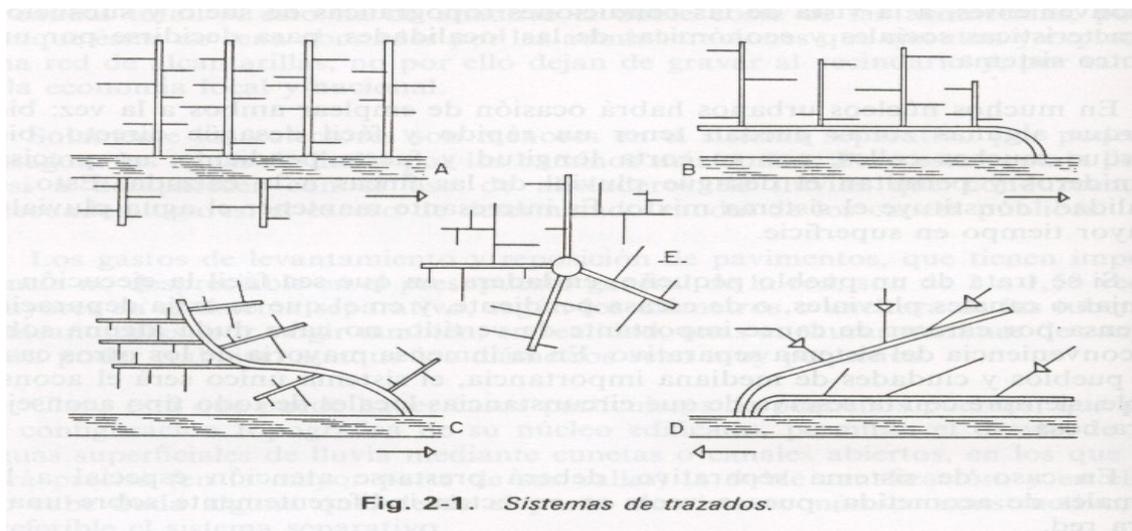
establecimiento de acuerdo con la hidráulica tanto de las dimensiones de las secciones como de las pendientes adecuadas.

La variable más importante a la hora de diseñar las redes de saneamiento es la velocidad del agua en su interior. Si es baja se producirán depósitos de sólidos con la casi segura producción de olores, obstrucciones y ataque químico al material de la red, si es alta se producirá la erosión y el deterioro de los tubos.

## 1.2.- Definiciones relativas a las aguas residuales

El agua residual que se vierte a la red de saneamiento de una ciudad o núcleo urbano está constituida por el agua potable de abastecimiento a la que se han incorporado los desechos de las viviendas, locales comerciales, establecimientos industriales, zonas agrícolas, etc. A estas hay que añadir las aguas de escorrentía superficial y de infiltración.

En 1995 el comité técnico CEN/TC 165 “Técnicas de las Aguas Residuales” del Comité Europeo de Normalización ha dado por definitiva la redacción de la norma EN 752 “Redes de evacuación y de saneamiento en el exterior de los edificios”. A consecuencia de ello esta norma deberá recibir el status de norma nacional de los países miembros, sea por la publicación de un texto idéntico, sea por interinidad, debiendo retirarse, a más tardar en mayo de 1996, todas las normas nacionales que estén en contradicción con las mismas. La primera parte de la norma se denomina Generalidades y Definiciones, en lo que sigue vamos a ajustar las definiciones a lo que indica la mencionada norma.



En primer lugar, y atendiendo a aspectos cuantitativos y cualitativos las aguas residuales se clasifican en:

- Aguas Blancas. Es una definición que aún se encuentra en algunos textos. Son aquellas cuya procedencia es natural. En función de su origen, pueden ser de dos tipos:
- Aguas Pluviales. Son consecuencia de las precipitaciones de lluvia o de nieve. La característica fundamental de las aguas pluviales es su intermitencia. Son de gran importancia en cuanto al valor de su caudal, estimándose que en una superficie urbanizada está comprendido entre 50 y 200 veces el que corresponde con la media de los vertidos domésticos, comerciales o industriales de esa área.

Según la EN 752-1, las aguas pluviales pueden ser de dos tipos:

- Aguas de Escorrentía. Son aquellas que como consecuencia de las precipitaciones, circulan por una superficie hacia una acometida, un colector o un medio receptor.
- Aguas de Superficie: Son aquellas que producidas por las precipitaciones no se infiltran en el terreno y son recogidas en una red de evacuación o de saneamiento directamente desde el suelo o desde superficies exteriores de las edificaciones.
- Aguas Parasitarias. Según la norma europea son: “Aguas no deseadas que penetran en una red de evacuación o de saneamiento”. Tienen, por lo tanto, un origen diferente de las residuales domésticas, comerciales o industriales.

Las aguas parasitarias diluyen las aguas residuales y aumentan su volumen lo que comporta importantes gastos energéticos suplementarios para su transporte (incluidos en estos los necesarios para elevar el nivel de las aguas en las estaciones de bombeo) y su depuración, al mismo tiempo que reducen el rendimiento de la depuración. En este sentido se sabe que cuanto más baja es la presencia de una sustancia en un líquido más difícil es de eliminar. Ello justifica cualquier esfuerzo que se emprenda con el objetivo de reducir su caudal.

Las aguas parasitarias pueden ser de dos tipos aguas de infiltración, que constituyen la parte fija del caudal de aguas parasitarias ( $Q_{inf}$ ) y las aguas de captación que son las que varían.

1.2.1) Aguas de Infiltración. Se denominan de este modo a las que, procedentes del subsuelo, penetran de forma continua en las redes de saneamiento por distintos medios como son, uniones defectuosas, tubos rotos o fisurados, paredes de los pozos de registro o por acometidas domiciliarias no estancas.

1.2.2) Aguas de Captación son aguas parasitarias que entran de forma intermitente pero sobre todo en los períodos de lluvia y que son debidas a prácticas ilícitas, como la unión a la red de saneamiento de los drenes de las cimentaciones, sumideros o bajantes de aguas pluviales. Las aguas de captación pueden también introducirse en la red por los agujeros de las tapas de los registros, en depresiones del terreno.

El desvío hacia las redes de saneamiento de aguas de lluvia de arroyos o de cunetas por las que circula el agua en tiempo seco (sin lluvia) debe estar prohibido. Por el contrario el caudal de agua que las cunetas transportan en ,pocas de lluvia forma parte del caudal de lluvia que las redes de saneamiento de aguas pluviales tienen que transportar.

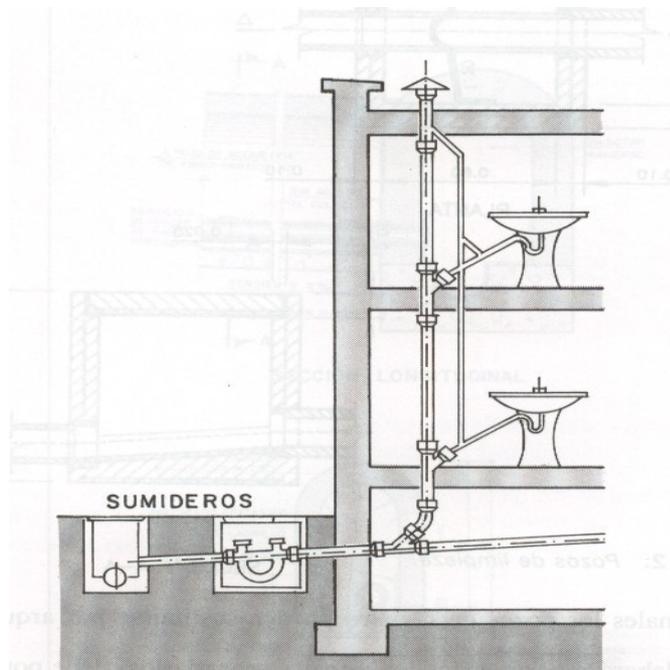


Fig. 2-11. Esquema de una bajante.

Aguas Residuales o Aguas Negras, son las procedentes de los usos domésticos, comerciales, industriales o agrícolas. En función de su origen y de la incidencia cualitativa, pueden clasificarse en:

1.1) "Aguas Residuales Domésticas". La directiva 91/271, de 21 de mayo de 1991, las define como "Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios y generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas". Es decir, son las producidas por deyecciones, residuos alimenticios, residuos de la limpieza y de la higiene personal.

1.2) "Aguas Residuales Industriales". La directiva las define como "Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas

residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial". Son las que genera la actividad industrial y que arrastran parte de las materias primas utilizadas en los procesos de producción, productos de transformación y acabados. También se puede dar una importante variación térmica.

Existen otros términos que la directiva también define: "Aguas Residuales Urbanas" que son: "Aguas residuales domésticas" o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial".

1.3) Aguas Residuales Comerciales son las procedentes de la actividad comercial. Aunque el contenido en contaminación de las mismas es similar a la de las aguas urbanas, hay países como Canadá en el que su caudal se evalúa separadamente del de las urbanas en función de unos ratios que relaciona su superficie con la residencial.

1.4) Aguas Residuales Agrícolas son las procedentes de la actividad agrícola. Llevan fundamentalmente incorporadas, fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas.

### **1.3.- Definiciones relativas al saneamiento**

El término Saneamiento se aplica a las actividades de recoger, tratar y evacuar las aguas residuales. La directiva 91/271 da una única definición en relación con el saneamiento, que es la de "Sistema Colector" del que dice que es: "un sistema de conductos que recoja y conduzca las aguas residuales urbanas".

También define "Aglomeración Urbana" como: "La zona cuya población y/o actividades económicas presenten concentración suficiente para la recogida y conducción de las aguas residuales urbanas a una instalación de tratamiento de dichas aguas o a un punto de vertido final."

Teniendo en cuenta la evolución histórica, y en orden de importancia, distinguimos en una red de saneamiento los siguientes elementos:

Acometida de Saneamiento es el conjunto de elementos interconectados que unen las instalaciones exteriores de evacuación de aguas residuales de un usuario: edificio, garaje, finca, industria, local comercial, instalación dotacional, etc., con la red de saneamiento. Estos elementos permiten la explotación y la garantía de funcionamiento suficiente en condiciones de uso normales. La A.E.A.S (Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamiento) editó en mayo de 1992 unas recomendaciones para acometidas de saneamiento que tenían el objetivo de informar y unificar criterios de los profesionales que se dedican a este campo. En estas recomendaciones se dice que una acometida de saneamiento, primer elemento de la red del mismo nombre, consta de las tres partes siguientes:

Arqueta de Arranque. Es el elemento que conecta la tubería de salida de las aguas residuales de la propiedad y el conducto de acometida. Tiene las siguientes funciones:

Localiza y registra el arranque de la acometida. Facilita las labores de limpieza.

Se sitúan en ella los componentes del sifón que impiden el paso de los malos olores al interior de la propiedad.

Se emplazan en ella los mecanismos de cierre que impiden el paso de las aguas residuales hacia la red de saneamiento, en el caso de que se necesite hacer una reparación en ésta.

Se sitúan en ella los elementos de aforo y toma muestras.

Es recomendable situar una arqueta registrable en el interior de la propiedad, que estando en dominio privado no forman parte de la acometida. En el caso de que exista puede sustituir a la arqueta de arranque exterior.

Conducto de la Acometida. Es la conducción, normalmente tubular circular, que da salida a las aguas residuales de un edificio, hasta algún elemento de la red de saneamiento.

Entronque. Es el punto de unión del conducto de la acometida con la red de saneamiento. Puede realizarse o a un pozo registro de la misma o directamente al conducto (aunque no es lo más recomendable) por medio de una unión elástica, una pieza especial de entronque, una arqueta registrable o una arqueta ciega.

Una acometida de saneamiento debe de tener siempre al menos el conducto y uno de los dos extremos registrables, (el arranque o el entronque con la red de saneamiento), situados en zona pública.

Los otros elementos de la red de saneamiento, en orden de importancia en función del volumen de agua residual que trasiegan, son los siguientes:

Ramal, Ramal Primario o Ramal Local, es el conducto de la red en el que no acomete ningún otro y que por lo tanto da servicio a una calle o a un pequeño número de ellas.

Ramal Secundario es el conducto que recibe aportaciones, de uno o de un cierto número de ramales primarios.

Colector es el conducto que recibe aportaciones de uno, o más de un, ramal secundario. Según las redes los colectores pueden ser de aguas residuales, pluviales, unitarias, separativas, seudo

separativas, etc. Un colector debe poder transportar en todo momento la totalidad de los caudales aportados por los ramales a los que da servicio, y que han sido tenidos en cuenta por el proyectista.

Emisario es el conducto que conduce el agua residual bruta o tratada hacia los cauces receptores, vertiéndola en los mismos. Las aguas residuales tratadas en una estación depuradora son de este modo vertidas en un cauce receptor por medio de un emisario. Cuando no existe depuradora, el último tramo del colector situado más aguas abajo de una cuenca vertiente es frecuentemente un emisario. Además cuando existe una depuradora a la que llegan los caudales de aguas residuales por medio de una red unitaria, los vertidos que se escapan de la misma por los aliviaderos llegan a los cauces por conductos que también se llaman emisarios.

Interceptor es el conducto que recibe las aguas residuales de los colectores y las transporta hacia la estación de depuración. Ya que todas las aguas transportadas por un interceptor son conducidas obligatoriamente hasta la estación depuradora, un interceptor no tiene ningún elemento que permita evacuar los excedentes de aguas residuales no tratadas hacia los cauces receptores. Es por ello que cuando no se pueden tratar todas las aguas, en el caso de redes unitarias, por ejemplo se evacuan los excedentes hacia los cauces receptores antes de que se produzca la interceptación. Cortan transversalmente a un conjunto de colectores con el fin de recoger el caudal de aguas residuales y llevarlo a una estación depuradora.

Existen también otros elementos asociados a las redes, que son necesarios construir para complementar una red de nueva construcción o una existente que no tiene normalmente suficiente capacidad para el trasiego de todas las aguas residuales urbanas en los periodos de grandes lluvias. Estas estructuras, que son de muy diversos tipos, se denominan elementos complementarios de las redes.

## 1.4.- Definiciones relativas a las redes de saneamiento

La clasificación de las redes de saneamiento se puede realizar en función de muchos criterios.

En función de quien es el propietario de las mismas, se clasifican de la siguiente manera:

Redes de Saneamiento Públicas, son aquellas que pueden ser utilizadas con iguales derechos por todas las propiedades colindantes.

Redes de Saneamiento Privadas, son las que sólo pueden ser utilizadas por sus propietarios, que son privados.

Dependiendo del tipo de agua que trasiegan tenemos los siguientes tipos:

Redes de Saneamiento de Aguas Residuales. Se denominan de este modo las que trasiegan únicamente las aguas residuales domésticas, a las que normalmente se incorporan las residuales industriales producidas en el área a la que dan servicio. Se excluyen la incorporación de las aguas pluviales, las superficiales de limpieza de calles y, si son lo suficientemente estancas, las subterráneas de infiltración.

Redes de Saneamiento de Aguas Pluviales. Se utilizan para la recogida y conducción de las aguas de lluvia (calles y tejados), y de otras posibles fuentes, incluyendo las de captación superficial y las procedentes de la limpieza urbana.

Redes de Saneamiento Unitarias. Son las que captan y trasiegan, conjuntamente, las aguas residuales (domésticas e industriales) y las pluviales. También suelen recoger las aportaciones debidas a la infiltración y a caudales incontrolados. Esta única red suele estar provista de aliviaderos que permiten, con ciertas condiciones, el vertido directo de aguas residuales, con un coeficiente de dilución aceptable, al cauce receptor.

Cuando esta recogida y trasiego se realiza separadamente, mediante dos redes diferentes, tenemos las Redes de Saneamiento Separativas. En la actualidad la mayor parte de las legislaciones de los países desarrollados fomentan únicamente la construcción de este tipo de redes.

Tomando como base a estos dos sistemas principales se definen, por combinación de los anteriores, otros. Así tenemos la Red de Saneamiento Mixta cuando una parte de la red de saneamiento está diseñada como red de saneamiento unitaria y el resto como red de saneamiento separativa.

Redes de Saneamiento Seudo-Separativas. Son aquellas que trasiegan junto a las Aguas Residuales Urbanas (domésticas e industriales), la parte de las aguas pluviales que se recogen en las cubiertas, patios y jardines de los edificios. El resto de las aguas pluviales, es decir, las que se recogen en las vías públicas, plazas, jardines públicos, etc., discurren por la red de aguas pluviales propiamente dicha. Con este sistema se recogen todas las aguas procedentes de un mismo inmueble, separándose de las aguas pluviales de las zonas públicas.

Redes de Saneamiento Doblemente Separativas. Son aquellas redes separativas o seudo-separativas en las que las aguas residuales domésticas e industriales discurren por redes independientes.

Redes de Saneamiento Compuestas. Es una variante de las redes de saneamiento separativas en la que mediante los sistemas adecuados se consigue, en la red de aguas residuales urbanas (domésticas e industriales), la recogida de las aguas pluviales hasta que el caudal de estas últimas alcanza un cierto valor. Dado que las primeras aguas pluviales que se recogen, son las que están más

fuertemente contaminadas, se consigue por este sistema de una forma aproximada, capturar todas las aguas que deben ser objeto de una depuración posterior.

En función de las características hidráulicas, es decir, de las fuerzas que producen el movimiento del agua, las redes de saneamiento se clasifican en:

Redes de Saneamiento de Gravedad. Son aquellas en las que, cuando la topografía es favorable y lo permite, el agua adquiere la velocidad necesaria para que no se produzcan sedimentaciones, por la simple pendiente de los tubos y la acción de la gravedad.

Cuando la topografía es desfavorable, cuando el nivel freático está alto, cuando existen condiciones de inestabilidad estructural del suelo o éste está formado fundamentalmente por roca, puede ser necesario recurrir a estaciones de bombeo y a tuberías de impulsión. En este caso tenemos las Redes de Saneamiento Forzadas, que pueden ser a Presión o por Vacío. La limitación de su uso se debe a los elevados costes de explotación de estos sistemas.

Redes de Saneamiento a Presión. En este sistema las aguas residuales, de un edificio o de un conjunto de edificios, se trasiegan por ramales de gravedad hasta un tanque de almacenamiento, para a continuación ser bombeada por la tubería de impulsión hasta la cámara de descarga. Desde ésta sale un colector de gravedad que la conecta con la red de saneamiento unida a la Estación Depuradora.

Los equipos de bombeo usados en este tipo de redes suelen ser robustos y con un paso adecuado, normalmente bombas centrífugas sumergibles, con capacidad de triturar los residuos y que no sufran atascamientos frecuentes (bombas dilaceradoras). Los costes de inversión y mantenimiento se reducen considerablemente cuando se usa un único tanque de almacenamiento para varios edificios y un único sistema de bombeo. En este tipo de redes, además del coste de inversión y mantenimiento, hay que considerar él debido al consumo energético.

Redes de Saneamiento por Vacío. En este sistema el agua residual producida independientemente por cada edificio fluye por gravedad hasta un tanque de almacenamiento provisto de una válvula de vacío (Eyector de vacío). Cuando se acumula un determinado volumen de agua residual detrás de la válvula, ésta está programada para abrirse y cerrarse una vez que el agua haya pasado a través de la misma hasta el conducto principal, de manera que se mantiene el vacío en el mismo. El funcionamiento del sistema se consigue por medio de unas bombas de vacío situadas en la central principal de bombeo, que generalmente se encuentra en las proximidades de la estación depuradora.

Finalmente para evitar la formación de  $\text{SH}_2$ , que puede producir el ataque al material de las tuberías, es conveniente que exista un sistema de ventilación. En aquellas redes de saneamiento en las que, al final de las mismas, las aguas residuales lleguen a una estación depuradora en la que se realice un tratamiento biológico, es conveniente que estas lleguen lo más frescas posibles y sin que se haya iniciado el proceso de fermentación, por lo cual precisan del ambiente aerobio que proporcionan las Redes de Saneamiento Ventiladas.

Cuando no existe sistema de ventilación tenemos las Redes de Saneamiento no Ventiladas. Normalmente son redes de saneamiento a cuyo término las aguas residuales que trasiegan sufren un tratamiento por medios físico-químicos no previéndose para las mismas, a corto plazo, una depuración biológica.

Para la elección del tipo de red de saneamiento no es posible dictar normas de carácter general, quedando a criterio del proyectista, en razón de la pluviometría, características topográficas, puntos de vertido. No obstante siempre que sea posible hay que adoptar redes de saneamiento de gravedad, con pendientes y velocidades adecuadas y dotadas con sistemas de ventilación.

### 1.5.- Orígenes históricos de las redes de saneamiento

La historia de las redes de saneamiento va unida a la historia del cuarto de baño en las viviendas y consecuentemente a las transformaciones que sufre la vivienda como consecuencia de los hábitos que se implantan de la higiene corporal en el transcurso del siglo pasado.

Uno de los primeros vestigios arqueológicos que se encontraron de una red de saneamiento fueron los del palacio de Jorsabad en Babilonia (Dur Sarrukin), construido por el rey Sargón en apenas poco más de seis años (713 -706 a. C.). Debajo de las zonas habitadas del palacio discurrían amplias galerías subterráneas para evacuación de las aguas residuales, con una altura de 1,40 m y una anchura de 1,20 m. Estaban construidas con ladrillos trapezoidales dispuestos de canto en tres hileras, formando bóvedas cuya clave estaba sellada con arcilla. La solera, constituida por grandes losas de piedra caliza, era prácticamente horizontal. A estas galerías, se conectaban verticalmente, el drenaje de las aguas de lluvia de todos los patios del palacio. Este es el ejemplo de una de las primeras redes de saneamiento que adoptaba un sistema unitario.

Cuando analizamos la evolución de las distintas civilizaciones desde el aspecto de las redes de saneamiento apreciamos lo siguiente:

En la civilización egipcia, dadas las peculiaridades topográficas de su asentamiento en un valle de inundación, y la pobreza de los materiales de construcción empleados (exceptuando los empleados

en los templos y las tumbas), no se han encontrado hasta la fecha, vestigios de redes de saneamiento dignos de mención.

No sucede lo mismo con los restos de redes de saneamiento encontrados en el Palacio de Minos, en Knosos, en la isla de Creta. En este lugar el arqueólogo Evans descubrió una red completa de abastecimiento y drenaje, que distintos expertos han datado entre el 2200-1500 antes de Cristo. En su construcción se emplearon tubos cerámicos troncocónicos, con embocadura, provistos de asas que permitían su manipulación con cuerdas. La anchura de la embocadura permitía lograr la estanqueidad y evitar turbulencias permitiendo al mismo tiempo un cierto giro para el cambio de alineación. La red era unitaria y por lo tanto evacuaba las aguas de lluvia y las de las letrinas. Además, existía en el exterior del palacio y, antes de su incorporación al cauce receptor, un estanque de decantación. Todos estos drenes se reunían en un canal rectangular, de la altura de una persona, cerrado en la parte superior con losas adinteladas. Hay que hacer notar que estos vestigios no son habituales y en la antigüedad la mayor parte de las casas no tenían un lugar designado para la higiene personal.

El inicio del uso a “gran escala” de un sistema de drenaje, heredado sin duda de la cultura minoica, se encuentra en las ciudades griegas de Atenas y Corinto. En la primera de ellas, hacía el siglo IV antes de Cristo, una red de canales, normalmente tallados en piedra, recogía las aguas de lluvia de las laderas de las colinas. El elemento fundamental de esta red lo constituía el llamado gran dren, de sección aproximadamente cuadrada de 1,00 x 1,00 m. Situado bajo las vías pavimentadas, estaba construido con piezas de terracota de 0,685 m de longitud y cubierto con losas adinteladas.

También algunos palacios de Grecia, cuyos propietarios pertenecían a las clases más altas de la sociedad, disponían de redes de saneamiento internas, fabricadas con tuberías de material cerámico. En algunas casas particulares de Delos se han encontrado letrinas y baños independientes, conectadas con una red de drenaje que discurría por las calles. Estos drenes estaban compuestos por zanjas rellenas de piedra gruesa que, dada su elevada permeabilidad, proporcionaba una base firme para las losas de la calzada.

El tramo final de esta red lo formaba un canal y un aliviadero, que permitía desviar las aguas pluviales hacia la torrentera, mientras que las aguas residuales se utilizaban para el riego de los olivares próximos, claro antecedente de lo que hoy en día se conoce como tratamiento blando de aguas residuales, mediante filtros verdes.

El pueblo etrusco fue semi-nómada hasta que en el siglo VII a. C. se establece entre los ríos Tiber y Arno en la zona comprendida entre los Apeninos y el mar. Este pueblo, para dominar el entorno en el que se asienta, tiene que desarrollar una serie de técnicas hidráulicas, entre las que se encuentra

un precedente de lo que será un sistema de saneamiento aplicado a la desecación de terrenos. Son los denominados "*cuniculi*".

El término significa madriguera de conejo. Eran unas galerías excavadas a una cierta profundidad sobre un estrato impermeable, que permitían drenar el terreno poco consistente y fácilmente saturable, haciéndolo apto para la agricultura o el pastoreo evitando, de esta manera, su erosión en las épocas de grandes lluvias.

Estos "*cuniculi*", que eran excavados por unos operarios especializados llamados "*fossores*", tenían la altura mínima que permitiera trabajar de pie en su interior. Tras la excavación de un pozo, la galería seguía el trazado que señalaba el discurrir del agua del nivel freático, sin incrementar en exceso la pendiente para evitar la erosión del lecho. Cada cierta distancia se construía un pozo (*puteus*) que servía tanto para la ventilación como para su mantenimiento periódico. En algunos casos estos pozos comunicaban dos galerías a distinta altura, siendo denominados pozos de caída. La sección de las mismas se adaptaba al caudal circulante variando desde la mínima precisa, que dejaba paso a una persona, hasta las de grandes dimensiones que reunían los distintos *cuniculi* y desembocaban en el cauce receptor.

Esta técnica será asimilada y ampliamente desarrollada por los romanos en varias ciudades y fundamentalmente en Roma, a la que Cicerón denominaba "lugar saludable en región pestilente". Se puede asegurar que Roma será posible como ciudad, de una parte por la construcción de cloacas de evacuación de las aguas de lluvia y residuales, y de otra por el aprovechamiento de zonas inundadas, gracias a la aplicación del sistema de drenaje de los *cuniculi*.

También serán los romanos los que, debido a la generalización del consumo del agua en las viviendas y a la creación de una red pública de abastecimiento, desarrollarán lo que hoy se denomina "Ciclo Integral del Agua".

Para ello desde la captación en la cabecera de un río, el agua se transportaba por los canales de conducción (*aquae*) hasta los grandes depósitos enterrados o semienterrados (*castellum aquae*). El recorrido tenía un trazado con una pendiente muy suave, que minimiza la pérdida de carga, salvando las vaguadas mediante acueductos, estructuras típicamente romanas. Desde los depósitos de almacenamiento, una red de canalizaciones la distribuía por las calles hasta las casas. El gran volumen de aguas residuales que este sistema de distribución producía, obligó a resolver el problema de sacarlas del recinto urbano y reintegrarlas a los cauces, lo que se resolverá aprovechando los canales de evacuación de las aguas de lluvia (que será necesario cubrir para reducir el problema de olores) o las galerías subterráneas que se utilizaban para el drenaje del terreno.

El mayor ejemplo de red de saneamiento de la antigüedad, construida en Roma, es la denominada Cloaca Máxima. En sus orígenes era un cauce natural, o torrentera, entre las colinas del Palatino y el Quirinal. Las primeras obras serán realizadas hacia el 200 a. C. por Tarquinio el Viejo, consistiendo fundamentalmente en la consolidación de la zanja. Tarquinio el Soberbio dotará a los muros de un recubrimiento pétreo y la cubrirá con tablas. Por los datos que nos han llegado, sabemos que la bóveda no se realizó antes del siglo II a. C.

Aunque sus dimensiones no se conocen con exactitud la altura hasta el Foro tiene 2,10 m, y a continuación pasa a 5 m. La Cloaca Máxima inicialmente recogía únicamente aguas de lluvia a través de unos imbornales de piedra situados en la calzada.

En la época de Augusto (siglo I d.C.), y siendo alcalde de la ciudad su yerno Agripa, se inicia un ambicioso programa de reformas urbanas. Entre ellas está la reparación de la Cloaca Máxima, la construcción de nuevos ramales y la autorización del vertido a la misma de las aguas residuales que seguramente, hasta entonces, quedaban almacenadas y estancadas en pozos negros.

Para mantener el servicio se creó un cuerpo especial de funcionarios, los denominados "*curatores cloacorum*", siendo su limpieza, uno de los trabajos peor considerados teniendo que realizarse por reos. Para la financiación de los trabajos de mantenimiento y limpieza se crea un tributo específico, denominado "*tributum cloacorum*", que la municipalidad carga sobre los ciudadanos romanos.

Otras cloacas, que fueron realizadas en tiempo de Agripa, son las del Circo Máximo y las del Aqua Marrana.

Como resumen se puede decir que los romanos fijaron una filosofía de las redes de saneamiento que en lo esencial coincide con lo que existe en la actualidad. Los principales elementos de la misma son:

- Extensión de la red a toda la ciudad, convirtiéndose esta en un factor generador de suelo urbano.
- Carácter unitario de la red.
- Gestión pública de la red por parte del municipio, dado que es un problema que tiene amplias repercusiones sobre el bien común.

En España hay huellas, tanto de organización de la ciudad como de sus redes de saneamiento, en casi todos los núcleos fundados o reformados por los romanos.

La red de saneamiento más importante que se ha encontrado es la de Emerita Augusta (Mérida) en la que las excavaciones realizadas se han encontrado restos de tuberías y de alcantarillado que han permitido comprobar que el trazado viario actual coincide prácticamente con el primitivo romano. Restos del antiguo sistema de saneamiento se han encontrado también en Guadalajara y Toledo.

Las referencias a saneamiento en la ciudad medieval no son demasiado abundantes. Tenemos conocimiento de que las aguas residuales de las viviendas eran conducidas desde las letrinas y de los sumideros de los patios a atarjeas que recorrían las calles y desaguaban en los arroyos existentes fuera de la ciudad, en el río o en algunos tramos del foso de la muralla. La limpieza era costeada por el usuario. Este sistema, debido a su escaso mantenimiento, se va deteriorando progresivamente sustituyéndose por la construcción de pozos negros en las viviendas.

Durante la Edad Media el viandante estuvo expuesto a las aguas incontroladas procedentes tanto de los vertidos artesanales como de las lluvias y las calles se convertirán en colectores naturales que imprimieron sobre la ciudad una imagen de suciedad que se ha transmitido por diferentes documentos. Son abundantes las referencias a inundación de barrios, calles enfangadas convertidas en auténticos lodazales, estercoleros, aguas contaminadas, lagunas infectas, balsas y lavaderos, focos insalubres y fuertes olores generados por los considerados malos oficios, fueron los efectos medioambientales más habituales en la cotidianeidad de las ciudades.

Las normativas de limpieza urbana se desarrollan a partir del siglo XIV pero resultaran insuficientes tanto por limitaciones técnicas como de mentalidad.

## **1.6.- Las redes de saneamiento en la historia moderna**

Es sorprendente que aunque con posterioridad al Imperio Romano se construyeron gran cantidad de redes de saneamiento, hasta el inicio del siglo XIX no se experimentará ningún progreso notable, sobre todo en lo que se refiere a su proyecto y construcción.

Siguiendo la práctica romana las primeras redes de saneamiento construidas en Europa y en Estados Unidos tuvieron como finalidad la recogida y evacuación de las aguas de lluvia. Las aguas negras no se evacuaron a la red de saneamiento en Londres, hasta 1815, en Boston hasta 1833 y en París hasta 1880.

En Londres habrá dos grandes epidemias de cólera asiática, la primera de ellas en 1832 y la segunda en 1848, que causaría más de 25.000 víctimas durante los seis años siguientes. Es por ello que desde el año 1845 se comenzarán a hacer un estudio de la ciudad (entre 1848 y 1855 se crean seis comisiones) que sirva de base a la planificación de las redes de saneamiento. De este estudio se

desprende que algunos conductos de manzanas adyacentes estaban a diferente nivel lo que impide su interconexión, que los conductos de salida están a mayor altura en algunas fosas sépticas a las que tienen que desaguar, algunos colectores habían sido construidos con pendientes invertidas y algunos conectaban para su descarga en otro de diámetro menor. Tras la fundación de la Board of Health se aprueba en 1848 la ley "Public Health Act" que obliga a suprimir las fosas sépticas y a conectar las bajantes de aguas negras de cada casa a la red de saneamiento.

La historia del saneamiento, habla de que el renacimiento comenzará en Hamburgo en 1842, debido a que tras un gran incendio de la ciudad, se diseñará un nuevo y completo sistema de evacuación de aguas residuales de acuerdo con las modernas teorías del momento, que tienen en cuenta los condicionantes topográficos de la ciudad y las necesidades reales de la comunidad.

Otro hito importante en la historia es que en 1855 el parlamento inglés creará el Metropolitan Board of Works que se encargará de dar solución a estos problemas y desarrollará una adecuada red de saneamiento de las aguas residuales. Sin embargo, el mal estado de la red y su irracionalidad técnica obligan a reformar el sistema de saneamiento, decisión que se toma en 1858 tras una famosa marea que hace que la inmundicia del Támesis salga por las redes de saneamiento y que pone a los londinenses en fuga debido al hedor que se apodera de la ciudad.

En 1859 existen en Londres 1 200 km de colectores de secciones que varían entre 150 mm y 3 m que mediante un emisario de 19 km de longitud sacan los caudales de la ciudad hasta un depósito en el que el agua se almacenaba durante la marea alta y se vertía cuando estaba baja.

En otros países de los que tenemos datos sabemos que las primeras redes de saneamiento en Dinamarca fueron construidas alrededor de 1850 por ingenieros ingleses en Copenhague. En Suecia las redes de saneamiento de las grandes ciudades comienzan a desarrollarse en los años 1870. El sistema adoptado fue el unitario.

En Madrid hasta poco antes de la fundación del Canal de Isabel II no hay noticias muy fiables de actuaciones en materia de red de saneamiento. Se tienen noticias de que desde 1855 hasta 1867 se construyen algunas galerías en las calles Arenal, Atocha, Infantas, Leganitos, Segovia, Embajadores, Curtidores, con salida al río Manzanares. En la segunda mitad del siglo XIX, cuando el Canal de Isabel II finaliza sus obras la red de saneamiento de Madrid tenía una longitud de 92 km, de los cuales 17 km son los que se han podido aprovechar de la red antigua y 75 km son de la red nueva debido a las servidumbres que impone la nueva red de abastecimiento. Desde este punto de partida se pasa a tener 500 km en 1936, mientras que en la actualidad se tienen 4.800 km.

En Barcelona, después de dos epidemias de cólera, la de 1865 con 6500 muertos y la de 1885 con 3765, el Ayuntamiento en 1885 crea una comisión que redacta una memoria de bases de reforma del

sistema de saneamiento. En 1888, sobre la base de esas directrices, es aprobado el "Proyecto de Saneamiento del Subsuelo de Barcelona", redactado por Pedro García Faria, que sienta las bases de la actual red de saneamiento de la ciudad.

### 1.7.- Redes unitarias y separativas

Con independencia del trazado adoptado, teniendo en cuenta la procedencia de las aguas, bien domésticas, de lluvia, limpieza urbana, y aguas industriales, podemos clasificar las redes en unitarias o separativas.

Se denominan redes unitarias las que evacuan conjuntamente las aguas pluviales y las aguas residuales. Un problema importante de este sistema, se ocasiona cuando la pendiente de los ramales es muy pequeña, produciéndose sedimentación de depósitos en los mismos y salida al exterior, por los aliviaderos, en los períodos de grandes lluvias.

El sistema unitario es el más sencillo de instalación y servicio. Existe una única red de saneamiento en cada calle y una sola acometida de las fincas.

Los sistemas unitarios obligan a un sobredimensionamiento, tanto de las estaciones de bombeo como de las estaciones depuradoras, encareciendo de forma notable la depuración, al tener que tratar aguas de lluvia.

A diferencia de las redes unitarias, las redes separativas utilizan dos acometidas diferentes, una para las aguas pluviales y otra para las aguas residuales. Los principales inconvenientes de este tipo de red son los siguientes:

- Los costes de construcción son entre 1,5 y 2 veces más elevados. Además de una doble red hay que ejecutar un número doble de acometidas.
- Los costes de explotación y mantenimiento de una doble red son mayores que los que exige una red única.
- Los costes de reparación por levantamiento y reposición de pavimentos varían también entre 1,5 y 2 veces.

Hay que prestar especial atención a las acometidas ya que se pueden conectar indiferentemente sobre una u otra red. Esto obliga a tener un adecuado equipo de vigilancia de la ejecución de las acometidas.

La propia concepción de las redes de saneamiento separativas constituye por sí mismas un principio de depuración al separar las aguas pluviales de las residuales. Además existen indudables ventajas en este tipo de red, entre las que podemos destacar:

- No es necesaria la construcción de aliviaderos.
- Los gastos de limpieza de la red son más bajos en el sistema separativo ya que son menores las variaciones del caudal de aguas domésticas que circula por la red, y menor, por tanto, la variación de velocidad, lo que reduce los depósitos.
- Si el agua residual ha de elevarse en una estación de bombeo, es muy probable que el coste de la elevación actúe poderosamente a favor de un sistema separativo.
- El desvío de las aguas pluviales hacia los cauces naturales produce mejoras en el medio ambiente, ya que ayuda a la conservación de los ecosistemas de los mismos cauces que de otra manera quedarían desecados.
- Se eliminan los vertidos puntuales altamente contaminantes que de otra forma irían diluidos, con una alta contaminación al cauce receptor.
- Se eliminan los costes que soporta el contribuyente al tener que realizar el tratamiento de un exceso de caudal, en un agua que apenas tiene contaminación.
- La separación de las aguas pluviales permite la construcción de estaciones depuradoras de menor capacidad de tratamiento con la consiguiente economía.
- Se reducen los problemas de arrastres y pérdida de masa biológica en los tratamientos biológicos convencionales en las Estaciones Depuradoras.
- Se asegura un mejor funcionamiento de la estación depuradora al conseguirse una mayor uniformidad en los caudales a tratar.

Las redes de saneamiento separativas son especialmente interesantes para el saneamiento de zonas industriales en las que el posible vertido directo a la red de saneamiento puede originar daños en la misma o en la estación depuradora.

Las soluciones para estos vertidos se dan partiendo de la modificación de los procesos internos de cada industria o la adecuación del efluente mediante un pretratamiento que posibilite el tratamiento del vertido en la estación depuradora.

Los sistemas separativos son más complejos de ejecución y generalmente más caros. Solamente en aquellos casos en los que las condiciones topográficas permitan la canalización de las aguas de lluvia mediante cunetas o canales abiertos, eliminando la mayor parte de la doble red, serán competitivos los costes de primer establecimiento de los sistemas separativos respecto a los de los sistemas unitarios. También son comparables los costes para el saneamiento de zonas bajas próximas a los cauces receptores.

En cada caso particular habrá que estudiar las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas y, a la vista de las condiciones topográficas de suelo y subsuelo, decidirse por uno u otro sistema. También puede utilizarse en ocasiones el sistema mixto.

Es importante a la hora de tomar una decisión evaluar la contaminación que puede producirse en los sistemas separativos que envían a los cauces toda el agua de lluvia sin depuración, mientras que en los sistemas unitarios una parte se trata en las depuradoras y otra parte el agua llega a los cauces mezclada con un cierto grado de dilución.

En el estado actual del arte, la construcción de redes de saneamiento se debería hacer únicamente mediante redes separativas, con laminadores de avenidas o depósitos de regulación del agua de lluvia, que permitan almacenar la misma y su posterior tratamiento, salvo para la ampliación de aquellas poblaciones con redes antiguas unitarias.

En los sistemas de nueva construcción pueden utilizarse sistemas unitarios cuando los caudales de aguas pluviales están tan contaminados que requieran un tratamiento igual al de las aguas residuales. Aunque los primeros caudales de aguas pluviales en redes unitarias están altamente contaminados, la cuantía de los mismos es de tal orden y las corrientes receptoras están contaminadas por la escorrentía de origen no urbano, que no parece posible desde el punto de vista económico, el tratamiento de las aguas pluviales de los sistemas unitarios, aunque se han realizado algunas experiencias de tratamiento mediante procesos físico-químicos.

Actualmente en los países desarrollados las nuevas redes de saneamiento se proyectan con sistema separativo. En Estados Unidos incluso hasta el punto de que se establecen limitaciones estrictas respecto al agua de infiltración por las juntas, dado que las ayudas financieras de la E.P.A. dependen de la existencia de una casi completa estanqueidad de las redes.

La ventaja de una red de saneamiento pseudo-separativa consiste en la eliminación de una de las dos acometidas que cada inmueble necesita en un sistema separativo. Esto es de gran importancia cuando se trata de implantar el sistema en una zona ya consolidada donde cada edificio posee una sola acometida, debido a los importantes costes que supondría la modificación de las instalaciones interiores de cada inmueble.

La red de saneamiento compuesta es adecuada cuando la superficie pavimentada de las vías públicas (calzadas, aceras y aparcamientos) haga presumible una concentración de contaminación importante en las primeras aguas pluviales.

### **1.8.- Responsabilidad por daños producidos por las aguas residuales**

La legislación española no está demasiado desarrollada en este sentido. Podemos hablar de lo que ocurre en Estados Unidos que es sobre lo que más documentación tenemos.

En Estados Unidos no puede exigirse a las autoridades municipales el que proporcione un sistema de saneamiento a los ciudadanos ni puede exigirse responsabilidad ni a ellos ni a los Ayuntamientos si no lo han construido.

Una vez que se ha establecido el Sistema de Saneamiento, el Municipio asume alguna responsabilidad con respecto a los perjuicios que pueden producirse en relación con la salud o la propiedad privada, debidos a un proyecto inadecuado o deficiente de las redes o de alguno de los elementos accesorios, la mala conservación y explotación, la contaminación de los suministros de agua o la contaminación de los cursos naturales.

Si la red de saneamiento es proyectada por un ingeniero con una titulación adecuada para la redacción del proyecto y la construcción se lleva a cabo de acuerdo con el mismo, normalmente los Ayuntamientos no deben considerarse responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia. Así los propietarios de las fincas cuyos cimientos o sótanos se inundan como consecuencia de éstas deficiencias en el proyecto, no tendrían compensación de los Ayuntamientos, teniendo que hacerse cargo de estos daños el seguro de responsabilidad civil del proyectista.

Los Ayuntamientos son siempre responsables de los perjuicios derivados de la mala conservación y de la negligencia de la explotación. Como ejemplo si se da parte a las autoridades correspondientes del atasco en un colector y no se actúa con celeridad produciéndose un retroceso de las aguas en el colector que da origen a su salida por las casas y a su inundación, el Ayuntamiento será totalmente responsable de estos daños. Igualmente si las autoridades municipales tienen conocimiento de fugas en los colectores que contaminan el suministro de agua y no lo reparan, serán igualmente responsables de los daños.

Respecto a los olores que pueden darse en los puntos de evacuación local o individual de aguas residuales, que también aplica a las estaciones depuradoras, los propietarios de las fincas próximas pueden sufrir por ello daños, temporales o permanentes, debidos a la depreciación que esto causa en el valor de sus propiedades. Es por ello que las estaciones depuradoras de aguas residuales deben

de localizarse en lugares suficientemente alejados del núcleo urbano de forma que los olores puedan producir molestias en el vecindario, ni una depreciación en el valor de sus propiedades.

