

EXPLOTACIÓN ACTIVA INTEGRAL DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Joaquim Martí Marquès.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director del Departamento de Explotación.

Josep M^a Verdejo Rabassò.

Licenciado en Informática.

Jefe del Servicio de Informática y Cartografía.

Francesc Castillo Omedas.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe del Servicio de Planificación y Proyectos.

Alcantarillado de Barcelona, S.A. (CLABSA).

RESUMEN

Se presenta en primer lugar un análisis del drenaje urbano desde un punto de vista integral, seguido de una descripción sucinta de la evolución de esta disciplina en la historia. A continuación se analiza la situación actual de la gestión del alcantarillado en España. El núcleo del trabajo se centra en la descripción de qué se entiende por gestión avanzada, en el análisis de la explotación integral del alcantarillado, y fundamentalmente en la pormenorización de en qué consiste la explotación activa del mismo.

Al igual que en otras redes de servicios (agua, gas, electricidad, etc.) es habitual un control activo en tiempo real sobre las mismas, este trabajo hace hincapié en la necesidad de aplicar las mismas técnicas de regulación activa a las redes de saneamiento.

ABSTRACT

A general outline of urban sewerage systems is followed by a brief history of this activity. The management of the system in Spain is examined from the point of view of that is understood as advance management, from an analysis of integral working of the system, and with details of the actual form of exploitation. As in other service networks such as water, gas or power, a real time control is required, the article advocates a similar regulation of sewerage systems.

comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
diciembre de 1996.

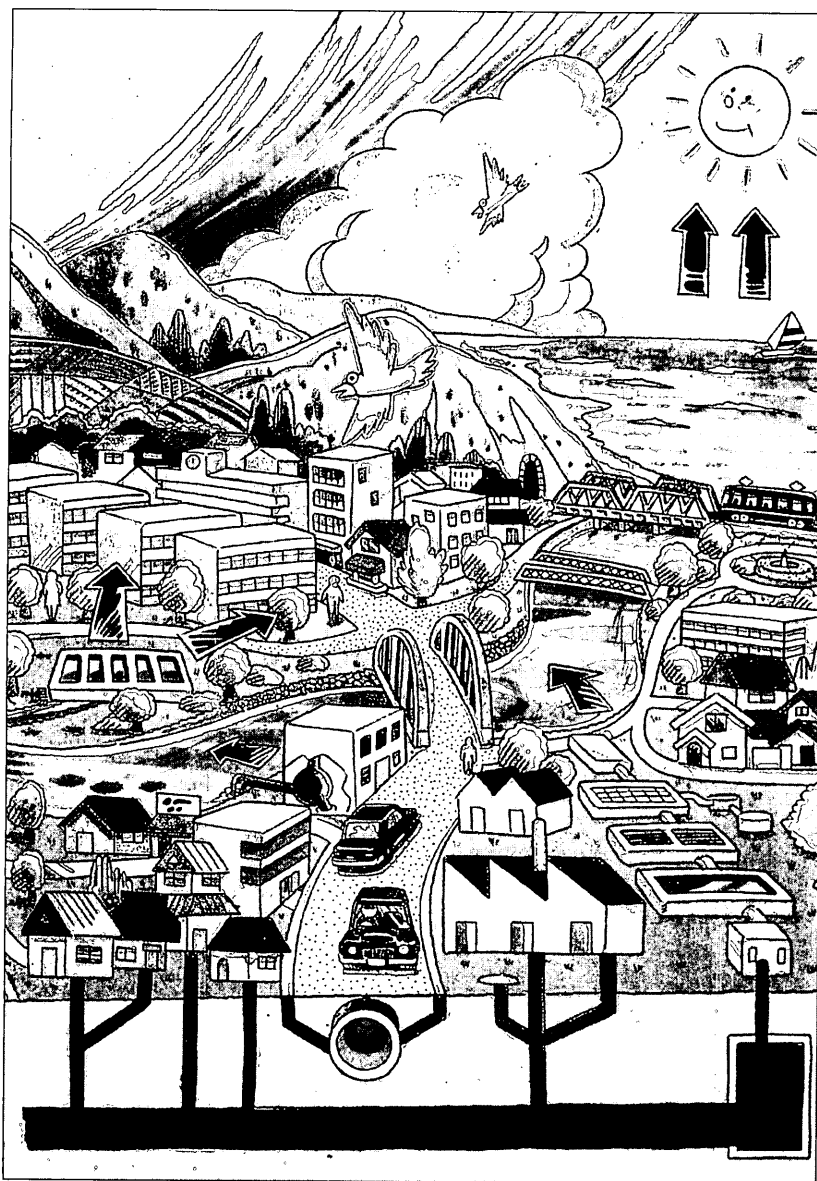
Recibido en ROP:
diciembre de 1994

1. ÁMBITO INTEGRAL DEL DRENAJE URBANO

Para poder tener una visión moderna y real del drenaje urbano hay que considerar su ámbito integral de actuación.

El drenaje urbano es una parte más de lo que se conoce como el ciclo del agua, que comprende una serie de procesos que el agua soporta desde que cae en forma de lluvia o nieve hasta que se evapora. En concreto, el drenaje urbano se encarga de la parte de este ciclo que se da en la ciudad. Eso es, la evacuación por una parte de las aguas de lluvia (que es un proceso ocasional), y de otra parte también el transporte de las aguas

Figura 1. Ámbito integral del drenaje urbano.



residuales de la población (que es un proceso continuo), hasta la estación depuradora.

El ámbito funcional integral del drenaje urbano abarca la total evacuación, depuración y control de las aguas residuales y pluviales.

En cuanto a las aguas pluviales, el drenaje urbano contempla:

EL ESTUDIO DE LA PLUVIOMETRÍA Y DE OTROS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS, SU SUPERVISIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PREVISIÓN

Consiste en la implantación de las redes de medición necesarias para medir lluvia, viento, irradiación solar, etc., el archivo de toda esta información de forma informatizada, y el uso de los mejores métodos existentes de previsión meteorológica a corto plazo, como pueden ser los sistemas neuronales aplicados a imágenes de radar meteorológico, así como el tratamiento estadístico de los datos recogidos.

El estudio de la serie histórica de lluvias locales dará lugar a una tipificación de los episodios lluviosos atendiendo a su intensidad, duración, etc.

Esta clasificación se utiliza para diseñar unas lluvias sintéticas modelo, que permiten evaluar el comportamiento de la red en cada una de las situaciones de lluvia habituales o extremas que se dan en la ciudad.

EL CONOCIMIENTO DE LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, PROPAGACIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA DE LLUVIA UNA VEZ CAÍDA EN LA SUPERFICIE TERRESTRE, INFILTRACIÓN, EVAPOTRANSPIRACIÓN, ETC.

Para conocer cuál será el agua que finalmente entrará en el sistema de alcantarillado y cuando entrará, es necesario conocer la medida de las cuencas, la forma, la pendiente, el tipo de vegetación, la porosidad del terreno, las técnicas alternativas de infiltración y retención usadas, la estimación de los flujos desconocidos, etc.

EL PROCESO DE TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA RED DE ALCANTARILLAS, UNITARIAS O SEPARATIVAS, Y/O DE LAS REDES DE DRENAJE SUPERFICIAL

Una vez el agua ha penetrado a la red, una modelización analítica sobre ordenador, de su

comportamiento hidráulico permite conocer con una elevada fiabilidad cuáles serán sus caudales, velocidades y volúmenes a lo largo de la red y el tiempo.

LA REGULACIÓN Y EFECTOS DE LAS INUNDACIONES

La consideración de las redes de alcantarillado como un elemento susceptible de ser regulado, y no solamente como el sujeto pasivo del transporte del agua, permite introducir el concepto de regulación activa de las redes, con compuertas y otros actuadores, de forma que se pueda luchar óptimamente contra inundaciones, y vertidos contaminantes.

EL VERTIDO FINAL

El vertido final de las aguas pluviales se ha de limitar lo máximo posible, porque la contaminación que supone es muy importante. Siempre que sea posible se intentará que el máximo volumen de agua vaya a la depuradora. Así y todo, en el caso de vertidos al medio, es necesario diseñar las transiciones entre el colector y el medio, de manera adecuada minimizando las interacciones mutuas perjudiciales y teniendo en cuenta los posibles procesos de eutrofización y la sensibilidad del medio receptor, por ejemplo en un vertido al mar hay que evitar que las olas obstruyan la salida de los colectores.

Respecto a las aguas residuales, el drenaje urbano contempla:

EL CONOCIMIENTO DE LOS ORÍGENES DE LAS AGUAS, YA SEAN DOMÉSTICAS, INDUSTRIALES, U OTRAS, Y DE SU VOLUMEN, RÉGIMEN DE CAUDALES Y CALIDAD

Todas estas características son básicas para el diseño de los colectores en tiempo seco, secciones, pendientes, y materiales, para el diseño de las estrategias y elementos de minimización de los vertidos al medio, y para el proyecto de las estaciones depuradoras.

EL CONTROL DE LOS ALBAÑALES, O ACOMETIDAS A LA RED DE ALCANTARILLADO

Es muy importante que no se hagan conexiones ilegales a la red, para que cada tramo esté correctamente dimensionado, y para evitar las defi-

cientes prácticas constructivas piratas, que normalmente provocan disminuciones en la capacidad de los colectores afectados, y pueden ser peligrosas para el pirata.

EL TRANSPORTE POR LA RED DE ALCANTARILLAS Y SU INTERRELACIÓN CON LAS AGUAS DE LLUVIA

Una vez el agua residual ya está en la alcantarilla, hay que analizar, por métodos idénticos de los del agua de lluvia, cuáles son sus caudales, velocidades y volúmenes. Además en tiempo de tormenta las aguas residuales se mezclan con las pluviales, con importantes cambios en la concentración de polucionantes y de caudales y velocidades, y estos aspectos también hay que tenerlos en cuenta.

LA REGULACIÓN Y CONTROL DE LA RED

La explotación activa de la red de alcantarillado, conduciendo en este caso las aguas residuales hacia el lugar que en cada caso interese más, y/o reteniéndola temporalmente en depósitos, permite optimizar el uso de las diferentes depuradoras que puedan haber, y corregir las disfunciones que se produzcan por falta de alguna de ellas.

LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y SU VERTIDO O REUTILIZACIÓN FINAL

Es muy importante considerar la red de alcantarillado, la estación depuradora de aguas residuales, y el vertido final como partes integrantes de un todo único, que ha de ser explotado de una manera conjunta.

EL VERTIDO SIN DEPURACIÓN AL MEDIO RECEPTOR EN TIEMPO DE LLUVIA, EN LOS SISTEMAS UNITARIOS (DESCARGAS DE SISTEMAS UNITARIOS - DSU)

Éste es un punto muy importante dentro de la nueva visión del Saneamiento Urbano. Hasta hace poco tiempo la contaminación debida a las DSU no era considerada ni por los técnicos ni por el gran público, que en general pensaban que con la depuración de las aguas residuales en tiempo seco ya se solucionaba el problema de la contaminación.

En la actualidad ya se reconoce plenamente su enorme importancia, y en las explotaciones y paí-

ses más avanzados se han tomado soluciones para minimizar las DSU.

EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

De las tres misiones del drenaje urbano: higienista, anti-inundaciones y medioambiental, la última es la menos desarrollada y la que más esfuerzos requerirá a corto plazo. Para poder llevarla a cabo, es necesario un control, en el sentido de máxima reducción, de la contaminación que un sistema de drenaje urbano genera.

La planificación de la nueva red, las mejoras en la ya existente, las acciones de depuración, los dimensionamientos, etc. deben llevarse a cabo basándose en el estudio del drenaje urbano en su ámbito integral. Así las inversiones en saneamiento se podrán enfocar de manera más eficiente y económica.

2. LA EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DEL ALCANTARILLADO

"En el ciclo cósmico del agua, el hombre integró el artificio de la urbe". Esta frase del ingeniero de Caminos Carlos Fernández Casado, marca la razón de ser del drenaje urbano.

Con el nacimiento de las primeras urbes el hombre se enfrenta al problema del control de las avenidas que se producen en los lechos interrumpidos, y a la evacuación de las aguas producidas en la propia ciudad, provenientes del abastecimiento y de la lluvia. En un principio las calles servían para este fin, y en algún caso se recurría a la construcción de canales.

En el Palacio de Minos en Knosos, población que pertenece a la isla de Creta, se encuentra una red completa de alcantarillas, tiene una antigüedad de 5.000 años, y está compuesta por tubos troncocónicos de cerámica.