En España las limitaciones de distancia, en lo que se refiere a las instalaciones de trasiego, evacuación y tratamiento de aguas residuales, se consideran en el Reglamento de Actividades con los siguientes calificativos:

- Molestas, "Serán calificadas como <<molestas>> las actividades que constituyan una incomodidad por los ruidos o vibraciones que produzcan o por los humos, gases, olores, nieblas, polvos en suspensión o sustancias que eliminen".
- Insalubres, "Se calificarán como <<insalubres>> las que den lugar a desprendimientos o evacuación de productos que puedan resultar directa o indirectamente perjudiciales para la salud humana".
- Nocivas, "Se aplicará la calificación de <<nocivas>> a las que por las mismas causas, puedan ocasionar daños a la riqueza agrícola, forestal, pecuaria o piscícola".

El Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre, en su artículo 4º Emplazamiento. Distancias, dice:

"Estas actividades deberán supeditarse, en cuanto a su emplazamiento, a lo dispuesto sobre el particular en las Ordenanzas municipales y Planes de Urbanización del respectivo Ayuntamiento, y para el caso de que no existiesen tales normas. La Comisión Provincial de Servicios Técnicos señalará el lugar adecuado donde haya de emplazarse, teniendo en cuenta lo que aconsejen las circunstancias especiales de la actividad de que se trate, la necesidad de proximidad al vecindario, los informes técnicos y la aplicación de medidas correctoras. En todo caso, las industrias fabriles que deban ser consideradas como peligrosas o insalubres sólo podrán emplazarse, como regla general a 2000 metros a contar del núcleo más próximo de población agrupada".

### **1.9.- Introducción al diseño de las redes de saneamiento**

La evacuación de las aguas residuales y pluviales constituye el primer paso de la gestión efectiva del saneamiento de una población, siendo la construcción de una red de saneamiento la solución más económica del problema. Es fundamental que el dimensionamiento de la misma sea generoso, dadas las dificultades que existen, en zonas urbanizadas, para la sustitución de los tramos de la red que ya no permiten unos coeficientes de dilución adecuados, por otras de mayor diámetro.

La construcción de pozos negros e instalaciones unitarias de depuración (estáticas) fue una solución que, aunque ya era conocida, se empleó con mayor profusión a partir de la Edad Media hasta mediados del siglo XIX. A partir de entonces se desarrollan con amplitud las redes de saneamiento.

La ejecución de planes de urbanización exige el que se establezcan, previamente, Planes de Saneamiento. Hay que hacer notar la conveniencia de ejecutar la red de saneamiento antes de la de abastecimiento, con objeto de que las posibles fugas de la primera no produzcan problemas sanitarios en la segunda.

### **1.10.- Ideas básicas a considerar en el proyecto de redes de saneamiento**

El proyecto no debe permitir que se produzcan gases, olores o depósitos en las redes. Para ello es conveniente que el coeficiente de rozamiento de las conducciones sea bajo, que tengan una buena pendiente y una buena ventilación, para que tomen aire de la superficie libre y no se produzca sulfhídrico.

La formación de sulfhídrico es más fácil en conducciones cerradas mal ventiladas. El problema se agrava cuando existen depósitos. Los inconvenientes de la presencia de gases se acentúan con la temperatura, el contenido de azufre de las aguas vertidas y con el tiempo de recorrido.

El gas sulfhídrico, además de los problemas de seguridad que representan para el personal de mantenimiento, destruye el hormigón por encima del nivel de agua, lo cual se puede amortiguar produciendo remansos regulares de agua que humedezca las paredes del tubo. También se puede reducir este problema introduciendo aire comprimido en las conducciones a presión y cloro en las conducciones con lámina libre.

En las redes unitarias, en las que existe un exceso de capacidad para las aguas de lluvia y una buena ventilación de los colectores se reducen los efectos de esta problemática.

### **1.11.- El contenido de un proyecto de saneamiento**

Un Proyecto de red de saneamiento deber estar integrado al menos por los siguientes documentos: Memoria y Anejos, Planos, Pliego de Prescripciones Técnicas (Generales y Particulares) y Presupuestos.

La Memoria debe tener técnicamente desarrollados, al menos, los siguientes apartados:

Antecedentes.

Resumen de estudios técnicos previos.

Población considerada y dotaciones.

Caudales de aguas residuales.

Características de las aguas residuales

Caudales de Aguas Pluviales.

Características del cauce receptor y condiciones de vertido.

Soluciones alternativas y elección de la solución definitiva.

Justificación de la solución adoptada.

Descripción de las obras.

Justificación del dimensionamiento.

Plan de obra.

Prescripciones técnicas.

Cuadros de precios.

Resumen de presupuestos.

Explotación.

Tarifas.

Consideraciones finales.

Índice de documentación del proyecto.

En los Anejos a la Memoria tiene que figurar, cuando corresponda, la siguiente documentación:

**ANEJOS INFORMATIVOS**

Topografía y cartografía.

Características geográficas y datos Urbanísticos.

Geología y geotecnia.

Hidrogeología: Pluviometría.

Situación de los servicios existentes.

Estudios previos.

#### ANEJOS DE JUSTIFICACIÓN DE SOLUCIONES

Estimación de la población (Censo y/o Padrón)

Estimación de las actividades industriales, agrícolas, ganaderas y comerciales.

Estimación de la dotación.

Estimación de caudales vertidos.

Disposición de conjunto de la red.

Justificación de los materiales utilizados.

#### ANEJOS DE DIMENSIONAMIENTO

Cálculo de caudales: aguas residuales y aguas pluviales.

Cálculos resistentes.

Condicionantes del trazado.

Obras de fábrica.

Estudio de funcionamiento de la red (Velocidades).

Bombeos.

Instalación eléctrica.

#### ANEJOS COMPLEMENTARIOS

Plan de obra.

Justificación de precios.

Datos de expropiaciones, plano parcelario y relación de propietarios afectados.

Reposición de servicios y servidumbres.

Revisión de precios.

Anteproyecto de evaluación de los costes de explotación y mantenimiento.

Reglamento de servicios.

Estudio de tarifas.

### **1.12.- Cálculo de los caudales de aguas residuales**

A) El Caudal Medio Diario Actual.

El estudio se realiza para una red unitaria. En el caso de red separativa, se tendría que dimensionar cada una de las redes específicas: (residuales, pluviales, industriales, etc.), con los caudales que reciban.

El caudal de aguas residuales que circula por una red de saneamiento es suma de los caudales de aguas residuales domésticas y el de aguas residuales industriales.

El caudal de aguas residuales domésticas es, aproximadamente, igual al caudal de abastecimiento para estos usos, e igualmente el caudal de aguas residuales industriales, generado por las industrias existentes en un sector, coincide significativamente con el caudal de abastecimiento a las mismas.

Además no sólo son comparables los caudales de abastecimiento y saneamiento, sino que además las leyes de distribución horaria son muy similares.

El caudal medio de aguas residuales evacuado por un determinado sector o polígono, se puede calcular del siguiente modo:

Datos obtenidos de la información urbanística:

- H = Número de habitantes.
- S<sub>i</sub> = Superficie del sector ocupada por las industrias, en hectáreas (ha).

Datos en relación con el abastecimiento:

- D<sub>d</sub> = Dotación correspondiente a usos domésticos, en litros por habitante y día (l/habitante \* d).
- D<sub>i</sub> = Dotación correspondiente a usos industriales, en metros cúbicos por hectárea y día (m<sup>3</sup> / ha \* d).

Partiendo de estos datos el caudal medio diario de aguas residuales (Q<sub>m</sub>) se calcula mediante la relación:

$$Q_m = Q_{md} + Q_{mi} = \frac{H D_d}{86\,400} + \frac{S_i D_i}{86,4}, \quad \text{siendo:}$$

Q<sub>m</sub> = Caudal medio diario total, en litros por segundo (l/s).

Q<sub>md</sub> = Caudal medio diario de aguas domésticas (l/s).

Q<sub>mi</sub> = Caudal medio diario de aguas industriales (l/s).

Una vez diseñada la distribución en planta de la red de saneamiento se puede obtener en cada punto del colector el caudal medio diario de aguas residuales, aplicando a la cuenca vertiente de la correspondiente sección la ecuación anterior.

B) El Caudal Medio Diario para el Año Horizonte.

Analizando los datos se ve que todos los parámetros empleados son función del tiempo. Tanto H como S<sub>i</sub>, son función de las tasas de crecimiento demográfico e industrial y de las previsiones contenidas en los planes de urbanismo vigentes. D<sub>d</sub> y D<sub>i</sub> aumentan con el nivel de vida o por motivos económicos, mientras que D<sub>i</sub> puede disminuir por el aumento del precio del agua o por la modificación de los procesos industriales.

En cada caso concreto es preciso elegir el modelo de crecimiento más adecuado para obtener, a partir de los valores actuales, los de cada una de las cuatro variables en el año horizonte.

Una hipótesis razonable de la estimación del número de habitantes y de la superficie destinada a usos industriales en el año horizonte es considerar totalmente desarrollado el plan de ordenación vigente, lo que permitirá definir los valores máximos de estas dos variables.

### C) Caudales Punta de Aguas Residuales.

A lo largo del día el caudal de aguas residuales urbanas oscila entre unos valores máximo y mínimo, alcanzando a lo largo del mismo el valor medio actual y de año horizonte analizado en los apartados anteriores.

Es evidente que debe ser el caudal máximo de aguas residuales urbanas para el año horizonte el que defina el dimensionamiento hidráulico de la red de aguas residuales en un sistema separativo.

El coeficiente por el que se debe de multiplicar el caudal medio para obtener el caudal punta se denomina coeficiente de punta, y es variable dependiendo del tamaño de la ciudad, variando incluso de unas zonas a otras de un mismo núcleo urbano. Solamente un estudio local de los datos de abastecimiento de un determinado sector nos puede dar una idea rigurosa del valor de este coeficiente punta.

Las Normas para Abastecimiento de Agua del Canal de Isabel II, establecen los siguientes coeficientes puntas, dependiendo del tipo de uso que se dé al suelo. Así tenemos:

#### 1.- URBANIZACIONES

##### 1.1.- VIVIENDAS UNIFAMILIARES

Superficie parcela	Dotaciones	Superficie urbanizada	Coeficientes Punta	
			Red	Conexiones
S (m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /vivienda x d	S (ha)		
S < 500	2,0	S < 10	2,5	2,5
500 < S ≤ 1.000	2,5	10 < S ≤ 50	2,5	2,0
S > 1.000	3,5	S > 50	2,5	1,7

##### 1.2.- VIVIENDAS MULTIFAMILIARES

Densidad habitación	Dotaciones	Superficie urbanizada	Coeficientes Punta
---------------------	------------	-----------------------	--------------------

S (m <sup>2</sup> )	l / hab x d	S (ha)	Red	Conexiones
d < 40	350	S < 10	2,5	2,5
		10 < S < 50	2,5	2,0
d > 40	300	S > 50	2,5	1,7

### 2.- POLÍGONOS INDUSTRIALES

Edificabilidad	Dotaciones	Superficie urbanizada	Coeficientes Punta	
e (m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> )	l / s x ha	S (ha)	Red	Conexiones
e < 0,5	1,0	S < 10	3	2,5
		10 < S < 50	3	2,0
e > 0,5	0,7	S > 50	3	1,7

### 3.- USOS TERCIARIOS

Densidad habitación	Dotaciones	Coeficientes Punta	
S (m <sup>2</sup> )	l / s x m <sup>2</sup>	Red	Conexiones
S < 50.000	10 <sup>-4</sup>	3	2,5
50.000 < S < 100.000	10 <sup>-4</sup>	3	2,0
S > 100.000	10 <sup>-4</sup>	3	1,7

#### D) Velocidad de Circulación

Es la velocidad a la que circulan las aguas residuales por el interior de los conductos. El proyecto de redes de saneamiento debe de procurar que haya velocidad suficiente durante el mayor número posible de horas al día, de forma que los sólidos que puedan quedar depositados en períodos de baja velocidad sean arrastrados cuando esta se incremente.

Hay que tener en cuenta que las velocidades altas provocan arrastres que producen la erosión de las juntas y de las soleras de los distintos tramos de la red y además disminuyen las condiciones de seguridad del personal que trabaja en el interior de la misma. Estas razones hacen necesario limitar superiormente el valor de esta velocidad media de circulación, que se da en los períodos de lluvia, no siendo conveniente que se sobrepase el valor de 4 o 5 m/s, aunque en circunstancias ocasionales, y para algunos materiales (gres, fibrocemento, fundición) se puede alcanzar el valor de 6 m/s Con

velocidades de 2,5 a 3 m/s no se producen daños de erosión en las redes de saneamiento, con independencia del material.

Por otra parte la velocidad debe ser lo suficientemente alta para que permita la auto-limpieza de la red, arrastrando la materia que sedimenta en la solera de los conductos, fundamentalmente arenas y materia orgánica que puede entrar en putrefacción.

Puede ocurrir que en redes de saneamiento de pequeño tamaño, a pesar de haber sido dimensionada con velocidades de circulación altas, los objetos de un cierto tamaño que puedan entrar en la red queden firmemente atrancados de tal forma que impidan el paso de elementos menores, incrementando el obstáculo y acabando por la obstrucción total del conducto.

En el caso de redes de saneamiento que trasiegan aguas pluviales, tanto en redes unitarias como redes separativas, se considera que se cumplen las condiciones de auto limpieza cuando se verifican simultáneamente las siguientes condiciones:

- La velocidad de circulación correspondiente a un caudal igual a una décima parte del caudal a sección llena, deberá ser igual o superior a 0,60 m/s.
- La velocidad de circulación correspondiente a un caudal igual a una centésima parte del caudal a sección llena, deber ser igual o superior a 0,30 m/s.

En la práctica estas condiciones se cumplen para secciones circulares y ovoides si la velocidad correspondiente al caudal a sección llena es igual o mayor a 1 m/s para secciones circulares o a 0,9 m/s para secciones ovoides. En estas circunstancias se consigue que no se produzca la decantación de sólidos sedimentables como arenas o gravillas.

En el caso de colectores circulares que trasiegan aguas residuales en redes separativas, sin cámaras de limpieza, deben de cumplirse las siguientes condiciones:

- La velocidad de circulación correspondiente al caudal a sección llena debe ser superior a 0,5 m/s.
- La velocidad de circulación que corresponde a una altura de llenado de dos décimas partes del diámetro, tiene que ser igual o superior a 0,3 m/s.

El caudal medio actual (sin contar con las previsiones temporales o demográficas) debe garantizar una altura de llenado igual o superior a dos décimas partes del diámetro.

La velocidad mínima en la red de saneamiento de aguas pluviales, cuando el sistema es separativo, conviene que sea superior a 1 m/s, para que no se depositen la gran cantidad de arenas que arrastran.

En sifones invertidos la velocidad mínima será de 1 m/s.

### 1.13.- Cálculo del caudal de aguas pluviales

A) La medida de las precipitaciones

La precipitación se mide por la altura del agua que se acumula en una superficie horizontal, como si aquella permaneciera en el lugar donde cayó. Los aparatos que miden la altura del agua precipitada reciben el nombre de pluviómetros, de los que existen tres tipos fundamentales:

- Pluviómetros ordinarios. Miden la altura de agua caída en un punto, entre dos instantes dados. Consisten en unos recipientes abiertos que recogen el agua precipitada. Si la medida se realiza cada 12 horas se obtiene la altura de agua total caída en ese período de tiempo. En España se emplea el de Hellmann de 200 cm<sup>2</sup> de boca.
- Pluviómetros registradores o Pluviógrafos. Proporcionan un registro continuo de las precipitaciones, elaborando un gráfico, sobre un tambor giratorio, que da la cantidad de agua precipitada en función del tiempo. Los que se utilizan en España son los de Fuess y Lambrecht, del tipo de flotador y sifón. En estos equipos la lluvia llena un depósito con un flotador que desplaza una plumilla sobre el tambor. Cuando se llena el depósito se vacía automáticamente por medio de un sifón.
- Pluviómetros totalizadores. Se emplean en zonas montañosas de difícil acceso en invierno y en las que la precipitación es muchas veces en forma de nieve. En estos casos la medida se realiza con pluviómetros no registradores, de capacidad suficiente para poder realizar lecturas trimestrales o anuales.

En España el número de estaciones pluviométricas es del orden de 5 000, lo que supone la existencia de una estación cada 100 km<sup>2</sup>. Hay que hacer notar que en 1983 de aquellas sólo 1 500 tenían series fidedignas de un periodo de al menos diez años. En 1988 únicamente 116, las que se denominan estaciones principales, eran las que disponían de la información necesaria para utilizarla en el cálculo hidráulico de redes de saneamiento.

En Francia hay una estación pluviométrica cada 150 km<sup>2</sup>, en Italia cada 80 km<sup>2</sup> y en Inglaterra cada 40 km<sup>2</sup>.

## B) Tipos de lluvia

A efectos del dimensionamiento hidráulico de las redes de saneamiento, solamente consideramos aquellas lluvias que se producen sobre las ciudades de una manera ininterrumpida, cuya duración no suele exceder de 2 horas. No obstante, desde el punto de vista de agua recogida por la red, puede ser más desfavorable la situación que ocasiona una lluvia de baja intensidad y larga duración que una de alta intensidad y corta duración.

Se denominan lluvias de corta de duración aquellas en las que esta es inferior a 2 horas y lluvias de larga duración aquellas en las que ésta está comprendida entre 2 y 72 horas.

El estudio y evaluación de los valores obtenidos para una lluvia concreta y una estación determinada permiten la obtención del Pluviograma, del Hietograma y la Curva de Intensidad-Duración.

El análisis de las medidas pluviométricas de una serie suficientemente larga de lluvias en una estación determinada, permite el establecimiento, para esa estación, de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, que sirven para la elaboración de modelos matemáticos de cálculo avanzado.

## C) Cálculo del caudal de aguas de lluvia

Las "Recomendaciones para Redes de Alcantarillado", de A.E.A.S., del año 1987, habla de que se utilice en proyectos en zona urbana, con cuencas entre 5 y 20 ha, para el cálculo de los caudales máximos de aguas de lluvia, la fórmula racional modificada de la "Instrucción 5.2.1-C de Drenaje Superficial", de la Dirección General de Carreteras.

La fórmula de la que se tiene un valor del caudal máximo de aguas de lluvia que permite realizar un dimensionamiento de la sección de la red de saneamiento necesaria, es la siguiente:

$$Q = k ( C I A ) / 3,6 ; \quad \text{siendo:}$$

Q: Caudal máximo en (m<sup>3</sup>/s) que se produce en la cuenca, correspondiente a un período de retorno dado.

I: Intensidad de aguacero en (mm / h). Máxima intensidad media de lluvia, en el intervalo de duración T<sub>c</sub> (tiempo de concentración), para el mismo periodo de retorno.

C: Coeficiente de esorrentía de los distintos lugares en los que se produce la lluvia I.

A: Superficie de la cuenca en (km<sup>2</sup>).

k: Factor de corrección con valor 1,2, para tener en cuenta las puntas de precipitación.

Esta fórmula se considera válida para cuencas urbanas entre 5 y 20 ha, pudiendo ampliarse el límite superior, en cuencas cuyas características están muy estudiadas o definidas, hasta 200 ha.

Vamos a analizar con más detalle los elementos que intervienen en la fórmula:

**Intensidad de Aguacero.** Se parte de los datos de la estación pluviométrica más cercana a la zona del proyecto. Los datos que se tienen son el valor de la precipitación de la lluvia caída durante 24 horas ( $P_d$ ), a partir de la que se obtiene la  $I_d$  (Intensidad de lluvia diaria),  $I_d = P_d / 24$ .

Se necesita realizar el paso de intensidad de lluvia diaria a la intensidad de aguacero, lo cual se realiza conociendo las curvas de Intensidad-Duración de esa estación, que responden a la ecuación:

$$(I/I_d) = (I_h/I_d)^{(28 \cdot 0,1 - D \cdot 0,1)/4}, \quad \text{siendo:}$$

I (mm/h): Intensidad de aguacero en un tiempo D

$I_d$  (mm/h): Intensidad diaria

$I_h$  (mm/h): Intensidad diaria

D (h): Duración del aguacero

Las equivalencias entre las precipitaciones en litros por segundo y hectárea y en milímetros minuto que se utilizan en Meteorología, son las siguientes:

$$1 \text{ mm/min} = 167 \text{ l/s/ha}$$

$$1 \text{ l/s/ha} = 0,0001 \text{ mm/s} = 0,006 \text{ mm/min} = 0,36 \text{ mm/h.}$$

**Tiempo de Concentración.** Se define como el tiempo que tarda una gota que ha caído en el punto más distante de la cuenca en llegar al punto de salida. Se puede expresar como adición de los dos sumandos siguientes:

$T_e$  = **Tiempo de Escorrentía**, es el tiempo que tarde el agua de escorrentía (la que discurre por la superficie del terreno), en trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca a su punto de recogida.

$T_r$  = **Tiempo de Recorrido**, el tiempo que tarda el agua en desplazarse entre el punto de recogida en la red de saneamiento y el de incorporación a otro elemento de la red o de salida al cauce.

El cálculo de los tiempos se puede hacer de forma independiente o de forma conjunta.

En el primer caso se puede utilizar para calcular el tiempo de escorrentía el ábaco de Jaime Nadal Aixala. En el mismo se entra con la longitud de la cuenca en metros, se traza una línea con la clase de terreno y se obtiene un punto en la línea vértice. Este punto se une con la de la pendiente media obteniéndose el tiempo de escorrentía.

A este hay que añadirle el tiempo de recorrido que se calcula conociendo la longitud de la red de saneamiento y la velocidad de cálculo para el caudal máximo.

Cuando se quiere calcular conjuntamente se puede utilizar la fórmula de la Dirección General de Carreteras.

$T_c = 0.3 * L^{0,76} / J^{0,25}$ , en donde:

$T_c$  es el tiempo de concentración en horas.

$L$  en km, es la longitud del curso principal.

$J$  en (m/m) es al pendiente media del curso principal

**Periodo de Retorno.** Se define como el tiempo que, como promedio, separa a las repeticiones de un suceso. Es un concepto importante en el estudio de dimensionamiento de redes de saneamiento de forma que no se produzca la inundación de alguna zona. Para el cálculo de la capacidad de la red de saneamiento, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor sea la intensidad de lluvia de cálculo y el dimensionamiento se haga para una lluvia de duración importante y con un largo periodo de retorno, mayor ser el coste de la red. Por otra parte si se dimensiona para una capacidad menor, coste menor, los daños serán mayores ya que ser mayor la zona que se inunde por la insuficiente capacidad de la red en períodos de grandes lluvias.

Los valores orientativos del periodo de retorno que se pueden considerar en los proyectos se dan en la siguiente tabla:

TABLA 1	
Tipo de obra	Periodo de retorno
Emisarios y Grandes Colectores.	25 años
Redes de saneamiento en zonas de alto valor del suelo (zonas históricas, zonas comerciales en centros urbanos, etc.).	10-20 años
Redes de saneamiento en zonas de riqueza media del suelo (zonas de residencia habitual).	5-10 años
Redes de saneamiento en zonas de riqueza baja del suelo (baja densidad demográfica, residencias aisladas, parques, etc.).	2 años

El periodo de retorno que más se utiliza es el de 10 años.

**Coefficiente de Escorrentía.** Del agua de lluvia que cae sobre una superficie una parte se evapora, otra penetra en el terreno y otra discurre por la superficie. Esta última se denomina escorrentía.

Se define como coeficiente de escorrentía al cociente del caudal que discurre por la superficie en relación con el caudal total precipitado. Es por lo tanto el que va a recoger realmente la red de saneamiento.

La escorrentía depende del tipo de zona urbana y de los materiales de la superficie. Se pueden adoptar los valores de las tres tablas siguientes:

TABLA 2	
Zonificación	Coefficiente
Edificación Cerrada	0,80
Edificación Abierta	0,60
Edificación unifamiliar	0,40
Comercial	0,50
Industria	l- 0,50
Zonas verdes	0,10
Remodelación	0,40
Especial	0,15

TABLA 3	
Superficie	Coeficiente
Cubiertas Impermeables	0,70 a 0,95
Asfaltos	0,85 a 0,90
Adoquinado o Entarugado Rejuntado	0,80 a 0,85
Adoquinado Ordinario	0,50 a 0,70
Empedrado con Mosaico	0,40 a 0,50
Macadam	0,25 a 0,45
Praderas y Jardines	0,05 a 0,25
Pavimentos sin Afirmar y Solares sin Construir	0,15 a 0,30
Parques	0,01 a 0,20

TABLA 4	
Densidad de la Edificación	Coeficiente
Cascos de Ciudades con Edificación muy Densa	0,70 a 0,95
Barrios Periféricos Modernos (Muchos Edificios)	0,50 a 0,70
Residencial Edificios Aislados Industriales	0,25 a 0,50
Zonas Suburbanas Poco Pobladas	0,10 a 0,30

La lluvia cambia en el tiempo y con ella la capacidad de infiltración varían desde un valor  $I_0$ , correspondiente al suelo completamente seco, hasta un valor  $I_s$  para el suelo saturado. La escorrentía varía de igual modo en función del grado de saturación del terreno, siendo mayor cuando está más saturado. Hay métodos de cálculo que tienen en cuenta estas variaciones, uno de ellos es el de José Ramón Temez que emplea la expresión:

$$C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 P_0)}{P_d + 23 P_0}$$

C = ....., siendo:

$$(P_d + 11 P_o)^2$$

C : Coeficiente de escorrentía.

$P_d$ : En (mm) la precipitación máxima diaria.

$P_o$ : En (mm) la precipitación a partir de la cual se inicia la escorrentía del aguacero

Esta función tiene una representación gráfica en función de la relación  $P_d / 2P_o$

A modo orientativo también se pueden dar para suelos artificiales los siguientes valores de  $P_o$ :

TABLA 6	
Uso de la tierra	Valores de $P_o$
Asfaltos, hormigones y tejados	Entre 2 y 5 mm
Adoquinados	Entre 3 y 7 mm
Macadam sin tratamiento superficial	Entre 4 y 9 mm

Para cuencas naturales los valores de  $P_o$  son los siguientes

TABLA 5		
Uso de la tierra	Pendiente	Valores de $P_o$
Barbecho	>3 %	De 4 a 15 mm
	< 3 %	De 6 a 10 mm
Criterios de hileras	>3 %	De 6 a 23 mm
	< 3 %	De 11 a 28 mm
Cereales de invierno	>3 %	De 8 a 29 mm
	< 3 %	De 12 a 34 mm

TABLA 5		
Uso de la tierra	Pendiente	Valores de Po
Rotación de cultivos pobres	>3 %	De 6 a 26 mm
	< 3 %	De 10 a 30 mm
Rotación de cultivos densos	>3 %	De 9 a 37 mm
	< 3 %	De 13 a 47 mm
Praderas	>3 %	De 9 a 53mm
	< 3 %	De 10 a 53 mm
Masas forestales	>3 %	De 10 a 62 mm
	< 3 %	De 14 a 50 mm
Rocas permeables	>3 %	3 mm
	< 3 %	5 mm
Rocas impermeables	>3 %	2 mm
	< 3 %	4 mm

Y en valores globales:

TABLA 7	
Uso de la tierra	Valores de P <sub>o</sub>
Edificios con poca zona verde	Entre 4 y 9 mm
Zonas muy industrializadas	Entre 5 y 9 mm
Zonas residenciales con zonas verdes	Entre 7 y 15 mm
Zonas poco industrializadas	Entre 8 y 15 mm

### 1.14.- Cuencas vertientes y estudio de los tramos de la red

Una vez diseñado el trazado de la red de saneamiento, hay que realizar el dimensionamiento de cada uno de los tramos en relación con las cuencas vertientes asociadas a los mismos. El método de organizar el trabajo, cuando no se dispone de un programa de cálculo por ordenador, es la elaboración de un cuadro en el que queden reflejados para los tramos de la red, que consideramos unitaria, en el orden que marca el sentido de circulación del agua, los siguientes datos:

- Numeración del tramo, según el sentido de la corriente hacia aguas abajo.
- Superficie neta de la cuenca vertiente en (ha) recogida por cada tramo, midiéndola directamente sobre el plano de planta, obtenida en función de las curvas de nivel del terreno.
- El coeficiente de escorrentía de cada cuenca vertiente, variará según la densidad de edificación, clase de pavimento, etc.
- La superficie reducida de la cuenca vertiente en (ha), se obtiene del producto de la superficie neta por el coeficiente de escorrentía.
- Se consigna el caudal en (l/s) en el punto inicial del tramo.
- Se consigna el caudal en (l/s) que corresponde a las aguas residuales de la población alojada en la cuenca vertiente asociada al tramo.
- Se consigna el caudal que corresponde con las aguas de lluvia que recoge la cuenca vertiente asociada al tramo.
- Sumando los tres caudales obtenemos el caudal total que sale del tramo y que sirve para el dimensionado del mismo.
- Se consigna la pendiente media del terreno en el tramo.
- Se refleja la pendiente del tramo de la red de saneamiento.
- Con los valores del caudal y de la pendiente se determina el diámetro de la sección si es circular o sus dimensiones internas si es ovoidea.

- Se refleja la velocidad máxima que con ese caudal y pendiente corresponde con esa sección.
- Se refleja la longitud del tramo.
- Se indica el tramo en el que se produce el desagüe.
- Se indica el número de pozos registro que tiene el tramo.
- Se consigna el número de imbornales laterales que hay en el tramo
- Se consigna el número de imbornales centrales que hay en el tramo.
- En esta casilla quedan reflejadas las observaciones.

Las últimas casillas dan datos que completan y detallan el cálculo y facilitarán la posterior elaboración del presupuesto.

Debe tenerse en cuenta la inevitable presencia de las aguas procedentes de la infiltración y de las conexiones incontroladas que constituyen un caudal adicional al de la propia agua residual. Si se carece de datos puede realizarse una aproximación por medio de ábacos que existen a tal efecto.

Una vez finalizado el cálculo hidráulico es necesario realizar la comprobación de la resistencia mecánica de los diferentes tramos de la red.

Finalmente se deben dimensionar, tanto hidráulica como mecánicamente, los elementos complementarios como aliviaderos, rápidos, sifones, disipadores de energía, depósitos de regulación, chimeneas de aireación, etc.

### **1.15.- Tanques de tormenta**

El diseño de los sistemas unitarios urbanos implica colocar intercaladas en la red unas estructuras de control que limitan el caudal de paso hacia la estación de depuración vertiendo por medio de un aliviadero el sobrante de agua al medio receptor. Estas estructuras se denominan aliviaderos cuando no tienen capacidad de almacenamiento, y tanques de tormenta cuando pueden almacenar agua del sistema unitario.

Los aliviaderos de tormentas, al no tener ninguna capacidad de almacenamiento, no son capaces de controlar la contaminación que se produce con las primeras lluvias, contaminando de forma

importante el medio receptor, salvo que el caudal de paso hacia la estación de depuración sea muy importante, lo que es claramente irrentable.

Por lo tanto, los aliviaderos de tormenta son, en nuestra opinión, unas estructuras que pueden producir importante contaminación en el medio receptor, por lo que, salvo casos excepcionales, no deberían colocarse en los sistemas unitarios urbanos, debiendo tener un volumen de retención y convirtiéndose así en lo que hemos denominado tanques de tormenta en este artículo.

Una vez aclarado este concepto, nos vamos a centrar en el diseño de los tanques de tormenta.

En primer lugar debemos hablar de su implantación. Los tanques de tormenta deberían colocarse siempre en paralelo. Es decir, que no es aconsejable mezclar aguas que han pasado por un tanque de tormenta con aguas unitarias no controladas.

En la figura 1 se indican dos posibles emplazamientos de tanques de tormenta. El primero debe ser evitado porque aumenta el grado de dilución del agua residual, mientras que el segundo es el más recomendable, ya que el grado de dilución de la contaminación se mantiene constante y el control de caudales es adecuado. De aquí nace el concepto de interceptor general, que es el colector que recibe los vertidos de los tanques de tormenta y los traslada hasta la estación de depuración.

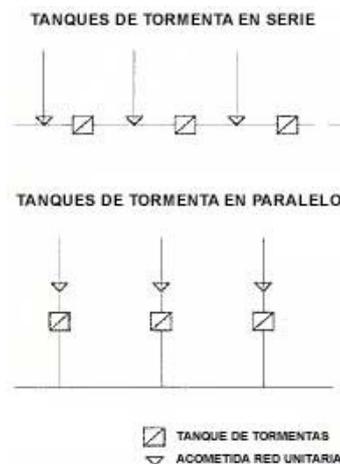


Fig. 1. Los dos posibles emplazamientos de los tanques de tormenta.

El siguiente punto que vamos a estudiar es el del volumen del tanque de tormenta. Este volumen depende inicialmente del caudal de salida hacia el interceptor general, de la pluviometría de la zona y del número de vertidos que permitamos en el medio receptor.

En cuanto al caudal de salida hacia la estación de depuración, existen dos teorías bastante diferenciadas. En primer lugar está la teoría inglesa señalada en su *British Standard 8005*, en que define un caudal dado por la siguiente fórmula:

$$Q = 1.365 \times \frac{P}{86.400} + 2 Q_i + Q_{TS}$$

Siendo:

Q = caudal (l/s)

P = población

Q<sub>i</sub> = caudal industrial

Q<sub>TS</sub> = caudal medio en tiempo seco urbano

Es decir, que sobre la base de una dotación de 250 litros por habitante y día permite una dilución del orden de 5,5 a 1.

Esta fórmula es similar a la usada en el norte de España (Confederación Hidrográfica del Norte) de 20 l/s por cada 1.000 habitantes.

La fórmula inglesa se empleó en Liverpool por primera vez en los años cincuenta. Supone llevar un importante caudal hacia la depuradora, lo que permite disminuir el volumen de retención de los tanques de tormenta. En general crea problemas a la entrada de la estación de depuración, ya que obliga a que el tratamiento primario se diseñe para estos caudales, mientras que el secundario se suele diseñar para el caudal punta en tiempo seco, del orden de 2 a 2,5 veces el caudal medio en tiempo seco.

Por lo tanto, este criterio obliga a grandes diámetros en los interceptores, importantes caudales de diseño en el pretratamiento y decantación primaria, importante obra de bombeo a la entrada de la planta y a pequeños volúmenes de retención en los tanques de tormenta.

Por otro lado está el modelo alemán definido en su última normativa *ATV-128 «Standards for the dimensioning and design of stormwater overflows in combined waterwater sewers»* (abril 1992). Esta norma tiene como base una filosofía totalmente opuesta a la inglesa, y es que por el interceptor va exclusivamente el agua que puede ser tratada a lo largo de la estación de depuración, tanto en el primario como en el secundario. El caudal de diseño de la estación de depuración y, por tanto, del interceptor viene dado por la fórmula:

$$Q_{cw} = 2 Q_{px} + Q_i$$

Siendo:

$Q_{cw}$  = caudal derivado hacia el interceptor

$Q_{px}$  = caudal medio día de máximo consumo

$Q_i$  = caudal de infiltración

$$Q_{px} = \frac{24}{x} Q_{u24} + \frac{24}{ac} \cdot \frac{365}{bc} Q_{c24} + \frac{24}{ai} \cdot \frac{365}{bi} Q_{i24}$$

en donde:

x = factor que depende del número de habitantes

$Q_{u24}$  = caudal medio urbano

$Q_{c24}$  = caudal medio comercial

$Q_{i24}$  = caudal medio industrial

ac y ai = número de horas al día de trabajo en el comercio e industria

bc y bi = número de días al año de trabajo en el comercio e industria

Los valores de X son:

Población	X
< 5.000 .....	14
5.000 – 10.000 .....	14
10.000 – 50.000 .....	16
50.000 – 250.000 .....	18
> 250.000 .....	18

Si comparamos ambas fórmulas (inglesa y alemana) para diferentes poblaciones, suponiendo una dotación del orden de 250 litros por habitante y día y sin vertidos industriales, podemos establecer la tabla 7.

Por tanto, la metodología alemana nos permite llevar por el interceptor caudales en 1,5 a 2 veces inferiores a los de la norma inglesa, con el consiguiente ahorro en colectores y tratamiento en la depuración.

Ahora bien, si comparamos estos caudales con el diseño de una estación de depuración, suponiendo que el biológico lo dimensionamos para 2,5, el caudal medio en tiempo seco, podemos realizar la tabla comparativa 8.

**TABLA 7**

**Comparación de caudales de diseño**

Población	Caudal de diseño del interceptor (l/s)	
	Norma inglesa	Norma alemana
5.000	93,46	64,07
10.000	186,92	115,74
50.000	934,61	578,70
100.000	1.869,21	1.060,96
300.000	5.607,64	3.182,87

**TABLA 8**

Población	Norma inglesa			Norma alemana			Biológico
	Colector	Primario	Secundario	Colector	Primario	Secundario	
5.000	93,46	93,46	50,64	64,07	64,07	64,07	50,64
10.000	186,92	186,92	101,27	115,74	115,74	115,74	101,27
50.000	934,61	934,61	506,37	578,70	578,70	578,70	506,37
100.000	1.869,21	1.869,21	1.012,73	1.060,96	1.060,96	1.060,96	1.012,73
300.000	5.607,64	5.607,64	3.038,19	3.182,87	3.182,87	3.182,87	3.038,19

Por lo tanto, la norma alemana obliga a aumentar algo el tratamiento secundario respecto a otras normas, pero comporta un importante ahorro en colectores y pretratamiento-tratamiento primario.

La pluviometría es una característica física que conviene tener en cuenta a la hora del diseño de los tanques, con el fin de definir las características de los mismos. En una zona lluviosa, como puede ser el norte de España, la importancia del lavado que se produce con las primeras lluvias en un sistema unitario es menor que en una zona seca, en donde existen largos períodos de tiempo sin llover. De todas formas, la importancia de la lluvia sólo se puede cuantificar mediante el empleo de modelos con estudios de períodos de lluvia reales.

En cuanto al volumen del tanque de tormenta, podemos indicar que existe un criterio generalizado de que este volumen sea capaz de retener la contaminación producida por la primera lluvia como mínimo. En este sentido se inclinan la norma *British Standard* y los criterios de diseño de colectores de la Confederación Hidrográfica del Norte. Así, se señala que este volumen corresponde al necesario para que una lluvia de 20 minutos de duración y con una intensidad de 10 litros por segundo y hectárea no produzca vertidos por el aliviadero de tormentas.

La norma alemana varía este valor de 10 l/s y ha por un abanico entre 7,5 y 15 l/s y ha impermeable que varía en función del tiempo de concentración de la cuenca. Para tiempos de concentración inferiores a 120 minutos, la lluvia crítica viene dada por la fórmula:

$$\text{lluvia crítica} = 15 \times \frac{120}{t_c + 120} \text{ en l/s y ha impermeable,}$$

siendo  $t_c$  = tiempo de concentración, en minutos

Para  $t_c > 120$  minutos: lluvia crítica = 7,5 l/s y ha impermeable

Pero además de este volumen mínimo que consigue evitar la contaminación producida por la primera lluvia, si se quiere reducir el caudal que va hacia la estación de depuración es necesario ampliar la capacidad del tanque de tormenta. Para conocer este nuevo volumen, la norma ATV-128 marca una metodología basada en el principio de que la contaminación vertida por el tanque de tormenta más la vertida por la estación de depuración correspondiente al caudal de lluvias no debe ser superior a la contaminación producida por un sistema separativo de agua pluvial, a nivel de valores medios anuales.

Con base en esta hipótesis se desarrolla un método de cálculo que depende de la relación entre el caudal medio anual de alivio de un tanque de tormenta y el caudal medio en tiempo seco. Es decir, de la contaminación que pueda traspasar el caudal de agua residual al caudal de agua pluvial durante una lluvia. El volumen de un tanque de tormenta así calculado oscila entre un mínimo del orden de 5 m<sup>3</sup>/ha impermeable hasta un máximo de 40 m<sup>3</sup>/ha impermeable. Un valor normal oscila entre 15 y 20 m<sup>3</sup>/ha impermeable.

### 1.15.1.- Tipología de tanques de tormenta

A nivel tipológico, de los tanques de tormenta es necesario realizar dos grandes grupos. Uno lo forman los tanques en línea y el otro los tanques en paralelo.

Se denomina un tanque en línea cuando el tanque se coloca como un elemento situado a continuación del colector (Fig. 2). En cambio, en paralelo, cuando el tanque es un elemento exterior a la red de colectores, conectado a ellos mediante un aliviadero de control.

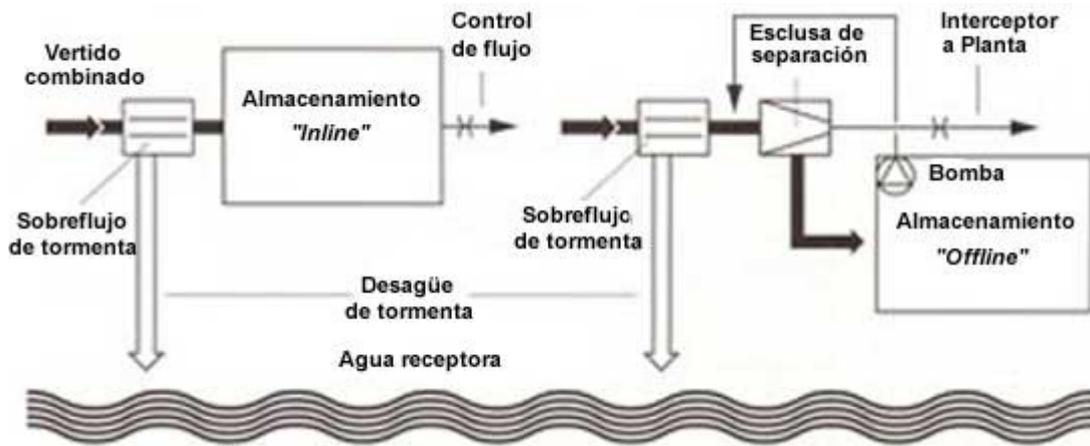


Fig. 2. Disposición de los tanques de tormenta en línea (izquierda) y en paralelo.

En las figuras 3 y 4 se presenta un ejemplo real de ambos tipos de tanques. Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes, tanto si se dimensionan para retener la contaminación de la primera lluvia como si se dimensionan con capacidad de decantación de acuerdo con la norma ATV-128.

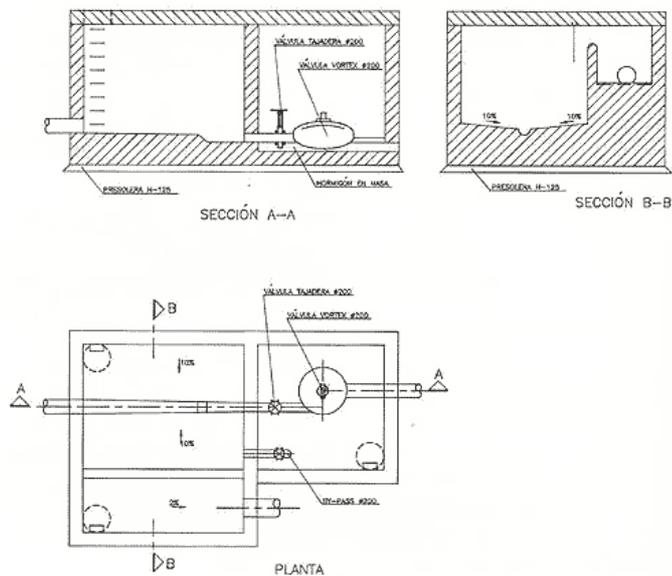


Fig. 3. Ejemplo real de tanque de tormenta en línea.