La cultura romana aprovechó la técnica etrusca de desecado de terrenos, basada en la perforación de galerías subterráneas del tamaño mínimo de un hombre (cuniculi) conectadas al exterior por una serie de pozos de acceso y ventilación. Sobre esta base los romanos desarrollaron sus redes de alcantarillado en piedra o mampostería, marcando la tipología que aún usamos actualmente, con colectores en el eje de las calles, pozos, imbornales y aceras. Asimismo establecieron impuestos para pagar los gastos de construcción de alcantarillas.

"En el ciclo cósmico del agua, el hombre integró el artificio de la urbe". Esta frase del ingeniero de Caminos Carlos Fernández Casado, marca la razón de ser del drenaje urbano

A partir del siglo XVII la civilización europea inicia la consolidación del pensamiento científico actual, dentro de éste se sitúa la visión higienista del ciclo del agua, propuesta por el ingeniero británico Edwin Chadwick. Criticada en un principio, fue tomando posición, y se convirtió en el inicio de la construcción a partir de 1848 de la red de alcantarillado de Londres, con una longitud de 1.200 Km.

En París se construyó a partir de 1850 una red de alcantarillas de 1.040 Km, totalmente visitable, y diseñada para introducir en su interior otros tipos de servicios (suministro de agua potable, agua de riego, y recogida de basuras).

En Barcelona, en el año 1891 se aprobó el "Proyecto de Saneamiento del Subsuelo de Barcelona", redactado por el ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Pedro García Fària. Éste del mismo modo que Ildefonso Cerdá creó la ciencia del Urbanismo al diseñar el ensanche de Barcelona, dió una solución técnica moderna al alcantarillado de la ciudad, e inició en España la disciplina de la Ingeniería Sanitaria.

A partir del siglo XX se introduce otra novedad en el drenaje urbano: el uso del hormigón como elemento de construcción de alcantarillas, dándoles una mayor solidez e impermeabilidad.

Analizando todos estos datos se puede sacar una conclusión sobre cuál ha sido el hilo conductor de la técnica del drenaje urbano: en cada tiempo histórico, en los lugares donde la técnica del alcantarillado estuvo más avanzada, siempre se estaban aplicando las tecnologías más punteras de la época.

A lo largo de los años la gestión del alcantarillado ha estado siempre olvidada por la población y muchas veces también por sus propios responsables, ir hacia una gestión avanzada, además del uso de las tecnologías actuales, debe incluir una concienciación y conocimiento de los técnicos y de la población, de un servicio tan básico, y que está tan cerca nuestro, como el saneamiento.

En un pasaje de "Los miserables", referido a las alcantarillas de París, escrito por Víctor Hugo en 1862 se describe perfectamente la idea de alcantarilla y el desconocimiento que de ella se tiene:

"El ahogo lento en la inmundicia, una caja de piedra donde la asfixia abre su garra desde el fango para asir el cuello; la fetidez mezclada en el aliento; lodo en lugar de arena, sulfhídrico en lugar de un huracán, basura en lugar de océano ! ... gri-

tar, rechinar los dientes, y revolverse; forcejear y agonizar bajo esta ciudad enorme que ignora cuanto sucede, y que está justo encima de la cabeza ...".

3. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL ALCANTARILLADO

El cuerpo legal actual, entre otras legislaciones está formado por:

- Ley 7/1985 reguladora de las bases de régimen local.
- Ley 29/1985 de Aguas.
- Real Decreto 927/1988 del reglamento de la administración pública del agua y la planificación hidrológica.
- Directiva europea 91/271/CEE.
- Ordenanzas locales.

Destaca en relación con la explotación integral, la directiva europea 91/271 que indica la necesidad de conocer el funcionamiento de los sistemas de aguas residuales y de establecer las inversiones necesarias para mejorarlos en caso de no ser correctos.

Un aspecto fundamental, impulsado en la mencionada directiva, es el de la polución que producen las aguas pluviales, y las exigencias que hay que plantear en los sistemas unitarios para evitarla o reducirla.

En la actualidad la tendencia general es de no utilizar redes separativas, básicamente por dos razones: es difícil asegurar que no se produzcan conexiones ilegales que aporten aguas residuales, y más importante, se ha constatado el alto grado de polución que las aguas pluviales producen.

Tal como queda establecido en la ley 7/1985 y en la 8/1987 los municipios españoles tienen todas las competencias en materia de saneamiento. Pero principalmente en los municipios pequeños, se sufre un déficit técnico importante en relación al saneamiento. Normalmente estos déficits son suplidos por administraciones superiores. El problema es que después del proyecto y construcción, se entregan para su explotación a los municipios, que en general no tienen previstos los recursos económicos para hacerlo.

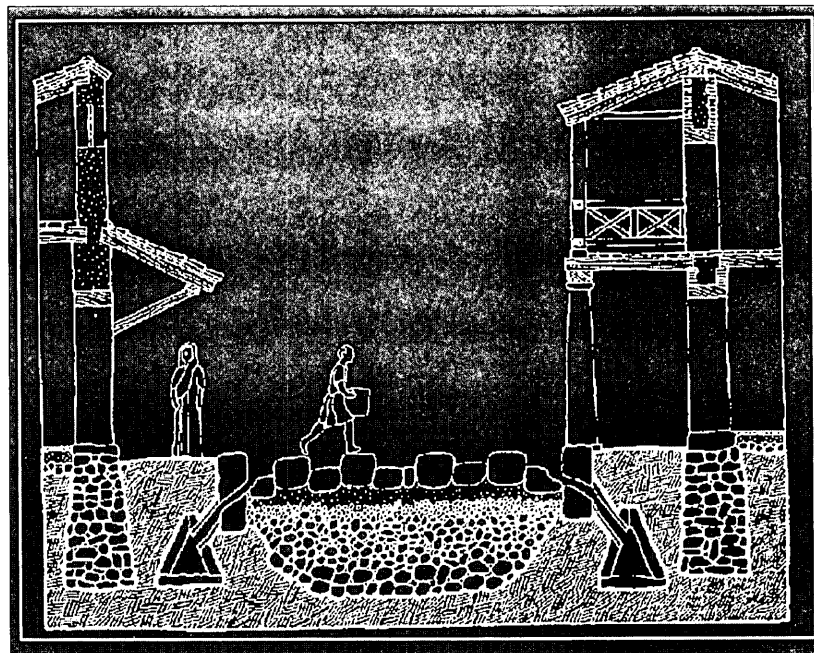


Figura 2. Esquema de alcantarillado romano.

Además de las deficiencias en depuración, hay que remarcar la insuficiencia crónica de las redes de alcantarillado españolas, que son la parte olvidada del sistema integrado de saneamiento.

La directiva europea 91/271 establece que siendo imposible construir instalaciones de depuración y redes de colectores que traten en su totalidad las aguas residuales en tiempo de lluvia, los estados miembros decidirán las medidas para limitar la contaminación por descargas polucionantes al medio receptor de sistemas unitarios en tiempo de lluvia (DSU).

Todo lo que hemos expuesto nos lleva a la necesidad de ir hacia una concepción integrada del saneamiento urbano, con el uso de todas las tecnologías avanzadas disponibles que sean susceptibles de ser aplicadas.

La situación en el estado español se conoce de forma actualizada y exhaustiva, a través de una encuesta realizada en el mes de marzo de 1995 por el grupo de Gestión Avanzada del Drenaje Urbano (GADU) de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento.

En el Cuadro 1 exponemos un conjunto de datos extraídos de la citada encuesta

Las ciudades que en la actualidad disponen de algún elemento de gestión avanzada del drenaje urbano son las siguientes:

Barcelona ha implantado un sistema integrado de modelización, cartografía informatizada y telecontrol, que controla 20 pluviómetros, 21 limnímetros, 7 bombeos y 3 compuertas de regulación.

Cuadro 1

DATOS GENERALES:

Encuesta GADU-1995 (enero-febrero 1995)
 22 ciudades+área metrop.(14,6 millones de habitantes) (37% de España)
 (73% de la población de los núcleos urbanos de más de 50.000 hab.)
 Características, gestión y déficit del alcantarillado

**VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS
(PONDERADOS SEGUN POBLACIÓN):**

Densidad urbana	= 6.200 habitantes/Km ²
Red de alcantarillado/habitante	= 1,10 m/hab.
Red unitaria = 96% Red separativa	= 4%
Cobertura de la red de alcantarillado	= 96%
Porcentaje de aguas depuradas	= 77% (60% en toda España)
Tratamiento primario (físico-químico)	= 51% (25% en toda España)
Tratamiento secundario (biológico)	= 49% (75% en toda España)
Tasa alcantarillado + depuración	= 42 pts/m ³ +fijo (en diversos casos)
Presupuesto 1995 (contratas+inversiones)	= 2.800 pts/hab.
Déficit alcantarillado 1995-2005	= 25.000 pts/hab.
Déficit depuración 1995-2005	= 22.000 pts/hab.
Déficit total 1995-2005	= 47.000 pts/hab.

**EXTRAPOLACIÓN LINEAL APROXIMATIVA
DEL DÉFICIT EN TODA ESPAÑA:**

Déficit alcantarillado urbano (25.000 pts/hab. x 20 M hab.)	= 500.000 Mpts
+ estimación déficit rural (1,5 x 25.000 pts/hab.x 19 M hab)	= 712.500 Mpts
Déficit alcantarillado 1995-2005	1.212.500 Mpts
 Déficit depuración urbana (22.000 pts/hab. x 20 M hab)	 = 440.000 Mpts
+ estimación déficit rural (1,5 x 22.000 pts/hab.x 19 M hab)	= 627.000 Mpts
 Déficit depuración 1995-2005	 1.067.000 Mpts
 Total déficit alcantarillado y depuración 1995-2005	 2.279.500 Mpts

En la ciudad de Bilbao se está implantando un sistema de telecontrol de la red primaria de saneamiento, y se dispone de un depósito enterrado anti-polución de 1.300 m³, además del telecontrol de diversos bombeos.

La población de Las Palmas de Gran Canaria dispone de un proyecto de telecontrol de la red primaria, de un depósito enterrado de 5.500 m³ anti-polución, y del telecontrol de diversos bombeos.

La ciudad de Vitoria ha implantado un sistema de telecontrol que supervisa 3 pluviómetros, 6 limnómetros, 2 bombeos y 3 controles de descargas de sistemas unitarios.

Finalmente hay que mencionar a Alicante, Córdoba, Madrid, Murcia, Palma de Mallorca y Pamplona, donde se dispone de sistemas de cartografía automatizada, y de telecontrol de diversos bombeos.

En resumen, las problemáticas mencionadas, que genera la situación actual, sólo se pueden resolver aplicando un nuevo enfoque en la gestión del alcantarillado.

Este nuevo enfoque ya se ha iniciado en un buen número de poblaciones en todo el mundo, y también en nuestro país. Es necesario continuar en esta línea y potenciarla.

**4. LA GESTIÓN AVANZADA DEL
ALCANTARILLADO**

A continuación se describen las bases y objetivos de una gestión avanzada:

BASES

La gestión avanzada del drenaje urbano (GADU) constituye en sí una nueva filosofía de explotación del alcantarillado, basada en una vieja regla del progreso: aplicar los métodos, técnicas y tecnologías de vanguardia, utilizadas en los sectores de actividad más punteros, a los más atrasados como es la explotación del alcantarillado, que en general se puede calificar como arcaica.

Existen diversas reticencias para aplicar la técnicas GADU: creencia en una especificidad singular del alcantarillado, desconfianza en tecnologías desconocidas, falta de preparación de los gestores, inercia contractual o miedo al cambio de funcionamiento, etc. Creemos que un conocimiento simplificado de las técnicas GADU, que expondre-

mos seguidamente, ayudará a mejorar estas retenciones.

La gestión avanzada se basa en el uso de las siguientes técnicas conceptuales:

Conocimiento preciso del sistema, base fundamental de cualquier gestión o explotación eficaz, necesario con una perspectiva histórica y con un tratamiento informatizado. La cartografía mecanizada del territorio y de la red, la disposición de un modelo calibrado de simulación de la red y la implantación de un sistema de telesupervisión son ejemplos bien representativos de herramientas informatizadas necesarias para el conocimiento preciso del sistema.

Planificación adecuada, es decir planificación moderna utilizando criterios avanzados de regulación y control, Técnicas Alternativas al Drenaje tradicional, herramientas de modelación y simulación, etc. En este punto se han de destacar adicionalmente dos aspectos fundamentales: que la planificación sea actualizada permanentemente y que abarque todo el ámbito del sistema de drenaje, sin olvidar el control de los vertidos o descargas del sistema unitario (DSU). Es evidente que la actuación descrita sobre el alcantarillado requiere indefectiblemente la construcción e implantación de toda una serie de obras e instalaciones especiales, previamente planificadas: depósitos de retención, compuertas de derivación, sistemas controlados de bombeos y depuradoras, interceptores controlados de aguas residuales y colectores de interconexión de cuencas.