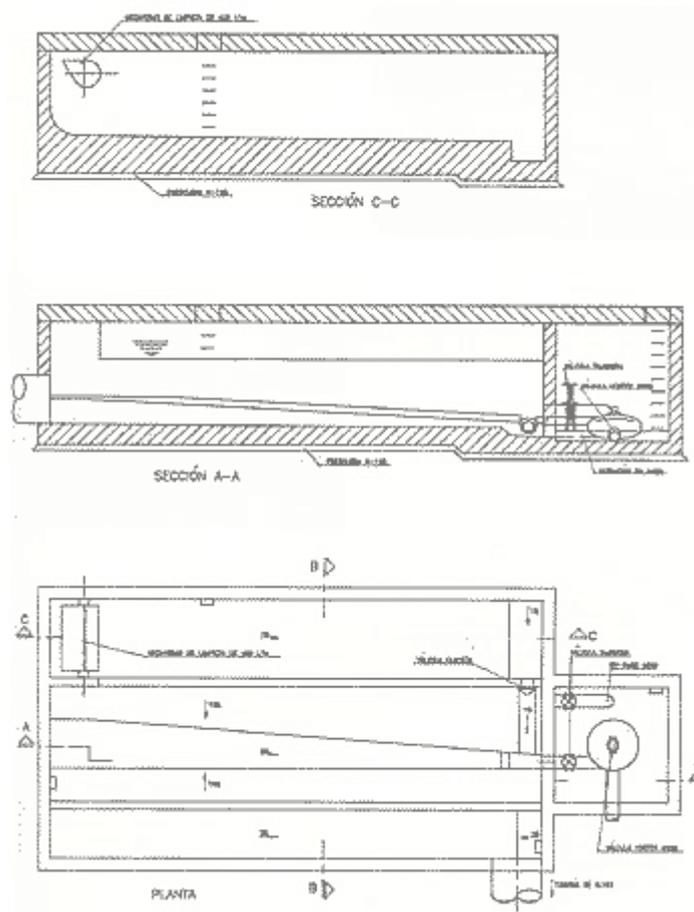


Fig. 4. Ejemplo real de tanque de tormenta en paralelo.

El tanque en serie o en línea es, en general, más económico y el flujo sigue la dirección lógica del colector. En cambio presenta el inconveniente de que en caso de lluvias de intensidad baja toda la superficie del tanque entra en funcionamiento, produciéndose sedimentaciones que es necesario evitar, bien con una limpieza manual o automática.

En cambio, el tanque en paralelo tiene mucho mejor resuelto este problema, ya que para pequeñas lluvias la superficie mojada se reduce de forma importante y, por tanto, no es necesario sistema de limpieza en esta cámara.

La cámara de mayor volumen, donde está el verdadero volumen de retención, tiene que estar dotada de un sistema de limpieza automática.

La elección de una tipología u otra de tanque depende de la importancia del tanque (volumen a retener) y de las posibilidades de ubicación de ambas opciones.

**1.15.2.- Equipamiento de los tanques de tormenta**

Los tanques de tormenta deben estar provistos de unos equipos que permitan, como mínimo, la regulación del caudal que va hacia el interceptor general y estación de depuración, la limpieza del tanque y las barreras anti-flotantes.

La regulación del caudal que va hacia la estación de depuración se realiza mediante una serie de válvulas o mecanismos cuyo diseño varía en función del caudal a regular. La base del diseño de estos elementos está en que en todos los casos la apertura mínima debe ser superior a 20 cm (ATV-128).

De acuerdo con nuestra experiencia en el diseño y construcción de tanques de tormenta para caudales entre 20 y 100 l/s, la válvula que mejor se adapta es la válvula vortex, cuya forma se observa en la figura 5 y su curva de gasto en la figura 6.



Fig. 5. Válvula vortex.

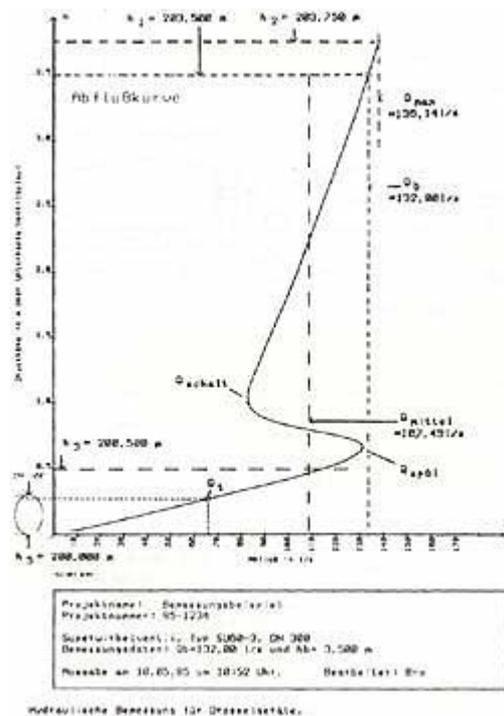


Fig. 6. Curva de gasto de la válvula vortex.

Esta válvula, una vez que funciona en torbellino, tiene una curva caudal-altura muy vertical, lo que significa que el caudal de salida hacia la estación de depuración varía poco con el grado de llenado del tanque de tormenta.

Para caudales inferiores a 20 l/s los diámetros de apertura de paso de cualquier solución son inferiores a los 20 cm, por lo que, en nuestra opinión, no se deberían proyectar caudales de paso hacia el interceptor y estación de depuración inferiores a los 20 l/s.

Para caudales superiores a 100 l/s parece conveniente colocar una compuerta mural con paso superior a 20 cm, tal y como se puede apreciar en la figura 7. Esta compuerta conviene colocarla en el lado del tanque, para que la presión del agua tienda a comprimirla contra la pared y evitar así infiltraciones.

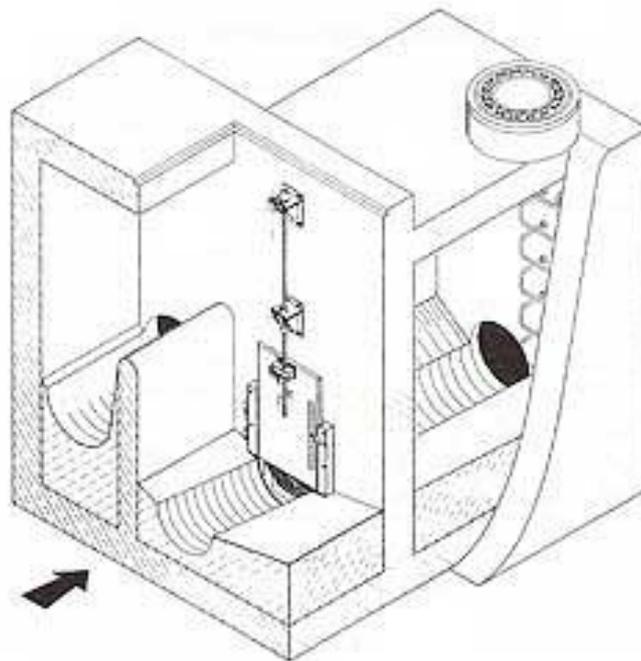


Fig. 7. Compuerta mural.

En cuanto a mecanismos de limpieza, vamos a indicar en este artículo también dos. En primer lugar está el volteador. Este sistema, que aparece en la figura 8, se llena de agua, ya sea del propio colector mediante bombeo o bien de una red de agua limpia. Una vez lleno, y por el efecto del cambio del centro de gravedad que se produce mientras se llena, se vacía de golpe, produciendo una ola que limpia el tanque. El sistema es sencillo, seguro, pero requiere unas características de diseño específicas en cuanto a capacidad, pendiente, volumen de cuneta, etc. Actúa, igual que el otro sistema que se indica a continuación, sobre sedimento fresco, es decir, se debe poner en marcha y limpiar el tanque cada vez que se produce un llenado del mismo.



Fig. 8. Sistema de limpieza mediante un depósito volteador.

El segundo sistema se basa en una bomba sumergida que aspira aire y agua a la vez y los lanza a gran velocidad, produciendo un barrido en la solera. Este sistema aparece en la figura 9. Tiene el inconveniente de requerir una potencia eléctrica importante, pero el resultado final es también adecuado al fin propuesto.

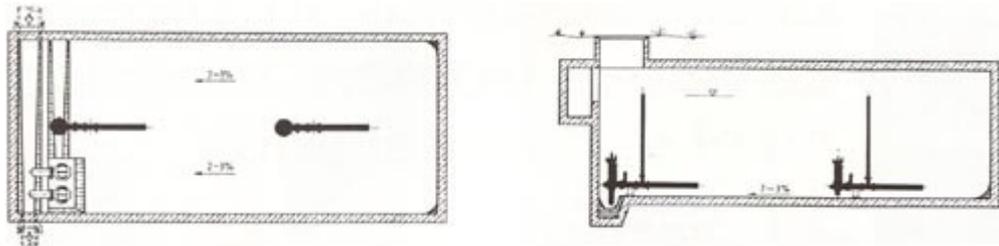


Fig. 9. Sistema de limpieza mediante bomba sumergida.

Para evitar que los sólidos flotantes salgan de la red de saneamiento y vayan a los cauces es necesario colocar en la zona de alivio un sistema de retención de sólidos. Este sistema puede ser una reja que mantenga los flotantes mientras el agua alivia, y de modo que cuando el caudal descienda el flotante se dirija hacia el interceptor. Otra posibilidad sería colocar un deflector alrededor del aliviadero, suficientemente sumergido en el agua en el momento del alivio, de forma que impida la llegada de flotantes por la velocidad del agua hacia el vertedero.

### 1.16.- Acometidas a las redes de saneamiento

Las acometidas son tuberías de pequeño diámetro (entre 150 y 400 mm) que van desde los edificios hasta alguno de los elementos de la red de saneamiento.

Su dimensionamiento viene fijado en función del tipo de propiedad a la que da servicio, de las características del agua residual a evacuar, de los caudales y del punto de unión con la red de saneamiento. En general es conveniente que cada usuario, sobre todo si los vertidos tienen una naturaleza altamente industrial, tenga una acometida independiente.

En redes separativas cada edificio necesita tener al menos dos acometidas, mientras que en redes unitarias sólo una.

Se recomienda que cuando existan varias plantas de sótanos a cotas inferiores a la red general, en sistemas unitarios, se proyecten dos redes interiores diferenciadas, una a cota superior que pueda acometer por gravedad y que recoja bajantes de las plantas altas y una segunda más baja que recoja los vertidos que queden más bajos que la primera red. Esta segunda red verterá en una arqueta en la que existirá un bombeo que vehicula el efluente hasta la arqueta de salida de la primera red, desde donde se unirá, por gravedad, con la red de saneamiento general.

Una acometida domiciliaria consta generalmente de tres elementos: Arqueta de arranque, Conducto y Entronque a la red de saneamiento.

**Arqueta de Arranque.** Es el elemento de unión de la tubería de salida de las aguas residuales de la propiedad y el conducto de acometida. Con este elemento es posible la localización del registro de arranque de la acometida y sirve de acceso para limpieza. En esta arqueta están situados los elementos de sifón que impiden el paso de malos olores hacia el interior de las fincas así como los elementos de corte que impiden el paso de las aguas residuales hacia el colector. En el caso de que sean necesarios, se sitúan en ella los elementos de aforo y de toma de muestras.

**Conducto o Acometida.** Es el elemento de unión entre la arqueta de arranque y la Red de Saneamiento. La pendiente será al menos del 2 %. La generatriz superior del conducto de acometida estará a una distancia mínima de los servicios existentes en la acera de 15 cm. El diámetro mínimo del conducto depende del material y del número máximo de viviendas a las que da servicio, no siendo conveniente, en ningún caso, que sea inferior a 150 mm.

**Entronque.** Es el punto de unión del conducto de la acometida con la Red de Saneamiento. Lo más adecuado es que el entronque se haga en un pozo de registro, en ángulo, a favor de la corriente e igualando las generatrices superiores de ambos conductos, siempre que no quede una altura de más de 0,80 m respecto de la base del pozo. Salvo en pozos prefabricados que disponen de los correspondientes orificios, es conveniente que el taladro se realice con maquinaria adecuada de gran broca. Una vez entroncado el tubo es necesario que se selle con un material que produzca la estanquidad y que sea elástico.

Cuando no exista otra posibilidad, podría realizarse el entronque directo al colector, siendo en este caso lo más conveniente que el entronque sea perpendicular, con 45° de inclinación. Los diámetros de la red de saneamiento y del conducto de acometida en una determinada relación.

Una vez realizada la acometida es necesario someterla a pruebas de estanquidad, con agua (pérdidas inferiores al 4 por mil en 30 minutos) o aire, se prueba a 0,27 kg/cm<sup>2</sup> y se deja que llegue a 0,17 kg/cm<sup>2</sup> comprobando que el tiempo que se tarda en alcanzarlo es superior a un valor t dado.

### 1.17.- Pozos de registro

Son los elementos más conocidos e importantes de las redes de saneamiento y se emplean como medio de acceso para la inspección y limpieza de las mismas.

Su utilización regular se produce en torno al año 1880, periodo en el que ya se habían construido las grandes redes de saneamiento. Su necesidad es debida al hecho de facilitar la extracción de arenas y lodos depositados en las soleras de las redes de saneamiento en las que el caudal de agua circula con una baja velocidad.

Con anterioridad a su uso, cuando una red de saneamiento se obstruía en un punto, era necesario excavar, romper las paredes, eliminar la obstrucción y reconstruir de nuevo la sección.

Una vez establecida su importancia, los ingenieros de la época se dan cuenta de la necesidad de evitar las curvas en el trazado de las redes de saneamiento que dificultarían las labores de limpieza en las no visitables, lo que obliga a construir pozos de registro, entre cada dos de los cuales la alineación, tanto en planta como en alzado, ha de ser forzosamente recta.

Se deben colocar en los siguientes puntos:

- Cambios de Alineación
- Cambio de Sección.
- Donde se Produzca un Cambio Considerable de Pendiente.
- Confluencia de Ramales (incluso acometidas).

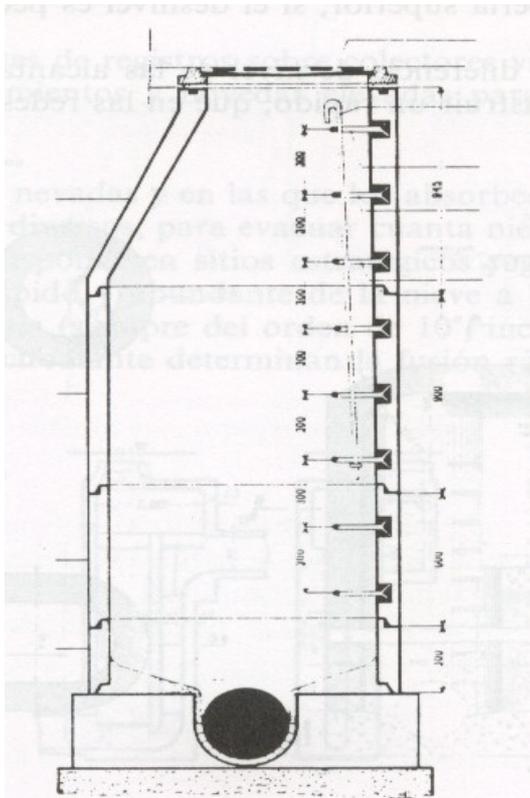


Fig. 5-76. Pozo profundo.

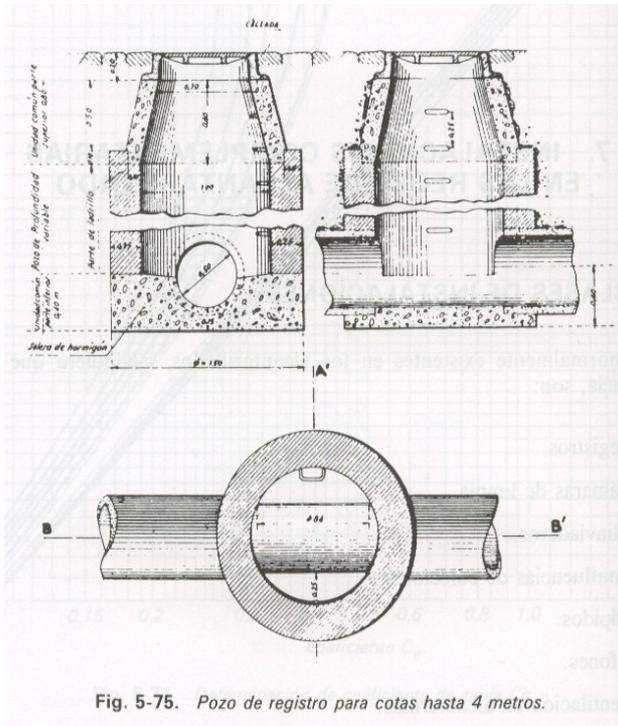
En los colectores de pequeño diámetro (hasta 600 mm), los pozos registro no deben espaciarse más de 100 m, en los colectores de diámetro mediano (entre 700 y 1200 mm) se puede llegar hasta 120 m, mientras que para diámetros mayores de 1200 mm se puede incrementar la distancia algo más, dependiendo de las circunstancias locales tales como desniveles de la superficie, situación de las intersecciones de las calles. En las secciones especiales visitables se necesitan muy pocos pozos registro.

Los pozos registro pueden ser de dos tipos:

**Registros de inspección y limpieza**, son los que se colocan en los cambios de dirección, sección o pendiente, facilitando el acceso a los colectores así como, por medio de elementos apropiados, la extracción de los materiales depositados.

En las redes de saneamiento de pequeño o mediano diámetro, los pozos registros se colocan en el mismo eje de la red o con una ligera desviación del mismo. Suelen ser circulares con dimensiones mínimas de 0,80 m de diámetro, para profundidades menores de 4 m. Si la profundidad es grande o son varios los colectores que confluyen en un pozo, conviene aumentar el diámetro hasta 1,2 m para

formar una cámara de maniobra que facilite las labores de limpieza. El último tramo suele abocinarse y hacerse de 0,60 m con el fin de disminuir el diámetro de la tapa.



En las redes de saneamiento visitables los pozos registros suelen tener un retranqueo con respecto a la vertical del eje que permita el acceso desde la acera. Si se trata de colectores muy profundos hay que recurrir a registros más complejos, en los que hay que disponer de elementos partidores al menos cada 3 m.

**Registros especiales**, son los que se colocan en las cámaras de limpieza, aliviaderos, desarenadores, compuertas, etc., elementos que conviene que tengan un fácil acceso.

Actualmente, casi con exclusividad, se están utilizando los pozos prefabricados de hormigón en anillos, colocados sobre una solera de hormigón. Los contruidos con muros de ladrillo y cono superior de hormigón se han ido abandonando debido a una estanquidad con menos garantías y al incremento de coste y de tiempo que es necesario emplear para su construcción. También pueden construirse totalmente prefabricados de hormigón, de poliéster reforzado con fibra de vidrio o, muy raramente, de fundición.

La solera no debe hacerse nunca plana, sino moldeando en ella la canal y dando pendiente a los sectores laterales a fin de evitar sedimentos y facilitar la limpieza. Se procurará mantener la misma sección hidráulica, al menos para los pequeños caudales, para lo cual se puede cortar uno de los

tubos prefabricados, que llegan al pozo, a lo largo de dos generatrices, situarlos sobre el hormigón de solera y rellenar la base hasta la cota con idéntico material, de forma que sirva de plataforma de estancia o cama.

En ciudades con fuertes nevadas puede ser de suma utilidad disponer de registros especiales que faciliten el lanzamiento rápido de la nieve a los colectores, ya que la temperatura del agua residual, en torno a los 10 °C, y la del aire circulante permiten que la nieve se funda rápidamente.

Los imbornales ordinarios, sobre todo si su galería no tiene una pendiente acusada se obstruyen rápidamente por la nieve apelmazada, siendo preciso que el pozo registro para nieve tenga una gran amplitud de boca, secciones cada vez más amplias, vertido directo al colector y posibilidad de ayuda a que la nieve se funda mediante chorro de agua. En la parte superior existe una tapa o una gran rejilla que se levanta en caso de nevada.

Cuando se produzcan saltos en la rasante de más de 60 cm y menos de 2 m, se construirán pozos registro de caída, que evitan el ruido que produce la caída del agua, las molestias al personal de vigilancia y reducen la erosión en una solera que necesitaría ser reforzada. Cuando el salto sea mayor de 2 m es conveniente construir rápidos en escalera.

En los pozos de confluencia se procurará que el ramal de menos caudal vierta sobre la cama del pozo es decir a mayor cota que el colector principal.

En los pozos de cambio de dirección se construirá un acuerdo de forma que se facilite hidráulicamente el giro y reduzca lo más posible las pérdidas de carga. En colectores de pequeño diámetro se puede realizar con una curva de 90° en el interior de un pozo de registro convencional. En las redes de saneamiento de diámetro comprendido entre 700 y 1200 mm la práctica más común consiste en construir un pozo de grandes dimensiones con una base especialmente proyectada en el punto de intersección. También puede realizarse con dos pozos registro cada uno situado a una distancia de dos diámetros del pozo desde su punto de intersección, con una alineación recta entre pozos. Para diámetros mayores de 1200 mm las pérdidas de carga se reducen cuando se emplean tuberías con uno de sus extremos biselados y se obliga a que el radio del cambio de dirección varíe entre cuatro y ocho veces el diámetro del colector, aunque en la práctica el radio mínimo que se debe utilizar es de 15 m.

La solera de los pozos de cambio de sección tendrá igualmente forma de transición. Cuando se incremente la sección la solera llevará pendiente de forma que las generatrices superiores de los conductos se encuentren a la misma altura.

Cuando la transición se haga de un ovoide a un tubo circular, en el que se puede dar el caso de que el tubo tenga menor diámetro que la altura del ovoide, la transición tiene que ser gradual además de en la solera en las paredes con objeto de que no se produzcan sedimentos y las correspondientes retenciones.

### 1.18.- Elementos complementarios de los pozos de registro

Son dos los elementos que complementan los pozos registro, los pates o peldaños de acceso y los marcos y tapas de los mismos.

**Pate.** Es un peldaño antideslizante y anticorrosivo, de fácil colocación y gran durabilidad que permite, al personal de mantenimiento, el acceso a los colectores para las normales labores de explotación de las redes de saneamiento: vigilancia, limpieza y extracción de residuos.

Hasta hace pocos años se construían en forja o hierro fundido y se empotraban en el hormigón o en la fábrica de ladrillo. Posteriormente pasaron a hacerse de acero galvanizado. Actualmente se hacen de aluminio o de alma de acero recubierta de polipropileno y se empotran en unos huecos que tienen los anillos prefabricados mediante unas cuñas de material plástico.

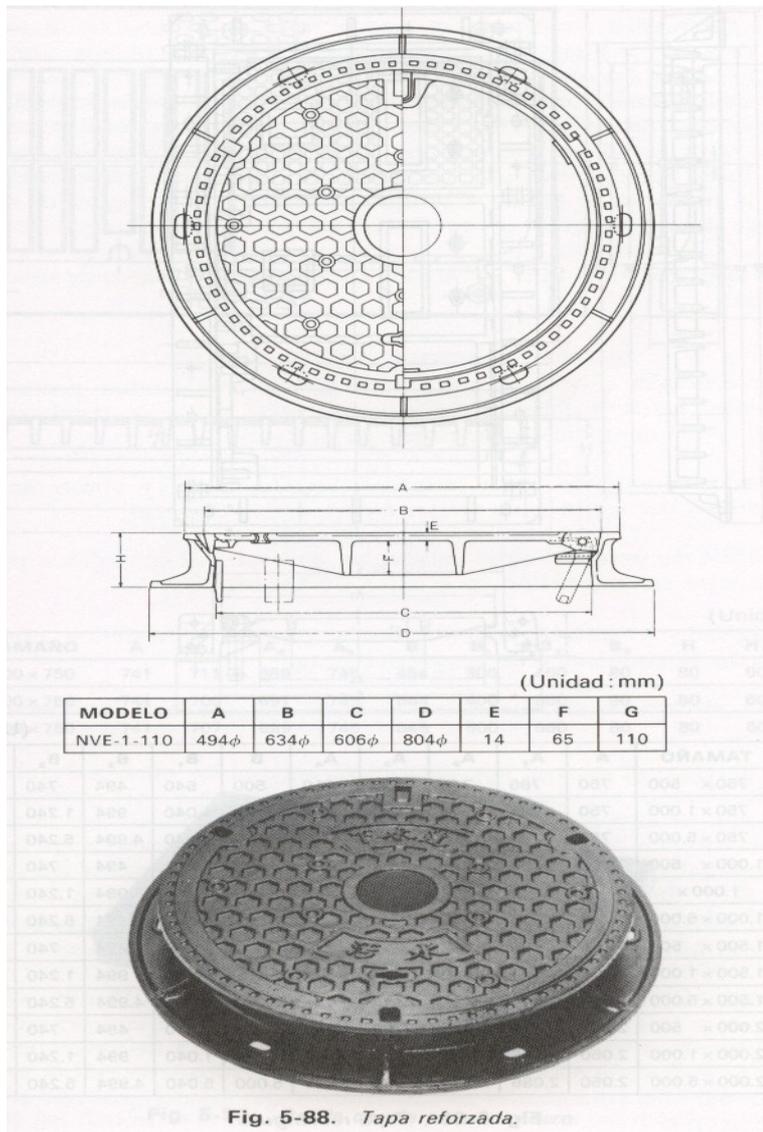
Es recomendable que el pate disponga de resaltes y entalladuras que faciliten la colocación del pie y de las manos y colabore en el agarre impidiendo el deslizamiento.

Normalmente tienen forma de U, se colocan en vertical a una distancia de 30 o 40 cm. Cuando tienen una anchura de (300 - 400 mm), se colocan en la misma vertical y se alternan en dos, cuando son estrechos (150 - 200 mm).

b) **Marcos y Tapas.** Los factores que deben de tenerse en cuenta a la hora de elegir los marcos y tapas de los pozos registro de una red de saneamiento son:

- Resistencia suficiente para soportar las cargas que correspondan a su emplazamiento.
- Debe estar normalizada de modo que, por robo o deterioro, sean fácilmente sustituibles.
- Ajuste de ambos elementos (marco y tapa) de forma que no produzcan ruidos ni trepiden.
- Deben tener una forma o algún dispositivo que impida que se caigan al fondo de los pozos.
- Seguridad de forma que queden fijas al marco.

- Facilidad de ajuste al desgaste de los pavimentos.
- Estanquidad a la entrada de aguas de lluvia.
- Posibilidad de adaptación de elementos de cierre que eviten que pueda arrojarse elementos extraños por ellas.



La tapa será normalmente circular (ya que tiene la ventaja de que no puede caerse al pozo y plana, colocándose en la rasante de la calzada de forma que no interfiera en el tráfico).

Las normales suelen tener entre 550 y 625 mm de diámetro, ya que con este tamaño se permite el acceso a una persona con un coste razonable. Si se hicieran de un mayor tamaño tendrían mayor

probabilidad de rotura. En algunos casos se emplean las de 750 mm de diámetro ya que permiten disponer del espacio suficiente para el uso de una escalera portátil.

Es conveniente que las tapas no estén perforadas.

El material que más se ha utilizado durante los últimos años se ha sido la fundición, aunque en la actualidad la Comunidad de Madrid, ya que tienen una salida más difícil en el caso de sustracción, está utilizando, en colectores de nueva construcción las de hormigón armado, de 62,5 cm de diámetro y espesor de 6 o 10 cm, según que vayan instaladas en aceras o en calzadas. Estas tapas tienen reforzado el canto y el asiento con una protección de fundición.

### 1.19.- Imbornales y sumideros

Los imbornales se utilizan para recoger las aguas de lluvia superficiales que circulan por las calzadas y conducir las de una forma rápida y eficaz, directamente a las redes de saneamiento unitarias o a las de pluviales. Cuando tienen la posibilidad de interceptar las basuras o sedimentos que arrastran las calles se denominan sumideros.

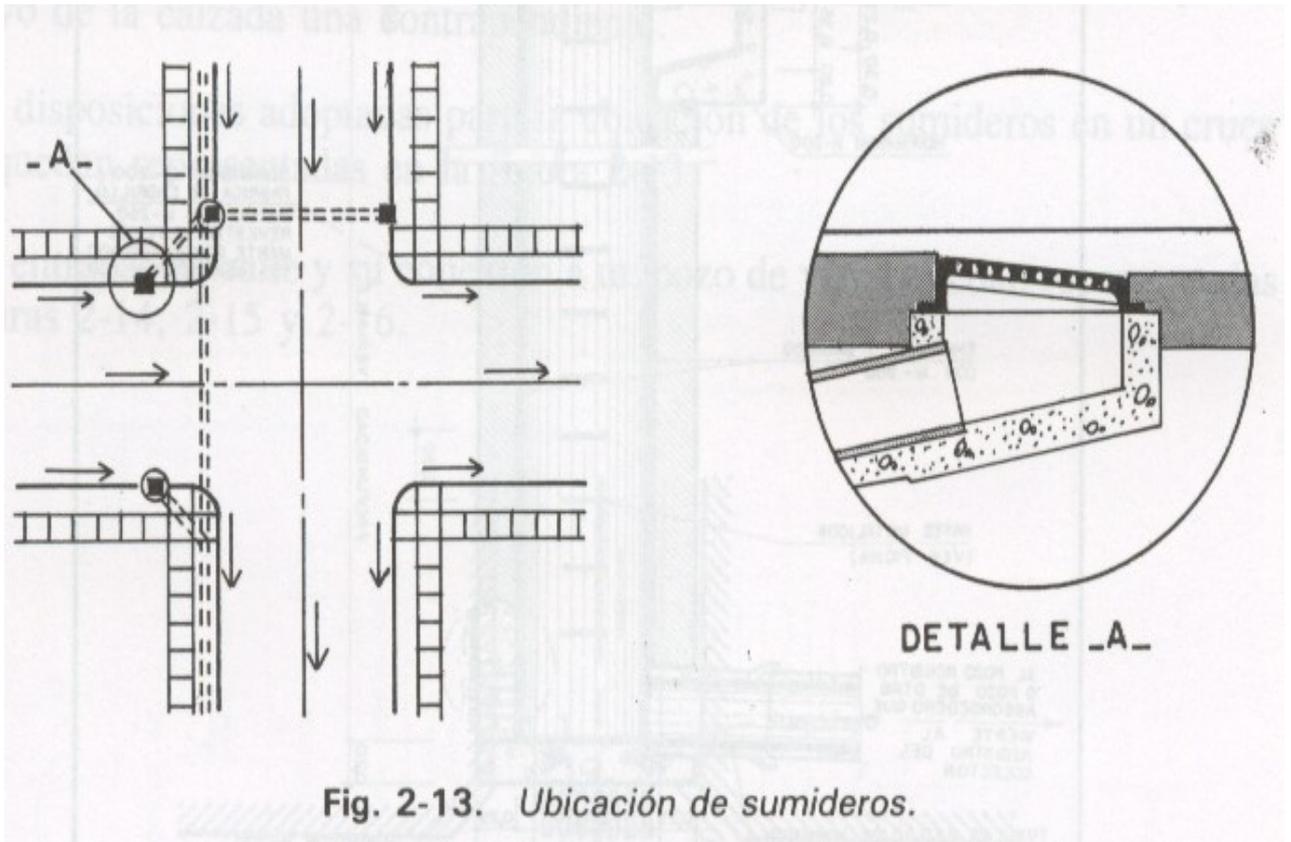
Su número depende de la frecuencia e intensidad de las lluvias del lugar, así como de la pendiente de la calle. Normalmente se colocan en los cruces, pero a fin de no entorpecer el tráfico, se retranquean ligeramente en relación con las alineaciones de fachada y a una distancia comprendida entre 50 y 70 m, que se puede hacer menor en el caso de que haya cruces.

Lo normal es que cada uno recoja la lluvia de una superficie comprendida entre 300 y 800 m<sup>2</sup>, lo que equivale a un caudal de 5 a 10 l/s.

Con el fin de que el agua que llegue a un imbornal no lo rebase conviene disponer una contra pendiente a la salida del mismo.

Existen tres tipos de imbornales, en función de la forma de entrada del agua en los mismos, que son:

**Imbornales de bordillo, buzón o ventana.** Existe un orificio en forma de ventana situado en el bordillo del acerado. No son los más adecuados cuando las calles tienen una pendiente pronunciada y en zonas en las que se prevea una gran cantidad de sedimentos y desperdicios. Su mayor ventaja es su poca interferencia con el tráfico de vehículos.



**Imbornales de rejilla.** Existe un orificio en la superficie tapado con una rejilla. La mayor ventaja de este tipo de imbornales es que poseen una capacidad hidráulica superior al de ventana. Sus desventajas el ruido que produce el tráfico, la posibilidad de taponamiento de la rejilla por hojas, papeles o cualquier tipo de deshechos y las molestias que originan al tráfico.

**Imbornales mixtos.** Combinan los dos anteriores. La ventaja de este tipo de imbornales es que la obstrucción de la rejilla no impide su funcionamiento, ya que entonces recogen el agua a través del buzón.

Los sumideros, al igual que los imbornales, se utilizan para recoger las aguas de lluvia superficiales y conducir las a la red de saneamiento. La diferencia con los primeros es que tienen una cámara que permite retener durante un breve periodo de tiempo el agua de lluvia con objeto de que se depositen los residuos. Es un elemento en desuso, que hace algunos años se instalaban dado que resultaba más barato limpiar estos sumideros que realizar la limpieza de las redes. Actualmente sin embargo, las redes de saneamiento se calculan de forma que la velocidad de las propias aguas sea tal que asegure su limpieza, no siendo necesario por lo tanto de estos elementos.

El pozo de recogida del sumidero suele ser normalmente rectangular de profundidad variable, construidos bien en hormigón en armado, bien en fábrica de ladrillo o bien prefabricado.

Cuando la cámara de recogida tiene una mayor profundidad del fondo en relación con la profundidad del conducto de salida, existe la posibilidad de que se introduzcan objetos extraños y que queden almacenados en la mencionada cámara, con lo que esta actúa en cierta medida como arenero. El volumen que tenga la cámara vendrá en función de la cantidad de residuos que se puedan introducir en el pozo, dependiendo del mismo la frecuencia de mantenimiento.

Al igual que los imbornales los sumideros pueden ser de buzón, de rejilla o mixtos.

Aunque en la actualidad no hay necesidad de colocar sumideros separados por intervalos regulares, su utilización puede resultar adecuada cuando sea probable un gran arrastre de arena hacia la red de saneamiento, (viales sin asfaltado, zonas asfaltadas limitadas por taludes de terrizo, sin jardinería, ...). Su limpieza, que es costosa, debe realizarse de forma regular, no siendo necesaria la misma cuando la acumulación sea pequeña, salvo que se produzcan molestias por malos olores y presencia de mosquitos.

Una forma de resolver este problema es por medio de un sifón que produzca un cierre hidráulico, que además retiene los flotantes. En el sifón es conveniente que se estudie la cota del elemento sumergido del sifón, en función del intervalo de riego y la evaporación, de forma que no se abra nunca el cierre hidráulico.

En la actualidad la forma más adecuada de salida de las aguas es la directa y es la que se debe utilizar en las redes de nueva construcción, que deben ser separativas y ventiladas, siendo los imbornales los elementos que con ciertas limitaciones pueden producir la ventilación.

## 1.20.- Cámaras de limpieza

En el pasado se utilizaba este tipo de elementos complementarios en las redes de saneamiento que se construían con pendientes bajas. Se colocaban en los inicios de las mismas y en todos aquellos puntos que a juicio del proyectista existiera una velocidad insuficiente que podía producir sedimentación. Su misión era aportar un caudal instantáneo de agua muy elevado que permitía conseguir el arrastre de los materiales que se habían depositado.

En la actualidad las cámaras de descarga casi no se usan ya que en la práctica las redes de saneamiento se construyen de forma que el agua residual por sí misma tenga suficiente velocidad para producir los arrastres, y en todo caso los métodos de limpieza que se utilizan, camiones aspiradores-impulsores, permiten su eliminación.

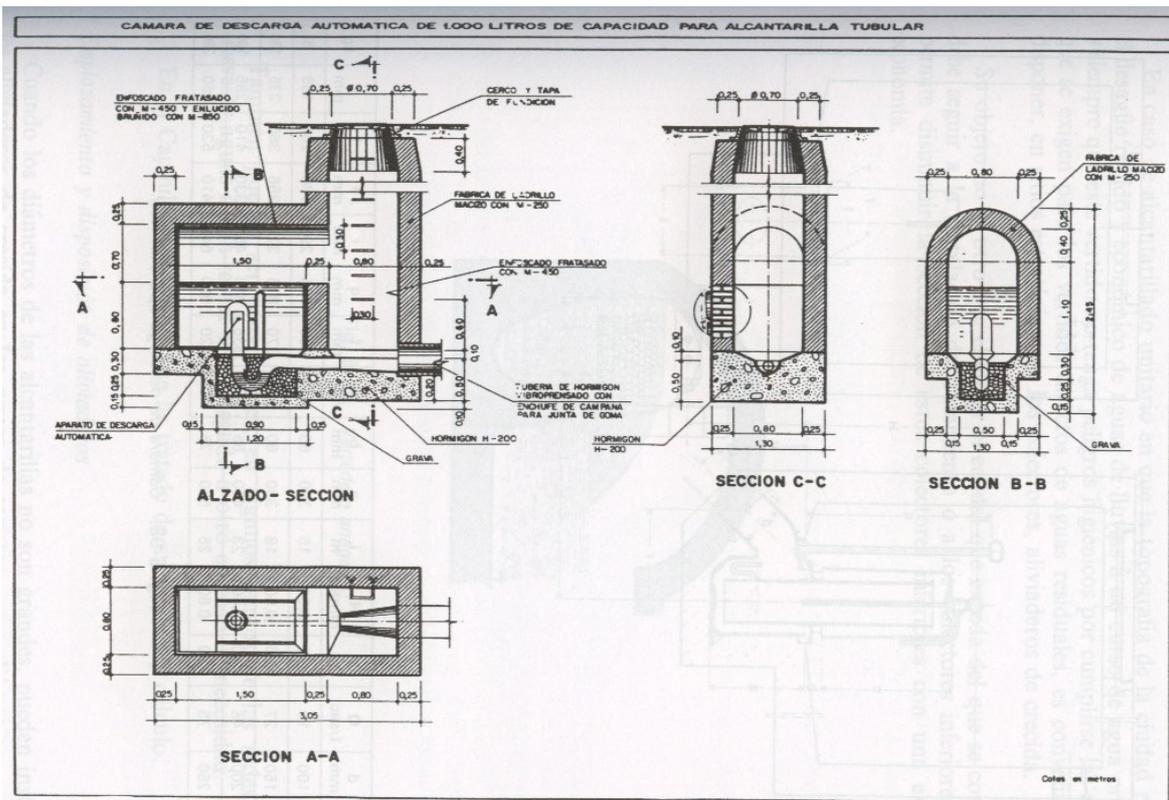


Fig. 5-97. Cámara de descarga en cabecera de ramales.

## 1.21.- Confluencia de colectores

En el caso de redes de saneamiento de pequeño diámetro los cambios de tamaño, dirección y pendiente deben realizarse en los pozos registro. Es por lo tanto en redes de mediano y gran tamaño en las que se necesitan elementos de unión y transición de forma que el agua residual fluya sin que se produzca disminución de la velocidad, con la mínima perturbación de las aguas en ambos ramales y en su confluencia, evitando la formación de remolinos y el depósito de sólidos.

La unión de redes de saneamiento visitables, debe realizarse tangencialmente y con un radio aproximado de 5 veces el diámetro de la sección media.

En las uniones abovedadas los arcos de ambos ramales se interrumpen en cuanto toman contacto sus correspondientes líneas de arranque, existiendo un único arco que cubre ambos ramales, apoyado en las paredes laterales extremas, cuya luz y altura disminuyen hasta que alcanza las dimensiones del ramal de salida. La solera y paredes laterales se adaptan para efectuar la transición que lleva desde la sección compuesta, a la que debe tener después del empalme.

Algunas veces es necesario reformar el encuentro en ángulo recto que se da en algunas redes de saneamiento visitables. Esto se suele realizar acometiendo a mayor altura el colector, achaflanando el ángulo y haciendo escalones fuera de la cuna.

En las confluencias complicadas conviene contar siempre con pozos registro para resolver los problemas de vigilancia, conservación y limpieza.

## 1.22.- Aliviaderos

Una red de saneamiento unitaria transporta tanto aguas residuales como aguas pluviales. En épocas secas la red de saneamiento debe ser capaz de transportar la totalidad del agua residual a la Estación Depuradora.

En períodos de lluvia, al comenzar las aportaciones de las aguas de escorrentía superficial, se pasará salvo excepciones de un caudal de aguas residuales a un caudal de veinte, treinta y hasta doscientas veces superior. En un espacio de tiempo muy corto pueden diluirse las aguas residuales hasta doscientas veces en cuyo caso el vertido directo es perfectamente admisible.

La función del aliviadero consiste en evitar cualquier vertido directo cuando no hay dilución y permitir el vertido directo a partir de una dilución determinada. Cuando se inicia una lluvia existe un periodo transitorio de algunos minutos en los que los vertidos tendrán una dilución pequeña hasta que se alcanza el tope de la dilución deseada de tres a cinco veces el caudal medio de aguas residuales.

Se entiende por coeficiente de dilución a la relación:

$$C_d = \frac{Q_m}{Q_m + Q_{ll}}, \text{ siendo:}$$

$C_d$ , Coeficiente de dilución. La dilución es la inversa del coeficiente.

$Q_m$ , Caudal medio de aguas residuales.

$Q_{ll}$ , Caudal de aguas de lluvia

Los coeficientes de dilución que normalmente se utilizan son los siguientes:

Coeficiente de Entrada a las depuradoras	1/3
Coeficiente para Vertidos Intermitentes o Escasos a Arroyos o Cauces Superficiales	1/5
Coeficientes para Vertidos a Ríos de Importantes con Grandes Caudales Fluyentes mayores que los de los Vertidos	1/3

Esto significa que en el caso de que exista un aliviadero previo a una Estación Depuradora, el colector aguas abajo del aliviadero transportaría un caudal máximo de  $3 Q_m$  y el aliviadero se dimensionaría para un caudal máximo de:

$$Q_v = Q_{max} - 3 Q_m, \text{ siendo:}$$

$Q_v$ , Caudal Vertido por el Aliviadero.

$Q_m$ , Caudal Medio de Aguas Residuales.

$Q_{max}$ , Caudal Máximo Transportado por el Colector Aguas Arriba del Aliviadero, incluyendo las aguas residuales y las aguas de lluvia.

Los aliviaderos son por lo tanto dispositivos que permiten la derivación del caudal que excede de la capacidad de transporte de la red de saneamiento o de la capacidad de tratamiento de la Estación Depuradora, a otros puntos de la red, al cauce receptor o hacia instalaciones de almacenamiento temporal.