Explotación activa, que permitirá una actuación activa sobre el alcantarillado, desencadenando diferentes estrategias operacionales ante episodios lluviosos o vertidos peligrosos. Esta técnica conceptual está basada, al mismo tiempo, en las técnicas de regulación hidráulica, que posibilitan modificaciones del régimen de caudales, reparto espacial de caudales, aprovechamiento de las capacidades de la red e instalaciones existentes y reducción de los puntos de caudal peligrosos, con lo cual se evitan muchas inundaciones y se reducen los efectos de otras.

Gestión integrada, es decir considerando el sistema de saneamiento en su totalidad desde la precipitación a la reutilización de los productos de salida de las plantas de depuración sin olvidar las interacciones con el urbanismo y el control de obras y trabajos. La gestión integrada es una base muy importante, ya que los diversos subsistemas que componen el saneamiento están totalmente interrelacionados.

Las técnicas descritas precisan de unas tecnologías informatizadas de explotación centralizada de las redes de saneamiento.

Por último, completando las bases técnicas y tecnologías de la gestión avanzada del drenaje urbano, no podemos olvidar el uso necesario de metodologías sistematizadas en el planteamiento, desarrollo e implantación de estas.

OBJETIVOS

Los objetivos de la gestión avanzada tienen unos efectos económicos muy importantes, que valorados en toda su extensión pueden representar ahorros sorprendentes. Indudablemente también tienen otros aspectos cualitativos (sociales, ambientales y políticos) de fuerte impacto.

Los principales son los siguientes:

Reducción del riesgo de inundaciones: las técnicas conceptuales de planificación moderna y gestión dinámica, basada en la regulación hidráulica, permiten reducir considerablemente el riesgo de inundaciones (sus efectos y su frecuencia), especialmente con regímenes pluviométricos concentrados, como son los mediterráneos. Se puede estimar la reducción de la frecuencia de inundaciones entre un 25% y un 75%.

Debemos tener presente que las técnicas GADU pueden ser, en algunos casos, la única solución para reducir las inundaciones, ya que las dificultades técnicas de las soluciones clásicas, incluso de gran envergadura y coste, pueden llegar a ser insalvables en zonas muy densas.

Reducción del coste de las inversiones en infraestructura: el coste de las inversiones en infraestructura del alcantarillado, como es conocido, llega a cifras cada vez mayores. Las técnicas y tecnologías GADU, según estudios teóricos y experiencias prácticas, pueden conseguir reducciones de hasta un 30% del coste, manteniendo los mismos efectos y resultados.

Optimización del mantenimiento actual de la red: la explotación básica realizada sobre la red, referida a la limpieza y conservación de ésta, se verá mejorada sensiblemente debido al conocimiento preciso del funcionamiento del sistema, a la disponibilidad de un sistema de información ágil y moderno, a la posible aplicación de ciertas maniobras de autolimpieza de la red y al control de la calidad de las aguas y su afectación a las alcantarillas, colectores y demás instalaciones de la red.

Mejora del medio ambiente: los vertidos o Descargas de Sistemas Unitarios al medio recep-

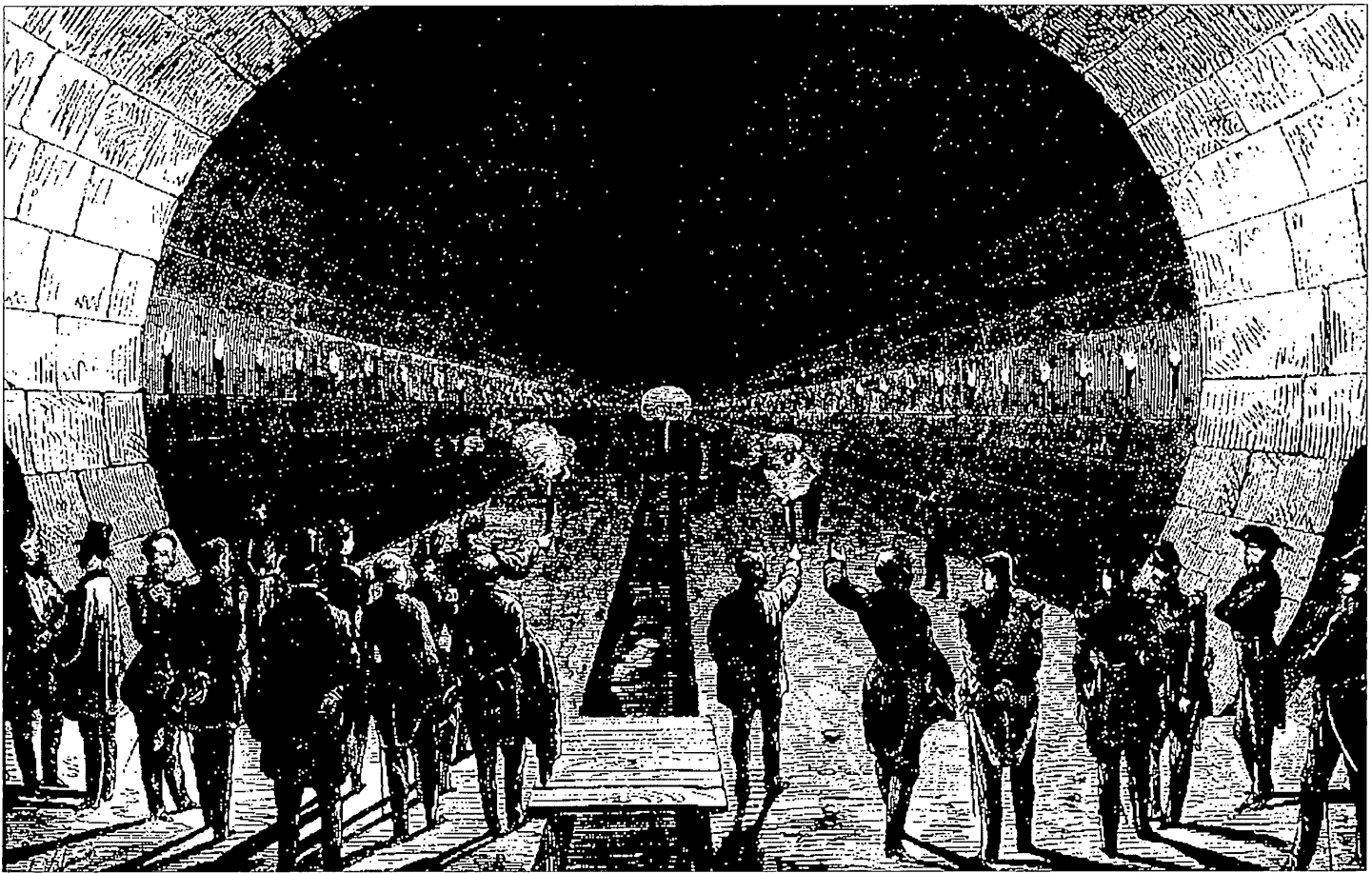


Figura 3. Gran colector de Sebastopol en París.

tor, en tiempo de lluvia, aportan una contaminación inadmisible al medio ambiente natural, que se ha de proteger de lleno. En este sentido, únicamente las técnicas GADU pueden resolver satisfactoriamente los problemas causados por las DSU, tal como lo prueban los éxitos conseguidos en diversas ciudades europeas, americanas y japonesas, que confirman su viabilidad y eficacia.

Mejora de la seguridad de los trabajadores y de la información a los ciudadanos: las condiciones en el interior de los colectores son muy agresivas y, por tanto, se ha de mejorar al máximo la seguridad del personal que trabaja en la red: en tiempo seco localizando aguas y ambientes singularmente contaminados y en tiempo de lluvia avisando al personal en caso de peligro.

La disposición de un sistema de información, ágil, flexible y completo permitirá, en tiempo seco, suministrar la información solicitada por los ciudadanos y otros agentes implicados sobre las características ingenieriles y urbanísticas de la red y, en tiempo de lluvia, proporcionar la información necesaria del riesgo y amplitud de posibles inundaciones.

Efecto multiplicador a otros servicios públicos: la gestión ágil, dinámica y moderna, mediante aplicación de tecnologías de vanguardia, de un servicio público como el alcantarillado urbano, con innumerables interrelaciones con otros servicios públicos, comporta la propagación de nuevos métodos y técnicas a los mencionados servicios urbanos con efectos multiplicadores muy positivos.

No se puede olvidar la conveniencia económica y socio-política que tiene una buena gestión avanzada del alcantarillado.

Los objetivos mencionados justifican sobradamente la gestión avanzada del drenaje urbano.

Adicionalmente, la conveniencia de la gestión avanzada se hace más necesaria por la existencia de una problemática generalizada en el drenaje urbano, que se agrava paulatinamente causando múltiples efectos: olores denunciados por la población, limpieza insuficiente de la red, obturaciones y fugas de aguas residuales, accidentes y roturas de las alcantarillas, inundaciones, desastres ambientales, extensión y refuerzo permanente de la red, etc.

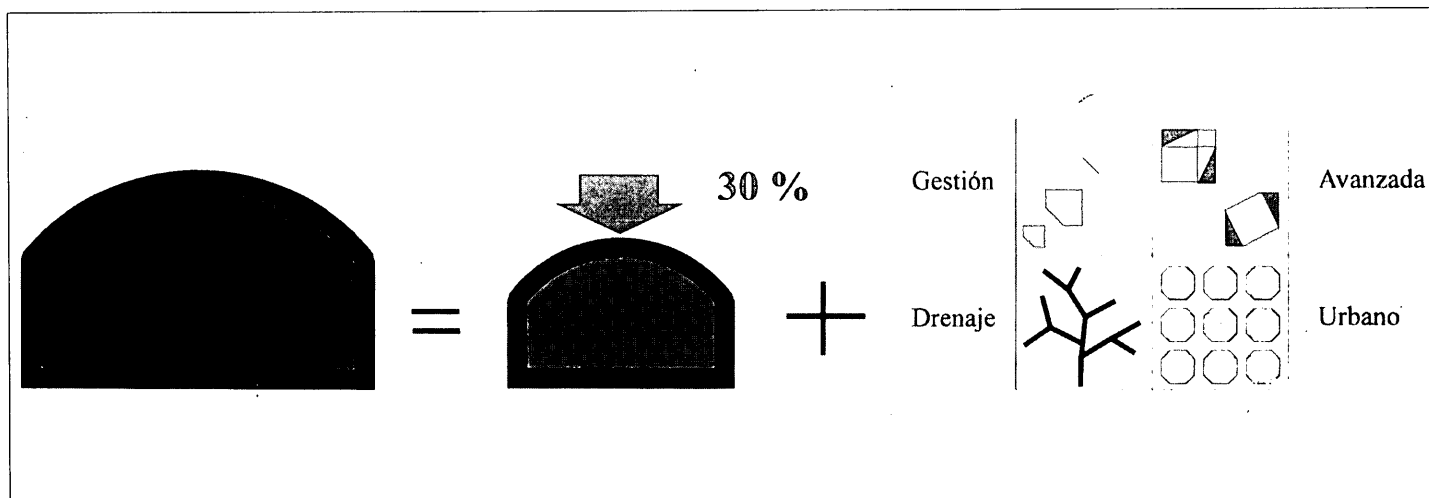


Figura 4.
La gestión
avanzada,
fuentes de
reducción
de costes.

Todos estos problemas precisan soluciones, los enormes costos de las cuales repercuten en un incremento de los presupuestos ordinarios y/o en la necesidad de presupuestos extraordinarios.

La actual situación de los municipios requiere buscar nuevas soluciones, que puedan mejorar el crecimiento desmesurado de sus presupuestos.

En consecuencia, la gestión avanzada está sobradamente justificada en muchísimos casos, tan sólo por las implicaciones económicas que comporta.

5. LA EXPLOTACIÓN INTEGRAL DEL ALCANTARILLADO

El hilo conductor de esta idea es la acción coordinada y conjunta sobre todos los subsistemas que forman el sistema global de alcantarillado: lluvia, escorrentía, transporte, producción residual, vertido, depuración y reutilización.

La explotación centrada sólo en la depuración es muy deficiente. Como ejemplo citamos los resultados de un estudio realizado por la Comisión de Saneamiento de la AGHTM francesa.

En el otoño de 1991 se realizó un muestreo de 70 estaciones de depuración para comprobar el grado de cumplimiento de la directiva europea 91/271. Sólo un 31% de las estaciones depuradoras estaban de acuerdo con la normativa, valor que se incrementaba hasta un 59% si no se tenían en cuenta los valores correspondientes a circunstancias meteorológicas excepcionales. Tal como se puede ver estos porcentajes son significativamente bajos.

Las causas básicas del no cumplimiento se encontraron en la materia en suspensión. También

es la materia en suspensión la causa principal de contaminación de las descargas de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia, debidas a la limitada capacidad de las estaciones de tratamiento.