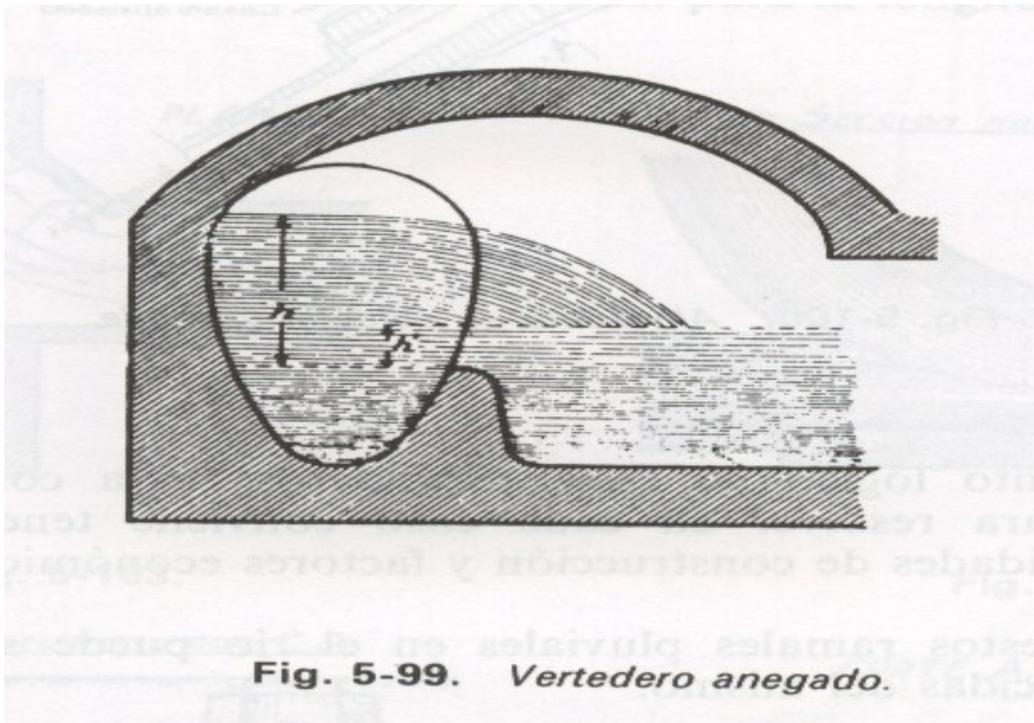
Se dispondrán aliviaderos en los siguientes casos:

- Cuando se tenga un caudal que exceda de la capacidad de tratamiento que tenga la estación depuradora que trata las aguas residuales.
- Para regulación del caudal, de modo que permita el paso de una parte del caudal de una red de saneamiento que pueda trabajar en carga a otra que esté menos sobrecargada o tenga mayor capacidad.
- Para permitir eventuales reparaciones o limpiezas de las redes de saneamiento.
- En las estaciones depuradoras o en las estaciones de bombeo para poder derivar el caudal de aguas residuales al cauce receptor cuando existan averías que impidan el funcionamiento de las instalaciones.

Los aliviaderos pueden ser fijos o móviles. Los problemas de mantenimiento que presentan estos últimos no hacen aconsejable su utilización.

Los aliviaderos fijos pueden ser de varios tipos:

**Vertedero lateral.** Es un vertedero construido paralelamente a la dirección del flujo en una de las paredes laterales del colector.



El vertedero deberá tener la suficiente altura para que no se produzca el vertido de aguas residuales en períodos secos y ser lo suficientemente bajo y largo para que descargue el exceso de caudal que se produce durante las tormentas.

Los aliviaderos laterales se pueden construir también con pantalla sumergida que impida el paso de los flotantes o con rejillas con paso inferior que impida el paso de sólidos.

**Vertedero lateral con tabique deflector,** es una variante del anterior en el que se coloca un deflector transversal en la parte superior del colector principal que necesita ser aliviado, de forma que su borde inferior las paredes del colector y la solera y la pared del vertedero constituyen un orificio sumergido, normalmente rectangular, y con e altura de lamina del vertedero la superior del orificio, de forma que cuando aumenta la altura de agua en el colector principal, también aumenta sobre el vertedero lateral y en consecuencia se incrementa su capacidad de alivio.

**Vertedero transversal.** El cálculo de los vertederos laterales tiene un grado de incertidumbre debido a la variación de la altura de lámina de agua e lo largo de la pared del vertedero.

Para evitar esta inexactitud del cálculo, los vertederos se pueden colocar directamente perpendiculares a la línea del flujo del agua con lo cual el caudal aliviado viene determinado por la fórmula del vertedero rectangular, quedando totalmente definido.

**Vertederos de salto.** Un vertedero de salto está formado por un canal realizado en la solera de la red de saneamiento, de forma que el caudal normal de aguas residuales vierta en ella. En periodos de lluvia la mayor velocidad del caudal hace que la mayoría del mismo salte por encima del canal y pase al emisario de aguas pluviales. El vertedero tiene una placa de acero que está inclinada y que permita ajustarse a distintas condiciones de caudal.

**Sifones aliviadero.** Este dispositivo funciona automáticamente y sin mecanismo alguno. Existe un conducto en forma de sifón que se ceba cuando el colector se pone en carga, derivando una parte del caudal al colector de salida.

### 1.23.- Rápidos

Son elementos complementarios de las redes de saneamiento, con poca longitud y elevada pendiente, contruidos para salvar importantes desniveles.

Se proyectan en las siguientes circunstancias:

- Cuando la pendiente del colector deba ser inferior a la del vial compensando esta pendiente en los rápidos. La solera en este caso puede ser en forma de gola (S) o con solera escalonada revestida con losas de hormigón para resistir la abrasión.
- Cuando se conecten dos redes de saneamiento a distintos niveles.
- Para pequeños caudales y altura inferior a 2 m se utilizan los pozos de caída.

Los rápidos deberán ser accesibles y de fácil limpieza, poseer un cuenco de amortiguamiento y una cámara para la formación del resalto hidráulico. También se pueden incorporar en la solera disipadores de energía.

Cuando la diferencia de caudales entre el máximo a transportar y el normal sea muy elevada, se dispondrá un colector dentro del rápido capaz de transportar el caudal normal.

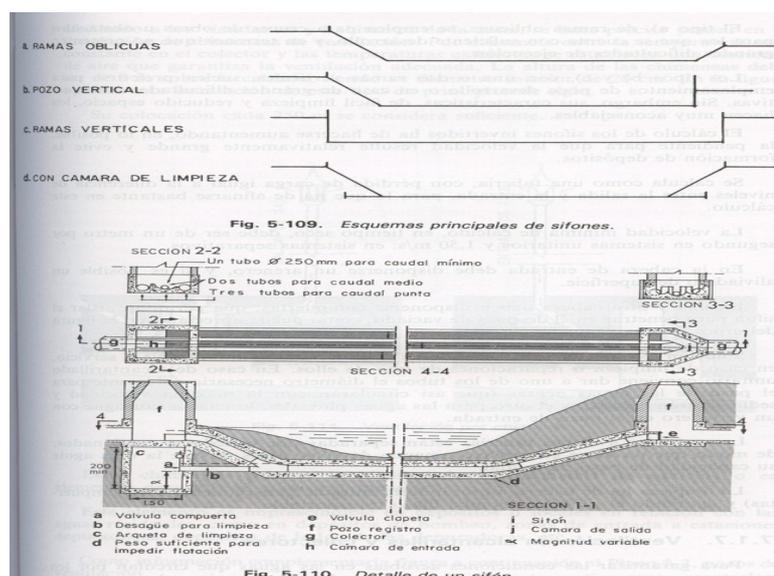
## 1.24.- Sifones

En las redes de saneamiento se denominan sifones a los tramos de las mismas que quedan por debajo de la rasante para salvar un obstáculo como un cruce de un río, un cruce con un ferrocarril, un paso de una carretera, el cruce del metro en ciudades, etc.

La tubería que se utilice en el sifón ha de ser una tubería capaz de resistir la presión que se crea en el interior. Los materiales que se emplean son los normales para tuberías de presión como son el hormigón armado preferentemente con camisa de chapa, la fundición dúctil y el gres.

Es conveniente realizar su dimensionamiento con una mínima velocidad de 1 m/s en redes unitarias y de 1,5 m/s en redes separativas. Es por ello que cuando la altura es reducida y el caudal circulante es muy variable, en el caso de que se adoptara para el paso un diámetro excesivamente grande, resultaría que el movimiento de agua a caudales normales sería excesivamente lento. Disponiendo varios tubos en paralelo, con aliviaderos entre ellos, puede solventarse esta dificultad. En una red de saneamiento unitaria puede disponerse un tubo de pequeño diámetro para desaguar el caudal mínimo en tiempo seco con una determinada velocidad, un segundo tubo para desaguar la diferencia entre los caudales mínimo y máximo diario y un tercero para evacuar las aguas de lluvia. Las entradas a dichas tuberías están separadas por vertederos escalonados de modo que no entre en servicio ninguna de ellas antes de que la anterior agote la capacidad de paso de caudal.

Los sifones que se construyan debajo de los ríos deberán de tener el suficiente peso o anclarse para evitar que floten en vacío, circunstancias que pueden producirse durante la construcción o cuando se vacíe la tubería para realizar la limpieza o alguna reparación.



Los sifones deben proyectarse con una diferencia de cotas entre la entrada y la salida que compense las pérdidas de carga que se producen en las cámaras de entrada y salida.

Un sifón dispone en ambos lados del obstáculo de tramos verticales o inclinados, unidos por otro horizontal situado debajo del obstáculo a salvar.

La pendiente de entrada del sifón es conveniente que sea elevada, para incrementar la velocidad y que no se produzcan depósitos, siendo conveniente que esté comprendida entre 45 y 90°. La rampa de salida no deberá estar inclinada más de 26,5° (talud 1:2), con el fin de reducir pérdidas de carga, sedimentaciones y facilitar la limpieza. Es necesario disponer de pozos registro o de arquetas de limpieza en ambos extremos del sifón.

Los principales tipos de sifones dependen de la inclinación o verticalidad de los ramales y de la existencia o no de cámaras de limpieza. Así tenemos:

**Sifón de Ramales Oblicuos.** Se emplean cuando se cuenta con suficiente desarrollo y cuando el terreno en el que se van a realizar las obras no presente graves dificultades para la ejecución.

**Sifón con uno o dos Ramales Verticales.** Se construyen en emplazamientos de poco desarrollo o en el caso de graves dificultades en la construcción. El reducido espacio que se necesita y la fácil limpieza, les hace muy útiles.

**Sifones con cámaras de limpieza.** Uno de los problemas más importantes que tienen los sifones es la dificultad de su limpieza y que el material que se deposita suele producir agresiones a los materiales y malos olores. Es por ello que debe disponerse los elementos necesarios que permitan la limpieza frecuente y la inspección regular de su funcionamiento que asegure la rápida eliminación de obstrucciones.

En cada extremo de un sifón invertido se colocarán pozos registro o cámaras de limpieza que permitan el acceso para eliminar las obstrucciones.

También es conveniente que en la cámara de entrada se disponga de un arenero que evite que se depositen las mismas en el interior del sifón.

En ambas cámaras se debe disponer de compuertas que permitan aislar el sifón y realizar las labores de limpieza. La limpieza se hace agotando el sifón con bombas.

Una solución recomendable es hacer un doble sifón que permita no interrumpir el servicio en caso de limpieza o reparación de alguno de los elementos.

## 1.25.- Elementos de ventilación

Los sulfuros y los problemas de olores se producen en las redes de saneamiento, especialmente en climas cálidos, en aquellas zonas en las que la velocidad de circulación es baja, cuando las distancias y tiempos de recorrido son largos y cuando las redes de saneamiento se ponen en carga y circulan a sección llena.

En redes de saneamiento de pequeño diámetro, cuando la pendiente es superior al 6 por mil, no se suele producir acumulación de sulfuros.

Los gases que se producen en las redes de saneamiento pueden ser controlados por diversos métodos, entre los que destacan, el diseño correcto de las mismas, pendiente, diámetro y cuidadosa selección de los puntos en los que se pueden producir turbulencias, y una buena ventilación.

Para garantizar las condiciones aerobias de las aguas que circulan por las redes de saneamiento y para evitar retención de gases en los puntos altos de las mismas se hace preciso instalar elementos de ventilación, que evitan los siguientes problemas:

- Acumulación de gases que pueden ser explosivos o corrosivos.
- Acumulación ocasional de gases malolientes.

Reducen la acumulación de sulfuro de hidrógeno.

Se elimina la creación de presiones por encima o debajo de la atmosférica, las cuales pueden producir roturas ocasionales de los cierres hidráulicos de las instalaciones de fontanería de los edificios.

La ventilación puede realizarse por las acometidas domiciliarias, cuando no tiene sifón y están conectadas a su vez a conductos de ventilación, y/o a través de los imbornales de captación de las aguas pluviales, que por este motivo salvo casos especiales, deberán ir sin sifón, y/o a través de las tapas de los pozos registro que en este caso deben estar perforadas.

No obstante no es conveniente que la ventilación, de las redes de saneamiento unitarias, se haga por medio de imbornales sin sifón dado, que estos permiten la salida tanto de olores desagradables y vapores. Las tapas de registro perforadas permiten que se introduzcan las aguas superficiales, además de los mismos problemas de olores y vapores.

En la mayoría de los casos los sistemas indicados no producen la suficiente ventilación y es necesario instalar columnas o báculos de ventilación. La diferencia de temperatura, casi constante en el colector, con el exterior produce una corriente de aire que garantiza la ventilación adecuada.

Las chimeneas de ventilación deben de tener al menos 2 m de altura y su distancia a cualquier edificación no será inferior a 5 m. Se pueden situar en parques y jardines alejados de las zonas habitadas. También se pueden adosar a las fachadas de los edificios, sobresaliendo sobre las cubiertas de los mismos. Una separación de 250 m entre ellas se considera suficiente.

En redes de saneamiento que incluyen sifones se deben incorporar dispositivos de venteo en las cámaras de entrada de los mismos.

La ventilación por medios mecánicos, mediante el empleo de ventiladores portátiles, es un procedimiento que debe utilizarse siempre que entren operarios en el interior de las redes de saneamiento para su inspección o limpieza.

### **1.26.- Areneros o desarenadores**

En zonas ajardinadas, terrizas o arenosas y también en calles mal pavimentadas las aguas pluviales arrastran gran cantidad de arenas siendo conveniente situar areneros con anterioridad al primer tramo en el que se produce la disminución de la pendiente y la velocidad es inferior a 0,6 m/s.

Los areneros son estructuras estancas rectangulares, con nivel de la solera inferior en relación con la rasante de la red de saneamiento, en los que las aguas reducen su velocidad, favoreciendo la decantación de las arenas.

Deben ser accesibles desde el exterior para realizar, por medios mecánicos su mantenimiento, que debe ser periódico y sistemático para que no se produzcan malos olores.

### **1.27.- Introducción a la construcción de las redes de saneamiento**

Para iniciar los trabajos de construcción de una red de saneamiento es preciso disponer de unos planos detallados de la traza y de unos perfiles longitudinales en los que queden definidos todos los elementos singulares que son necesarios.

Los planos de construcción deben estar a escala 1/1000 o 1/2000, dependiendo de la complicación de las calles y de las zonas servidas. Tienen que quedar perfectamente definidos los puntos singulares (esquinas, salientes, etc.), las acometidas domiciliarias, los pozos de registro, los imbornales, las confluencias, etc. Deben de quedar explícitas las direcciones de las pendientes.

La representación de los perfiles longitudinales se llama "guitarra", y en ella aparece el detalle de los perfiles cuya situación queda definida por la planta. Los datos que aportan los perfiles son: número del perfil, distancia relativa entre perfiles, distancia absoluta al origen, cota de excavación, de rasante y de terreno, la cota roja, e informe sobre obras especiales. También vienen consignados los datos de la pendiente y del diámetro del colector.

En la elección de los perfiles hay que tener en cuenta que si la pendiente natural de las calles lo permite, se procurará situar las soleras de las redes de saneamiento paralelamente a la superficie del terreno para reducir al mínimo el movimiento de tierras. Si esto no es posible, por resultar velocidades inferiores a la mínima recomendable (0,6 m/s), se necesitará incrementar la pendiente para lo que habrá que profundizar en el terreno.

Cuando la pendiente de la calle es exagerada, la red de saneamiento se divide en secciones de la inclinación precisa para que no exceda del valor que produce erosión de la solera (2,5 m/s), y se unen estas secciones por medio de pozos registro de caída.

El aumento de diámetro en un colector de una red de saneamiento puede hacerse de dos maneras:

- Con solera quebrada y espinazo continuo. Se utiliza cuando se va sobrado de pendiente y cuando no se quiere disminuir el relleno de tierras sobre el tubo. Los saltos se hacen en las soleras de los registros.
- Con solera continua y espinazo quebrado. Se utiliza cuando la pendiente es pequeña para no perder pendiente en los saltos de los pozos. Tiene el inconveniente, cuando el colector va a poca profundidad, que el relleno pueda resultar insuficiente. En esta solución es necesario comprobar que los puntos bajos de la clave del tramo superior no quedan mojados por la lámina de agua ya que en este caso se producirían cierres hidráulicos y la solución no sería aceptable.

Los problemas que se plantean en la construcción no son muy distintos de los comunes a todas las obras de ingeniería, pero tienen una particularidad cuando se ejecutan en las zonas antiguas de las ciudades, y es la variadísima gama de imprevistos que pueden aparecer. Entre estos hay que destacar:

- Aparición de cables de alta tensión o de tuberías de compañías de servicios públicos que no se conocen y que pueden poner en peligro al personal que realiza la zanja.
- Antiguas minas o viajes de agua, ignoradas y sin revestir, que pueden producir socavones en superficie, con las consiguientes repercusiones en las edificaciones contiguas.

- Hallazgos arqueológicos que pueden llevar a la paralización de la obra.
- Edificios con cimentación deficiente.
- El tráfico y la necesidad de no colapsar la vida ciudadana, plantea muchas veces la necesidad un plan de obra no normal.
- El problema de una correcta compactación de zanjas, que no se puede controlar de manera continua por la rapidez de ejecución, son causa de que algunas veces la obra realizada se hunda.

Los pasos que es necesario dar en la construcción de una red de saneamiento son:

- Replanteo de plantas y perfiles.
- Transporte almacenamiento de los materiales en la obra.
- Excavación.
- Entubación y agotamiento de las zanjas.
- Asiento de la tubería.
- Colocación de la tubería.
- Juntas y uniones.
- Relleno y compactación.
- Pruebas

### **1.28.- Replanteo de las redes de saneamiento**

Lo primero, de acuerdo con lo reflejado en los planos, es necesario que quede fijado el eje del colector de la red de saneamiento. Para ello previamente se marca una línea de referencia, fuera del trazado del colector, que no puede ser alterada ni quedar cubierta (Es la que se denomina línea de apoyo).

A continuación el eje del colector se fija mediante los puntos de cambio de alineación. Estos puntos se apoyan con otros dos que no corran el peligro de que se pierdan durante la ejecución de la obra.

Entre cada dos puntos de cambio de alineación se tira una cuerda y se marca con cal. Esta va a ser la línea de referencia del maquinista de la retroexcavadora.

Luego se sitúan en el eje estaquillas, que corresponden a los intervalos de cada uno de los perfiles marcados en los planos. En estas estaquillas se indica la profundidad a la que está la cota inferior del terreno, entendiendo por ello la de la rasante del tubo más el material de apoyo.

El peón que acompaña al maquinista que está ejecutando la excavación, cuando llega al perfil que corresponde, retira la estaca fuera de la zanja y con la regla va comprobando periódicamente la profundidad hasta que se alcanza la deseada.

Posteriormente el topógrafo comprueba cada perfil y clava una estaca en el fondo de la zanja a la cota inferior del terreno. La parte superior de la estaca define la parte alta del relleno de la cama de asiento del tubo. Entre cada dos estaquillas se tira una cuerda que define la pendiente del colector en el fondo de la zanja y sirve para comprobar en cada sección la altura del asiento.

Periódicamente es necesario comprobar la pendiente, o lo que es lo mismo la rasante de la solera. El topógrafo da los datos de los mm que tiene que bajar en cada metro, comprobándose con el nivel en tramos de 8 o 10 m.

### **1.29.- Transporte y almacenamiento de los materiales en obra**

El transporte de los tubos a obra, dada la variedad de emplazamiento de las mismas, se realiza normalmente por camión, salvo en casos excepcionales en los que se puede utilizar tren o barco. Los suministradores eligen los tipos de camión más adecuado en función de las características de la tubería, la disponibilidad y acceso a la obra y la forma de realizar el acopio.

A la llegada a la obra personal cualificado debe recepcionar el envío, observando si este ha sufrido algún desperfecto, controlándose especialmente el estado de los extremos, así como las cantidades y las características de los materiales.

Las anomalías detectadas deberán de quedar reflejadas en un acta de recepción o, si son achacables al transporte, en la hoja de carga del transportista.

A continuación hay que proceder a la descarga. Puede ocurrir que el pedido, lo que normalmente ocurre con tubos de pequeño diámetro, llegue a obra en palets. Esto facilita su descarga con equipo mecánico.

Para grandes tuberías es aconsejable que la descarga se haga mediante equipo mecánico, para lo cual es conveniente utilizar eslingas o crucetas metálicas, preferiblemente las de tipo vertical que las de ángulo.

El acopio de los tubos en obra, debe situarse en el lugar más próximo a su lugar de empleo y puede realizarse de diferentes formas:

En Parques de Almacenamiento. Son lugares espaciosos que permiten las maniobras de los camiones y de las grúas, en el caso de que fueran necesarias.

El suelo debe ser firme y estar horizontal, en función de la longitud y peso de los tubos.

Los tubos de un tamaño intermedio y del mismo diámetro, se suelen almacenar apilándolos en forma de pirámide truncada, evitando las alturas excesivas, menos de 3 m cuando se utilizan grúas.

La primera fila de tubos debe apoyarse sobre travesaños de madera y cuñas que eviten deslizamientos, aseguren la estabilidad e impidan el desmoronamiento de las pilas.

Si durante los trabajos de acopio se detecta algún tubo dañado tiene que ser separado y apartado del acopio general.

Acopio al borde de la zanja. El acopio en el borde de la zanja debe tener en cuenta lo siguiente

Colocar la tubería lo más cerca posible de la zanja, con lo que se evitan costosos movimientos, repetidas manipulaciones y consecuentes riesgos.

Debe dejarse la tubería en el lado opuesto al de las tierras de excavación.

Se debe procurar que la tubería no se halle expuesta a los vehículos que transitan por la obra, al riesgo de las explosiones, si son necesarias en la ejecución de la zanja, etc.

Acopio en el fondo de la zanja. Se deberá tener en cuenta lo siguiente:

El fondo debe ser firme y estar adecuadamente rasanteado. De esta forma el equipo de montaje consigue mejores rendimientos.

En caso de que se trasladen desde el parque de almacenamiento, se debe coordinar el traslado entre el parque y la zanja, en función de los avances del equipo de montaje.

No debe de emplearse este sistema cuando haya riesgo de desprendimiento de tierras.

Es más aconsejable para diámetros medios y grandes, que precisen de medios mecánicos para su movimiento, ya que evita los tiempos muertos de la máquina mientras se ajusta la colocación.

No debe forzarse, por utilizar este procedimiento, la apertura de zanja y la colocación del asiento.

Almacenamiento de piezas especiales y juntas. En general el almacenamiento se realiza a cubierto. Esta recomendación es especialmente importante para las gomas que deben conservarse en la oscuridad entre 5° y 35 °C.

Para facilitar las labores del montaje deben estar clasificadas y bien ordenadas.

En grandes obras conviene llevar fichas de almacenaje que permita llevar en todo el momento el control de las existencias en obra y que no obligue a la paralización del tajo por la carencia de algún elemento.

### **1.30.- Excavación**

Los cuadros de precios de las obras, contemplan normalmente 6 tipos de excavación en zanja, en función de los medios que se empleen (manuales o mecánicos) y de la consistencia del terreno (blando, medio o duro).

Excavación a mano. Debe limitarse al mínimo en la construcción de redes de saneamiento. Fundamentalmente se emplea en el cruce con otras redes o estructuras existentes o en pequeñas excavaciones para las uniones entre tuberías.

Con el fin de evitar riesgos en las excavaciones a mano, cuando la profundidad de las zanjas exceda de 1,5 m, el material extraído debe estar separado del borde de la zanja por lo menos 0,6 m. Cuando no es posible almacenar las tierras al lado de la excavación, o se corriera el riesgo de que el apilado pudiera producir desplomes, se transportarán a un lugar apropiado. En cualquier caso la altura de las tierras no podrá sobrepasar los 2,5 m



Fig. 5-25. Colocación de tubería de PVC.

Excavación por medios mecánicos. Este tipo de excavación es mucho más barata y debe emplearse siempre que sea posible. Se utiliza maquinaria especial, normalmente retroexcavadoras de ruedas, aunque también pueden utilizarse bivalvas o dragalinas.

Excavación en roca. Si es preciso efectuar voladuras para las excavaciones, sobre todo en núcleos urbanos, se adoptarán las precauciones que se necesiten para la protección del personal y propiedades, de acuerdo con la legislación vigente y, en su caso, las Ordenanzas Municipales.

En este caso es necesario redactar un proyecto de voladuras complementario, que debe ser aprobado por la Dirección General de Minas. Normalmente el explosivo que se emplea es dinamita, que es suministrada por el Ministerio del Interior, una vez que están aprobados todos los permisos necesarios.

Las obras de excavación deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

La obra se iniciará siempre de aguas abajo a aguas arriba de forma que se pueda ir poniendo en servicio parcialmente. Se procurará excavar las zanjas en sentido ascendente de la pendiente natural para dar salida a las aguas por el punto bajo. Cuando las aguas no tengan salida natural, se procederá a su agotamiento mediante bombas de manera que pueda realizarse el refino de la capa de asiento y la colocación de los tubos en condiciones adecuadas.

La excavación debe hacerse hasta una cota inferior a la de colocación de la tubería de forma que pueda colocarse el relleno granular necesario para conseguir un buen asiento.

En zonas urbanas los materiales de la excavación de la zanja no se acopiarán de forma continua a lo largo de la misma sino que se dejarán pasos para el tránsito general y para la entrada a las viviendas afectadas por las obras, que tendrán las correspondientes pasarelas de acceso.

Cuando la profundidad de la zanja o la pendiente de la solera sean importantes deberá preverse un sobreancho de la zanja que permita satisfacer las exigencias del montaje con medios auxiliares especiales. Para profundidades de hasta 5 m la sobre-excavación será como mínimo 200 mm a cada lado, incrementándose 40 mm por cada m de profundidad adicional, la fórmula de Lenth nos da una aproximación de cual debe ser la anchura de la zanja en metros:

$$Az = 4/3 D + 0,20$$

Se tomarán las precauciones necesarias para evitar que las lluvias inunden las zanjas que queden abiertas. También los materiales de construcción y los medios auxiliares deben quedar acopiados de forma que no padezcan en el caso de inundaciones parciales o totales de la obra.

Deben respetarse cuantos servicios y/o servidumbres se descubran al abrir las zanjas, que se apearán por condiciones de seguridad cuando así lo indique la Dirección de Obra.

Los cruces con la red de abastecimiento se harán en un plano inferior, con las precauciones que impidan que una eventual fuga de aguas residuales pueda afectar al agua potable. Cuando no exista otra posibilidad de que discurran paralelamente, la separación entre las partes más salientes de ambos tubos será mayor de 60 cm medidos horizontalmente.

El cruce con los servicios existentes se procurará realizarlo lo más ortogonal posible, manteniendo una separación entre la generatriz superior de la red de saneamiento y la inferior de la tubería de agua potable de 15 cm.

Los elementos auxiliares de las redes de abastecimiento (válvulas, arquetas, llaves de acometidas, bocas de riego, bocas de incendio), así como los de la red de gas o electricidad deberán permanecer

libres de obstáculos y dispuestas para su utilización, por lo que se extremarán los cuidados para que las tierras procedentes de la excavación no cubran ninguno de los elementos reseñados.

Las tuberías de abastecimiento, conducciones, instalaciones bajo tubo, cables, etc. que aparezcan durante las obras, deberán de quedar protegidos de acuerdo con las indicaciones de sus propietarios, de forma que continúen prestando servicio. Se tendrá especial cuidado con las acometidas domiciliarias cuya modificación sea necesaria.

Las excavaciones tienen que presentar un talud en relación con la naturaleza del terreno con el fin de evitar desprendimientos. De forma indicativa se puede decir que los taludes aconsejados son:

TABLA 1	
Tipo de terreno	Talud
Arena fina no arcillosa	3/5
Grava o arena gruesa	7/10
Restos rocosos, pedregosos o procedentes de derribos	1/1
Tierra fuerte (mezcla arena y arcilla)	1/1
Terreno compacto (margas o arcillas)	2/1
Terreno de tránsito	3/1
Roca Blanda	4/1
Roca Dura	5/1

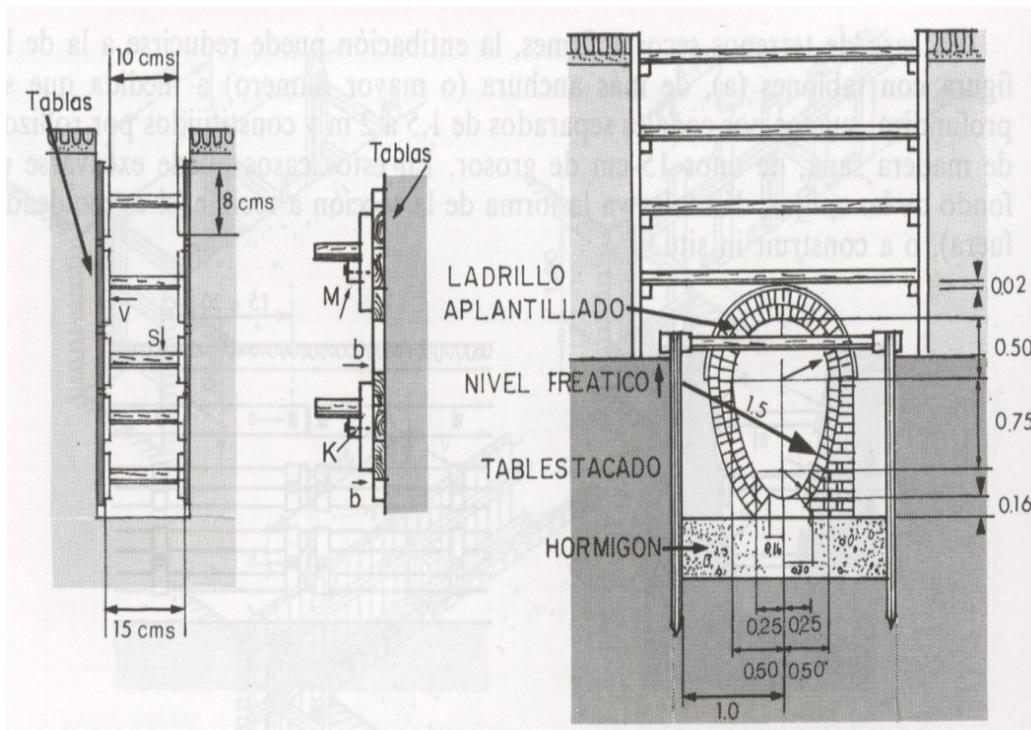
En caso de que no se pueda dar ese talud, es necesario recurrir a entibación.

### 1.31.- Entibación de las zanjas

Las zanjas abiertas en terrenos inestables exigen su revestimiento y apuntalamiento para evitar hundimientos y el desplome de las paredes laterales, con los correspondientes riesgos para el personal laboral.

La Dirección de la Obra determinar las zonas en las que es necesario entibar, así como los apeos de edificios u obras contiguas afectadas, procediéndose a su ejecución de manera inmediata.

Normalmente las zanjas de profundidad superior a 1,5 m y de longitud superior a 2,5 m necesitan asegurarse, bien con una inclinación del terreno natural o con el apeo o apuntalamiento.



Es necesario tener mucha experiencia práctica de las características y condiciones de los distintos tipos de terreno, para determinar la necesidad o no de entibación y si esta tiene que ser poco cuajada (ligera) o totalmente cuajada (amplia).

La entibación debe hacerse a medida que avance la excavación y tan pronto como haya posibilidad de ejecutarla y de igual modo debe irse retirando.

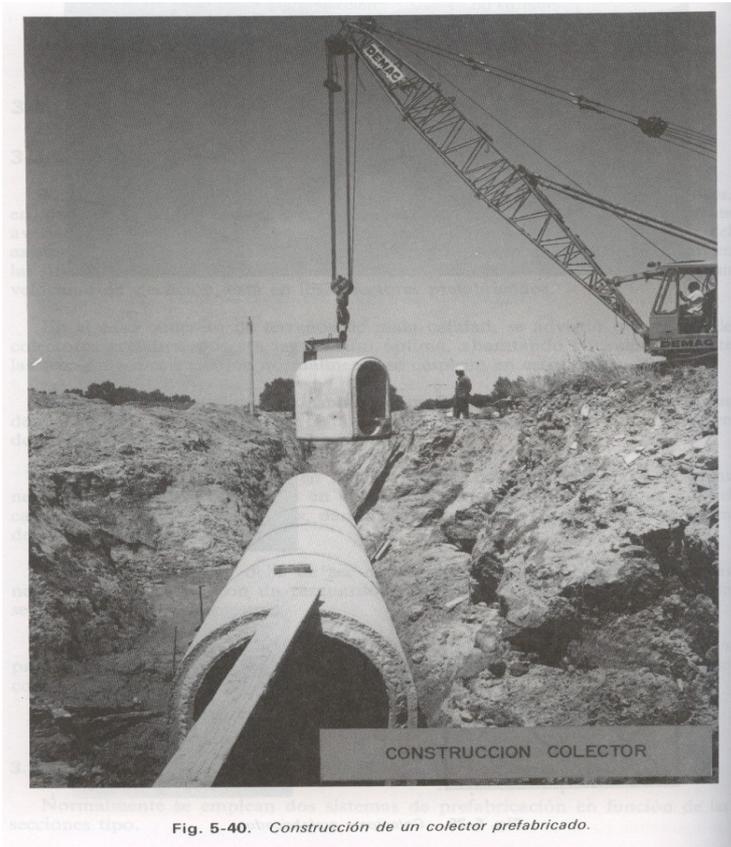
Los elementos que forman parte de la entibación son los siguientes:

**Revestimiento (ademes).** Es el sistema de elementos horizontales o verticales que están en contacto con las paredes de la zanja.

**Codales.** Son los elementos dispuestos transversalmente a un lado y a otro de la zanja.

**Estampidores.** Son los elementos que transfieren el esfuerzo ejercido por los elementos del revestimiento a los codales.

Es conveniente que el revestimiento y los codales se coloquen a 90°, de forma que tableros y codales trabajen entre sí formando un ángulo recto.



Los sistemas que corrientemente se utilizan para la protección de las zanjas son los siguientes:

**Apuntalado.** Consiste en colocar un par de elementos verticales (normalmente tablas) a ambos lados de la zanja, con dos codales que las fijan. La separación de las tablas depende de las características del terreno. Este sistema no debe emplearse más que en zanjas poco profundas y abiertas en terreno estable, con una vigilancia cuidadosa y constante por parte del encargado de la obra.

**Entibación poco cuajada,** est formada por elementos cortos colocados verticalmente contra las paredes de las zanjas y unidas con estampidores y codales. Se suelen utilizar en las primeras etapas de la excavación.

**Entibación totalmente cuajada.** Utiliza elementos horizontales o verticales que cubren toda la pared de la zanja. En terrenos consistentes pueden dejarse huecos entre las filas de elementos y entre los elementos individuales. En terrenos sueltos el entibado debe ser cerrado.

**Tablestacado.** Se emplea en excavaciones profundas, en terrenos blandos y donde se prevé la existencia de agua subterránea. El modo de operar es el siguiente: primero se excava la zanja todo lo posible sin proteger los costados. Se colocan los estampidores y a continuación se clavan las tablestacas.

Una especial protección se requiere en la construcción de redes de saneamiento en calles estrechas en los que la base de la zanja queda por debajo de las cimentaciones de las estructuras en cuyo caso es necesario reforzar con apuntalamiento u otro sistema las fachadas de los edificios.

### 1.32.- Agotamiento de las zanjas

Si el nivel freático está más alto que la solera de la zanja, se pueden utilizar dos sistemas para realizar la obra, uno mediante el agotamiento y descenso del nivel freático y el otro impermeabilizando la zanja con entibación o tablestacado metálico.

Cuando el nivel freático está ligeramente por encima del nivel de la solera se puede construir una zanja filtrante en las que se coloca un tubo poroso y se llena de grava, colocando en la parte superior una capa impermeable de arcilla o un geotextil. Estos drenes se canalizan al extremo mas bajo de la zanja en donde o bien se da salida natural o se coloca una bomba que retira el agua del nivel freático fuera de la zanja.

Cuando el nivel freático está muy por encima de la solera de apoyo del tubo, se recurre al agotamiento corriente o al drenaje con pozos filtrantes y bomba si el terreno es permeable.

El caudal a agotar es función de la altura de la capa freática sobre la solera de la excavación, de la permeabilidad del terreno y de la longitud de la zanja abierta. Dado que salvo el último, los otros factores son invariables, es conveniente que la longitud de zanja abierta en cada momento no sea excesiva. Está indicado, como ya hemos dicho, trabajar de abajo a arriba.

Cuando el terreno en el que se realiza la zanja es arenoso, uno de los sistemas empleados es el de "well point". Los tubos entre 75 y 95 mm de diámetro, se hincan verticalmente en el terreno a uno o a ambos lados de la zanja, a unos dos metros del eje, estando protegidos con una tela metálica protectora que depende de la granulometría y permeabilidad del suelo. Estos tubos se conectan a un colector general horizontal, paralelo a la zanja, entre 200 y 250 mm. Con este sistema se consigue hacer bajar el nivel freático por debajo del fondo de la zanja y se mantiene seca.

Cuando se encuentra agua, pero el terreno no es arenoso, se deja circular el agua por el fondo de la zanja hasta un sumidero desde el cual se eleva mediante una bomba centrífuga sumergible, resistente a la abrasión.

Dado que la altura de aspiración de las bombas centrífugas externas varía entre 5 y 7 m, en el caso de que la profundidad sea mayor es necesario colocar bombas escalonadas a diferentes alturas. Este inconveniente se puede solventar si en lugar de bombas centrífugas en seco, se utilizan bombas

centrífugas sumergidas, en cuyo caso es necesario perforar los pozos hasta la profundidad correspondiente al mayor descenso del nivel freático.

### 1.33.- Asiento de la tubería

La resistencia al aplastamiento de un tubo depende en gran medida de las condiciones de su instalación, siendo por lo tanto conveniente que el fondo de la zanja sea uniforme y firme para asegurar al tubo un apoyo continuo en toda su longitud.

Los tubos sólo deben apoyarse excepcionalmente directamente sobre el fondo de la zanja, cuando la naturaleza del terreno y las cargas exteriores lo permitan.

El apoyo debe ser sobre una "cama" ejecutada con un material granular de tamaño de grano máximo no superior a  $D_{20}$ , que ocupará todo el ancho de la zanja

El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Saneamiento de Poblaciones, en el artículo 9.12 dice "La tubería se apoyará sobre una cama nivelada, con un espesor mínimo de 10 cm, formada por material de tamaño máximo no superior a 20 mm El material se compactará hasta alcanzar una densidad no inferior al 95 por 100 de la máxima obtenida en el ensayo Proctor normal".

En terrenos que el Pliego denomina inestables, que son aquellos que tengan posibilidad de expansiones o de asentamientos localizados, se dispondrá en el fondo de la zanja una capa de hormigón pobre, con espesor de al menos 15 cm. Sobre esta capa se sitúan los tubos, hormigonándose posteriormente con H-200.

Cuanto mejor están apoyados los tubos menos solicitados están para un mismo valor de las cargas. La forma que existe para evaluar esto es a través de los factores de apoyo que indican, para un tipo determinado de apoyo, cuantas veces se supera la carga a la que rompe el tubo cuando se le carga linealmente la generatriz superior.

### 1.34.- Colocación de la tubería

Antes de proceder a la colocación de las tuberías debe de comprobarse la pendiente del fondo de la zanja, que el asiento está en buenas condiciones y que no existe agua.

Antes de bajar la tubería al fondo de la zanja debe de verificarse que est exenta de fisuras o defectos, debiéndose de prestar especial atención a los extremos (zona de junta).

El descenso de los tubos debe de hacerse con precaución para evitar los accidentes personales y los daños a los tubos, empleando medios análogos a los utilizados en la descarga.

Cuando la profundidad de la zanja no supera 1,5 m, los tubos no sean demasiado pesados y el borde de la zanja tenga la suficiente estabilidad como para soportar el peso de dos operarios mas el del tubo, el descenso se puede realizar manualmente.

Normalmente hasta diámetro de 300 mm se pueden utilizar medios manuales, utilizándose medios mecánicos para diámetros superiores.

Cuando se utilizan medios mecánicos el descenso puede hacerse por medio de un aparejo de ganchos protegidos con gomas, o con un aparejo de lazada. Este sistema facilita el montaje ya que permite mantener el tubo suspendido, siendo su peso soportado por la eslinga.

### 1.35.- Juntas y uniones

Las juntas deberán ser tales que permitan un sencillo montaje, un fácil centrado de los tubos, respondiendo además a los requisitos de impermeabilidad e inalterabilidad en el tiempo, asegurando la continuidad entre los diferentes elementos de la red y no transmitiendo esfuerzos perjudiciales a los elementos contiguos.

Las juntas serán de tipo flexible salvo en casos especiales. Para garantizar la estanqueidad se podrán utilizar elementos de goma, caucho o plásticos que proporcionan una buena elasticidad, una aceptable resistencia a la penetración de las raíces e impiden la infiltración. Además se exige a este tipo de junta que permitan una variación de la alineación de un 4 % en cualquier dirección, sin pérdidas visibles de líquido, al verificarlas a una presión interior de 0,3 kg/cm<sup>2</sup>.

La junta debe ejecutarse de tal forma que cuando los conductos queden montados en la zanja, constituyan una conducción continua, estanca, con superficie interior lisa y uniforme, permitiendo ligeros movimientos como los debidos a contracciones, dilataciones y asientos diferenciales. Debe de evitarse en las juntas la formación de huecos donde puedan depositarse residuos que puedan afectar a la durabilidad de las redes.

Fundamentalmente existen dos tipos de junta, las de enchufe-campana, que solo necesitan una junta, y las de manguito que necesitan dos.

Juntas de enchufe y campana. Se emplean para las tuberías de hormigón y las de gres. Su montaje se inicia verificando que los extremos de los tubos no estén deteriorados, limpiándose a continuación. Se colocará la junta en su posición final, es decir apoyada en su borde de asiento y

tope, se impregnará la campana con el material lubricante y bien suspendiendo el tubo entrante o empujando por medio de trácteles o utilizando el efecto palanca se llevarán los tubos a la posición definitiva.

Antes de proceder al montaje de una nueva junta hay que comprobar que esta no ha quedado pillada, lo que se aprecia mirando la junta, por el interior del tubo, desde el extremo opuesto.

**Juntas de Manguito.** Se emplean en las tuberías de fibrocemento y de materiales plásticos. Están formados por un manguito del mismo material que el tubo, dos juntas de estanqueidad y varios tacos de goma dura para el calce y posicionamiento de los tubos.

En primer lugar, en el interior de la zanja, previa comprobación de que las ranuras están limpias de arenillas o cualquier resto de suciedad, se montan las gomas en las mencionadas ranuras. A continuación se colocan los topes en la ranura central del manguito, dándoles un ligero golpe para que encajen. Posteriormente se lubrica tanto el extremo del tubo como los aros de goma y se enfrenta con el tubo para, bien haciendo palanca, bien con trácteles, se empuja el manguito hasta que se note el tope con las gomas centrales. Se finaliza la instalación de la junta aplicando el mismo procedimiento al siguiente tubo.

### **1.36.- Relleno y compactación**

Una zanja abierta es siempre un motivo de preocupación ya que se pueden inundar en el caso de lluvias, produciendo deterioros en el asiento de los tubos, e incluso en el terreno natural situado por debajo. Es por ello que las zanjas deben de rellenarse lo antes posible después de finalizar la colocación del tubo, a no ser que se utilice un asiento de hormigón, en cuyo caso es necesario que transcurra un tiempo y adquiera una resistencia suficiente para que pueda soportar el peso del relleno. En general se recomienda que no se coloquen más de 100 m de tubería, sin proceder al relleno al menos parcial, para protegerlos de los golpes.

El relleno se realizará preferentemente con arena suelta, grava o piedra machacada, siempre que el tamaño máximo no exceda de 2 cm. Debe estar exento de materia vegetal, escombros o piedras de gran tamaño. Debe de tener un contenido de humedad adecuado que permita obtener la densidad máxima con el sistema de compactación empleado.

Una vez colocadas la tubería y ejecutadas las juntas, se procederá al relleno a ambos lados del tubo, empleándose el mismo material que el utilizado para el asiento. El relleno se hará por capas compactadas de 15 cm, con los útiles adecuados, normalmente de forma manual (pisón), manteniendo constantemente la misma altura a ambos lados del tubo hasta la coronación.

A continuación se procederá al relleno de la zanja hasta una altura de 30 cm por encima de la coronación del tubo, con el mismo tipo de material empleado en las fases anteriores. Se apisonará a ambos lados del tubo dejando sin compactar la zona central en todo el ancho de la proyección horizontal de la tubería, evitando que el tubo pueda partir.

A partir del nivel alcanzado en la fase anterior se proseguirá el relleno por capas sucesivas de altura no superior a 20 cm, compactadas al grado de compactación que fije el pliego de prescripciones técnicas particulares, con el material que el pliego admita y en función de las condiciones que requiera la obra situada encima de la tubería.

Si se realizan pruebas de estanqueidad por tramos, solo se realizará el relleno hasta la mitad del tubo. Una vez comprobada esta se seguirá rellenando por el mismo método indicado anteriormente.

### 1.37.- Pruebas

Dado que por definición toda red de saneamiento debe ser estanca, tanto para la salida como para la entrada de agua, será necesario realizar las correspondientes pruebas de estanqueidad en zanja. Las consideraciones que hay que tener en cuenta son las siguientes:

Se deberá como mínimo someter a prueba a un 10 % de la longitud de la red objeto del proyecto.

Los tramos a probar, serán fijados por la Dirección de la Obra, estando comprendidos entre dos pozos registro. Es conveniente que la longitud del tramo de prueba no sobrepase los 300 m.

Las acometidas particulares quedarán excluidas de la prueba, siendo por tanto necesario el empleo de elementos que permitan su aislamiento.

Es aconsejable realizar la prueba de forma que se puedan localizar las posibles fugas, siendo por lo tanto conveniente que se haga antes del relleno de la zanja.

La prueba se realizará obturando la entrada y salida de la tubería en el pozo de aguas abajo, y cualquier otro punto por el que pudiera salirse el agua, llenando completamente de agua la tubería y el pozo de aguas arriba del tramo a probar. Transcurridos treinta minutos del llenado se comprobará que no ha habido pérdida de agua. Si se aprecian fugas se corregirán procediéndose a continuación a una nueva prueba. En este caso el tramo en cuestión no se tendrá en cuenta para el cómputo de la longitud total a ensayar.

El criterio que se utiliza para la recepción del tramo es que la tasa de pérdidas, tanto hacia dentro como hacia afuera, expresada en litros por milímetro de diámetro por kilómetro por día sean

inferiores a 20. En tramos individuales es aconsejable que sean inferiores a 10. Sin embargo es difícil alcanzar estos valores cuando se incluyen en el tramo pozos registro y acometidas de particulares.

Podrán establecerse en el Pliego pruebas complementarias sobre la base de vertidos de colorantes o inspección de televisión en circuito cerrado con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de la conducción y el estado de las juntas.

Aunque no hay una correlación directa entre la pérdida de aire y la de agua en una red de saneamiento, se cree que si una red supera un ensayo de aire también superaría uno con agua si se llevara a cabo. Para realizar la prueba se obturan los dos extremos del tramo comprendido entre dos pozos registro, a continuación se introduce el aire a una presión a la máxima ejercida por el agua del nivel freático que pueda rodear la tubería. Una vez estabilizada la presión se desconecta el suministro de aire y se mide el tiempo transcurrido para que la presión descienda una cantidad prefijada. El valor que se utiliza normalmente para la presión es de 27,5 kN/m<sup>2</sup>. Cuando se utiliza el m, todo de presión por aire, los pozos de registro tienen que probarse por un ensayo independiente, ya que no pueden incluirse en la prueba por aire del tramo.

### **1.38.- Construcción de colectores “in situ”**

Si se quiere disminuir el número de juntas, que son siempre puntos débiles, o si un factor importante en el coste de la red de saneamiento fuera el transporte de la tubería, se puede recurrir a sistemas de construcción "in situ". Este sistema se emplea también para la construcción de grandes colectores, de los que no existen secciones comerciales.

Cuando los colectores son a cielo abierto, el material que normalmente se emplea es el hormigón. Su construcción se realiza en dos fases, la primera que comprende la solera y la segunda incluye los estribos y la bóveda del colector.

Una vez realizada la solera, la ejecución de los estribos y la bóveda puede realizarse con encofrados metálicos, del orden de 10 m de longitud, que pueden ser fijos o deslizantes.

### **1.39.- Métodos especiales de construcción**

Varios son los métodos especiales que se pueden emplear en la construcción de redes de saneamiento. Entre ellos conviene destacar:

Construcción en Mina. Dada la importancia de los costes sólo se justifica la construcción en mina de un colector en el caso de grandes profundidades o por la imposibilidad de ocupar la superficie por condicionantes de tráfico, de las instalaciones o por la existencia de edificios.

Las secciones pequeñas se realizan a sección completa por procedimientos manuales y entibación convencional, dado el poco espacio que existe para que se introduzca la maquinaria.

Se emplean técnicas de la minería, para ello se crea un espacio subterráneo hueco y apuntalado contra el terreno. Tras la finalización de la excavación se procede al revestimiento de la obra por medio de hormigón o por fábrica de ladrillo.

Este método es válido cuando los terrenos a perforar no ofrecen serias dificultades.

Cuando el terreno es blando se utiliza el método del escudo. Consiste en un cilindro de acero que tiene una cabeza cortante en el extremo en el que se realiza la excavación y que se va impulsando por medio de gatos hidráulicos. A continuación va el equipo de protección de la excavación mediante hormigonado de dovelas prefabricadas o construidas in situ.

Tratamientos Previos del Terreno. Cuando en la excavación se detecta la presencia de gravas, arenas limosas o sueltas con grandes aportaciones de agua, el sistema en mina no es suficiente para llevar a buen termino la ejecución de la red de saneamiento. En este caso se acude a la utilización de elementos especiales de los terrenos que tienden a mejorar las características resistentes de los mismos para una vez mejorados recurrir a los sistemas convencionales. Estos tratamientos pueden ser de varios tipos:

Inyección de Lechada de Cemento. Se emplea para la consolidación de arcillas cuarteadas, dada la capacidad de penetración de la lechada a través de las fisuras de las mismas. No se emplea para la consolidación de terrenos arenosos.

Inyección de Cemento Bentonita. Se emplea en arenas y gravas como primera fase de un tratamiento posterior ya que por sí mismo no se consigue el grado de consolidación necesario para poder realizar las excavaciones.

Inyecciones Químicas. En función de las características del terreno y de la resistencia que se necesita conseguir se pueden inyectar sustancias químicas (geles) formados por silicatos, acetatos, resinas y sus reactivos.

**Congelación del Terreno.** Como alternativa a la inyección química y prácticamente con el mismo efecto se puede mejorar la resistencia del terreno e incrementar la consolidación por la congelación del terreno.

**Recalce de estructuras.** Se pueden recalzar estructuras o edificios mediante pilotes, micropilotes o pantallas continuas, antes de proceder a la excavación subterránea correspondiente.

**Tubería hincada.** Este sistema consiste primeramente en la construcción de dos pozos, el de salida y el de entrada o estación de hinca, en el que se montan los gatos hidráulicos de empuje. Se introduce el primer tubo que se va empujando, y simultáneamente se extrae y se transporta el terreno desplazado. Este sistema puede repetirse tantas veces como se necesite mientras que la fuerza de los gatos de empuje sea suficiente para superar las resistencias que se presentan al avance, y que limitan la máxima longitud de hinca. Estas resistencias son de dos tipos:

Resistencia en el frente que disminuye a medida que se incrementa la excavación.

Rozamiento envolvente creado por la compresión del terreno al asentarse sobre el tubo.

Este sistema tiene la ventaja, sobre a la técnica convencional, que simultáneamente se realiza la doble función de apuntalado del terreno y la ejecución de la obra terminada.

Se emplea en la construcción de la parte de las redes de saneamiento debajo de las carreteras, de las vías de ferrocarril, aeropuertos, construcción de sifones bajo lechos de ríos, etc.

Normalmente se suele empujar el tubo desde la zona m s baja a la m s alta con el fin de que pueda drenarse el agua que aparezca. Una vez que se inicia la operación, el hincado no puede pararse ya que el suelo puede consolidarse alrededor del mismo e impedir su avance.

En los terrenos en los que mejor se aplica este sistema son los de grava, arena así como lo terrenos aglutinantes de arcilla, arena arcillosa, greda, marga, etc. Sin embargo es inadecuado en terrenos de arenas flotantes, arena movediza, terrenos pantanosos, en los que se puede alterar la posición de la tubería durante el avance. Es muy caro de empleo en terrenos rocosos en los que en general no se necesita apuntalamiento y a veces ni revestimiento.

Si la longitud que se necesita hincar, da una resistencia superior a la que son capaces de transmitir el equipo de empuje, puede conseguirse una disminución del rozamiento envolvente entre el tubo y el terreno, hasta del 50% dependiendo de las características de este, mediante la inyección de un material que favorezca el deslizamiento, como puede ser la bentonita.

También se puede aumentar la longitud incrementando las fuerzas de empuje, lo que se puede conseguir intercalando estaciones intermedias. La eficacia de estas estaciones se basa en que no se empuja simultáneamente todo el tramo de la tubería sino que cada estación empuja únicamente los tubos que tiene delante, apoyándose en los posteriores. De esta forma se divide el rozamiento envolvente, que es sólo el que corresponde al tramo desplazado.

Teóricamente de esta forma podrían conseguirse longitudes ilimitadas, sin embargo en la práctica esto no es así ya que debido a la elasticidad de los anillos de reparto de carga situados entre tubo y tubo, todo el tramo retrocede. Si el número de anillos es muy elevado, todo el recorrido que se aumenta lo absorbe la compresión elástica de estos anillos no produciéndose el avance. Es conveniente por ello no pasar de tres estaciones intermedias.

### 1.40.- Introducción a los materiales de las redes de saneamiento

En los proyectos de redes de saneamiento la elección del tipo y material de la tubería queda a juicio del proyectista, en función de las necesidades del proyecto.

Dos son los aspectos fundamentales sobre los que se puede actuar: en primer lugar la geometría de la sección y en segundo el material. La elección depende de varios factores, todos ellos muy variables, requiriéndose un estudio pormenorizado en cada caso. Los factores que deben tenerse en cuenta para su determinación son, entre otros, los siguientes:

- Caudal que circula.
- Características del agua a transportar.
- Rugosidad.
- Resistencia a la erosión.
- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia a la penetración de raíces.
- Facilidad de manejo e instalación.
- Resistencia a la presión interior por puesta en carga.

- Impermeabilidad de las juntas.
- Facilidad de mantenimiento.
- Coste.

Cada tipo de sección y cada material son idóneos para unas circunstancias determinadas, siendo el proyectista el que debe evaluar los mismos a la hora de realizar la elección.

### 1.41.- Clasificación de las redes de saneamiento

Las redes de saneamiento, atendiendo a diferentes características, se pueden clasificar:

- Por la forma de la sección: tubulares no visitables (normalmente circulares), semivisitables (circulares u ovoideas) y grandes secciones.
- Por el comportamiento mecánico. En este aspecto las tuberías se pueden clasificar en rígidas, semirrígidas o flexibles.

Marston clasifica a las tuberías, en función de como se deforman, por la relación que existe entre la variación del diámetro ( $l_d$ ) y el diámetro ( $d$ ) en:

Rígidas	$l_d / d < 1\%$
Semirrígidas	$1\% < l_d / d < 30\%$
Flexibles	$l_d / d > 30\%$

Son tuberías “rígidas” las de gres, hormigón y fundición; “semirrígidas”, las de fibrocemento y “flexibles” las de PVC, de poliéster reforzado con fibra de vidrio, de polietileno y de polipropileno.

En función del comportamiento hidráulico las redes de saneamiento se clasifican en lisas y rugosas.

Las redes son "hidráulicamente lisas" cuando se cumple:

$$\frac{k_a \cdot u}{c} < 5, \text{ siendo:}$$

$k_a$  = rugosidad absoluta equivalente.

$u$  = velocidad de rozamiento,  $u = t / d$ .

$t$  = fuerza de rozamiento por unidad de superficie.

$d$  = densidad del fluido.

$c$  = viscosidad cinemática del fluido.

## 1.42.- Secciones de las redes de saneamiento

La sección a adoptar debe ser de manera tal que ante la variación de caudal y en consecuencia de la lámina de agua, fijada una pendiente, la velocidad se mantenga lo más constante posible. Esta condición es difícil de alcanzar en los sistemas unitarios, y se resuelve estableciendo, dentro de la sección prevista para el caudal máximo, una sección reducida, cuneta o cuna, por la que circulen normalmente las aguas residuales domésticas.

La primera división de las redes de saneamiento es en no visitables o visitables. Dentro de las primeras se pueden distinguir: canal (en franco desuso), circular, ovoidea y las secciones especiales.

La sección circular.

La sección circular es la normalmente utilizada en las redes de saneamiento separativas y en las unitarias de poblaciones rurales y urbanas. Hasta 60 cm de diámetro es la sección, tanto técnica como económicamente, más adecuada.

Las ventajas de esta sección son las que derivan de la sencillez de su propia geometría y son las siguientes

Prefabricación.

Fácil instalación (es la sección que se emplea en la hincas de tubos).

Gran capacidad resistente.

Facilidad para impermeabilizar la junta.

Es importante señalar su buen comportamiento hidráulico frente a variaciones importantes del caudal que circula, como se puede apreciar en la siguiente tabla que nos da, para una misma pendiente, el valor de la velocidad, cuando se produce una reducción del caudal que circula con la sección llena.

$Q/Q_m$	$v/v_m$
---------	---------

(%)	(%)
50	100
10	65
1	34
0,5	28

Así si la velocidad a sección llena es de 1,8 m/s, cuando por la tubería circule el 1 % del caudal medio, la velocidad será de  $0,34 \times 1,8 = 0,61$  m/s, que es la mínima que se necesita para la autolimpieza.

La sección ovoidea.

La principal ventaja de las secciones ovoideas sobre las circulares, a igualdad del coeficiente de rugosidad, es la mayor velocidad de circulación, para pequeños caudales, debido al estrechamiento de su base.

Como el extremo más estrecho del ovoide queda en la parte inferior, presentan dificultades de construcción y son algo inestables, aunque se suelen construir con base plana de apoyo.

Existen diferentes tipos de ovoides que se obtienen variando los radios de curvatura interiores, aumentando o disminuyendo la capacidad de transporte de la cuna.

Secciones especiales.

Las secciones visitables se utilizan para grandes caudales, generalmente cuando no es válida la sección circular de diámetro 2 000-2 500 mm, que son las máximas que se construyen comercialmente. Estas secciones se construyen normalmente "in situ" de hormigón armado. También pueden utilizarse elementos prefabricados de hormigón (en masa o armado) o de fibrocemento, aunque esto último es más raro.

A veces es adecuado utilizar secciones visitables para pequeños caudales por razones de mantenimiento. El número de posibilidades a adoptar es ilimitado aunque una de las más utilizadas es la que tiene hastiales rectos con bóveda de medio punto, banquetta y cubeta semicircular o elíptica en su base. La canaleta puede ser central o lateral dependiendo de los métodos de limpieza que se empleen.

Para el diseño de las secciones especiales visitables se debe tener en cuenta la variación de caudales previstos y los métodos de mantenimiento a emplear. En los casos de pequeños caudales es mejor utilizar una canaleta central que transporte las aguas con una buena velocidad.

Además de los condicionantes hidráulicos se deberán de considerar las dificultades constructivas y el posible gálibo necesario para su conservación por medios mecánicos.

### **1.43.- Los materiales de los tubos de las redes de saneamiento**

Tal como indica el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Abastecimiento y Saneamiento de Poblaciones, la elección de los materiales dependerá fundamentalmente de la agresividad del efluente y de las características del terreno en el que se va a realizar la construcción.

Las propiedades que hay que exigir a los elementos de las redes de saneamiento son las siguientes:

- Impermeabilidad en ambos sentidos, (de dentro a fuera y de fuera a dentro).
- Resistencia a las acciones exteriores mecánicas.
- Resistencia a la presión interior.
- Impermeabilidad de las juntas.

Existen además unas características secundarias que son también importantes para la elección del material:

- Mínima rugosidad.
- Buena resistencia a los ataques químicos.
- Buena resistencia al ataque biológico.

Los materiales que normalmente se emplean en la fabricación de los tubos son: hormigón en masa, hormigón armado, hormigón pretensado, hormigón armado con camisa de chapa, fibrocemento, gres, acero, fundición, poli cloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad y poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Para la elección definitiva del material se deberán tener en cuenta aspectos técnicos y económicos. Dentro de los primeros el más significativo a considerar es la capacidad portante. Para la valoración de los segundos se puede utilizar el cociente entre la suma de los gastos anuales de amortización y los gastos de mantenimiento y explotación.

### 1.44.- Tubos de gres

Estos tubos se fabrican partiendo de arcilla en polvo mezclada con agua, a la que se da forma en moldes, se deseca y, se cuece en un horno a alta temperatura (1 250 °C - 1 350 °C). Poco antes de que finalice el proceso de cocción se añade en el horno sal común, que por la alta temperatura reinante se vaporiza, reaccionando con la arcilla y formando una capa dura e impermeable que, por el calor, se vuelve muy densa y de estructura pétreo.

El empleo de la tubería de gres no es habitual en España. Se fabrican exclusivamente de sección circular, con diámetros comprendidos entre 100 y 1 400 mm, y con longitudes de 1.25, 1.50 y 2 m.

El tubo de gres se fabrica para unión de enchufe y campana con junta tórica de goma; con enchufe de poliéster y fibra de vidrio con extremos lisos para junta por manguito.

Las tuberías de gres son lisas (escasa rugosidad), impermeables y poco atacables por los ácidos lo cual las hace muy indicadas para zonas en que existan vertidos de aguas residuales industriales.

Las características más importantes de las tuberías de gres son:

- Buena resistencia al ataque de elementos químicos, tanto de los que se forman en el interior de los conductos  $\text{SH}_2$ , como a los que se pueden encontrar en el terreno o en las aguas subterráneas, a excepción del ácido fluorhídrico y sus compuestos.
- Buena resistencia a los compuestos orgánicos y agentes biológicos, así como a la penetración de raíces.
- Resisten bien a los actuales sistemas de limpieza por agua a presión.
- Resisten adecuadamente el roce del agua por lo que son capaces de soportar velocidades más altas.
- Coeficiente de dilatación térmica: ( $K = 0,000005 \text{ m} / ^\circ\text{C}$ ). Resisten temperaturas que varían entre  $-10^\circ\text{C}$  y  $70^\circ\text{C}$ .

- Estanqueidad: pérdidas inferiores a 0,03 l / m<sup>2</sup> en 15 minutos.
- Resistencia a flexión: entre 200 y 350 kg / cm<sup>2</sup>.
- Resistencia al aplastamiento: entre 1 500 y 2 000 kg / cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a tracción: entre 70 y 120 kg / cm<sup>2</sup>.
- Modulo de elasticidad: E=50 000 N / mm<sup>2</sup>.
- Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,25$  a 1 mm.
- Coeficiente de Manning: entre 0,008 y 0,012 (normal 0,009).
- Peso específico: 2,2 t / m<sup>3</sup>.

### 1.45.- Tubos de hormigón

Los tubos que se fabrican con este material pueden ser: de hormigón en masa o armado, y con o sin camisa de chapa.

Se fabrican utilizando moldes metálicos, por alguno de los métodos siguientes:

**Vibro compresión:** los moldes rellenos de hormigón, bien se fijan sobre unas mesas vibratorias o se les aplica en el exterior del molde vibradores neumáticos o eléctricos, que compactan el hormigón y eliminan el exceso de agua.

**Centrifugación.** En este sistema un molde cilíndrico horizontal montado sobre un eje, recibe una determinada cantidad de hormigón de consistencia muy fluida. Al girar el molde de tres a cinco minutos, a gran velocidad (1 200 rpm para los pequeños y 300 rpm para los de diámetro 1,5 m), la masa de hormigón sufre en todo su espesor una compresión. Los elementos más gruesos quedan en el exterior, mientras los finos forman en el interior una especie de enlucido.

Terminada la centrifugación se saca el tubo con el molde y se deja secar durante veinticuatro horas. Pasado este periodo se desmolda y se deja fraguar en cobertizo, en un ambiente húmedo lejos de la acción del sol, para su endurecimiento.

Su forma suele ser circular y con diámetros comprendidos entre 200 y 2 500 mm, y longitudes de 1 o 2 m, para las de hormigón en masa, y comprendidas entre 2,5 y 3,6 m, para los de hormigón armado con camisa de chapa.

También se fabrican con forma ovoidea, de secciones comprendidas entre 60 x 90 cm y 140 x 210 cm, con longitudes de 1 m.

Las uniones que se emplean para las tuberías de hormigón en masa son las de enchufe y campana con junta tórica de goma machihembrada, con o sin manguito, y a tope, con manguito. En cualquiera de los tipos pueden utilizarse juntas elásticas o rígidas.

Con tuberías de hormigón armado con camisa de chapa los tipos de juntas que se utilizan son las soldadas, con anillo de neopreno, con revestimiento exterior de hormigón armado o con revestimiento interior de hormigón.

Las características más importantes de las tuberías de hormigón son las siguientes:

- Tienen muchos problemas para resistir la corrosión de las aguas residuales industriales, sobre todo aquellas que tienen ácidos, así como las del nivel freático. También tienen muchos problemas con aguas industriales con presencia de aceites y derivados del petróleo.
- Si las aguas están muy cargadas de materia orgánica, es casi seguro que el sulfhídrico de lugar a la formación de ácido sulfúrico que ataca de manera importante a este material.
- Estanqueidad. Después de sumergidos los tubos en agua durante 48 horas se da una presión de 1 kg / cm<sup>2</sup> durante 10 minutos. La presión final se mantendrá de forma constante durante un periodo de 5 minutos.
- Carga mínima de rotura: entre 15 y 43 kg / cm<sup>2</sup>.
- Módulo de elasticidad: 30 000 N / mm<sup>2</sup>.
- Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,40$  a 4 mm.
- Coeficiente de Manning: entre 0,010 y 0,016 (normal 0,013).
- Peso específico 2,5 t / m<sup>3</sup>.

## 1.46.- Tubos de fibrocemento

La fabricación de los tubos de fibrocemento se hace a partir de una mezcla íntima de cemento con fibra de amianto, en proporciones adecuadas para cada tubo y en medio acuoso.

La pasta se adhiere a un fieltro que la deposita en capas muy finas 0,1 - 0,2 mm sobre un mandril pulimentado, situado tangencialmente a dicho fieltro y que gira hasta alcanzar el espesor deseado al tiempo que se comprime el material para alcanzar la compacidad adecuada.

El fraguado de los tubos se realiza mediante curado al vapor en un túnel con humedad y temperatura adecuadas. A continuación se depositan en agua, durante 28 días, para completar el proceso de fraguado.

Se fabrican de sección circular y en diámetros comprendidos entre 150 y 1 500 mm, de longitudes de 1 a 6 m.

Las uniones que se emplean para las tuberías de fibrocemento son las RK de manguito de fibrocemento, que tienen además del manguito dos gomas de estanqueidad de perfil discontinuo y unos tacos de goma dura cuya función es separar y apoyar las testas de los tubos.

Las características más importantes de las tuberías de fibrocemento son las siguientes:

- El fibrocemento es resistente a los álcalis y en general a cualquier tipo de sustancia cuyo pH no sea inferior a 6. Cuando las aguas residuales tengan un contenido en sulfatos por encima de 200 mg / l, será necesario utilizar cementos resistentes a los sulfatos.
- Si las aguas están muy cargadas de materia orgánica, es casi seguro que el sulfhídrico de lugar a la formación de ácido sulfúrico que ataca en gran manera a este material.
- Resistencia a la abrasión. Son capaces de soportar velocidades de 5-6 m / s en continuo
- Las tuberías de fibrocemento tienen un comportamiento excelente frente a la corrosión electroquímica, no necesitando de ninguna protección en este sentido.
- Estanqueidad. Después de sumergidos los tubos en agua durante 48 horas se dará una presión de 1 kg / cm<sup>2</sup> durante 10 minutos. La presión final se alcanzará de una forma constante durante un periodo de 5 minutos.
- Tensión mínima de rotura a flexión transversal mayor de 360 kg / cm<sup>2</sup>.
- Tensión mínima de rotura a flexión longitudinal mayor de 250 kg / cm<sup>2</sup>.

- Tensión de rotura por presión hidráulica interior superior a 225 kg / cm<sup>2</sup>.
- Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,25$  a 0,40 mm.
- Coeficiente de Manning: entre 0,009 y 0,013 (normal 0,010).
- Módulo de elasticidad: 20 000 N / mm<sup>2</sup>.
- Peso específico: 2 t / m<sup>3</sup>.

### 1.47.- Tubos de Poliéster reforzado con fibra de vidrio

Los materiales que se emplean en la fabricación de los tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio son:

Resina de poliéster no saturado. Es el elemento adecuado para resistir la acción agresiva de las aguas con las que vaya a estar en contacto, tanto interna como externamente.

Fibra de vidrio, en forma de hilo continuo o fieltro.

Otros, fundamentalmente arena, etc.

Los sistemas de fabricación de este tipo de tubería son los siguientes:

**"Filament Wilding"**. En este procedimiento se parte de un molde de acero cilíndrico, cuyo diámetro exterior coincide con el interior del tubo a fabricar, y mediante bobinado continuo se van superponiendo capas sucesivas de resina, reforzando con fibra de vidrio. Dando un corte al espesor del tubo se pueden distinguir tres zonas:

La que esté en contacto con el fluido, o interior. Tiene un espesor de aproximadamente 2,5 mm y en ella la proporción de resina es elevada, ya que es el componente químicamente resistente. Esta parte de la fabricación se puede ejecutar manualmente.

El laminado estructural intermedio, con un porcentaje de fibra de vidrio muy alto, ya que es el componente que permite resistir al tubo adecuadamente, sobre todo a la presión interna, pero con las limitaciones que tiene el poliéster al aplastamiento.

La capa exterior, en contacto con el terreno y las aguas del nivel freático, es de características y proceso de fabricación similares a los de la capa interior.

**Arrollamiento en continuo.** El proceso de fabricación es similar al sistema del "Filament Wilding", si bien el molde se sustituye por un fleje continuo que va dando la forma al tubo.

En este sistema la tubería se fabrica de forma continua, por lo que la longitud de los tubos puede ser cualquiera, necesitándose solo realizar el corte a la longitud adecuada.

Este procedimiento necesita de un proceso de curado corto, lo cual tiene cierta complicación, sobre todo cuando se incorporan ciertos elementos inertes como arena, que incrementan el espesor y consecuentemente la resistencia al aplastamiento.

**Centrifugación.** El proceso se realiza con un molde cilíndrico hueco horizontal, que gira a 300 r.p.m., y en la que un brazo controlado por un ordenador va repartiendo los distintos componentes: resina, fibra de vidrio, arena.

El laminado del tubo tiene siete capas que son desde el interior al exterior las siguientes:

Interior Protectora (resina)

Interior de Refuerzo (resina y fibra)

Interior de Transición (resina, fibra y algo de arena),

Estructural (resina, fibra y bastante arena)

Exterior de Transición (resina, fibra y algo de arena)

Exterior de Refuerzo (resina y fibra)

Exterior Protectora (resina).

El diámetro interior del tubo es fijo en los dos primeros sistemas al quedar definido el diámetro del molde o del conformado del fleje continuo. En estos sistemas modificando las cantidades y proporciones de los componentes, se obtienen las distintas series de tubos para cada diámetro. En el último sistema, el diámetro fijo es el exterior.

Se fabrican de sección circular y en diámetros comprendidos entre 200 y 2 500 mm, en longitudes de 3, 5, 6, 10 y 12 m. En Europa es normal la de 6 m.

Las características más importantes de las tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio son las siguientes:

Resisten temperaturas de hasta 80 °C, con un coeficiente de dilatación térmica: ( $K = 0,000025 \text{ cm} / \text{cm} \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Resistencia mínima de rotura a tracción tangente mayor de 3 160 kg / cm<sup>2</sup>.

Resistencia mínima de rotura a flexión tangente mayor de 4 000 kg / cm<sup>2</sup>.

Resistencia mínima de rotura a tracción axial mayor de 515 kg / cm<sup>2</sup>.

Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,20$  a 0,50 mm.

Coeficiente de Manning: entre 0,008 y 0,012 (normal 0,009).

### 1.48.- Tubos de PVC

Los tubos de PVC se fabrican por extrusión a partir del PVC puro suministrado en polvo blanco, al que se añaden aditivos tales como estabilizantes (sales de plomo, estaño, cinc, calcio, etc.), colorantes o pigmentos (que pueden dar a la vez opacidad) y lubricantes.

Estos aditivos, generalmente sólidos, finamente pulverizados se homogenizan íntimamente con el PVC en una gran mezcladora y a continuación se introducen en la tolva de alimentación de la máquina de extrusión, en donde la mezcla se calienta, por medio de resistencias eléctricas hasta los 180 °C. Extrusionados por una rejilla, el tubo adquiere forma plana a la que se da forma tubular, se suelda y se pasa al calibrador, en el que se da el diámetro final. A la salida del calibrador el tubo se enfría, por medio de inmersión o por una lluvia de agua pulverizada, pasando a la cortadora automática y finalmente al apilado.

Se fabrican de sección circular y diámetros entre 110 a 800 mm, con una longitud normal de 6 m.

El tipo de junta más usual es el manguito de unión con junta elástica dado que permite la absorción de los esfuerzos que se producen por la dilatación cuando se eleva la temperatura.

La unión se puede hacer igualmente por encolado, aunque este sistema sólo es conveniente para pequeños diámetros y cuando la temperatura se mantenga más o menos constante.

Las características más importantes de las tuberías PVC son las siguientes:

- Las tuberías tienen una gran ligereza. Su peso específico es de 1,4 g / cm<sup>3</sup>, lo que facilita y agiliza el montaje ya que pueden manipularse hasta diámetros elevados sin necesidad de

medios mecánicos reduciendo el número de uniones y por tanto aumentando la seguridad de la instalación y la rapidez del montaje.

- Resisten temperaturas de 30 °C sin que disminuya apreciablemente la resistencia. A 50 °C la resistencia se reduce al 60 %. El coeficiente de dilatación térmica: ( $K = 0,07 \text{ mm} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Por ello deben cuidarse los esfuerzos producidos por la dilatación y retracción de los tendidos de tubería.
- Resistencia mínima de rotura a tracción y a compresión, a 20 °C, de 500 kg / cm<sup>2</sup>.
- Resiste adecuadamente a los vertidos de aguas residuales industriales, a los productos químicos de las tierras así como a las aguas del nivel freático.
- Resisten los ataques de los roedores y las termitas.
- No favorecen el desarrollo de algas y hongos así como el peligro de obstrucción por formación de residuos y óxidos.
- Se produce envejecimiento con la exposición a las radiaciones ultravioleta.
- Son inertes a la corrosión de las corrientes vagabundas y telúricas.
- Muy buena estanqueidad.
- Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,10$  a  $0,25 \text{ mm}$ .
- Coeficiente de Manning entre 0,008 y 0,012 (normal 0,009).
- Módulo de elasticidad entre 1 750 y 3 600 N / mm<sup>2</sup>.
- Peso específico 1,38 t / m<sup>3</sup>.

### 1.49.- Tubos de polietileno y de polipropileno

Los tubos de polietileno y de polipropileno se fabrican por extrusión, análogamente a como se fabrican los de PVC.

El polietileno se obtiene por polimerización del etileno, bien a elevadas presiones (1 000 a 1 500 kg / cm<sup>2</sup>) y altas temperaturas (200 a 300 °C), polietileno de baja densidad (< 0,93 g / cm<sup>3</sup>), bien a presión atmosférica y temperaturas más reducidas, polietileno de alta densidad (> 0,94 g / cm<sup>3</sup>).

Para la protección contra el envejecimiento producido por las radiaciones ultravioletas, el calor y el oxígeno del aire, se adiciona negro de humo (del 2 al 3 %) y antioxidante.

Se fabrican de sección circular y normalmente de diámetros comprendidos entre 110 y 1 000 mm, con una longitud estándar de 6 m.

Los tubos se presentan en dos versiones distintas: con ambos extremos lisos y con un extremo liso y otro abocardado (enchufe y campana).

La unión, en el primer caso, se realiza por soldadura, pudiendo ejecutarse por cualquiera de los tres procedimientos siguientes: soldadura a tope, soldadura por extrusión o soldadura por aire caliente.

En el primer caso la soldadura se realiza por una máquina que tiene dos abrazaderas que sujetan los extremos a unir, una de las cuales es móvil en sentido axial y lleva adosado un dispositivo que permite aplicar a la zona a soldar una presión de 15 a 20 N / cm<sup>2</sup>, y un disco calefactor eléctrico o a gas, con el que se calientan los dos extremos de los tubos a unir hasta la temperatura de fusión para a continuación presionarse hasta el enfriamiento.

En el método de extrusión deber disponerse de una pequeña extrusora que proporciona a la temperatura de fusión una parte de material que se colocará en la zona a unir, previamente calentada, sobre la que se aplicará un esfuerzo de presión.

La soldadura mediante aire caliente necesita de un soplete, normalmente calentado mediante resistencia, que suministra aire limpio y seco, a temperatura de fusión del material, simultáneamente a la tubería y a la varilla de aportación del mismo material. A medida que los dos materiales se reblandecen se unen por fusión mediante presión sobre la varilla.

Con estos dos últimos sistemas de unión, para tuberías de grandes diámetros (de fabricación especial), es conveniente que las soldaduras se realicen por dentro y por fuera, cuando se prevean importantes esfuerzos de tracción.

Cuando uno de los extremos del tubo está abocardado la unión se puede realizar bien mediante junta de goma o bien mediante la aplicación de masillas especiales que rellenan el espacio entre el abocardado y el extremo liso de las tuberías. En ambos casos este método de unión es el más adecuado para minimizar los problemas debidos a las dilataciones y contracciones.

Las características más importantes de los tubos de polietileno son las siguientes:

- Los tubos tienen una gran ligereza. Su peso específico es de  $0,94 \text{ t} / \text{m}^3$ . Este bajo peso específico permite la manipulación, hasta diámetros elevados, sin necesidad de medios mecánicos, aumentando la seguridad a las fugas y la rapidez de montaje.
- El coeficiente de dilatación térmica: ( $K = 0,02 \text{ mm} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$  para el polietileno). Por ello deben cuidarse los esfuerzos producidos por la dilatación y retracción de los tendidos de tubería.
- Resistencia mínima de rotura a flexión de  $315 \text{ kg} / \text{cm}^2$  para el polietileno y de  $350 \text{ kg} / \text{cm}^2$  para el polipropileno.
- Resiste adecuadamente a los vertidos de aguas residuales industriales, a los productos químicos de las tierras así como a las aguas del nivel freático. En el caso del polipropileno la resistencia al ataque químico se mantiene a elevada temperatura.
- Resisten los ataques de roedores y termitas.
- Muy buena estanqueidad, que se ve favorecida por el bajo número de uniones que es necesario realizar: se instalan grandes longitudes por lo que los sistemas de unión son altamente seguros.
- Tienen una gran flexibilidad lo que permite efectuar cambios de dirección sin piezas especiales de forma que se evita el peligro de obturaciones y la adaptación al terreno. También se consigue una gran resistencia a la rotura en caso de asentamientos del terreno.
- Impiden que se desarrollen las algas y hongos en su interior así como el peligro de obstrucción por depósitos y oxidación.
- La protección por negro de humo produce una resistencia al envejecimiento por la exposición a las radiaciones ultravioleta. Su vida es alrededor de 50 años.
- Baja conductividad eléctrica y por ello son inertes a la corrosión por las corrientes vagabundas y telúricas.
- Bajo coeficiente de rozamiento lo que hace que las pérdidas de carga por rozamiento sean mínimas. Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,10$  a  $0,25 \text{ mm}$ .

- Coeficiente de Manning entre 0,008 y 0,012 (normal 0.009).
- Módulo de elasticidad entre 150 y 1 000 N / mm<sup>2</sup>.
- Permiten que se hagan instalaciones subterráneas sin apertura de zanja, así como la sustitución de tuberías deterioradas de otros materiales de idéntica forma.

### 1.50.- Otros materiales plásticos para tubos de redes de saneamiento

En este apartado se habla de los tubos de material plástico de diámetros altos, que debido a que la fabricación por métodos normales es costosa, se han desarrollado otros métodos que, cumpliendo las exigencias requeridas, producen tubos con costes inferiores.

Los materiales que se emplean en la fabricación de estos tubos son el PVC, el polietileno de baja densidad, el polietileno de alta densidad y el polipropileno.

Las tuberías especiales pueden ser: helicoidales, corrugadas de una o doble capa, de perfil calado o espumadas.

Las más características son las fabricadas según DIN 16961 "Tuberías de materiales termoplásticos con paredes perfiladas y superficie interior lisa", la cual se realiza por arrollamiento helicoidal, en las que la materia prima tras pasar por la extrusora y un cabezal adecuado se transforma en un perfil plano que se arrolla en forma helicoidal sobre un tambor de acero conveniente calentado. El tubo se enfría de forma lenta y uniforme sobre el mismo tambor por circulación de aire, siendo posteriormente desmoldeado, cortado y almacenado.

Con este procedimiento se pueden fabricar tubos de hasta 3 m de diámetro, en longitudes de 6 metros.

Las características más importantes de las "Tuberías de materiales termoplásticos con paredes perfiladas y superficie interior lisa", son las siguientes:

- Las tuberías tienen una gran ligereza. Tanto por su bajo peso específico, como por su construcción, los tubos se pueden manipular hasta diámetros elevados sin necesidad de medios mecánicos, reduciendo el número de uniones y por tanto aumentando la seguridad a las fugas y la rapidez de montaje.

- Resiste adecuadamente a los vertidos de aguas residuales industriales, a los productos químicos de las tierras así como a las aguas del nivel freático. En el caso del polipropileno la resistencia al ataque químico se mantiene a elevada temperatura.
- Resisten los ataques de roedores y termitas.
- Muy buena estanqueidad.
- Tienen una gran flexibilidad lo que permite efectuar cambios de dirección sin piezas especiales de forma que se evita el peligro consiguiente de obturaciones y se favorece la adaptación al terreno. También se consigue una gran resistencia a la rotura en caso de asentamientos del terreno.
- No favorecen el desarrollo de algas y hongos así como el peligro de obstrucción por formación de residuos y óxidos.
- Son inertes a la corrosión de las corrientes vagabundas y telúricas.
- Coeficiente de Prandtl-Colebrook:  $k_a = 0,10$  a  $0,25$  mm.
- Coeficiente de Manning entre  $0,008$  y  $0,012$  (normal  $0,009$ ).

### 1.51.- Tubos de fundición

Actualmente existe una tendencia en los países europeos al empleo de tubería de fundición dúctil en las redes de saneamiento debido a su buena resistencia a la presión interior y a las acciones exteriores, su casi completa estanqueidad, sus buenas características hidráulicas y su durabilidad.

Las tuberías de fundición dúctil se fabrican fundiendo metal de una exacta composición química. Este se introduce en un molde en el que se reparte concéntrica y uniformemente debido a movimientos de traslación y rotación de la estructura que soporta el molde, con lo que se consigue un reparto uniforme y una forma rigurosamente cilíndrica de los tubos.

A continuación, aun al rojo, se extrae el tubo del molde pasando un primer control de espesor y peso. A continuación se llevan a un horno de recocido y transcurrido un tiempo a la zona de enfriamiento, para posteriormente ser sometidos a un ensayo hidráulico a presión de 35 atmósferas. Finalmente se revisten con un barniz especial, exento de fenoles, que les preserva y les da durabilidad.

Los tubos que tengan que transportar líquidos agresivos pueden revestirse interiormente mediante un proceso de centrifugación a altísima velocidad (3 500 / 8 000 rpm) de un mortero de cemento metalúrgico rico en sílice y aluminatos que es inatacable incluso por las aguas más agresivas.

Los tubos se fabrican con un extremo abocardado y otro liso, con diámetros entre 80 y 1 000 mm y longitudes entre 4 y 6 m.

Existen dos tipos de junta que se emplean para la unión de las tuberías de fundición de saneamiento: juntas “Push-on” o juntas mecánicas.

Juntas “Push-on” consiguen la impermeabilidad mediante un aro especialmente diseñado para conseguir un montaje fácil, una sensible economía de la mano de obra y una total estanqueidad.

Junta Mecánica (uniones Gibault) el cierre se realiza por compresión de la goma a través de la contrabrida contra el enchufe del accesorio y la espiga del tubo. Este tipo de junta se realiza mediante tornillos por lo que necesita una mayor cantidad de mano de obra.

Las características más importantes de las tuberías de fundición dúctil son las siguientes:

- Resistencia mínima de rotura a tracción de 50 kg / mm<sup>2</sup>.
- Resiste adecuadamente a los vertidos de aguas residuales industriales, a los productos químicos de las tierras así como a las aguas del nivel freático.
- Resisten los ataques de roedores y termitas.
- Muy buena estanqueidad.
- Poseen una gran resistencia a la rotura en caso de asentamientos del terreno.
- Coeficiente de Prandtl-Colebrook. Para la fundición sin revestir:  $k_a = 0,80$  a 1,50 mm, mientras que la fundición revestida puede variar entre 0,40 -0,80 mm.
- Coeficiente de Manning entre 0,012 y 0,015 (normal 0,014), para la fundición sin revestir y entre 0,011 y 0,014 (normal 0,0125) para la revestida.

## 2.- Explotación del Alcantarillado

### 2.1.- Introducción

Se entiende por explotación de una red de saneamiento el conjunto de acciones destinadas a **gestionarla** (elaborar los procedimientos de actuación y hacerlos operativos), **conservarla** (pequeñas reparaciones de los desperfectos que se producen en el día a día), **repararla** (cuando se produzcan roturas), en definitiva, **mantenerla** en un estado adecuado para las funciones que tiene que realizar. Las más frecuentes son las siguientes:

- Vigilancia y control de la misma.
- Gestión de entronques (Acometidas) y vigilancia de su ejecución.
- Limpieza de la red.
- Reparación y renovación de la red.

Se consideran incluidas en la red los elementos complementarios, como son los pozos registro, sumideros, cámaras de descarga, aliviaderos, sifones, depósitos de regulación, etc., en general todas aquellas instalaciones que facilitan su correcto funcionamiento.

Es muy importante que se tenga en cuenta las labores de explotación de la red de saneamiento, ya desde las etapas anteriores de planificación, proyecto y construcción. En este sentido es necesario que los proyectistas recaben información y experiencia de los explotadores a fin de concebir redes que cumplan los cometidos técnicos requeridos y que faciliten la labor de mantenimiento a los servicios de explotación. Por ello cualquier detalle que se resuelva en la fase del proyecto supone que no se tenga que resolver a posteriori lo cual suele producir un grave problema económico. Los aspectos más importantes que se pueden solucionar en estas fases, sin ánimo de ser exhaustivos, son los siguientes:

a) Fase de planificación.

Adopción del tipo de sistema más apropiado.