La solución conjunta a estos problemas son los depósitos de almacenamiento situados en la red de alcantarillado, que por un lado realizan una predepuración al sedimentar materia en suspensión, y por otro tienen un importante efecto laminador de caudales.

En este aspecto concreto, hay que analizar el óptimo entre tratamiento y almacenamiento, y buscar el equilibrio óptimo en las inversiones. En general hay que analizar conjuntamente todos los subsistemas del alcantarillado, y encontrar el reparto adecuado de esfuerzos e inversiones en cada uno de ellos de una forma integral. Hay que erradicar totalmente la idea de que la explotación del alcantarillado es la explotación de las estaciones depuradoras de aguas residuales.

Analicemos, a continuación, los subsistemas que forman el sistema global de alcantarillado, y sus interrelaciones:

LLUVIA

La lluvia es una de las principales entradas al sistema de alcantarillado, condicionando totalmente el funcionamiento de todo el conjunto.

En el caso de la lluvia, en la actualidad, no tenemos ningún modo de actuar de una forma activa. Pero lo que sí podemos hacer es preverla, medirla y analizarla.

La previsión de la lluvia se puede hacer por medio de la extrapolación de series temporales históricas combinada con la medición simultánea en tiempo real de diversos pluviómetros distribui-

dos por el territorio. Esta aproximación es buena para horizontes de previsión de 15-20 minutos, suficientemente útiles para una explotación integrada con los Sistemas de Telecontrol.

Otra aproximación en la previsión de intensidades de lluvia, es el uso del radar meteorológico. Esta tecnología tiene dos cualidades importantes: su horizonte de predicción puede llegar, con un margen de error tolerable, hasta 1 hora, y permite hacerla en cualquier punto del espacio.

Estas previsiones de la lluvia son imprescindibles en la explotación activa del alcantarillado, en aspectos como: derivación de caudales, control de DSU, interrelación con las estaciones de depuración, etc.

La medición de la lluvia se realiza mediante unos elementos llamados pluviómetros, estos sensores miden tanto la intensidad a lo largo del tiempo, como el volumen de agua caída. A efectos de la explotación del alcantarillado la medición de la intensidad es básica, ya que un volumen muy grande de agua caída en un tiempo muy largo, es decir con una intensidad baja, no tendrá consecuencias, pero en cambio una lluvia de poco volumen caída en poco tiempo, intensidad alta, sí que las tendrá.

El análisis estadístico de largas series de mediciones de lluvia nos permite establecer las relaciones intrínsecas entre las intensidades, las duraciones de los episodios, y su frecuencia de aparición. Como ejemplo hacemos notar que las lluvias muy intensas son raras y duran poco, mientras que las lluvias poco intensas se comportan a la inversa. Una vez conocidas estas relaciones intrínsecas entre los diferentes parámetros de una lluvia, se pueden sintetizar las lluvias, y usarlas en la planificación y proyecto de alcantarillas; es decir de una forma integral con el transporte del agua pluvial, que es otro de los subsistemas del sistema global de alcantarillado.

ESCORRENTÍA

La escorrentía es el proceso que realiza el agua de lluvia caída al terreno en su movimiento hasta entrar en parte en el sistema de alcantarillas.

De la escorrentía depende el volumen total del agua que deberá soportar el sistema de drenaje, y el caudal a lo largo del tiempo que estará presente.

Desde el punto de vista de la red de alcantarillas, interesan dos cosas: la primera que sea lo más pequeña posible la parte del agua caída que acabe entrando en el sistema de drenaje, y la se-

gunda que lo haga de la forma más distribuida posible a lo largo del máximo tiempo.

Para conseguir estos dos objetivos se utilizan las técnicas compensatorias de infiltración y retención (TCIR), mediante estas actuaciones se aumenta el porcentaje de agua que se filtra en el terreno, i también se lamina la escorrentía reduciendo las puntas.

Hay diversas alternativas para aplicar las técnicas compensatorias de infiltración y retención, pero como ejemplo podemos nombrar: áreas urbanizadas con zonas de infiltración intensiva, y zonas ajardinadas de laminación de la escorrentía.

Hay que resaltar la gran importancia, que desde el punto de vista de integración, tienen las acciones sobre la escorrentía en el resto de los subsistemas del alcantarillado, ya que reducen los volúmenes totales y disminuyen los caudales.

TRANSPORTE

Llamamos transporte al desplazamiento del agua por el interior de la red de alcantarillas.

La explotación de este subsistema tiene dos variantes: la primera, diseño de los colectores, muy rígida, que se realiza durante la planificación, proyecto y construcción de la red, y que marca de una forma casi total el comportamiento hidráulico futuro, la segunda más flexible, que permite la acción, a través de actuadores, sobre el comportamiento del agua en la red.

Centrándonos en la segunda, ésta se concreta básicamente en la instalación de compuertas de regulación, estaciones de bombeo, y depósitos de retención. Todos estos elementos permiten realizar acciones de regulación y control sobre los flujos de agua que son transportados dentro de la red.

Las acciones de regulación y control se deben realizar de una forma integrada con las lluvias y la escorrentía para evacuar óptimamente los caudales, y con los vertidos y depuración para minimizarlos y mejorar el funcionamiento de las estaciones depuradoras.

PRODUCCIÓN RESIDUAL

Por producción residual nos referimos a las aportaciones domésticas e industriales de aguas residuales a la red.

En esta cuestión es importante tener bien inventariadas todas las posibles aportaciones, sus características físicas, químicas y bacteriológicas,



Figura 5. Centro de explotación centralizada del alcantarillado de Barcelona.

sus evoluciones de caudal, los puntos de entrada a la red, etc.

Toda esta información servirá de forma integral en el proceso de planificación y proyecto, en el de explotación del transporte en tiempo seco y en tiempo de lluvia, en la minimización de vertidos, y en la operación de las estaciones de depuración.

VERTIDO

Nos referimos a los vertidos de los sistemas unitarios de alcantarillado en tiempo de lluvia al medio receptor (DSU). Este fenómeno aporta una parte importante de la polución total y por tanto es importante controlarlo y reducirlo.

La explotación de las DSU se debe hacer de una forma integrada con todos los subsistemas ya descritos, y también con la explotación de las estaciones depuradoras. La idea central es evitar al máximo los vertidos no depurados, mediante depósitos de retención, o acumulación de agua a la propia red, de forma que se le envíe un caudal

constante a la estación depuradora, correspondiente al máximo que puede tratar.