Diseño adecuado de la red, teniendo en cuenta la problemática distinta que producen las aguas residuales urbanas, las industriales y las pluviales.

Establecimiento de unos criterios amplios de diseño.

Previsión del material en función de las necesidades.

Consideración del entorno y de la problemática medioambiental en el estudio de la red.

b) Fase de proyecto.

Trazado correcto de la red tanto en planta como en alzado, teniendo en cuenta su mantenimiento futuro. El saneamiento es la red más profunda

Estudio de las características de las aguas residuales que se van a verter a la red.

Utilización de materiales adecuados. En zonas industriales los materiales que se empleen deben ser resistentes a las aguas agresivas.

Cálculo hidráulico correcto, con especial consideración de las velocidades máximas o mínimas, para que no se produzca ni erosión ni sedimentaciones.

Secciones suficientes. El diámetro mínimo será de 30 cm en acometidas y 40 cm en redes ya que las redes de diámetros menores son fácilmente atascables.

Cálculo mecánico adecuado.

Estanqueidad de la red.

Atención a todas las conexiones (acometidas) con los elementos complementarios de la red, con especial cuidado a los momentos que la red se puede poner en carga (Uso de compuertas antirretorno).

Implantación de pozos registro en puntos de unión de dos elementos de la misma y en puntos de singularidad, cambios de alineación, de pendiente, aliviaderos, sifones, etc..., a distancias adecuadas que permitan su limpieza por medios mecánicos y con tapas normalizadas.

Situación adecuada de los elementos complementarios de la red, con caminos para el acceso de vehículos que permita la extracción y retirada de residuos.

Elementos de seguridad en las labores de explotación, accesos a la red en zonas que queden afectadas por el tráfico, elementos de seguridad en el acceso a los pozos (material) de los pates y en el movimiento por el interior de las redes visitables, etc.

Previsión de una ventilación adecuada.

Proyecto de la red de manera que permita una mayor flexibilidad de mantenimiento, de forma que cualquier tramo pueda dejarse fuera de servicio, o con poco caudal, para una eventual reparación.

Uso de compuertas que aislen diferentes tramos.

c) Fase de construcción.

Cumplimiento de los condicionantes del proyecto.

Exacto cumplimiento de los pliegos de condiciones establecidos en el proyecto.

Adecuada instalación con especial atención al asiento y a las juntas de unión de los tubos.

Alineaciones correctas.

Pendientes suficientes.

Empleo y manejo adecuado de los materiales de relleno.

Consideración del entorno (zanjas, arbolado, restitución del terreno)

El servicio encargado de la explotación de una red de saneamiento debe contar con un equipo técnico que tenga un conocimiento exhaustivo de la red, de su funcionamiento, de su versatilidad, ... y que:

Definirá la frecuencia con la que se ha de efectuar la limpieza de la misma y el modo de realizarla

Analice las causas de las averías

Estudie soluciones técnicas para llevarlas a cabo, elaborando los procedimientos, bien la que conlleve la sustitución del conducto, bien realizando la reparación a cielo abierto o a través del conducto.

Coordinar los medios para la reparación de las averías, aprovechando éstas para dotar a la red de aquellos elementos de los que carezca para su buen funcionamiento (**mejoras**).

Proceda a su ejecución, cumpliendo la normativa de seguridad y salud laboral.

Para realizar estas funciones actualmente se cuenta con medios modernos entre los que se pueden considerar los modelos matemáticos de simulación de redes, las cámaras de televisión que permiten

la observación de los problemas de las redes en circuito cerrado, los camiones succionadores-impulsores que facilitan las limpiezas, los sistemas que permiten las reparaciones sin zanja,...

Una acción preventiva muy necesaria para las labores de explotación, es el control de los vertidos industriales de forma que se cumpla adecuadamente el Reglamento de Vertidos. Esto facilita la explotación de la red, la seguridad del personal y será garantía del correcto funcionamiento de la depuradora a la que se incorporan los mismos.

## 2.2.- Vigilancia de la red y gestión de las acometidas

Las redes públicas de saneamiento son normalmente gestionadas por la administración correspondiente o, en representación suya, por empresas adjudicatarias de las labores de mantenimiento, que realizan una vigilancia periódica de la misma.

En el caso de la Comunidad de Madrid, el Canal de Isabel II tiene la responsabilidad del mantenimiento de las mismas, para lo cual tiene subcontractadas a varias empresas. Estas realizan una media de 10 visitas año a cualquier punto de la red. (1 visita cada 22 - 25 días hábiles)

Además cualquier obra u operación de un particular que afecte a la red pública de saneamiento requiere de la administración responsable que emita una autorización para su ejecución. En las condiciones generales de esta autorización se puede exigir el tipo de aguas que se acometan a la red (no conectar las aguas de lluvia), que la responsabilidad de la ejecución y del mantenimiento de la acometida sea por cuenta de los particulares. Dos puntos se deben tener en cuenta en el análisis de la petición de acometida, un dimensionamiento (sección) correcto, una ventilación adecuada y facilidad del mantenimiento.

Aunque la explotación de las acometidas y su mantenimiento deben ser por cuenta del usuario, a menudo éstos se olvidan de las atenciones periódicas que necesitan estas instalaciones, siendo menos problemático y más operativo por que la gestión la realice una empresa especializada.

Existe también una gestión que compete a la administración responsable con funciones tales como:

Comprobación de las condiciones técnicas del proyecto y construcción de las instalaciones interiores y de las acometidas propiamente dichas.

Comprobación de la conexión de los vertidos de los particulares, con especial cuidado cuando la red municipal es separativa.

Comprobación de que no se introducen en la red vertidos industriales o urbanos que puedan dañar a la misma e impidan su mantenimiento y explotación.

Comprobación de que los vertidos que se incorporan a la red no perjudican el funcionamiento de la estación de depuración y como consecuencia la fauna y la flora del cauce receptor.

### 2.3.- Limpieza de la red de saneamiento

Desde que una red de saneamiento se pone en servicio comienzan a depositarse en ella una serie de sedimentos que pueden llegar a reducir la capacidad de la sección, y en el límite a obstruirla completamente, siendo necesario realizar una limpieza periódica.

Hay una serie de factores que condicionan el funcionamiento de la red en lo que se refiere a su estado de limpieza interior, pudiendo destacar entre otros los siguientes:

El régimen de lluvias.

La presencia de hojas, palos, papeles y plásticos etc., que penetran a través de los imbornales o sumideros

Arrastres de tierras y arenas producidos por lluvias torrenciales.

Vertidos anómalos entre los que cabe destacar lechadas de mortero y hormigones procedentes de obras o reparaciones en la vía pública. Estos vertidos, junto con las arenas, pueden dar lugar a incrustaciones que hagan necesario el empleo de martillos neumáticos para su eliminación.

Vertidos industriales que además de la degradación y destrucción de la red, pueden originar, como en el caso de las grasas, depósitos importantes, ya que vertidas en estado líquido y a temperaturas elevadas, pueden solidificarse cuando se enfrían.

Como consecuencia de las causas enumeradas anteriormente, para conseguir un correcto funcionamiento de la red de saneamiento, es necesario efectuar la limpieza de la misma. Esta puede ser de dos tipos:

**Limpieza no programada.** Se interviene en el momento que la red está obstruida, cuando se recibe el aviso de las personas que lo hayan constatado o estén sufriendo las consecuencias.

Este sistema sólo se aplica en casos esporádicos y de urgencia, como pueden ser los de lluvias excepcionales e inundaciones.

**Limpieza sistemática o programada.** Se efectúa una limpieza preventiva de la red con una cierta periodicidad con el fin de limitar al máximo las intervenciones de urgencia o limpiezas no programadas.

Este tipo de limpieza es el que en la actualidad normalmente emplean los servicios de mantenimiento de las redes de saneamiento.

En este caso se establece un programa de trabajo. El equipamiento, el personal necesario y la periodicidad de la limpieza dependen de un porcentaje de colmatación admisible que asegure el servicio con un mínimo de incidentes. Los modelos matemáticos de funcionamiento de la red son de gran ayuda a la hora de elaborar un programa de limpieza sistemática.



Se recomienda realizar una limpieza total de la red cada tres años, si bien algunos elementos de la misma precisarán una limpieza en un tiempo menor lo que dependerá del porcentaje de colmatación admisible. La longitud de la red a limpiar cada año, función de la limpieza total trianual y de las limpiezas selectivas de periodos menores, así como del rendimiento que se espera obtener, nos dimensionará el equipo tanto de material como humano que se necesita.

La elección entre uno u otro sistema depende, por una parte de los costes y por otra de la importancia que tenga, tanto para los habitantes como para el medio natural, la repetición de unos incidentes más o menos frecuentes.

Una parte del mantenimiento de la red consiste en el de los imbornales, la cual debe ser anual y debe realizarse en coordinación con el servicio de limpieza viaria. El conocimiento del sistema puede llevar a que existan determinados puntos de la misma, dependiendo de los residuos que recojan o de las molestias que causen al peatón, en los que sea necesaria un periodo de limpieza menor.

El conocimiento del número de imbornales de la red, de sus periodos de limpieza, así como del número de avisos que se produzcan cada año, nos dimensiona el equipo de limpieza de los mismos que se precisan.

Es difícil dar cifras exactas sobre las necesidades de personal y equipos que se necesitan para la limpieza de la red, dada la dispersión y variación de las características de las mismas. Como orden de magnitud se pueden dar los siguientes ratios:

Con un equipo de dos personas se pueden visitar un 10 km / día de galería visitable de la red de saneamiento de un municipio.

Un camión, con equipo de aspiración para limpieza de sumideros y fosas sépticas, puede limpiar 150 sumideros al día. Cada uno de ellos necesita de 6 a 12 limpiezas / año.

## 2.4.- Sistemas de limpieza

Los sistemas de limpieza serán totalmente diferentes dependiendo que las redes sean o no visitables. Los sistemas básicos de limpieza de las redes de saneamiento son fundamentalmente los siguientes:

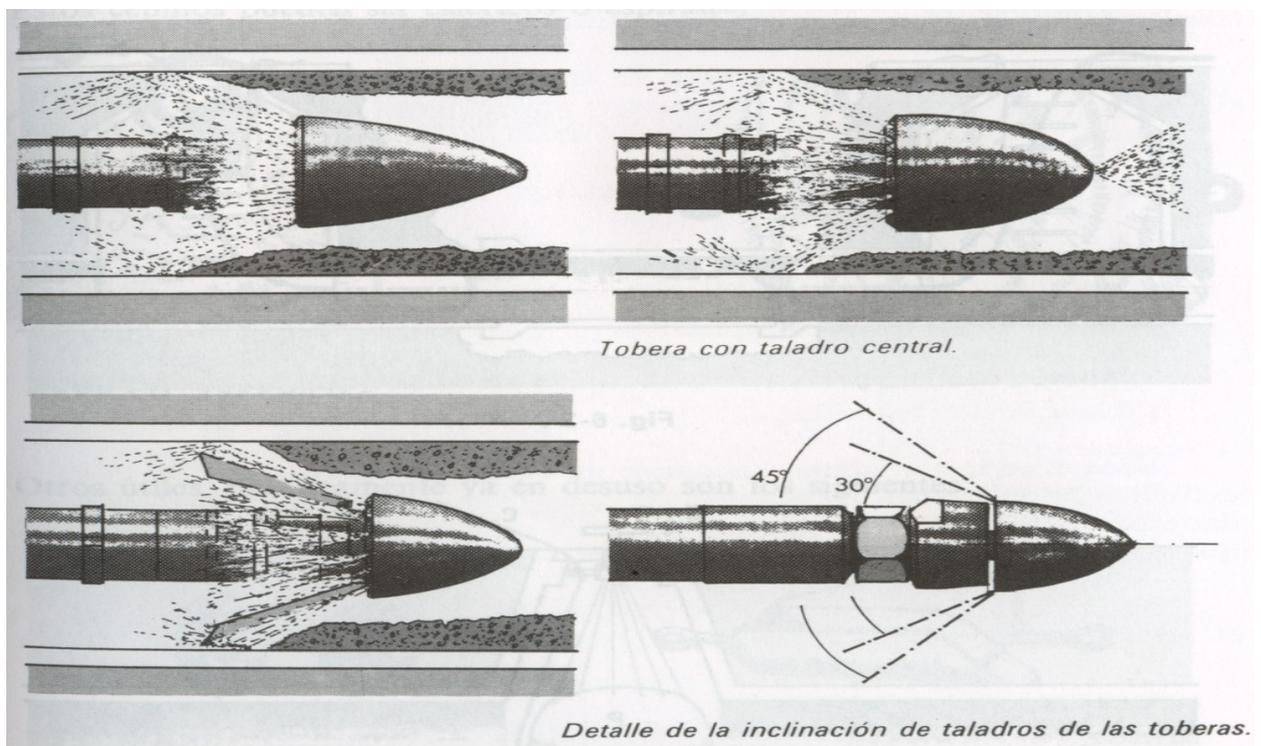
**Limpieza manual con arrastre y extracción.** Su aplicación óptima se alcanza en redes visitables, cuando las pendientes son elevadas (2-3 %) y los grados de suciedad son bajos.

En estos sistemas los operarios con ayuda de una cuba de agua a media presión, por la que introducen agua por los imbornales, recogen y conducen los residuos hasta la galería central en donde se cargan en unos cubos metálicos, que son extraídos por los pozos registro y depositados en un camión con caja estanca.

**Limpieza hidrodinámica.** Es el procedimiento más moderno y que más frecuentemente se emplea en la actualidad en las limpiezas de las redes de saneamiento de las ciudades importantes. Existen tres tipos de limpieza hidrodinámica:

Con Vehículo Impulsor y Vehículo Aspirador (Separados). Los primeros equipos de este tipo comienzan a aparecer en los años 1950. El equipo impulsor, montado sobre remolque o sobre el chasis de un camión, está formado por una cuba de almacenamiento de agua (entre 1 y 25 m<sup>3</sup>) y una bomba de alta presión, que mueve un caudal de agua de 150 a 750 l / min, a una presión que varía entre 80 y 150 bar. No es conveniente el empleo presiones mayores dado que podrían dañar los conductos.

El Elemento Aspirador está montado sobre el chasis de otro camión, y está formado por una cuba de volumen que varía entre 4 y 25 m<sup>3</sup>, que se puede poner en depresión por una bomba de vacío cuyo caudal está comprendido entre 500 y 1000 m<sup>3</sup>/h.



Los materiales que se depositan en la solera del pozo registro y que son impulsados por el equipo de alta presión, se aspiran por medio de una tubería flexible conectada con el equipo de aspiración.

Con vehículo mixto Impulsor-Aspirador. Los primeros equipos aparecen a partir de los años 1960. Se trata de equipos que agrupan la impulsión y la aspiración en un solo vehículo.

Son particularmente eficaces ya que el hecho de aspirar sobre la solera los productos arrastrados por el impulsor a medida que se van evacuando, evita la creación de nuevos tapones aguas abajo.

El equipo está formado por una cuba dividida en dos compartimentos uno para el agua utilizada por la bomba de alta presión y otro para recibir la materia aspirada. Estos dos compartimentos se pueden ajustar por medio de un tabique móvil que permite variar la capacidad de cada uno de los depósitos y adaptar al tipo de trabajo a ejecutar.

El equipo que mayormente se utiliza es el de 19 t. con cuba de 8 m<sup>3</sup> (2-3 m<sup>3</sup> son para el almacenamiento de agua y 5 a 6 m<sup>3</sup> para el almacenamiento de lodos).

Equipos mixtos con recirculación de agua. Han comenzado a aparecer en los cinco últimos años. Uno de los mayores inconvenientes de la limpieza o desatranco convencional es el enorme consumo de agua limpia (y hasta ahora potable, ya que en otro caso se dañaría en pocos días la bomba de estos camiones), que requerían, alrededor de unos 20000 l/h.

En los nuevos equipos, el agua con lodos aspirada por la manguera pasa al depósito de almacenamiento y tras atravesar unos filtros llega al depósito de agua. A continuación pasa por un tercer filtro de arena y se almacena en un pequeño depósito antes de ser utilizado por la bomba a presión.

Con estos sistemas se impulsa el agua a alta presión a través de una manguera con tobera lanzadora. Estas toberas llevan en su parte posterior, y en forma de anillo una serie de taladros con un grado de inclinación determinado, en función del uso que se pretende.

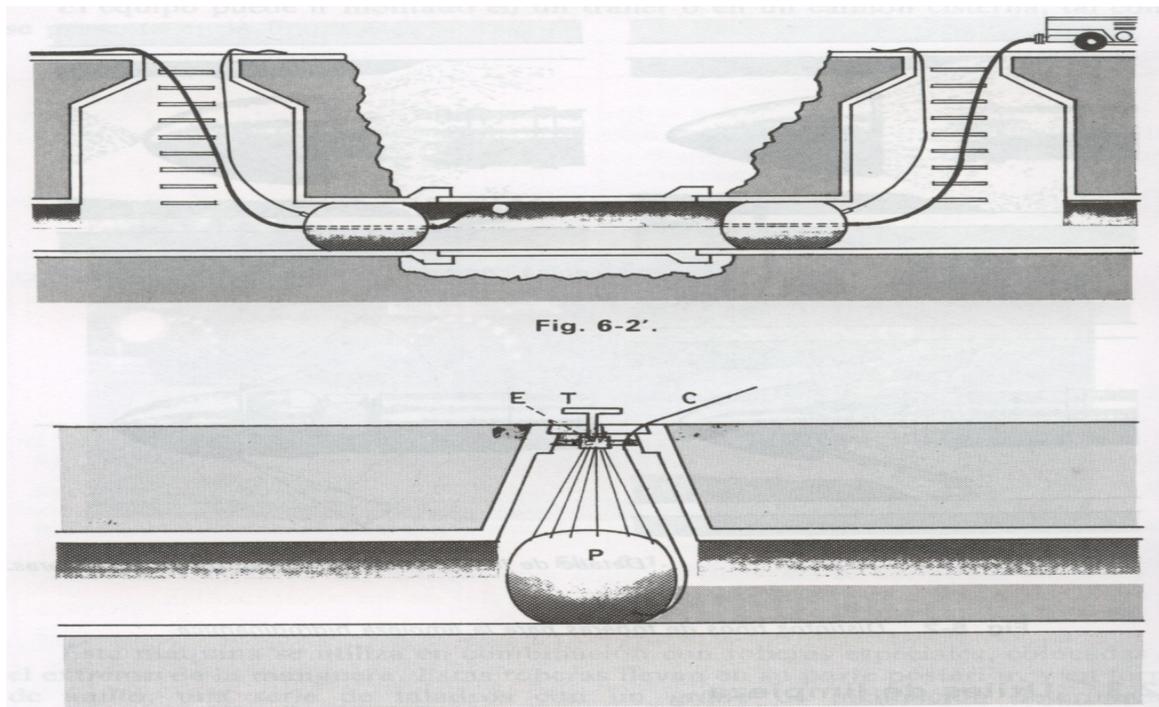
La operación de desatranco de un tramo de la red es muy sencilla, consiste en introducir por el pozo de registro el extremo de la manguera con la tobera adecuada. A continuación se pone en funcionamiento la bomba, avanzando a partir de ese momento la manguera por la tubería empujada por la reacción sobre las paredes del tubo, del agua que sale a través de los orificios de la tobera. A medida que avanza la manguera se desprenden y se mueven los residuos.

Posteriormente, y una vez finalizado el recorrido del tramo previsto, se hace funcionar un motor hidráulico que actúa sobre el carrete recogiendo la manguera al mismo tiempo que sigue impulsando agua a alta presión, lo cual hace que se arrastren los residuos desincrustados mezclados con agua hacia la boca del pozo inferior, desde donde pueden ser extraídos por medio del aspirador de vacío.

Es conveniente que los equipos dispongan de una grúa y una tolva auxiliar para la extracción y almacenaje de residuos de gran tamaño que no puedan ser absorbidos por la manguera de aspiración.

El campo de aplicación de este sistema se hace cada día más amplio que el de limpieza por arrastre y extracción y comprende además de la limpieza de toda la red no visitable la de la red visitable (con grado de suciedad media-baja) e incluso cuando tiene suciedad alta.

**Limpieza por extracción neumática.** Los equipos de aspiración por transporte neumático, se utilizan especialmente para la limpieza de puntos singulares, con grandes requerimientos de extracción (fosas sépticas, areneros, etc.).



El fundamento del equipo es mantener una gran cantidad de aire en circulación que arrastre los residuos hasta la caja del camión en donde se decantan por pérdida de velocidad.

Se requiere una máquina con gran capacidad de absorción y que disponga de un tubo de succión de 150 a 250 mm de diámetro, que permita el paso de los sólidos a través del mismo.

Con este sistema es necesario que un operario alimente el tubo de succión para conseguir un rendimiento adecuado, debiendo disponer además de un grupo electrógeno y una bomba sumergible para conseguir que el residuo quede lo más seco posible.

El campo de aplicación de este sistema es la red visitable con grado de suciedad muy alto (puntos singulares de la misma).

El vertido de los productos que se extraen, ha de hacerse como si se tratara de aguas residuales, donde no ofrezcan peligro de contaminación.

Este es el sistema óptimo para puntos singulares de redes visitables que tengan un alto grado de suciedad, dado que son más potentes y al mismo tiempo más costosos que los equipos hidrodinámicos. Para que se tenga un buen rendimiento se necesita que los residuos estén casi secos.

**Otros Sistemas.** Además de los sistemas enumerados existen otros métodos de limpieza:

**D.1) Limpieza por extracción con vehículos eléctricos.** En algunas ocasiones la limpieza de las redes de saneamiento visitables se realiza por medio de vehículos automóviles eléctricos que se introducen en las mismas.

Para ello deben de disponerse en los proyectos las correspondientes entradas de vehículos y los pozos de extracción de residuos.

**D.2) Limpieza con cámaras de descarga.** Se insertan en las conducciones cámaras de descarga que son recipientes que almacenan hasta un determinado volumen de agua, descargándose automáticamente y produciendo el arrastre de los depósitos. El agua que se suministra a las cámaras de descarga no tiene por que ser potable.

**D.3) Limpieza por arrastre por compuerta.** Con este método se instalan compuertas en determinados puntos de la red de manera que se acumule el agua. Al cabo de un cierto tiempo se abre la compuerta saliendo el agua a gran velocidad arrastrándose los sedimentos hasta los puntos que nos interesen, desde donde son extraídos son cubos especiales o por aspiración.

Los inconvenientes principales son que requieren una cierta uniformidad en las secciones y caudales importantes de agua.

## **2.5.- Medidas preventivas que reducen las labores de limpieza**

Entre las medidas preventivas que reducen la limpieza que se necesita en la red de saneamiento, cabe señalar.

Es importante diseñar la red con velocidades que permitan a caudal medio la autolimpieza, lo cual no siempre es posible ya que existen imponderables topográficos que hacen que se adopten menores pendientes o velocidades.

Una buena limpieza viaria beneficia enormemente la limpieza de la red de saneamiento, ya que el polvo y las hojas que se retiren de la superficie no será necesario extraerlos del interior. Una buena coordinación entre ambos servicios, limpieza viaria y limpieza de la red de saneamiento, es muy conveniente para una adecuada explotación de la red.

Cualquier conexión a la red de saneamiento de desagües intermitentes de fuentes, de lavados de filtros, piscinas, etc., suministrará un caudal, sobre todo en época de escasez de lluvias, muy beneficioso para su mantenimiento.

## 2.6.- Reparaciones de la red de saneamiento. Generalidades

Una red de saneamiento, al estar sometida a todo tipo de agresiones, sufre un deterioro progresivo. Estas pueden ser de dos clases fundamentalmente:

Agresiones Internas. Son las que tienen su origen en el interior de la propia red debiéndose, entre otras, a las siguientes causas:

A.1) Envejecimiento de los materiales.

A.2) Acciones de la humedad ambiental.

A.3) Agresiones mecánicas por arrastre de los sólidos que transportan las aguas. Estas pueden originar erosiones importantes, en periodos de lluvia intensa, especialmente en las soleras. Afectan principalmente los tramos de la red con fuertes pendientes.

A.4) Agresiones químicas, por aguas residuales de origen industrial (vertidos de ácidos, bases fuertes y sulfatos). Las degradaciones más fuertes se dan con los vertidos ácidos, que atacan el hormigón y pueden provocar la desaparición total de la solera e incluso de todo el tramo de la red.

A.5) Agresión bacteriana de los hormigones como es el caso de formación de sulfhídrico.

Agresiones externas. Tienen su origen en elementos externos a la propia red como son, sobrecargas de tierras, tráfico rodado, actos de vandalismo, etc., lo que provoca deformaciones, fisuras y puede llegar incluso a la rotura. Algunas de los problemas más frecuentes son:

B.1) Rotura de conductos por penetración de raíces.

B.2) Rotura por sobrecargas excesivas, rellenos de tierra no previstos, paso de maquinaria y equipos pesados.

B.3) Asentamiento por influencia de construcciones próximas.

B.4) Roturas por excavaciones de otros servicios.

B.5) Perforación por Pilotajes.

B.6) Ataque exterior a la red por agresividad del terreno o por la existencia de corrientes vagabundas.

B.7) Acometidas domiciliarias defectuosos, obstruyendo algunas veces la red de saneamiento, disminuyendo la capacidad de transporte e impidiendo el desarrollo de un mantenimiento normal.

El conjunto de agresiones internas y externas puede producir una pérdida de impermeabilidad en la red, que provoque inundaciones en los sótanos de las edificaciones, contaminación del terreno, contaminación de las aguas subterráneas, socavamientos, etc., por lo que es necesario una actuación continua y sistemática tanto de la inspección y control de la red como de los trabajos de reparación.

Bajo este concepto se entiende todo tipo de reparaciones, rehabilitaciones y reformas que se realicen en la red de saneamiento con objeto de solucionar los problemas aparecidos durante la explotación y no eliminados con la limpieza.

Los problemas más frecuentes que se producen y que necesitan de reparación son:

Obturaciones, sobre todo en el caso de que la misma se ha solidificado haciendo ineficaz las labores de limpieza.

Intrusión de raíces en el interior del conducto, con atasco parcial que provoca un aumento de la sedimentación y posteriormente llega a formar un tapón.

Problemas de estanquidad. Puede darse en las juntas, por fisuración de algún elemento o por mala conexión de las acometidas domiciliarias.

Problemas en los tubos. Elementos de hormigón, fibrocemento, PVC, etc., rotos, desplazados o deformados a causa de movimientos del terreno, sobrecargas puntuales o envejecimiento del material así como corrosiones por vertidos agresivos.

Acometidas mal conectadas, a veces penetrantes y no suficientemente estancas.

Problemas de los imbornales.

Problemas de los pozos registro, entre los que cabe destacar: infiltraciones por solera, infiltraciones por paredes, malas conexiones de ramales o de acometidas, pates en mal estado, cercos deteriorados, tapas partidas, etc.

La vigilancia que se realice en la red de saneamiento por el personal que tenga encomendada esta labor, permitirá detectar estos problemas. Otras veces se detectarán aprovechando las labores de limpieza y otras serán los propios usuarios los que los pondrán en conocimiento de los servicios de reparación correspondientes.

Las reparaciones en los tramos de colector deben normalmente realizarse sin interrupción del servicio, para lo cual los equipos de reparaciones deberán contar con los equipos específicos en cada circunstancia. Se necesitará realizar desvíos siendo necesario construir tabiques que encaucen las aguas por tuberías o canales provisionales. Si no es posible la realización de los desvíos las aguas se bombearán transvasándolas a una zona aguas abajo del tramo a reparar. En caso de que se requiera anular las acometidas domiciliarias durante un cierto tiempo, puede realizarse privando a las viviendas de suministro de agua potable, siempre que de la autorización la empresa explotadora del servicio.

En caso de que se tenga que reparar la rotura de un tramo de una red de saneamiento, deberían de tomarse precauciones en las obras, dado que la misma supone una aportación de agua al terreno, rompiendo su cohesión, lo cual puede dar lugar a socavones por debajo del nivel en el que se está trabajando.

## 2.7.- Tipos de reparaciones. Programables o no programables

Dependiendo de la urgencia que requiera la resolución de los problemas detectados en la red, se clasifican las reparaciones en dos grandes grupos:

Reparaciones no programables. Son aquellas en las que debido a la urgencia de su resolución, es necesario actuar de inmediato.

Como reparaciones no programables más significativas se pueden citar las siguientes:

Reposición de tapas, cercos de pozos y rejillas de imbornales.

Reparación de hundimientos de alcantarillado.

Eliminación de obstrucciones.

Reparación de fisuras y filtraciones.

Normalmente las reparaciones no programables en el interior de la red de saneamiento, requieren para su solución de medios destructivos, entendiéndose por tales los que requieren de la apertura del pavimento para su ejecución.

Reparaciones programables. Son las que no requieren de una actuación urgente, pudiéndose programar a lo largo del tiempo. Como reparaciones programables más significativas pueden citar las siguientes:

Reparación de banquetas.

Reparación de soleras, cubetas, hastiales o claves, siempre que no sean críticas.

Impermeabilización de soleras.

Reformas de entronques entre diferentes ramales.

Colocación y reposición de pates en pozos registro.

Sustitución de tramos.

Estas reparaciones se realizan normalmente por métodos tradicionales o destructivos, pero existen casos en los que para renovar o rehabilitar un tramo de red y aumentar su vida útil, se han desarrollado otro tipo de procedimientos, aplicables especialmente cuando la sección es tubular y no visitable, que permiten realizar la reparación sin necesidad de la rotura del pavimento y de la apertura de zanja. Estos métodos, cuyo uso se está iniciando en España, se denominan no destructivos y entre los mismos pueden citarse:

Técnicas que se basan en la inyección de resinas en juntas y fisuras.

Técnicas basadas en el revestimiento de un tramo mediante una camisa de fieltro de poliéster impregnado en resina (Sistemas INSITUFORM y PHOENIX).

Técnicas en las que se introduce un nuevo conducto en el interior del existente (Sistema Bonex, Riblock, Cobra, etc.).

Técnicas por las que se inyecta una solución mezcla de dos productos químicos. Por efecto de la presión la solución penetra por las fisuras y grietas, en reacción con el terreno, y se solidifica.

En la actualidad existen diversos tipos de robot con cámara de TV que permiten realizar las labores de sellado en conductos no visitables de 200 a 800 mm de diámetro. Estos equipos permiten reparar fisuras longitudinales, transversales, acondicionamiento y sellado de acometidas defectuosas, reparación y sellado de juntas, roturas puntuales, eliminación de depósitos de cal, eliminación de raíces incrustadas, etc.

## 2.8.- Eliminación de problemas de septicidad y de sulfídrico

Cuando el nivel de oxígeno disuelto baja peligrosamente, en tuberías de gran longitud, o con tiempos de retención grandes, pueden darse condiciones sépticas, olores y otros inconvenientes.

Los sistemas que se utilizan para su eliminación consisten en la aireación o en la inyección de oxígeno en cantidades suficientes para mantener las condiciones aerobias.

Otras posibilidades son la inyección de cloro, permanganato, peróxido de hidrógeno, alcalinización. También se reducirá igualmente la formación de  $\text{SH}_2$ , limitando las longitudes de conducción en carga sin aireación, reduciendo los tiempos de retención en zonas sin aireación y aireando suficientemente las redes de saneamiento.

## 2.9.- Control de una red de saneamiento

Una vez controlada la puesta en funcionamiento la red de saneamiento con las correspondientes pruebas, el control de la misma irá encaminado a los aspectos cuantitativos y cualitativos del agua, es decir:

Medición de caudales. Esta determinación puede realizarse una vez que se conozca la sección y la pendiente, midiendo la altura de la lámina de agua mediante sistemas como el "deeper", "sónico", "ultrasónico" o de "contacto eléctrico".

La medición de caudal servirá para conocer el flujo, las pérdidas de caudal o las retenciones, cuando los caudales no se corresponden con los valores normales estadísticos. Este control indicará la necesidad de limpieza o la necesidad de reparación de fugas.

Las características del agua permitirán el control de los vertidos industriales por una parte. Por otra estas determinaciones facilitarán información para el funcionamiento de la depuradora. Si se realiza una medición de estos parámetros en continuo, se pueden conocer en la depuradora datos sobre posibles puntas de vertidos, que pudieran inhibir los procesos, permitiendo adoptar soluciones provisionales del proceso.

Los parámetros normalmente controlados serán pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, amoníaco, iones metálicos específicos.

Estas determinaciones podrán hacerse sobre tomas manuales con equipos de toma automáticos o con estaciones de análisis automáticas, situadas en puntos concretos de la red. Estas estaciones pueden conectarse a un ordenador central, informatizando por completo el servicio de saneamiento.

## 2.10.- Costes de explotación de una red de saneamiento

El coste de explotación estará integrado por:

Coste del personal (ingenieros, técnicos, administrativos, personal de vigilancia y conservación).

Adquisición, explotación y renovación de maquinaria de limpieza y de útiles y pequeño material, así como el equipo de trabajo del personal (botas de goma, ropa, material de alumbrado, etc.).

Valor del agua empleada en las operaciones de limpieza. Este concepto no suele tenerse en cuenta pero representa una partida no despreciable.

Coste de reparaciones y renovación de la red.

Coste de las pequeñas obras de conservación de enlucidos, arreglo de pequeñas fugas o hundimientos, desperfectos en imbornales y pozos registro, etc.

Es muy difícil dar cifras aproximadas del coste de explotación de un alcantarillado, interviniendo tantos factores y variando tanto la constitución de la red, pero la cifra normalmente estará comprendida entre el 1 y 2 % anual del coste inicial de la red.

Los gastos de renovación de la red atienden principalmente a las mejoras hidráulica y estructural de la misma, que muchas veces van unidas. Se puede estimar una distribución de los costos de renovación de la red de la siguiente manera:

Mejoras Hidráulicas 44 %

Mejoras Estructurales 13 %

Mejoras hidráulicas y estructurales 24 %

Otras Mejoras 11 %

Varios 8 %

Como norma general se debe intentar que los beneficios producidos por las operaciones de mantenimiento y explotación de las redes de saneamiento sean superiores a los gastos producidos, lo cual en la mayoría de los casos es una pretensión utópica.

## **2.11.- Financiación del mantenimiento y explotación de las redes de saneamiento**

Los sistemas normalmente utilizados para la construcción de la red de saneamiento y su posterior explotación y mantenimiento son:

Contribuciones especiales para la ejecución de las obras.

Cánones de acometida y tasa de conservación de la red de saneamiento

Tarifas

Las contribuciones especiales son de aplicación discrecional por parte de los Ayuntamientos y están reguladas por la Ley de Régimen Local. Su cuantía no puede exceder de los dos tercios del costo de las obras, incluidos los trabajos técnicos (redacción de proyectos, etc.) y parciales.

La Tasa de Saneamiento que prevé la legislación en vigor, para limpieza y conservación de la Red de Saneamiento (también denominada: tasa de alcantarillado), se regula mediante las Ordenanzas Municipales, computándose dicho canon en un tanto por ciento del líquido imponible de la finca que suele oscilar entre un 2 y 3 %.

Este porcentaje es claramente insuficiente ya que por ejemplo lo que paga una finca de renta limitada durante 20 años apenas cubre el 10 % de lo que son los costes reales.

La solución a este problema es ir sustituyendo esta tasa por una tarifa sobre el consumo de agua, que será la que permita financiar las obras de saneamiento así como su explotación y mantenimiento.

Con una tarifa real los servicios de saneamiento pueden ser interesantes al capital privado, con o sin aportación estatal a fondo perdido o como anticipo, pudiendo llegar a ser autofinanciables.

Los municipios pequeños tienen problemas, puesto que no tienen organización suficiente para poder hacer uso de contribuciones especiales, por lo que en la mayoría de los casos las redes de

saneamiento (simples tubos) las construyen los vecinos que incluso aportan su propio trabajo personal.

Otros municipios logran las ayudas previstas por la Ley, en cuyo caso el saneamiento se ejecuta. Una parte de la ayuda se concede a fondo perdido, mientras que otra se hace en forma de crédito a amortizar, normalmente según unas tarifas por acometidas.

La explotación y mantenimiento de las redes de saneamiento es un problema muy grave y que pocas veces se realiza de la forma adecuada, por lo que es frecuente el asistir al deterioro progresivo de la red y a su total colapso.

## **2.12.- Estudios analíticos de los elementos constitutivos de las tarifas**

Los estudios justificativos de las tarifas sobre saneamiento, para poder integrarse en la tarifa de abastecimiento, deberán ajustarse a un plan, en el que al menos quedaran contemplados los siguientes aspectos:

### **MEMORIA**

Resumen del Estudio

Datos básicos del Servicio. Volumen de agua entregada a la red y volumen de agua facturada. Descripción somera de la infraestructura, habitantes servidos y consumo.

Evolución de la explotación e hipótesis en que se basa el estudio con las previsiones consideradas

### **GASTOS DE EXPLOTACION**

Gastos de Gestión

1.1 Productos Químicos Reactivos

1.2 Energía

1.3 Personal

1.4 Vehículos y utillaje propios del servicio.

1.5 Trabajos suministros y servicios exteriores.

1.5.1 Para conservación de obras e instalaciones anejas.

1.5.2 Para conservación de la red de saneamiento.

1.5.3 Gastos de Gestión Administrativa.

1.5.4 Otros

1.6 Gastos diversos

1.7 Tributos e Impuestos

1.8 Gastos municipales indirectos y/o gastos de contrata por los trabajos prestados en el caso de gestión indirecta del servicio y remuneración de los recursos propios invertidos por quien los preste en el servicio.

Gastos financieros, intereses y comisiones

Gastos de amortización técnica de todos los activos actualizados.

Otros gastos de explotación

AMORTIZACIÓN FINANCIERA Y/O FONDOS DE REVERSION

INGRESOS NO TARIFARIOS

Ingresos por derechos de acometidas sin contraprestación material

Otros ingresos no tarifarios

CÁLCULO DEL MONTANTE ECONÓMICO A CUBRIR CON INGRESOS TARIFARIOS

Gastos de Explotación

+ Amortización Financiera y/o fondos de reversión

Ingresos no tarifarios

Total 1 (gastos de explotación a cubrir con ingresos tarifarios).

+/- Déficit o superávit de periodos anteriores a cubrir anualmente durante la vigencia de la tarifa. (Sólo se consideran en el caso de servicios gestionados directamente por entidades públicas).

- Subvenciones al servicio para la gestión.

+/- Otros gastos o ingresos contabilizados en periodos anteriores.

+ Menores ingresos registrados por retraso en la aplicación de la anterior tarifa en su caso.

Total gastos a cubrir con ingresos tarifarios

#### CÁLCULO DE LA TARIFA MEDIA

Estimación razonada del volumen anual a facturar a los usuarios, deducción hecha de la previsión de impagados.

Deducción de la tarifa media por el cociente entre los gastos a cubrir con ingresos tarifarios y el volumen anual a facturar a los usuarios.

Cálculo del incremento porcentual que supone la nueva tarifa sobre la media vigente.

#### RÉGIMEN DE APLICACIÓN DE TARIFAS PROPUESTO

Definición de la estructura y valores correspondientes del sistema de tarifas propuesto.

Comprobación de que la aplicación del sistema propuesto equivale a la tarifa media calculada.

#### FÓRMULA DE REVISIÓN DE LA TARIFA

Cálculo de la fórmula de revisión para el total de gastos de explotación a cubrir con ingresos tarifarios.

## 3.- Introducción a las técnicas alternativas de saneamiento

### 3.1.- Introducción a las técnicas alternativas de saneamiento

Desde hace 150 años, los técnicos proyectan y construyen los sistemas de saneamiento o de drenaje según el concepto de: “evacuar lo más lejos y lo más rápidamente posible las aguas de cualquier naturaleza”. Esto ha llevado de forma natural a la utilización del sistema: “tout a l’égout: todo a la red de saneamiento” iniciado en Francia a finales del siglo pasado.

Los fundamentos de esta técnica se producen en una Europa rica de comienzos del siglo XIX, en pleno desarrollo industrial, técnico y científico. La falta de higiene en las ciudades, las enfermedades y las epidemias (especialmente la del cólera), que debilitan a la población y, en consecuencia a las fuerzas productivas de los países, llevaron a los higienistas a formular soluciones inspiradas en los descubrimientos hechos en la circulación de la sangre. Bernard Chocat [1994] cita a menudo el discurso que hace el inglés S. Ward en la Real Academia de Londres relacionando la circulación y el estancamiento del agua, que ilustra perfectamente este estado de la cuestión: *“Es preciso unir el conjunto de la ciudad y del campo por una amplia red tubular que tenga dos ramales principales, uno urbano y otro rural, cada uno subdividido por un sistema aferente o arterial y un sistema eferente o venoso, ambos accionados por el mismo corazón central [...] Tendrá como base fundamental la circulación continua del agua que entra pura en la ciudad y que evacua sus aguas residuales[...]. Los tanques de almacenamiento y las fosas sépticas son dos formas de estancamiento insalubre”*.

Es en esta misma época cuando el ingeniero Belgrand será encargado por Haussmann del estudio del saneamiento de París. Éste tomará forma en la ley de “tout a l’égout =todo a la red de saneamiento” adoptada y aplicada en París desde 1894. Algunos años después, a comienzos del siglo XX, se extenderá al resto de Francia comenzándose a construir en los centros de las redes unitarias que recogen conjuntamente las aguas pluviales y las aguas residuales. Estas redes, muy sobredimensionadas, van a asegurar un correcto funcionamiento del saneamiento durante casi medio siglo y en algunos casos más tiempo.

A finales de la segunda guerra mundial, el urbanismo tendrá un importante desarrollo:

- En los centros históricos de las grandes ciudades, lo que origina el aumento del porcentaje de superficie impermeabilizada;
- En la periferia de las ciudades. Con la urbanización y consecuente impermeabilización de grandes superficies es necesaria la construcción de redes secundarias de recogida de los vertidos. Estas, sencillamente, se unen a las redes de saneamiento existentes (redes primarias) y conducen las aguas pluviales hacia el centro de la ciudad, generalmente contruidos en los puntos bajos, junto a los cauces de evacuación naturales (ríos, etc...)

El primer efecto de este desarrollo es la  **saturación del sistema de saneamiento** , con preferencia el del centro histórico de la ciudad, lugar en el que se concentran las actividades sociales y económicas más importantes. A consecuencia de ello numerosos centros históricos de ciudades sufren  **inundaciones cada vez más frecuentes y más importantes** .

Además el desarrollo urbano tiene como segundo efecto,  **el deterioro de la calidad del medio receptor** .

El uso sistemático de las infraestructuras sanitarias y el desarrollo de las actividades industriales hace que los caudales contaminados, por vertidos de las aguas residuales, aumenten considerablemente. La evidencia de esta degradación se refleja en la reflexión, de carácter medioambiental, de la que emerge el concepto de  **red separativa** , fundamentada en la separación de las aguas de lluvia de las aguas residuales para que sean únicamente estas últimas las que sean tratadas en las Estaciones Depuradoras.

Sin embargo en las zonas provistas con este tipo de sistema la situación no es mucho mejor. Las aguas de lluvia lavan los viales, y a consecuencia de ello, quedan bastante contaminadas. Los volúmenes de aguas de lluvia vertidas directamente en el cauce receptor producen, por el contenido de productos contaminantes, una importante cantidad de contaminación aunque no tan elevada como la vertida por las redes unitarias.

Por otra parte el aporte de los recursos necesarios para la construcción de obras contrastadas por la experiencia (colectores más grandes, estaciones de depuración que puedan tratar un mayor volumen de agua...) no pueden ser asumidas, dado su elevado coste, de forma indefinida por las administraciones locales.

Hoy en día, el coste de una red de saneamiento construida según planteamientos clásicos constituye, en la mayoría de los casos, un factor que limita el desarrollo urbano y debiera obligar a los núcleos de nuevo desarrollo a la aplicación de otras estrategias.

La comunidad de Madrid, con la publicación el 1 de octubre de 1998 del decreto 170/1998, sobre gestión de los vertidos a las infraestructuras de saneamiento de la Comunidad de Madrid, exige que los nuevos desarrollos urbanísticos contribuyan a los gastos que generan las necesarias infraestructuras de saneamiento: colectores, aliviaderos, interceptores y emisarios, adecuación de los márgenes de los cauces receptores, estaciones de depuración, etc....

### 3.2.- Nuevos planteamientos en el saneamiento de las aguas de lluvia

Es necesario redefinir los conceptos de saneamiento de aguas de lluvia poniendo en tela de juicio los criterios que se han venido empleando hasta ahora. Las nuevas bases de partida deben ser:

- Garantizar la seguridad de los individuos y de sus bienes protegiéndoles contra las inundaciones;
- Asegurar la continuidad del desarrollo urbano sin gravar los presupuestos de las colectividades o de los particulares;
- Recuperar los medios naturales.

En España apenas hay experiencia en este sentido y por eso existe una falta absoluta de criterio. Es por ello que seguimos la experiencia de lo existente en Francia, en donde los diferentes elementos que intervienen en este campo tienen sus responsabilidades.

**Las comunidades**, las responsabilidades en materia de saneamiento han sido claramente definidas e incrementadas por la nueva ley francesa del agua de 3 de enero de 1992, la directiva europea de 21 de mayo de 1991 y su decreto de aplicación de 3 de junio de 1994. La ley francesa obliga a tener un mayor cuidado de todas las aguas, tanto en el plano cuantitativo (protección de los ciudadanos contra las inundaciones), como en el plano cualitativo (protección de los medios receptores). La directiva europea obliga a las colectividades a respetar las normas estrictas de depuración de los efluentes, incluso en épocas de lluvia, lo que implica que se dispongan sistemas y medios para tratar la mezcla de aguas residuales y de aguas de lluvia que sale por los aliviaderos de las redes unitarias. Este reciente nuevo contexto jurídico, en parte por las considerables implicaciones financieras que supone, va a poner en entredicho las estrategias normales de saneamiento y va a favorecer la búsqueda de soluciones innovadoras.

**Los Estudios de Profesionales, las Empresas y los Explotadores**, tendrán que proponer nuevas soluciones en lo que se refiere a los proyectos, obras y al mantenimiento de las mismas. Parece

esencial que conozcan en profundidad la normativa en relación con el saneamiento y será necesario que inviertan en nuevas ideas, que se ejecuten de manera cuidada, con el fin de ser competitivos frente a las nuevas exigencias de las administraciones responsables.

Ante los problemas que existen en las redes de saneamiento unitarias, el principal de los cuales se da por el hecho de que concentran, en periodos de tiempo relativamente cortos unos caudales muy importantes de aguas de lluvia, bien en forma cuantitativa (volúmenes, caudales de agua) o en términos cualitativos (contaminación) se han desarrollado en los últimos tiempos “técnicas alternativas” que consisten en “desconcentrar” estos caudales y devolver, a las superficies en las que se produce la escorrentía, el papel regulador de retención e infiltración de las aguas de lluvia.

Frente a la estrategia centralizada y mono técnica que se ha venido utilizando hasta ahora, se debe intentar que prevalezca una estrategia descentralizada y multi técnica asentada en la diversificación de soluciones y de formas de vertido. Esta nueva estrategia debe, desde luego, aportar respuestas que tengan relación con las exigencias normales de seguridad y de respeto al medio ambiente.

Actualmente ya existen técnicas, no empleadas en España aunque si frecuentes en otros países, basadas en estos principios. Constituyen la alternativa a las redes de saneamiento tradicionales. Es en este sentido por lo que se las denomina “técnicas alternativas” o también técnicas compensatorias (cuando incluyen efectos sobre la urbanización).

Las soluciones de este tipo son numerosas:

- **Calzadas con depósito de almacenamiento**, que sirven para retener las aguas que caen sobre su superficie;
- Pozos de drenaje;
- Zanjas drenantes;
- Cunetas y canales de retención;
- Cubiertas de edificios con sistemas de almacenamiento;
- Técnicas relacionadas con la parcela;

**Técnicas de retención:** balsas de retención en seco o en húmedo, tanques de almacenamiento o redes de saneamiento específicas para almacenamiento.

Estos sistemas son aplicables, previos estudios de viabilidad y adecuación en que se analicen los condicionantes que imponen, tanto en las nuevas zonas urbanizadas, en las que resulta más adecuada y fácil su aplicación, como en los centros históricos.

Si en el inicio de su desarrollo, estas técnicas se contraponen a los planteamientos del saneamiento tradicional, pueden ser extremadamente útiles para conseguir una limitación de caudales, tanto de forma cualitativa como cuantitativa. **Hagamos notar que estas técnicas no cuestionan la red de saneamiento en sí misma, sino que es el principio de utilizar su función como sistema de evacuación rápida la que hoy en día no está tan clara.**

Las técnicas alternativas son también útiles y económicamente competitivas cuando se emplean de forma independiente y cuando los puntos de vertido se encuentran al límite de su capacidad o muy alejados del punto de vertido. Presentan numerosas ventajas:

- En principio son en general de un coste equivalente e incluso menor que las soluciones tradicionales, ofreciendo una protección superior frente a los diferentes tipos de riesgos (Menor concentración de caudales, mayor distribución espacial de los riesgos con una disminución importante del riesgo aguas abajo...)
- Estas técnicas están estrechamente unidas al planeamiento urbano y contribuyen a su mejora. Por ejemplo el empleo de canales de drenaje (amplias zonas excavadas de poca profundidad) con fines paisajísticos, permiten con un menor coste incrementar las superficies verdes de un plan urbanístico.
- Hay cierta desconfianza en el uso de estas técnicas alternativas de saneamiento de aguas de lluvia que restringen su utilización debido a que
- **Son “nuevas”**. (Aunque para algunos profesionales no sea éste el caso). Como en todo lo novedoso existe una desconfianza “a priori” en lo relativo a la evolución de su funcionamiento en el tiempo, es decir, su proyecto, su ejecución y su mantenimiento.
- **Son “complejas”**: Pueden adoptar diversas formas que afecten de manera importante al desarrollo urbano de una zona.
- **Son “multifuncionales”**: Algunas de ellas permiten otras funciones además de la hidráulica. Podemos citar que las calzadas, con posibilidad de almacenamiento provisional de agua de lluvia y la circulación de vehículos o los canales de drenaje que pueden utilizarse como zona peatonal en una planificación urbanística.”

- **“Tienen una estrecha relación con el medio ambiente”**: Tanto el medio ambiente físico, el social o el institucional, van a influir en el futuro sobre el periodo de vida de estas técnicas (la concepción, el mantenimiento y la gestión).

En este momento existe en Francia una falta de conocimiento e información por parte de las administraciones responsables de proponerlas, prescribirlas o utilizarlas en lo que respecta a estas técnicas y sus posibilidades. Se puede precisar más y decir que la información existe pero se encuentra de manera muy difusa y poco accesible. No obstante últimamente está incrementándose el interés por ellas debido a los siguientes aspectos:

- Las limitaciones de las técnicas clásicas de saneamiento mediante redes;
- El creciente interés por ellas, sobre todo en lo que se refiere a artículos, libros, etc

No obstante siguen existiendo problemas para su aplicación, debido principalmente a una mala difusión de la información, por lo que es necesario formalizar y difundir los conocimientos relativos a las técnicas alternativas de saneamiento de aguas de lluvia con el fin de permitir el desarrollo de su utilización y de mejorar la calidad de su puesta en funcionamiento.

El esfuerzo a realizar, debe sintetizar y analizar los conocimientos debidos a la experiencia científica y técnica conseguida ya en este campo por otros países (publicaciones, experiencias, entrevistas con expertos...). Deberá estar dirigido principalmente:

- A los que tienen que tomar decisiones en las administraciones locales.
- A los planificadores públicos y privados,
- A las oficinas de profesionales redactores de este tipo de proyectos,
- **A los diferentes servicios técnicos municipales o de las comunidades autónomas** (los responsables del viario, del saneamiento, de los espacios verdes, de la planificación y del urbanismo).
- A los estudiantes de las escuelas de ingeniería,
- A los alumnos de licenciatura o de masters de planificación.

En un estudio de este tipo lo primero que debe tratarse son los **métodos para aproximarse al diseño de técnicas alternativas de saneamiento de aguas de lluvia**. Esto es esencial y precisa del

necesario análisis global para al final obtener la elección y definición de las soluciones particulares. Se deben desarrollar sucesivamente los apartados siguientes:

- **Las técnicas y las alternativas:** Primeramente se aborda la definición de la estrategia de saneamiento de las aguas de lluvia, los principios de concepción de las técnicas alternativas y las acciones de información y de sensibilización complementarias;
- **Método para la elección de soluciones alternativas:** en este apartado se desarrolla un sistema de ayuda, por medio de cuadros que permiten seleccionar técnicas válidas y que tienen en cuenta sus peculiaridades, sus limitaciones y sus ventajas y que permiten elegir una opción
- Esta etapa es importante ya que la experiencia demuestra, con frecuencia, que las técnicas se eligen previamente y que las ventajas, o limitaciones de espacio que imponen, no son adecuadamente consideradas.
- **Las técnicas alternativas y la legislación:** este apartado debe tratar de la reglamentación en vigor, en relación con las aguas de escorrentía, la canalización cuantitativa y cualitativa de las mismas, los vertidos en el subsuelo. La no existencia en España de ninguna legislación que contemple estos aspectos hace que tengamos que desarrollar este apartado en base a la legislación francesa.

Finalmente se deben tratar en apartados específicos, las distintas técnicas alternativas que hoy en día se utilizan:

- Las calzadas con depósito de almacenamiento;
- Los pozos de drenaje;
- Las zanjas drenantes;
- Las cunetas y canales de drenaje;
- Las cubiertas de edificios con sistema de almacenamiento.

### 3.3.- Aproximación a las técnicas alternativas de saneamiento

Las técnicas se imponen hoy en día habida cuenta de la  **saturación de las redes existentes**  y la  **vulnerabilidad del medio receptor** . Están basadas en los dos principios siguientes:

- La retención de agua que regule el caudal y limite la contaminación aguas abajo;
- La infiltración en el subsuelo, cuando es posible, que reduce los volúmenes que circulan aguas abajo.

Estas técnicas ofrecen numerosas ventajas:

- Permiten **hacer viable** el saneamiento de zonas en las, técnica y financieramente sería difícil, la evacuación de las aguas de lluvia con los sistemas tradicionales.
- Se adaptan a **las fases de urbanización** de un proyecto. En efecto, en lugar de prever una gran y única obra aguas abajo de la zona a urbanizar, es posible ir las construyendo a medida que se realiza la urbanización. El proyecto de estas obras múltiples puede tener en cuenta su eventual interconexión y la gestión futura en conjunto.
- Presentan a menudo **posibilidades complementarias** (alimentación del nivel freático, creación de espacios verdes...) y son el soporte de otras funciones (la circulación, en el caso de una calzada con sistemas de almacenamiento,...) lo que lleva de alguna manera a optimizar su disposición y sus equipamientos.
- Su estudio se hace de forma similar al de un sistema convencional de saneamiento en lo que se refiere a la estrategia (aceptación de un cierto riesgo hidrológico). Se diferencia sin embargo en la necesidad de tener en cuenta el problema de las aguas de lluvia y el proyecto de las obras en paralelo con el proyecto de planificación urbana (Plan Director). Además las obras pueden ser, en sí mismas, elementos de planificación.

### 3.3.1.-Estrategia para el saneamiento con técnicas alternativas.

En el marco de una gestión global, teniendo en cuenta la conservación de las superficies de agua, el nuevo saneamiento debe tener en cuenta principalmente los objetivos siguientes:

- Proteger la ciudad contra las inundaciones
- Evitar los daños a la salud y los bienes de los ciudadanos
- Preservar el medio natural

Cualesquiera que sean las soluciones que se adopten no ofrecen plenas garantías de una protección total contra los riesgos de las inundaciones y de contaminación, pero sin embargo si que permiten una reducción de sus efectos.

### Gestión del riesgo de Inundación

El riesgo es el resultado de la conjunción del suceso perturbador y la vulnerabilidad del medio que lo recibe. Depende, en lo que se refiere a las inundaciones, de los siguientes aspectos:

De las cantidades de agua de lluvia precipitada. Su carácter extraordinario se ve por la frecuencia en que se sobrepasa su periodo de retorno. (Inversa de la anterior expresada en unidades de tiempo que corresponden a la duración media entre dos sucesos consecutivos que exceden los valores fijados).

De la configuración y del estado de la cuenca receptora.

Para reducir el riesgo hay que actuar simultáneamente sobre estos dos valores.

Elección de un periodo de retorno para las obras de saneamiento.

La elección de un periodo de retorno no es una tarea sencilla. La frecuencia decenal es la que normalmente se adopta en todos los países, y aunque confirmada por la jurisprudencia que existe en ellos, puede no justificarse siempre desde el plano técnico ni en el económico.

Esta referencia a la frecuencia decenal tiene sus fundamentos en algunas publicaciones francesas de los años cuarenta y en la circular CG 1333 relativa al saneamiento de los núcleos de población publicada en 1949. En ella se menciona que tanto “los vertidos de aguas pluviales en un sistema separativo, como en un sistema unitario, deben estar calculados de forma que sus capacidades de evacuación corresponden a los caudales de las tormentas de frecuencia decenal”.

No obstante una buena elección debería tener muy en cuenta los aspectos económicos y proporcionar ejemplos de los niveles de protección a adoptar para las distintas zonas de un planteamiento urbanístico. Con un correcto planteamiento económico, un incremento del coste global del proyecto no estaría justificado si fuera mayor que el valor de los daños que pretenden evitarse (capitalizados en la duración de la vida de las obras a construir). No hay que olvidar, no obstante, los aspectos psicológicos del problema.

Está admitido “a priori” que una buena gestión es la que protege de la frecuencia decenal. Sin embargo un grado menor de protección se considerará aceptable por la dirección de la obra en las zonas moderadamente urbanizadas y en las zonas en las que las pendientes limitan la duración de las inundaciones.

Así, en los tramos iniciales de la red, se podrá considerar la ausencia de una red de saneamiento pluvial. A continuación, en las primeras distancias, se podrá calcular la red para el caudal correspondiente a un periodo de retorno de entre 2 y 5 años. Por el contrario, en los barrios muy urbanizados y con poca pendiente, el director de las obras no dudará en calcular los colectores principales para recoger los caudales de un periodo de retorno de 20 a 50 años, de forma que se eviten para tales intervalos, inundaciones prolongadas y en grandes superficies. Se debe además tener en cuenta la vida útil de las obras y el incremento continuado del coeficiente de escorrentía”.

La normativa que se redacte debe obligatoriamente estudiar las consecuencias de insuficiencia de las obras bajo el efecto de acontecimientos climáticos que ocurran con menor frecuencia de los que han servido para el proyecto. Estas recomendaciones, se utilizarán tanto para las redes de saneamiento como para las obras de almacenamiento.

Recordemos que las estadísticas que dan datos sobre los acontecimientos poco frecuentes no son siempre fiables y es imperativo considerar los escenarios de las catástrofes. Estos obligan, no a sobredimensionar las obras, sino a proyectar acciones que no tienen por que ser técnicas, como por ejemplo:

- Impedir que se inunden los puestos de socorro
- Canalizar el agua hacia las zonas que puedan inundarse sin causar demasiados daños;
- Colocar sistemas de alarma,

Elegir un periodo de retorno es fijar una frecuencia de fallo de las obras de saneamiento. Este fallo, cuando se producen los sucesos pluviométricos más significativos, deberá tenerse en cuenta en el proyecto y la gestión, con el fin de preservar las vidas humanas y reducir los impactos.

Configuración y vulnerabilidad del emplazamiento frente a las inundaciones

Los caudales de escorrentía de las aguas de lluvia deben examinarse junto con las características de la cuenca vertiente. En efecto, según su forma, los efectos de la lluvia van a amplificarse o a reducirse y, según las actividades humanas, las consecuencias de un mal funcionamiento podrán ser mínimas o catastróficas. Entre los factores agravantes podemos reseñar:

- La topografía y la forma de la cuenca, que son datos fijos y que influyen sobre todo en la velocidad del caudal escorrentía y en el tiempo de respuesta;
- Las condiciones hidrográficas aguas abajo;

- El porcentaje de superficies impermeabilizadas que generan la escorrentía, así como la naturaleza y el contenido de agua de las superficies permeables, que condicionan su participación en la escorrentía;
- El modo de urbanizar y la distribución del espacio que pueden constituir obstáculos al movimiento del agua y agravar los impactos de las inundaciones

Tener en cuenta estos factores supone relacionar la planificación del sistema de saneamiento con la planificación urbana. Para reducir el riesgo no basta con dimensionar, a posteriori, obras capaces de evacuar una lluvia de un cierto periodo de retorno sabiendo, por otra parte, que siempre pueden producirse lluvias de mayor intensidad. **Para reducir el riesgo es necesario reducir la vulnerabilidad del emplazamiento.**

Los estudios de diagnóstico previos a cualquier futura urbanización ayudan a comprender su estado y a evaluar las capacidades suplementarias de sus equipamientos.

Deben realizarse simulaciones del comportamiento de las cuencas, modificadas por la urbanización proyectada, como respuesta a las fuertes lluvias. Es este estudio de comportamiento de las aguas de escorrentía lo que permite prever los distintos emplazamientos, ver las zonas menos vulnerables (parques, zonas de juegos...) para recibirlas o para limitar sus impactos. Esto supone de alguna manera “admitir periodos de retorno crecientes en insuficiencia, que vayan de aguas arriba a aguas abajo”, como preconiza la normativa francesa (Instrucción Técnica de 1977), y considerar que ciertos elementos de la planificación pueden ser puntos de vertido de ciertos equipamientos de saneamiento.

### 3.3.2.- La gestión del riesgo de la contaminación

El riesgo de contaminación producida por los vertidos urbanos en época de lluvia es muy complejo. Depende de varios factores:

- De la naturaleza del medio receptor y de su estado (biocenosis, usos del medio...);
- Del suceso pluviométrico (cantidad de agua, intensidades de lluvia, caudales...);
- De la producción y acumulación de contaminación en la cuenca vertiente;
- Del modo de transferencia de esta contaminación hacia el medio (red, obras, suelo...).

El conocimiento del fenómeno de la contaminación y el estudio de su impacto es muy reciente. Nos permite confirmar que las aguas de lluvia están cargadas de productos varios (limpieza de la atmósfera, de las superficies urbanas, de las redes) y que, concentradas y vertidas a los cauces sin tratamiento, producen el deterioro de la calidad del medio receptor.

Esta contaminación, que se mide por los sólidos en suspensión, es diferente de la que producen las aguas residuales domésticas, debido a:

- Al carácter **aleatorio** de los fenómenos pluviométricos (producción, transmisión e impacto) y por la importancia de los volúmenes de agua producidos en un periodo corto de tiempo;
- Los diferentes tipos de efectos sobre el medio. Estos pueden ser inmediatos (efectos de choque) o diferidos (normalmente *acumulativos*). También pueden manifestarse muy alejados del punto de vertido;
- Su naturaleza, por lo general contaminación poco orgánica.

Las acciones para reducir el riesgo de esta contaminación deben indicarse en las especificaciones redactadas al efecto. Pueden distinguirse niveles diferentes:

Las **Acciones curativas** para cuidar de lo existente:

- Decantar los efluentes después de la escorrentía y de su recogida (red con poca pendiente, balsas de decantación...);
- Actuar sobre el medio receptor para reducir su vulnerabilidad (oxigenación, mantenimiento del caudal de estiaje...)

Las **Acciones preventivas** actuando sobre las fuentes de contaminación:

- Reducir el viario impermeabilizado para evitar la escorrentía (revestimiento drenante, almacenamiento difuso en alguna de las técnicas alternativas...);
- Actuar sobre el medio “productor” reduciendo la acumulación de contaminación (frecuencia y técnicas de limpieza del viario, uso de gasolinas sin plomo, control de los contaminantes de origen industrial...).

### **3.4.- Algunas ideas sobre la estrategia de saneamiento asociado a técnicas alternativas**

Podemos hablar de que existen dos estrategias diferentes de saneamiento. La primera es el sistema doble, ya experimentado con buenos resultados en algunos países anglosajones (Australia, Canadá), y la segunda es la aplicación sucesiva (en cascada) de técnicas alternativas, realizada en ciertas zonas de Burdeos y en su región.

El sistema doble de saneamiento

Los elementos que componen este sistema no son técnicas alternativas propiamente dichas ya que se realiza con redes de saneamiento bajo los viarios. Sin embargo, se trata de una estrategia de saneamiento alternativa puesto que su principio integra la gestión del agua por la configuración de la planificación urbana e implica estudios complementarios de la urbanización y de sus equipamientos.

Consiste en considerar en primer lugar a las redes bajo los viarios como un “sistema menor” que puede funcionar sin problemas para las lluvias de un cierto periodo de retorno;

El viario está concebido con pendiente y trazado apropiado y se le considera como un “sistema mayor” susceptible de evacuar las puntas de caudal que sobrepasan la capacidad de las redes.

La altura de agua sobre el viario se controla a través de puntos de descarga que envían el agua hacia los puntos bajos poco vulnerables, o hacia los arroyos.

La adopción de éste sistema exige de la coordinación entre los proyectistas del sistema de evacuación de las aguas y los de la planificación urbana (viarios, parques....) así como estudios hidrológicos e hidráulicos elaborados y profundos.

Una sucesión de técnicas alternativas

Se trata de proyectar una “cascada” de técnicas alternativas cuyo periodo de retorno de incapacidad de la red aumente de aguas arriba a aguas abajo. Dos ejemplos pueden ilustrar este sistema:

El saneamiento de una zona residencial en Brujas (Comunidad Urbana de Burdeos-Gironde) que comprende:

Un sistema de cunetas de drenaje dimensionadas para la lluvia de periodo de retorno diez años;

Una cuneta limítrofe más amplia que sirve de elemento de seguridad de las primeras en el caso de lluvias más importantes

Un campo de fútbol, situado aguas abajo del conjunto, que recibe las puntas de aguas de escorrentía en caso de sucesos de lluvia de mayor intensidad.

El campo solamente se utiliza, de cuando en cuando, para la evacuación de las aguas pluviales.

El saneamiento de la ciudad tecnológica de Montesquieu, en la Breda, en la región de Burdeos, está concebido con los siguientes elementos:

Aparcamientos en el viario con estructura de almacenamiento capaces de drenar la lluvia de diez años;

Cunetas situadas al lado de los aparcamientos que pueden drenar las puntas de caudal debidas a las lluvias de un periodo de retorno de 30 a 40 años

Una balsa de retención para el agua de lluvia capaz de recibir el exceso de escorrentía producida por las lluvias excepcionales.

Este sistema va más lejos de la noción del periodo de retorno, la concepción del mismo integra la evolución espacial de la escorrentía en el caso de fuertes lluvias y prevé consiguientemente un planeamiento adoptado. Al limitar la escorrentía en cada etapa, este planeamiento reduce el lavado, evita que el agua de lluvia se cargue de contaminantes acumulados en las diferentes superficies y disminuye el impacto de los vertidos en el medio receptor.

### 3.5.- Concepción de las técnicas alternativas

El hecho que las técnicas alternativas sean superficiales y sirvan de soporte de varias funciones implica una concepción particular que pone cuestiona la práctica que se viene utilizando en el diseño de los sistemas de saneamiento. Exigen una nueva organización de los estudios y una ruptura con los sistemas tradicionales de competencias e incluso de las profesiones y de los oficios.

#### 3.5.1.- Incidencia en el proceso de estudio

Los estudios de las obras de saneamiento normalmente se realizan con posterioridad al plan general y a los planes de urbanización. Estas obras se han limitado durante mucho tiempo a una red de saneamiento bajo el viario fácilmente integrable en el proyecto.

Recurrir a obras de almacenamiento en general, y a las técnicas alternativas en particular, se da históricamente cuando el caudal admisible aguas abajo de la zona planificada sobrepasa la capacidad del punto de vertido. El estudio de estas obras continúa realizándose después de los

estudios de planificación y de urbanización. En este caso el proyectista de la red de saneamiento elige entre la gama de técnicas alternativas las que minimizan los impactos sobre la planificación (poco cuestionamiento del plan general, pequeño sobrecosto...).

Este proceso lineal se adapta probablemente al modo en que trabajan los gabinetes de estudios especializados, pero es contrario, sin embargo, a la naturaleza de las obras que tiene facultad para proyectar. En efecto, estos equipos sobrepasan a menudo las competencias de un especialista, pueden producir interferencias en un plan general preestablecido y presentan a menudo tanto particularidades como inconvenientes.

Que se hagan los estudios, con posterioridad a los planes urbanísticos, y por un único especialista de saneamiento pluvial, maximiza los inconvenientes y no saca a la luz las posibilidades potenciales.

Los mejores ejemplos de implantación de estas técnicas se producen cuando se ha tenido en cuenta el problema de las aguas de lluvia con anterioridad al proyecto de urbanización. Esto permite optimizar el proyecto, no tener que sufrir una obra de almacenamiento sino utilizarla para revalorizar el espacio o para otras funciones, previendo los inconvenientes más que el riesgo de producirlos. Entre estos inconvenientes, a considerar desde los inicios, se encuentran las que son relativas al lugar, al “saber hacer” y las de las funciones de los responsables en todas las etapas de la vida de la obra (la del estudio, de la ejecución de las obras, del mantenimiento y de la explotación).

Las ideas más logradas de obras de este tipo han sido redactadas por equipos pluridisciplinarios, ya que están enriquecidas desde diferentes puntos de vista (diferentes técnicos, urbanista y planificador). Cuando la formación de un grupo de trabajo es imposible, se necesita un diálogo entre los actores y una coordinación de las diferentes decisiones y de los diferentes estudios es imprescindible para evitar las incompatibilidades de las planificaciones urbanas, los conflictos y los sobrecostos.

Los métodos de ayuda para la elección de una técnica alternativa, desarrollado a continuación, constituyen una herramienta metodológica para finalizar un proyecto, escogiendo las técnicas adaptadas al lugar y al proyecto.

Una aproximación metodológica para una estrategia alternativa en saneamiento necesita de la aplicación de las reglas siguientes:

Considerar los problemas potenciales debidos a las aguas de lluvia con anterioridad al proceso de estudio del proyecto de urbanización (desde la elaboración del plan general).

Finalizar el proyecto:

- Definiendo los objetivos y no las soluciones a priori
- Asimilando las particularidades del lugar (físicas y humanas)

Organizar una concertación pluridisciplinar para proyectar las soluciones evaluándolas siguiendo varios criterios (la necesidad de una concertación técnica previa se impone igualmente en el plano administrativo (política de aguas) para evitar todo bloqueo en fin de curso

Integrar en la reflexión el ciclo de duración de las técnicas alternativas (desde la idea hasta el final de la explotación);

Pensar en reducir el riesgo reduciendo la vulnerabilidad de la cuenca vertiente (estudiar mediante simulación los escenarios de las catástrofes.

### **3.5.2.-Caso de una cuenca vertiente provista de varias obras de almacenamiento.**

Cuando un lugar está equipado de varias técnicas alternativas, es necesario el estudio y la gestión del conjunto.

En efecto cuando las técnicas se conciben de una manera independiente y aislada, la conjunción de los caudales de escorrentía puede originar caudales de punta importantes aguas abajo, en particular en las grandes cuencas vertientes. Estos caudales pueden llegar a ser mayores que los engendrados sin la puesta en funcionamiento de las técnicas alternativas.

Es pues necesario proceder a un estudio global a escala del conjunto de la cuenca vertiente afectada por las obras simulando su comportamiento frente a diferentes lluvias. Este estudio debe ser llevado al nivel del esquema de saneamiento.

Este estudio se complementará con la simulación de escenarios catastróficos evocados anteriormente y que permite prever zonas de descarga de un acontecimiento lluvioso más violento.

La legislación en materia de urbanismo algunas veces perjudica. Al imponer los caudales de escorrentía en los pliegos, el problema no queda regulado, pudiendo llegar incluso a agravarse como se aprecia en la figura adjunta. Es preciso intentar tener una visión global de la cuenca vertiente y no dudar en hacer estudios de diagnóstico antes de que el Plan General quede definido.

### **3.6.- Acciones de información y sensibilización**

Cuando se implantan técnicas alternativas, que reemplazan o sustituyen a las redes de saneamiento convencionales, se necesita utilizar el esfuerzo de una “red de información y de sensibilización” que tenga en cuenta a los actores e intervinientes en la planificación, a las administraciones, a los responsables de la toma de decisiones, a los estudiosos teóricos, a los constructores, a los gestores de la explotación y a los usuarios, con el fin de conseguir el éxito.

Es indispensable que la información circule y asegurar la **permanencia de la misma en todos los niveles**. Basta que un interviniente lo ignore, o que no lo utilice, para que se ponga en duda su eficacia y para que se provoquen desórdenes en el sistema de saneamiento.

#### A los que tienen que tomar decisiones

La práctica de las técnicas alternativas es relativamente reciente y las obras que tratan de ellas son muy diversas. Su selección y su ejecución, teniendo en cuenta sus potencialidades y sus limitaciones, es una fase primordial que condiciona la vida útil de la obra. Para conseguirlo se debe proporcionar una información tanto a los que tienen que tomar decisiones como a los jefes de obra, públicos o privados, explicándoles los principios y las ventajas de estas técnicas y su responsabilidad en relación con las mismas.

#### A los expertos

Estas técnicas, demandan en su concepción el aporte de diversas disciplinas técnicas (hidrología, hidrogeología, hidráulica, materiales, viario público, suelo, ecología, ...). Implican a menudo el cambio de la concepción habitual de las obras y considerar su evolución con todas sus particularidades (usos a asegurar, modos de mantenimiento). Una información a los proyectistas sobre estas técnicas, con experiencias y casos reales, permite capitalizar el conocimiento, romper el miedo a lo desconocido y evitar errores que otros ya han corregido.

#### A las empresas de construcción

Los empresarios y sobre todo los jefes de obra deben estar bien informados de las especificaciones técnicas a las que se refiere su obra. El respeto al proyecto (planos y memoria) exigidos por el director de obra puede que sea insuficiente cuando el control de la obra escapa a los que la realizan. En efecto durante los trabajos y frente a los imprevistos, se necesita tomar decisiones dictadas principalmente por su buen hacer. Hay que tener en cuenta que el “*bien hacer*” de las técnicas alternativas no es siempre el mismo que el de las obras normales. En el seno de la empresa la información viaria, incluso la formación relativa a estos equipamientos, debería ser previa a la fase de construcción.

#### A los gestores

Los gestores están también obligados a difundir la información. La realización de una sola obra que asegure tanto el saneamiento pluvial como otras funciones, optimiza los equipamientos. Exige sin embargo una explotación y una gestión coordinadas.

Por ejemplo la explotación de un vial con estructura de almacenamiento debe conseguir mantener las dos funciones: la circulación (capacidad mecánica de la calzada, estado de la capa de rodadura) y el almacenamiento de las aguas de lluvia (permeabilidad y porosidad de los materiales que la constituyen).

#### A los usuarios

Una técnica alternativa necesita que los usuarios sean avisados de su presencia (cuando no se reconoce a simple vista), de sus funciones de almacenamiento, de tratamiento eventual y de evacuación de las aguas pluviales y de su modo de funcionamiento. Esta información permite eliminar o reducir modos de uso distintos, limitar los vertidos tóxicos por ignorancia y de hacer aceptable el comportamiento de la obra en relación con ciertos sucesos pluviométricos.

Debe ser transmitido imperativamente a los nuevos profesionales a fin de poder mantener las acciones cuando cambian los usuarios.

Los ejemplos de funcionamiento no adecuado debidos al desconocimiento de la función hidráulica de estas obras son muy abundantes. Como ejemplos:

Un pozo de drenaje situado aguas abajo de una pequeña red que recibía las aguas pluviales con los efluentes contaminados vertidos en los sumideros (cambio de aceite de vehículos, ...)

Una parte de un aparcamiento constituido por una calzada con estructura de almacenamiento con revestimiento drenante, que puede colmatarse con finos, ya que se utiliza para almacenar materiales de construcción.

Una cuneta que recibe las aguas de lluvia de la cubierta y del jardín, en el nivel de la parcela, se ha modificado (introduciendo muros que se oponen al recorrido de las aguas y el canalón que lo alimentaba ha sido unida al viario, a consecuencia de unas fuertes lluvias.

Las acciones que conviene llevar a cabo para sensibilizar e informar a los usuarios sobre las características de estas obras, y su relación con el medio ambiente, son muy diversas. Se apoyan en técnicas de comunicación para con los usuarios, sus intereses y sus puntos de vista. Aunque no

existen soluciones óptimas, citamos algunas que han sido adoptados en ciertos lugares de Francia y en otros países.

Construcción de una casa (o de una parcela) tipo, que posea técnicas alternativas de saneamiento, un año antes de la construcción de otros lotes para mostrar el aspecto del conjunto una vez que la vegetación se haya desarrollado suficientemente (Chevry II en Gif sur Yvette en Lessonne).

Elaboración y distribución a los habitantes de folletos informativos que describan el sistema de saneamiento, sus funciones y sus peculiaridades (Courghain en Dunkerque, en el Paso de Calais y en Japón);

Utilización de los medios de comunicación locales (gacetas, periódicos, radio o televisión) para hablar de estas técnicas y explicarlas (Japón);

Instalación de paneles de información o con uso pedagógico en el lugar de las zonas ubicadas para recordar la presencia de estas obras, sus particularidades y su funcionamiento (presencia previsible de agua en la superficie, transferencia de las aguas de escorrentía hacia el suelo, comportamiento en el caso de fuertes lluvias...) (Japón).

Estas acciones de información y educación deben estar acompañadas de medidas que ayuden a los usuarios a modificar parte de sus costumbres. Algunas de estas, que ya se utilizan en ciertas zonas son:

La recuperación de los aceites usados vertidos, a menudo por ignorancia, en las redes de saneamiento a través de los imbornales o sumideros. Esto es particularmente útil cuando las técnicas de saneamiento son infiltrantes o cuando se trata de almacenamiento de agua en superficie. Las plantas especiales de tratamiento de residuos, cada vez más abundantes en las ciudades francesas, dan respuesta perfectamente a esta necesidad;

La construcción de áreas específicas de lavado de vehículos para la lucha contra la contaminación debida a los hidrocarburos y a los detergentes (Courghain en Dunkerque).

### **3.7.- Método para la elección de las técnicas alternativas**

¿Cómo aproximarse al problema de la elección de las técnicas?

Las técnicas alternativas pueden ser consideradas formando parte del sistema urbano. Tienen estructura compleja (diversidad de técnicas y de formas) en base a elementos en interacción

(sistema unido al urbanismo y a las técnicas) que funcionan y evolucionan en un medio ambiente dado, conforme a los fines que se pretenden.

La técnica tiene interdependencia con el medio ambiente (es decir las características del lugar) y con los usos u objetivos que promueven los responsables de la planificación.

Cualquier uso, cualquier desarrollo urbano, cualquier elemento de planificación, cualquier emplazamiento, suponen limitaciones y oportunidades que es bueno identificar desde el inicio del proyecto. Sin embargo, desde este punto de vista, la combinación de posibles soluciones es difícil de coordinar.

Para ayudar a los proyectistas, bien sean planificadores o técnicos, en Francia se han desarrollado una serie de tablas que permitan identificar los siguientes aspectos:

- La aptitud de un lugar para recibir un tipo de técnica;
- Los usos, funciones técnicas suplementarias o potenciales, que pueden ofrecer las diversas técnicas;

La buena adaptación de las técnicas para ciertos tipos de urbanismo (por ejemplo un barrio urbano de gran densidad, una zona de actividades industriales...) o para planificaciones particulares (por ejemplo carreteras, rotondas, plazas...).

Las tablas, o más bien su utilización conjunta, permiten elegir en un primer momento las técnicas que mejor se adaptan a un proyecto determinado. Sin embargo, no deben considerarse como verdades absolutas, sino más bien como probabilísticas, es decir realizadas con razonamientos verdaderos en la mayoría de los casos.

Es importante verificar, en relación con la fiabilidad del proyecto, lo que se expone en este tema para las técnicas alternativas en saneamiento de aguas de lluvia, con lo que se dice en otras obras, que desarrollan las balsas de retención y las tuberías de almacenamiento de caudal de lluvia, [STU, Agencias del Agua, 1994] [Marchand A, Badot R. y otros 1993].

Modo de empleo de las tablas que permiten la elección de las técnicas alternativas.

A propósito de las técnicas de retención

Para la elaboración de las tablas, se han dividido estas técnicas en dos grupos:

- las basadas en la infiltración o que presentan una fuerte relación con el subsuelo

- las obras estancas o de retención.

Cuando la redacción no esté clara se debe ir a la terminología que se utiliza en las diferentes normativas europeas sobre estas materias.

Hay otras técnicas, como las de las balsas de almacenamiento (balsas con agua, balsas secas, tuberías de almacenamiento, balsa enterrada) pues forman parte del conjunto de técnicas posibles de considerar para realizar un saneamiento alternativo y que no se detallan en este tema. Se puede consultar la guía técnica de balsas de retención de aguas de lluvia [STU, Agencias del Agua, 1994].

Para las condiciones del lugar

Estas condiciones son las que determinan o no la fiabilidad de una o de un conjunto de técnicas.

Por ejemplo la técnica de la cubierta de edificios con capacidad de almacenamiento puede ser realizable a la vista de las limitaciones que se hayan evaluado. Puede ser interesante estudiar la evacuación de las aguas almacenadas en la cubierta, asociando a otra técnica como puede ser la de los pozos de infiltración.

Las condiciones que hay que tener en cuenta para estudiar la fiabilidad de las técnicas son las siguientes:

**Suelo poco adecuado a la presencia de agua:** Ciertos terrenos, superficiales o no, tienen comportamientos mecánicos y en relación con la contaminación, que prohíben la infiltración o al menos la limitan.

El riesgo de contaminación es importante en el caso por ejemplo de rocas fisuradas. Las aguas de escorrentía que circulan a través de las grietas y van directamente al freático sin filtración.

El riesgo de disolución de los suelos es importante en los suelos con yesos y se prohíbe toda infiltración (problemas de estabilidad de las futuras obras que pueden llegar incluso a la ruina en el caso de hundimientos).

El fenómeno de expansión retardada puede arrastrar, en ciertos suelos, desordenes mecánicos sobre las estructuras próximas. Este fenómeno no es a la fuerza perjudicial ya que puede favorecer la estabilidad de las obras. Se deberá estudiar el suelo en cada caso.

La naturaleza del suelo y su comportamiento en relación con la presencia de agua, deberá identificarlo y evaluarlo un experto en la especialidad: geólogo o hidrogeólogo.

**Aguas subterráneas vulnerables:** Se trata de ver si la zona de la ubicación del proyecto se encuentra en una zona en donde la infiltración esté reglamentada. En el caso por ejemplo, del perímetro de protección de una zona de captación de agua potable o, teniendo en cuenta los riesgos de contaminación del freático, la ley, y en particular las medidas locales de protección, pueden impedir la infiltración.

**Mala capacidad de absorción:** La capacidad de absorción es la aptitud del suelo para la infiltración del agua. En este nivel del estudio, se puede explotar la permeabilidad de los suelos, si las medidas en el lugar se han realizado en estudios anteriores. Si no se puede pedir el informe de un hidrogeólogo que podrá dar una idea de la permeabilidad. Cuando sea inferior a  $10^{-7}$  m/s se considera mala y no permite la infiltración.

**Riesgo de que las aguas estén cargadas de contaminación:** Se trata de conocer la naturaleza de las aguas recogidas. Si son las que se recogen en las cubiertas de los edificios, estarán poco cargadas de contaminación. Si las superficies por las que escurre son superficies industriales, áreas de almacenamiento de productos tóxicos (gasolineras, lavado de vehículos, superficies agrícolas...), existe el riesgo de contaminación crónica o accidental.

**Riesgo de aguas contaminadas con elementos sedimentables finos:** Las aguas cargadas en finos (tierra vegetal, residuos de erosión, ...) son los enemigos más peligrosos de las superficies drenantes y son perjudiciales para las obras de infiltración a menos que se hayan previsto dispositivos de decantación aguas arriba de las estructuras, lo que no siempre es posible. En cualquier caso, hay que identificar desde los primeros pasos la naturaleza de las aguas que serán drenadas por escorrentía. La presencia de suelos con poca o nula vegetación, con taludes de fuertes pendientes, la proximidad de obras, indican la probabilidad de aporte de finos que debe tenerse en cuenta, ya que existe entonces riesgo de colmatación y de inundación de estas zonas.

**Nivel freático poco profundo:** El nivel de aguas altas del nivel freático es un parámetro importante por tres razones: un nivel poco profundo puede reducir los volúmenes de almacenamiento, existe el riesgo de que sea fácilmente contaminado de forma crónica o accidental (sin contaminación por infiltración del suelo) y puede dañar las obras estancadas por subpresión. Un nivel freático se considera poco profundo cuando las aguas más altas se encuentran a 1 metro del fondo de la futura estructura.

**No hay aporte permanente de agua:** Para ciertas soluciones (balsas de almacenamiento) es necesario mantener un nivel mínimo de agua en la estructura incluso si éste está sometido a fluctuaciones y se necesita por ello un aporte externo de agua (arroyo, nivel freático, ...).

**No es posible que haya un aliviadero permanente:** Ocurre que excepto en el caso de infiltración en el lugar de emplazamiento, no hay ni habrá posibilidad de evacuar las aguas de la obra (no hay saneamiento disponible, ni posibilidad de vertido a un cauce natural, ...).

**Tráfico Importante/ Mala capacidad portante:** Estos dos parámetros tienen relación con su aplicación en las calzadas con depósito de almacenamiento. El tráfico (Intensidad de circulación) se considera como fuerte cuando está clasificado como T2. La capacidad portante (aptitud del suelo para recibir una subbase) se considera mala cuando es igual o inferior a P1

**Pendiente alta del lugar de emplazamiento:** La pendiente del lugar de emplazamiento condiciona las capacidades de retención de las obras. La pendiente media general de una zona no es determinante. Se trata de identificar las pendientes en los posibles lugares del emplazamiento de las futuras obras.

**No disponibilidad de terrenos:** Ciertas soluciones necesitan mucho espacio, por lo que es necesario que se tenga en cuenta las disponibilidades territoriales y tener en cuenta los costes engendrados por la necesidad de reserva o de la especialización de estas superficies.

**Pendiente de las cubiertas alta:** La pendiente de las cubiertas de los edificios es un parámetro importante cuando se desea realizar un almacenamiento en la propia cubierta. Se considera que una pendiente superior al 5% no es muy adecuada para el almacenamiento.

**Clima montañoso:** La altitud tiene un papel fundamental para las cubiertas con terraza que no pueden proyectarse en zonas de clima de montaña. La altitud máxima que fija la normativa francesa es de 900 metros.

El clima montañoso puede tener igualmente influencia sobre la frecuencia y la duración de los periodos de nieve y de helada e imponer limitaciones en cuanto a la utilización de técnicas alternativas.

**Cruzamiento con otras redes:** Un subsuelo obstaculizado por redes diversas puede perfectamente añadir limitaciones a la puesta en funcionamiento de ciertas técnicas alternativas. Sin embargo, si esto se ha tenido en cuenta desde el comienzo del proyecto, no constituye un factor limitativo.

### **3.8.- Las técnicas alternativas y la legislación**

Dado que no existe legislación española sobre la materia, vamos a tener en cuenta lo que marca la legislación francesa, que se encuentra bastante dispersa. Afecta al código civil que da pautas sobre las aguas de escorrentía, al código penal, al de salud pública y a la ley de ordenamiento urbano.

En esta normativa se precisan las competencias y las responsabilidades de la comunidad frente a los problemas de protección contra las inundaciones y de protección de la higiene pública. Afecta también a la legislación agraria y a la ley que protege los medios receptores (ríos, mares, niveles freáticos,...), en España la ley de aguas de 1985.

Las herramientas jurídicas están actualmente en plena evolución. En efecto la ley francesa del agua, del 3 de enero 1992, es relativamente reciente. El espíritu de la misma está desarrollado pero no han aparecido todavía todas las disposiciones complementarias (decretos de aplicación, resoluciones, ...).

### **3.8.1.- Las aguas de escorrentía en la legislación francesa**

El Código Civil francés, en algún artículo, legisla en materias relacionadas con la escorrentía de las aguas de lluvia:

Las parcelas situadas aguas abajo están obligadas, en relación con los que están por encima, a recibir las aguas que corren de forma natural sin actuación humana. El propietario de los terrenos aguas abajo no puede levantar diques que impidan esta escorrentía. El de los terrenos aguas arriba no puede realizar obras que agraven la servidumbre de los terrenos inferiores.

El propietario tiene el derecho a disponer y usar las aguas pluviales que caen en su terreno. Si el uso de esta agua, o la dirección que se les da, agrava la servidumbre natural de escorrentía tal como se menciona en el artículo anterior, el propietario del terreno aguas abajo tendrá derecho a una indemnización.

El propietario debe establecer las cubiertas de sus edificios de forma que las aguas de lluvia se dirijan a su terreno o a la vía pública. No puede verterlas en terrenos de propietarios limítrofes.

En relación con esta reglamentación se pueden hacer los siguientes comentarios:

Las antiguas servidumbres son de muy difícil aplicación y dan lugar a una importante cantidad de jurisprudencia. La principal dificultad reside en la apreciación del carácter natural o no de la escorrentía]. Se nota en la jurisprudencia que el aumento del caudal no constituye obligatoriamente una agravante. Según el Código Civil, querer limitar los caudales y los volúmenes de escorrentía no puede fundamentarse más que en la agravante de la escorrentía natural [Valiron F., Tabuchi J.P., 1992]. El principio de infiltración y de almacenamiento temporal, que tiende a oponerse a los efectos de urbanización devolviendo a las superficies su funcionamiento natural, está plenamente justificado.

Se autoriza que las aguas de escorrentía de un terreno que limite con el viario público viertan hacia él. Esta posibilidad se reduce cuando el vertido de las aguas pueda tener consecuencias degradantes para la vía pública, o haga la circulación difícil o peligrosa. La reglamentación autoriza al gestor del viario (estado, provincia, ayuntamiento) a controlar las obras de vertido y a imponer prescripciones que permitan garantizar la conservación del dominio público y la comodidad y seguridad de la circulación.

### **3.8.2.- El uso de las técnicas alternativas en la legislación francesa**

La nueva ley francesa del agua (3 de enero de 1992) marca un giro en la manera de enfrentarse al problema del agua. Se fundamenta en la necesidad de una gestión global, equilibrada y solidaria del agua obtenida de las fuentes y la interdependencia de las diferentes necesidades o usos y que deben conciliar simultáneamente las exigencias económicas y ecológicas.

Tiene como consecuencia la creación de las herramientas de planificación y de gestión de los elementos de producción (fuentes de agua).

Las herramientas francesas de planificación, aunque no son equivalentes si estarían en relación con las que utilizamos en este país, los planes de cuenca y a los planes de río son: el Esquema Director de la Planificación y de Gestión de las Aguas (SDAGE), que fija las orientaciones fundamentales de la gestión equilibrada y define los objetivos de cantidad y calidad de las aguas en cada unidad hidrográfica de superficie o sistema hidrológico y los Esquema de Planificación y de Gestión de las Aguas (SAGE), que define los objetivos de utilización, de valor y de protección de la fuente.

La ley del agua francesa pretende igualmente reforzar el papel de las comunidades territoriales que adquieren nuevas obligaciones en materia de saneamiento.

Aborda muy claramente, la necesidad de controlar tanto cualitativa como cuantitativamente los vertidos de aguas pluviales. En uno de los artículos del nuevo código penal se indica que los ayuntamientos o las agrupaciones de estos, mediante encuesta publica, deben determinar:

- Las zonas de saneamiento colectivo;
- Las zonas que deben carecer de saneamiento colectivo (saneamiento individual);

Las zonas en las que se deben adoptar medidas para limitar la impermeabilización de los suelos y para controlar el caudal circulante de aguas pluviales y de escorrentía.

Las zonas en las que es necesario prever instalaciones que aseguren la recogida, el almacenamiento eventual y, cuando sea necesario, el tratamiento de agua pluviales y de escorrentía, cuando la contaminación que aportan en el medio acuático corre el riesgo de dañar gravemente la eficacia de los dispositivos de saneamiento.

Esta legislación indica que pueden ser consideradas zonas con saneamiento no colectivo, partes del territorio de un municipio en los que la instalación de una red de saneamiento recogida no se justifica, bien porque no presenta interés para el medio ambiente o bien porque su coste sea excesivo. Notemos que si una red de recogida de agua residual tiene un coste muy elevado en una zona, será todavía mucho más costoso el establecimiento de una red para las aguas pluviales que necesitan de secciones y de obras mucho más importantes.

En otros artículos de la ley se estipula que en las zonas en las que tiene que existir el saneamiento colectivo, hay obligación de recogida y tratamiento de las aguas residuales en plazos diferentes siguiendo las cargas brutas de contaminación orgánica producidas por los ayuntamientos y las limitaciones de áreas sensibles del medio receptor. Teniendo en cuenta los costes engendrados por esta obligación, la reducción de los caudales de aguas de lluvia en las redes unitarias, puede ser beneficiosa y permitir la utilización de las técnicas alternativas.

Se deben por ello definir las prescripciones técnicas mínimas, en relación con la política de aguas, que permitan garantizar sin coste excesivo, la eficacia de la recogida, el transporte y las medidas que limiten las puntas de contaminación como consecuencia de las precipitaciones.

En otros apartados de la ley francesa sobre el agua (artículo 35) se trata directamente sobre las aguas de lluvia, se incita a un mejor cuidado de estas y sobretodo se limita la impermeabilización de las zonas a urbanizar, lo cual va en la línea de empleo de las técnicas que disminuyen los caudales, volúmenes y cargas contaminantes.

Otro decreto de 1993 desarrolla el artículo 10 de la ley sobre **los procedimientos de declaración y de autorización**. Se exige una autorización para la creación de una zona impermeabilizada superior a 5 ha de una sola propiedad, excluyendo los viales públicos para circulación. La ley reconoce implícitamente que la impermeabilización, a consecuencia de la urbanización, produce daños a los medios receptores. Se indica igualmente de manera explícita que la recogida por una red unitaria no es el único medio para actuar y que el almacenamiento puede ser también una solución a tener en cuenta. Aunque los límites que necesitan autorización o declaración sean bastante amplios, esta ley centra la atención sobre los posibles vertidos nocivos de las balsas de tormenta que, a menudo, son consecuencias de que las redes existentes de saneamiento sean unitarias.

La incorporación de aguas de lluvia en el subsuelo está igualmente reglamentada, no ya únicamente con relación a la naturaleza de las aguas de escorrentía como era el caso en la ley de 1964, sino en relación con la superficie total servida.

Los ayuntamientos ven reafirmado su papel en materia de control de las instalaciones. El artículo 31 (relativo a las obras de interés general o de urgencia) y el artículo 35 indican que los ayuntamientos tienen obligatoriamente a su cargo los gastos de control de los sistemas de saneamiento y pueden tener a su cargo el mantenimiento. No se explicita que estas disposiciones sean aplicables al saneamiento de las aguas de lluvia. En este último, nada prohíbe a un municipio que haya preconizado un saneamiento alternativo, cuyo vertido sea una red pública, haga un control escrupuloso de los dispositivos técnicos previa a la recepción de estos (conformidad de acometida) en aplicación del artículo 36 de la ley. Puede proponerse igualmente a los usuarios un contrato de mantenimiento. La ley no prevé nada en el caso en que las obras instaladas sean de infiltración no necesitando en este caso ni declaración ni autorización.

### 3.8.3.- Disposiciones reglamentarias en término de vertidos en el subsuelo

El decreto del 29 de marzo de 1993 que aplica la ley de agua francesa, estipula que todo vertido de aguas pluviales en aguas superficiales o en una balsa de infiltración, cuando la superficie total a la que da servicio sea:

- Superior a 1 ha e inferior a 20 ha deberá ser objeto de una **declaración**
- Superior o igual a 20 ha deberá ser objeto de una **autorización**

Estas prescripciones no son aplicables, en general, para las obras de infiltración de aguas de lluvia.

Las declaraciones y autorizaciones en Francia serán expedidas por el servicio departamental encargado de la política de las aguas (en el caso español serían las Confederaciones Hidrográficas). La documentación a presentar debe dar datos sobre el emplazamiento, la naturaleza, la consistencia, los volúmenes, los trabajos engendrados por la obra. Deben también dar información sobre las incidencias cuantitativas y cualitativas de la obra sobre la fuente de agua, el medio acuático y el recorrido de las aguas de escorrentía, los medios de vigilancia y de intervención en caso de incidentes o de accidentes.

Se precisa en otra parte que las instalaciones que necesitan la autorización o declaración [...] deben estar provistas de sistemas de control adecuados. Los explotadores o propietarios tienen a su cargo la puesta en funcionamiento de estos aparatos y deben conservar durante 3 años los datos. Las

instalaciones existentes deben adaptarse a estas disposiciones durante un periodo transitorio de 5 años.

Un problema que se plantea es el de los múltiples vertidos de pequeñas zonas yuxtapuestas, cuya superficie no sobrepasa el límite de 1 ha, pero cuya superficie total puede sobrepasar 1 ha e incluso llegar a 20 ha. La ley no da en la actualidad ninguna pauta para solventar este problema.

Finalmente digamos que las medidas para proteger los niveles freáticos, redactadas por las administraciones locales y de aplicación por los servicios técnicos en materia de sanidad y social, que estén unidas directamente o no al perímetro de protección de los acuíferos de suministro de agua potable, pueden prohibir la infiltración o requerir a la autorización de prescripciones particulares.

### 3.9.- Las calzadas con depósito de almacenamiento: definiciones y principios de funcionamiento

En el saneamiento de aguas de lluvia puede haber calzadas especiales con estructuras de almacenamiento que tienen el fin de amortiguar los caudales punta de escorrentía almacenando de forma temporal las aguas de lluvia en la estructura de la calzada. Pueden considerarse como estanques de retención enterrados, cuya función retarda la es retardar la escorrentía del agua.

Las calzadas con estructura de almacenamiento pueden disminuir igualmente los volúmenes que trasiegan las redes por infiltración en el subsuelo.



Figura 21. Parque de Gomeznarro en Madrid.



Figura 22. Dren filtrante. Actuación de nivelación de cuneta en Alzira.

En el caso de que se utilice un revestimiento drenante, sus superficies pueden asimilarse a terrenos naturales permeables, permitiendo de este modo una aproximación al ciclo natural del agua.

Su funcionamiento hidráulico está asegurado por:

**La inyección** inmediata del agua de lluvia en la calzada:

La entrada de agua de lluvia en la calzada puede repartirse (caso de una capa de superficie permeable como los revestimientos drenantes o los pavimentos porosos) o localizado (caso de una capa de superficie estanca con sumideros distribuidos en forma de red o imbornales unidos a los drenes que aseguren la repartición del agua en el material).

**El almacenamiento** temporal de agua

El almacenamiento se hace en el interior de la estructura de calzada, entre los huecos de los materiales.

**La evacuación** lenta del agua:

La evacuación del agua almacenada puede hacerse de forma repartida (infiltración directa en el terreno), localizada (derivación del agua almacenada hacia la red de saneamiento, un pozo incluso un curso de agua, con la ayuda de los drenes) o combinada.

Es necesario hacer una distinción entre:

- **Una calzada porosa** constituida por un revestimiento drenante con un cuerpo impermeable. Esta calzada no produce un impacto mayor en el funcionamiento hidráulico (no hay almacenamiento, no hay amortiguamiento). Esta calzada tiene como finalidad mejorar la seguridad viaria, el confort de la conducción y reducir los niveles sonoros.
- **Una calzada con estructura de almacenamiento** que puede poseer o no un revestimiento drenante, pero que tiene siempre un cuerpo poroso que permite el almacenamiento de agua. Estas son las verdaderas obras de saneamiento de aguas de lluvia que vamos a tratar a continuación.

Ventajas e inconvenientes en relación con una calzada clásica.

Además de las funciones hidráulica y mecánica que debe asegurar una calzada con estructura de almacenamiento, la utilización de recubrimientos drenantes permite mejorar el medio ambiente sonoro, la seguridad y el confort.

Sin embargo algunos temores como el hielo, el coste, la colmatación, se esgrimen para no aceptar esta solución.

La tabla 9.1 recopila las diferentes ventajas e inconvenientes de las calzadas con estructura de almacenamiento. Algunas, que atañen a la adherencia u el ruido, son propias de las calzadas que poseen recubrimientos drenantes en la superficie.

TABLA 9-1

TIPOS DE USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Todos los usos en conjunto	<p><b>Amortiguamiento de los caudales y disminución del riesgo de inundación</b> (limitación de las redes de saneamiento aguas abajo de las CEA o en el nivel de la calzada)</p> <p><b>Ahorros de costes</b> (para las zonas aguas abajo y para la estructura en sí misma en ciertas condiciones (**)).</p> <p>No hay necesidad de estructuras de cimentación suplementarias</p> <p>Filtración de la contaminación</p> <p>Alimentación del nivel freático.</p>	<p>Posibilidad de Colmatación</p> <p>Mantenimiento Regular Específico.</p> <p>Estructura que debe tener en cuenta las condiciones del subsuelo.</p> <p>Sensibilidad al hielo.</p> <p>Coste algunas veces más alto.</p> <p>Riesgo de contaminación del nivel freático.</p>
Viario	<p>Amortiguamiento de los ruidos del tráfico (*). (Para velocidades superiores a 50 km./h).</p> <p>Mejor adherencia (*).</p> <p>Reducción del riesgo de planeo por agua y de las proyecciones de agua a otros vehículos.</p> <p>Mejor visión de las marcas del viario *</p> <p>Menor riesgo de placas de hielo.</p> <p>Conducción más confortable en periodos de lluvia.</p>	<p>Colmatación más pronunciada en las hileras con “menos circulación”.</p> <p>No debe utilizarse en zonas giratorias.</p> <p>No hay experiencias en calzadas con un importante tráfico.</p>
Aparcamientos	<p>Confort de los usuarios de aparcamientos en periodos de lluvia (*). (No hay charcos ni</p>	<p>Colmatación más pronunciada para zonas de maniobra o zonas</p>

TIPOS DE USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
	proyecciones de agua al paso de los vehículos).	de giro.
Zona Peatonal:	Eliminación de zonas encharcadas *.	
Plaza	Suavidad de los revestimientos *.	
Camino Peatonal	(Confort de la marcha: Criterio subjetivo pero ya tenido en cuenta por los arquitectos).	
Acera		

(\*) Característica propia de los recubrimientos drenantes

(\*\*) Característica propia de la infiltración en una zona.

CEA: Calzadas con Estructura de Almacenamiento.

Introducción histórica a las calzadas con estructura de almacenamiento.

Tradicionalmente los ingenieros han intentado que las calzadas fueran lo más impermeables posibles con el fin de evitar:

La degradación rápida de la estructura de la calzada debido a la presión del agua en las fisuras o en otro tipo de huecos.

El debilitamiento de las propiedades mecánicas del suelo soporte debido a la saturación en agua y a los ciclos de hielo y deshielo en periodo invernal.

Entre 1945 y 1950 los experimentos en calzadas con estructuras porosas han conocido fracasos que han desanimado a los ingenieros especialistas. Estos fracasos se han debido principalmente a la calidad de los materiales bituminosos de la época (heterogéneos y difícilmente manejables) que no podían compensar la debilidad de las uniones de la estructura más suelta con los gránulos. Estas formulaciones estaban caracterizadas por curvas granulométricas continuas granulares o semigranulares, que favorecían la reagrupación de los gránulos. [Pipien G., Christory J.P. y otros, 1992].

Desde hace una decena de años muchos países entre los que se encuentra Francia, se han interesado de nuevo por este tipo de calzadas.

### En Francia

En Francia, a finales de los años 1970 dos grandes corrientes han puesto en entredicho la utilización sistemática de las calzadas tradicionales utilizando recubrimientos estancos

Por una parte las sociedades de autopistas han comenzado a tener interés en los revestimientos porosos para mejorar la seguridad y el confort de la conducción en tiempo de lluvia

Las primeras realizaciones de revestimientos drenantes se remontan al comienzo de los años 60. Pero es a partir de 1977 que esta técnica ha sido objeto de experimentaciones sistemáticas. Después de constatar de las numerosas ventajas de este tipo de pavimento (seguridad en tiempo de lluvia, comportamiento general, reducción de los niveles sonoros, ...), la técnica de los pavimentos drenantes ha tenido un crecimiento importante desde el punto de vista industrial a partir de 1987.

Por otra parte, el rápido desarrollo de las aglomeraciones que ha ocurrido después de la guerra ha estado acompañado de un aumento de las superficies impermeabilizadas que ha llevado al colapso de la capacidad de la red de saneamiento, con riesgo de inundaciones y de contaminación del medio natural. La solución clásica ha consistido en construir redes de saneamiento de mayores diámetros.

Para intentar disminuir el riesgo hidrológico y el impacto sobre el medio natural, a costos razonables, el Ministerio de Obras Publicas francés ha decidido lanzar un programa de investigación para búsqueda de soluciones nuevas [Deustch J.C., Caniard L. y otros 1978]. Las calzadas con estructura de almacenamiento, gracias a su facilidad de integración en las ciudades, aparecen como una de las soluciones más interesantes.

Desde 1978 una primera experimentación se ha realizado en el parque de estacionamiento del laboratorio regional de Puentes y Calzadas de Burdeos. En Francia esta técnica ha sido, durante mucho tiempo, objeto de experimentación hasta que la comunidad urbana de Burdeos ha iniciado una política voluntarista de desarrollo de tecnologías alternativas a partir de 1985.

Hoy en día numerosas ciudades francesas como Aulnay, Bayonne, Baugé, Bègles, Burdeos, Chemillé, Lille, Lyon, Montreuil, París, Poitiers, Rezé, San Juan de Luz, Verneuil-Sur-Seine, y probablemente otras, utilizan esta técnica [Meuret B. Alfakih E. y otros 1992]

### En otros países

La técnica de calzadas con estructura de almacenamiento se ha desarrollado también en otros países a partir de 1970 para disminuir los volúmenes de aguas de escorrentía, que engendraban inundaciones importantes. Particularmente se utiliza en Estados Unidos, Japón y Suecia.

En Estados Unidos numerosos estados han promulgado leyes que redefinen los objetivos y los métodos de saneamiento e imponen el almacenamiento temporal de la mayor cantidad posible de las aguas de escorrentía. [Field R., Masters H. y otros 1982]. En ciertos casos el agua almacenada es bombeada para diversas necesidades (irrigación, ...). En Estados Unidos las calzadas con estructura de almacenamiento son utilizadas en el proyecto de aparcamientos, de viarios urbanos, calles de urbanizaciones.

En Japón las calzadas con estructura de almacenamiento se integran en programas que incluyen las técnicas de infiltración (ESS = Sistemas de Saneamiento Experimentales). Estas técnicas se utilizan en los espacios disponibles, como los campos de deporte de las universidades, los patios de las escuelas, que pueden quedar inundados en los centros urbanos de zonas densamente pobladas, como en (Tokio, Osaka, Nagoya,).

En Suecia, la utilización de calzadas con estructura de almacenamiento (Superestructura Unitaria) ha sido potenciada ya que aportaba soluciones a otros problemas importantes:

Los asentamientos en los suelos arcillosos y limosos. Estos asentamientos están causados por la disminución en el contenido de agua del suelo y por el descenso en el nivel freático [Holmstrand O., 1990]

Los daños causados por el hielo En el norte de Suecia, las carreteras y las canalizaciones de aguas pluviales situadas en superficie sufren daños importantes cuya reparación representa importantes gastos [Stenmark C., 1990]

### **3.9.1.- Características y fenómenos**

El Coste

Es difícil afirmar si una calzada con estructura de almacenamiento cuesta más o menos que una calzada estanca clásica. En efecto estas técnicas son recientes y es necesario tener en cuenta en el estudio económico numerosas limitaciones propias del medio ambiente que no se toman en cuenta en un estudio clásico (naturaleza del suelo, naturaleza de los vertidos de las aguas de lluvia, naturaleza del tráfico, consecuencias en la red con posterioridad al proyecto...). Intentaremos, no obstante, hacer una relación tanto de los aspectos positivos como de los negativos:

Los aspectos positivos

Es posible distinguir los costes internos unidos a una operación y los externos unidos a las ventajas secundarias y a la incidencia en zonas aguas abajo de la zona de proyecto.

Para los costes internos y cualquiera que sea el tipo de calzada con estructura de almacenamiento utilizada se tiene:

Una disminución unida a la eliminación de las redes de saneamiento y de sus elementos complementarios (Pozos Registro...): evitando colocar una red subterránea (Caso de la calzada que infiltra) o evitando reemplazar la red existente por otras de mayor diámetro, por lo que el coste global de la construcción se reduce.

Una reducción del coste de expropiaciones suplementario (buena adaptabilidad al medio urbano: no hay necesidad de un lugar específico ni en superficie ni en profundidad).

Para los costes externos y cualquiera que sea el tipo de calzada con estructura de almacenamiento se tiene:

Una disminución de los daños materiales y humanos ocasionados por las inundaciones en el caso de redes saturadas: la evaluación del coste de estos daños es realiza con dificultad. En efecto, es delicado estimar la aparición potencial y las consecuencias de una inundación generada por “una lluvia que no caerá nunca de forma idéntica en una aglomeración en constante cambio”, en el caso de una red de saneamiento saturada.

Una disminución de los equipamientos de saneamiento aguas abajo de la zona dotada de saneamiento.

En el caso de que se utilice *un pavimento drenante* se puede además producir:

- La disminución del número de accidentes de la carretera cuya evaluación es difícil.
- La mejora del confort de la conducción en general pero en mayor medida de los que viven en las proximidades de la carretera.
- La posibilidad de limitar la utilización de pantallas anti ruidos o de protecciones pasivas en los edificios (doble vidrio)

Los aspectos negativos

Los aspectos negativos se refieren particularmente a:

- El mantenimiento específico necesario en este tipo de calzada, en el caso de utilización de un revestimiento drenante

- La consecución de una estanqueidad, en el caso de una calzada que no pueda permitir que el agua de escorrentía se infiltre en el terreno.
- La colocación de tabiques en el caso de una pendiente importante
- La utilización de materiales alveolares para la capa de almacenamiento en el caso de volúmenes importantes a almacenar.

En cualquier caso:

Según la región se puede producir un sobrecoste por el hecho de que las canteras estén alejadas ya que los materiales tienen que ser suficientemente duros.

Un cierto saber-hacer es necesario (Cambio de costumbres en el trabajo y de mentalidad)

Es preciso señalar la importancia de los factores locales (clima, capacidad portante del suelo, permeabilidad, distancia entre la cantera y el lugar de emplazamiento...) que suponen diferencias en las inversiones entre las diferentes regiones y la elección de la técnica en función de estos parámetros locales. Así una calzada que infiltra agua de escorrentía en el suelo puede tener un coste del 10 al 20 % inferior al de una calzada clásica con una solución de balsa de retención [Meunier Y., Pelon M y otros 1992]

Es necesario establecer un balance financiero global para cada operación.

Ejemplos de Costes

Estudio realizado para diferentes tipos de tráfico [Valiron R., Tabuchi J.P., 1992]

Una aproximación para evaluar los costes se ha realizado con el estudio de los presupuestos estimativos para implantaciones de este tipo en la región parisina. Así, el coste de una calzada con estructura de almacenamiento se considera que varía entre 220 y 440 F/m<sup>2</sup> (5500 a 11000 pta/m<sup>2</sup>) y su mantenimiento en 1990 (en el caso de una capa superficial de rodadura drenante) entre 5 F/m<sup>2</sup> año (125 pta/m<sup>2</sup> año) (simple lavado) y 14 F/m<sup>2</sup> año (350 pta/m<sup>2</sup> año) (lavado y cambio de la capa de rodadura cada 6 años)

Las hipótesis de cálculo que se han considerado en este estudio son las siguientes:

Utilización de una capa superficial de rodadura drenante;

Utilización de un sistema de seguridad en el caso de colmatación de la capa superficial de rodadura drenante: elección entre una alimentación por pozos de registro en enrejado cada 50 metros asociados a los drenes de alimentación (solución A) y una alimentación con ayuda de cunetas laterales (solución B)

Un tráfico pesado que varía de T2 a t6;

La elección entre dos tipos de gestión: mantenimiento por barrido con cambio de calzada cada 6 años (solución a) o únicamente cambio de calzada (solución b)

Estas combinaciones de soluciones han sido comparadas con el de una calzada clásica saneada por el método tradicional o con la ayuda de una balsa de regulación. Se puede notar que la solución clásica posee un menor nivel de seguridad aguas abajo de la zona en la que se realiza el saneamiento cuando no hay balsa de retención.



Figura 19. Aparcamiento permeable en Gijón.



Figura 20. Pavimento permeable en San Sebastián.

En la tabla que se da a continuación 9.2 se puede constatar que la solución de calzada con estructura de almacenamiento parece siempre más interesante que una solución clásica con una balsa de retención y más económica en el caso de un tráfico ligero y con la utilización de pozos registro en lugar de cunetas

Tabla 9.2 Ejemplos de costes de calzadas con estructuras de almacenamiento y de calzadas clásicas en F/m<sup>2</sup> y (pta./m<sup>2</sup> ; 1F = 25 pta.) [Valiron F., Tabuchi J.P., 1992]

	T2	T3 + t4	t5+t6
A+a	426 (10650)	323 (8075)	227 (5675)

A+b	417 (10425)	314 (7850)	218 (5450)
B+a	442 (11050)	340 (8500)	245 (6125)
B+b	433 (10825)	331 (8275)	236 (5900)
Clásico con Balsa	430 (10750)	374 (9350)	271 (6775)
Clásico sin Balsa	380 (9500)	324 (8100)	228 (5700)

Hay que indicar que estos costes están sobrevalorados. En efecto el coste de mantenimiento es generalmente menor al considerado y el sistema de seguridad, en caso de colmatación, que se ha tenido en cuenta no siempre se necesita.

Estudio en el caso de una urbanización mediante parcelas

Este estudio se ha realizado en la región de Burdeos. Los costes se han estimado según el tipo de operación. La tabla 9.3 presenta los costes de inversión y de mantenimiento. El coste propio de la calzada no se tiene en cuenta.

Se hace notar aquí que la calzada con estructura de almacenamiento sin tubo es la solución menos costosa. En este caso no se ha considerado ningún sistema de seguridad en el caso de colmatación y el coste de mantenimiento no integra el cambio del revestimiento drenante.

Tabla 9. 3 Comparación de Costes entre diversas soluciones según Balades

TIPO DE OPERACIÓN	VIARIO		APARCAMIENTO		Tipo de Mantenimiento
	Inv. (*)	Mant (**).	Inv. (*)	Mant (**).	
Solución clásica	52 (1300)	0,22 (5,5)	9,3 (232,5)	0,1 (2,5)	Limpieza de la red cada 10 años Limpieza de los imbornales cada 2 años
Calzada con estructura de almacenamiento sin ningún tubo	0	0,12 a 0,8 (3 a 10)	0	0,12 a 0,8 (3 a 10)	Cada 5 años hacemos una limpieza a alta presión
Calzada con estructura de almacenamiento con	14	0,2 a 1	3,1	0,2 a 0,9	Cada 5 años una limpieza con alta presión.

imbornales	(350)	(5 a 25)	(77,5)	(5 a 22,5)	Limpieza de los sumideros cada 2 años.
Calzada con estructura de almacenamiento con estanqueidad	20 (500)	0,2 a 1 (5 a 25)	9 (225)	0,2 a 0,9 (5 a 22,5)	Cada 5 años una limpieza con alta presión. Limpieza de los sumideros cada 2 años.

(\*) Coste de un saneamiento clásico o sobrecoste de una calzada con estructura de almacenamiento en relación con una calzada clásica en F/m<sup>2</sup> o (pta/m<sup>2</sup>) en 1992

(\*\*) Coste de mantenimiento en F/m<sup>2</sup> año o (pta/m<sup>2</sup> año) (en 1992)

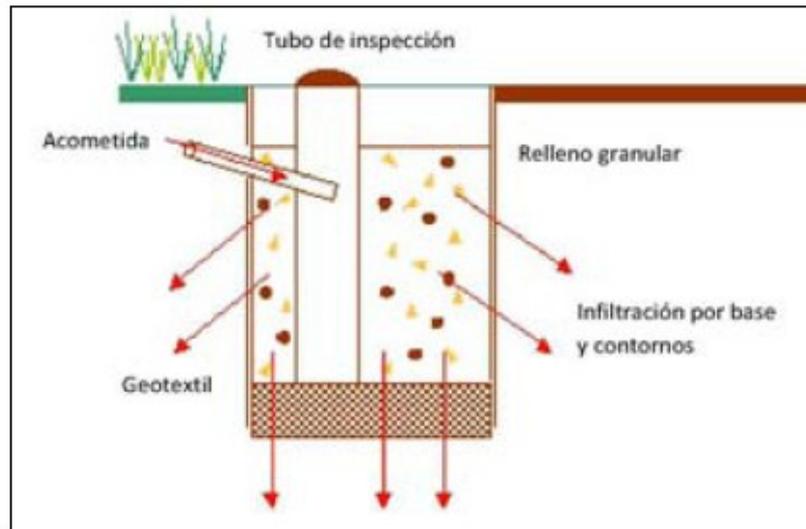
### 3.10.- Los pozos de drenaje: definición y principios de funcionamiento

Los pozos de drenaje permiten que se evacuen directamente las aguas de lluvia hacia el terreno. Normalmente drenan superficies de unos miles de metros cuadrados. Esta técnica tiene la ventaja de aplicarse en zonas en las que el terreno superficial es poco permeable (gran desarrollo de la urbanización, terreno superficial impermeable) pero en el que existe una capacidad importante de infiltración en las capas profundas.

El funcionamiento hidráulico de esta técnica queda asegurado por:

*La recepción de las aguas de lluvia* y su llegada a los pozos: se efectúa por superficie o por red

*El almacenamiento temporal de las aguas recogidas:* Más o menos importantes según las limitaciones (tipo de lluvia, naturaleza del suelo). El pozo puede estar relleno, o no, con material drenante, denominándose pozos con o sin relleno.



**Figura 6.** Pozos y zanjas de infiltración.

La evacuación de las aguas almacenadas: se realiza por infiltración.

Según la posición del freático en relación con la base del pozo se distinguen los pozos de infiltración de los pozos de inyección:

Los pozos de infiltración están fuera del nivel freático. El agua recogida necesita atravesar un estrato no saturado;

Los pozos de inyección quedan sumergidos en el nivel freático. El agua se introduce directamente en la zona saturada.

### 3.10.1.-Las ventajas y los inconvenientes.

Como todas las técnicas alternativas, los pozos permiten amortiguar las puntas de caudal de escorrentía y disminuir los volúmenes que se vierten hacia la red de saneamiento.

Una de las principales ventajas de estas técnicas es su buena integración en el tejido urbano. En efecto, nada permite descubrir la presencia de los pozos excepto quizá los materiales de superficie que pueden utilizarse armoniosamente en la creación de espacios urbanos (plazas, etc.). La buena integración de esta técnica se basa en que no se nota visualmente y en su baja ocupación de terreno. Esto último es muy interesante pues no suele ocurrir con otras técnicas como balsas de almacenamiento, cunetas, zanjas, etc.

Con esta técnica se “ahorra espacio”. Los pozos pueden destinarse a la operación o a la puesta en marcha de sistemas a cielo abierto, en los que no se dispone de un gran espacio.

El empleo de esta técnica es más adecuado cuando el punto de vertido esté alejado. En efecto, gracias a estas obras puntuales la recogida de las aguas de escorrentía puede hacerse reduciendo el coste de las redes de saneamiento.

Por contra el mantenimiento de estas obras debe ser regular para evitar los fenómenos de colmatación que siempre pueden producirse.

Las ventajas e inconvenientes de los pozos de drenaje son los siguientes:

#### Ventajas

Disminución de la longitud de las redes aguas abajo del proyecto (disminución de las servidumbres, de las obras...),

Menor coste de las redes aguas abajo de la zona saneada (disminución del número de tubos así como de su diámetro);

Disminución del riesgo de inundación ya que se reducen los volúmenes y los caudales;

Poca necesidad de terreno;

Buena integración en el tejido urbano;

No necesita punto de vertido;

Muy adecuados en el caso de un terreno impermeable en superficie y con un subsuelo permeable;

Alimentación del nivel freático;

Ninguna limitación topográfica importante.

#### Inconvenientes

Son posibles fenómenos de colmatación;

Es indispensable un mantenimiento regular

Riesgos de contaminación del nivel freático;

Capacidad de almacenamiento limitada;

### 3.11.- Las zanjas drenantes: definición y principios de funcionamiento

Las zanjas son obras superficiales (con una profundidad alrededor de un metro) y lineales que recogen generalmente las aguas de escorrentía perpendicularmente a su longitud y la evacuan bien por infiltración bien por retención hacia un punto de vertido (red, pozos,...)

El funcionamiento de las zanjas está asegurado por:

- *la recepción de agua:* por la superficie o por una red de conductos
- *el almacenamiento temporal de las aguas recogidas,* en el interior de la estructura; al aire libre en el interior de la cuneta.
- *la evacuación de las aguas almacenadas* por infiltración en el terreno o hacia un punto de vertido con un caudal regulado.

Según la naturaleza de la evacuación de las aguas almacenadas en la zanja, distinguimos dos tipos:

- las zanjas de infiltración o absorbentes (por infiltración en el subsuelo)
- las zanjas de retención (restitución hacia un punto de vertido con un caudal regulado).

Ventajas e inconvenientes

La infiltración de las aguas almacenadas en el interior de una zanja o su regulación en el tiempo limitar los volúmenes y los caudales de escorrentía permitiendo eventualmente aligerar el funcionamiento de una red clásica de saneamiento.



**Figura 5. Franjas filtrantes.**

Una de las ventajas de la zanja es su buena integración en el paisaje urbano. Al igual que los pozos, la zanja no puede descubrirse más que por la naturaleza del material de la superficie, ofreciendo así la posibilidad de partir la superficie de una zona de forma armónica, valorizándola. Otra ventaja es su bajo coste y su simplicidad de ejecución.

La tabla 11.1, da una relación de las ventajas y los inconvenientes de las zanjas. Las indicaciones son las mismas que las de los pozos.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Disminución del diámetro de las redes aguas abajo de la zona del proyecto (disminución de los caudales acumulados, de las obras)	Fenómenos de colmatación
Mejora financiera aguas abajo de la zona saneada (disminución del número de tubos y de su diámetro,...)	Mantenimiento regular específico
Poco costosos	Daños en el caso de una fuerte pendiente.
Disminución del riesgo de inundación por el reparto de los volúmenes y de los flujos.	Daños asociados a la colmatación del subsuelo
Facilidad de puesta en obra	

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Poco de empresa territorial	
Buena integración en el tejido urbano	
Caso particular de infiltración	Riesgo de contaminación del nivel freático.
Por necesidades del punto de vertido	
Alimentación del freático	

Tabla 11.1: Principales ventajas e inconvenientes de las zanjas

### 3.12.- Cunetas y canales de retención: definiciones y principios de funcionamiento

Las cunetas permiten regular las aguas de lluvia infiltrándolas en el terreno y ralentizando la escorrentía. El principio de las cunetas es simple:

*Introducen en el terreno las aguas de lluvia*, generadas normalmente por la escorrentía de las superficies adyacentes, de forma directa. En ciertos casos, por ejemplo cuando se recogen las aguas de las cubiertas de los edificios, el drenaje puede realizarse por medio de una red.

*Almacenan las aguas recogidas*, al aire libre en el interior de la cuneta.

Las cunetas anchas y poco profundas que sirven para la retención de aguas de lluvia se llaman canales de retención (Francés: *Noues*. En español no existe una palabra específica). Utilizaremos esta terminología en el resto de este capítulo.

*Evacuan las aguas almacenadas*, a menudo por infiltración, en el terreno. Es posible mandar las aguas almacenadas, regulando el caudal, hacia un punto de evacuación (red, pozo, ...).

Denominaremos a las cunetas que no infiltran las aguas de escorrentía como cunetas de retención por oposición a las cunetas de infiltración.



**Figura 8. Cunetas verdes.**

Se definen las cunetas de retención como unas obras lineales, no muy anchas y a cielo abierto, en las que las aguas de lluvia, que se producen normalmente por escorrentía, se recogen y se evacuan por un desagüe.

Las cunetas de infiltración son obras lineales, no muy anchas y a cielo abierto, en las que las aguas de lluvia, que se producen normalmente por escorrentía, se recogen y se evacuan por infiltración al terreno.

No hay que confundir las cunetas de retención con las cunetas drenantes que permiten la captación y el rebaje de un nivel freático. No obstante, en ciertas circunstancias, la cuneta de retención podrá hacer las funciones de una cuneta drenante.

Ventajas e Inconvenientes de las cunetas y de los canales de retención

La técnica de las cunetas es adecuada en el campo y en áreas todavía no completamente urbanizadas. Permiten una salida natural al agua de lluvia de los viarios hacia los puntos bajos.

Los canales de retención (cunetas anchas y poco profundas) aseguran estas mismas funciones pero además permiten una cierta adecuación paisajística. Estas depresiones tienen una cierta función estética, en los lugares en los que se implantan, ya que introducen zonas verdes y vegetación.

En contrapartida estas soluciones pueden necesitar de superficies importantes. La ocupada por las cunetas habría podido ser urbanizada como superficie suplementaria. El coste de este sistema de drenaje tiene relación con el valor y el tipo de superficies afectadas.

Además su mantenimiento requiere una atención particular, y es similar al que hay que dar a los espacios verdes (corte periódico de la capa vegetal, riego).

Las ventajas que se atribuyen a las técnicas alternativas en saneamiento pluvial, se aseguran también con esta técnica (disminución de las dimensiones de la red aguas abajo, disminución del riesgo de inundación).

El problema de colmatación es menos crítico, salvo quizá en lo que se refiere a los orificios de regulación.

El riesgo de contaminación de la capa freática se plantea en los mismos términos que en todas las técnicas alternativas que infiltran aguas de lluvia. Debe respetarse una distancia mínima de alrededor de 1 metro entre la base de la cuneta y la parte superior de las aguas del freático. Las aguas que sean recogidas directamente por escorrentía, sin posibilidad de que se sometan a procesos de depuración, deberán tener la menor contaminación posible.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>Disminución del tamaño de las redes</b> aguas abajo del proyecto (Disminución de los diámetros de la canalización y del volumen de las obras).	Posibles fenómenos de <b>conmutación</b> .
<b>Ventajas financieras aguas abajo</b> de la zona con saneamiento (disminución del número de tubos y de su diámetro).	<b>Mantenimiento</b> regular específico indispensable.
<b>Disminución del riesgo de inundación</b> por reducción de los volúmenes y de los flujos.	<b>Riesgo de accidentes</b> en periodos de llenado.
<b>Delimitación del espacio.</b>	
<i>Caso particular de Infiltración</i>	
<b>No hay necesidad de vertido</b> en el caso de un suelo permeable.	Riesgo de <b>contaminación del nivel freático</b> .
<b>Alimentación del nivel freático.</b>	
<i>Caso particular de las cunetas</i>	
<b>Posibilidad de ser integrado como espacio paisajístico y estético.</b>	<b>Necesidad de terreno</b> que puede ser importante.
<b>Utilización eventual en espacios de juegos y de ocio.</b>	<b>Mantenimiento</b> del mismo tipo que el de los espacios verdes.

Tabla 12.1 Principales ventajas e inconvenientes de las cunetas

### **3.13.- Las cubiertas de edificios con sistemas de almacenamiento: definiciones y principios de funcionamiento**

La idea sobre la que se sustentan todas las técnicas alternativas es la de compensar los efectos de la urbanización, en particular una de sus consecuencias más importantes en relación con el ciclo del agua, la impermeabilización de los suelos.

Un factor que contribuye de forma importante a ello es la construcción de edificios. Una de las posibilidades que permiten reducir los efectos en la escorrentía es el almacenamiento provisional del agua de lluvia en la cubierta del edificio y su incorporación posterior, con dispositivos de regulación de caudal específicos, a la red de aguas pluviales, o a cualquier otro desagüe.

Estas técnicas pueden aplicarse, aisladamente a un edificio (por ejemplo cuando los reglamentos de urbanismo imponen a una parcela un caudal de vertido limitado), pero también a una zona.

Se utilizan tanto las cubiertas sin pendiente como las de pendientes bajas, que varían entre el 0,1 al 5 %.

Las cubiertas con almacenamiento pueden utilizarse como cubiertas ajardinadas. Sin embargo no se ha realizado ningún estudio sobre la capacidad de retención de las mismas. Una investigación en este sentido se está llevando actualmente a cabo en el marco del concurso “Edificios Verdes” del Plan de Construcción y Arquitectura de 1992 y cuyos resultados estarían preparados a partir de 1995.

Se tratan únicamente las cubiertas planas, con o sin grava, cuya regulación se logra a través de elementos específicos.

Ventajas e Inconvenientes.

La técnica e las cubiertas con almacenamiento puede ser adecuada, tanto por su buena integración en el medio como por el hecho de que su puesta en funcionamiento no exige una técnica específica. Si necesita de una ejecución cuidada que proporcionan empresas cualificadas.

Las cubiertas con almacenamiento pueden utilizarse en obras de nueva ejecución, proyectadas de este modo, o en obras existentes, previa verificación de la estabilidad y la estanqueidad (Ver las condiciones de aplicación).

La tabla que se da a continuación sintetiza las ventajas e inconvenientes de estas estructuras.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>Disminución del tamaño de las redes</b> aguas abajo del proyecto (Reducción del espacio necesario y de las obras ...).	<b>Mantenimiento</b> regular.
<b>Ventajas financieras</b> aguas abajo de la zona saneada (disminución del número de tubos y de su diámetro,...).	<b>Se debe utilizar con precauciones</b> en cubiertas existentes
<b>Disminución del riesgo de inundación</b> por la reducción de los volúmenes y los caudales.	<b>Difícil de poner en práctica en cubiertas con pendiente (&gt;2 %).</b>
<b>No se necesitan terrenos complementarios.</b>	<b>Ligero sobrecoste</b> en ciertos casos.
<b>Buena integración</b> en el tejido urbano.	
<b>No se necesita una técnica particular</b> en relación con las cubiertas tradicionales.	Necesidad de una <b>ejecución cuidada</b> realizada por empresas especializadas

Tabla: Principales ventajas e inconvenientes de las cubiertas con almacenamiento

### 3.- Bibliografía

- Manual de Saneamiento URALITA, Aurelio Hernández Muñoz
- Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf-Eddy
- Saneamiento y Alcantarillado, Aurelio Hernández Muñoz