Es necesaria la integración con los otros sistemas, por ejemplo para no enviar más caudales a la estación depuradora que los que puede tratar, o para vaciar anticipadamente un depósito de retención si está empezando a producir una lluvia importante.

DEPURACIÓN

La tradicional explotación de las estaciones depuradoras, se debe integrar con los subsistemas precedentes, de manera que de forma anticipada se conozcan los caudales que llegarán a la planta y sus características.

REUTILIZACIÓN

Cualquier intento de reutilización de las aguas previamente depuradas, se debe hacer integrado

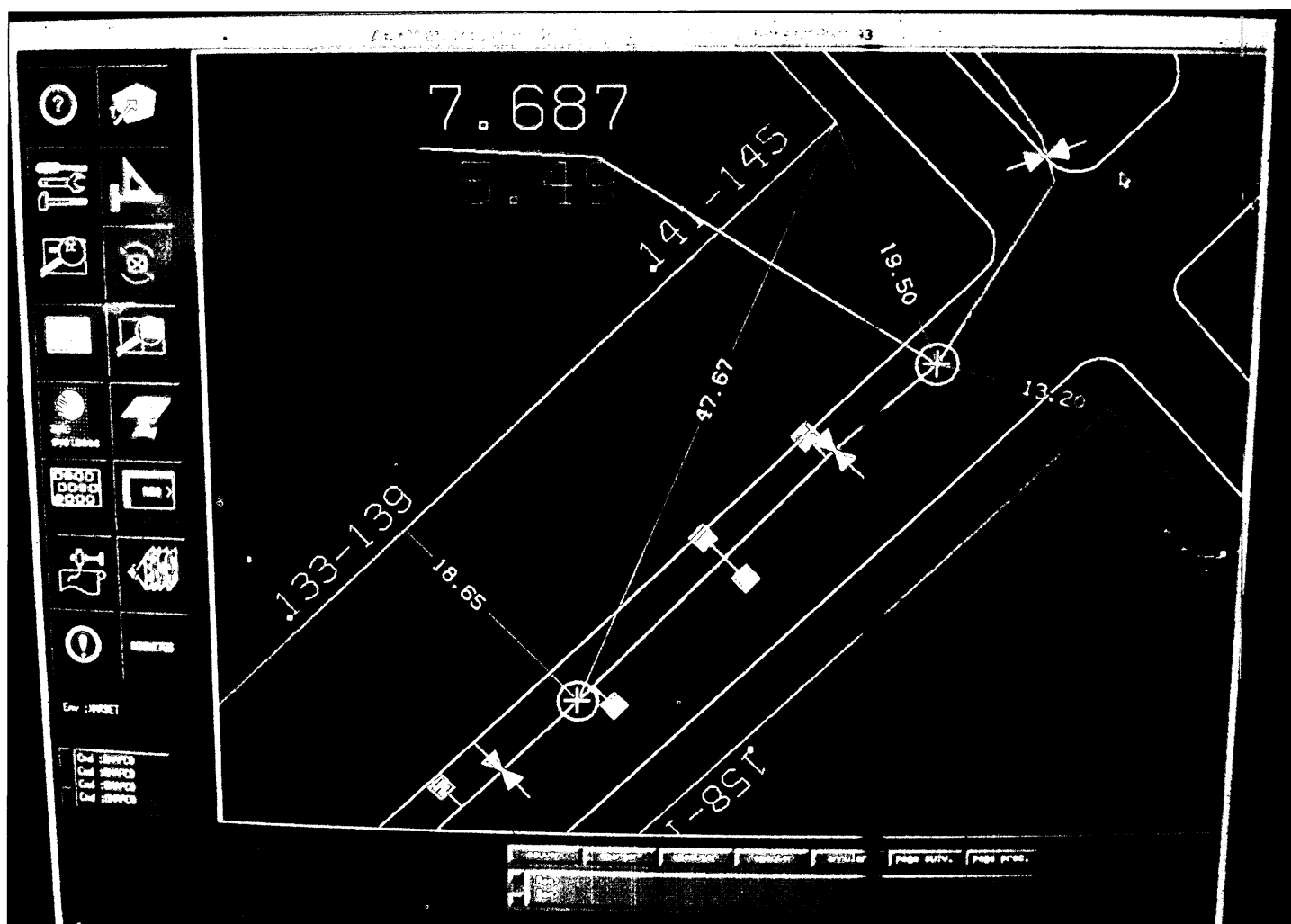


Figura 6.
Cartografía
informatizada de la
red de
alcantarillado
de Barcelona.

con los subsistemas anteriores, y especialmente con la estación depuradora.

Como se ha descrito, todos los subsistemas que conforman el sistema global del saneamiento, tienen fuertes interrelaciones en su explotación, y la única manera de realizar una explotación óptima y eficaz, es realizar una explotación integral.

Además la explotación integral del saneamiento es la forma que asegura una mejor gestión desde la óptica medioambiental, aspecto fundamental a tener en cuenta en el tratamiento del saneamiento actual e imprescindible en el futuro.

6. LA EXPLOTACIÓN ACTIVA DEL ALCANTARILLADO

El siguiente paso después de haber considerado la explotación integral es la explotación activa. La explotación activa implica una acción en tiem-

po real sobre el funcionamiento integrado de todo el sistema de alcantarillado. Estas acciones van encaminadas a un mejor funcionamiento del sistema, como por ejemplo: incrementar la capacidad de evacuación, disminuir la polución, optimizar el coste energético de una estación depuradora, etc.

La explotación activa, de forma similar a la que se utiliza en otras redes de servicios, procura en tiempo real y de forma inteligente, adecuar el sistema de alcantarillado a la demanda a que se ve sometido en cada instante. La demanda es la evacuación de unas aguas pluviales, la evacuación de unas aguas residuales, y su depuración y posible reutilización. La adecuación del sistema es la derivación y almacenamiento de caudales, el control de válvulas, depósitos, bombeos, compuertas, estaciones depuradoras, etc. A fin de ajustarse a las necesidades de la demanda en el grado más alto posible.

La explotación activa se puede describir a través de sus constituyentes: elementos de actuación, tecnologías y metodologías.

ELEMENTOS DE ACTUACIÓN

Los principales elementos de actuación de la explotación activa sobre la red son: depósitos de retención, bombeos, compuertas, válvulas, i estaciones depuradoras.

Depósitos de retención: Los depósitos de retención los podemos considerar funcionalmente como un elemento de actuación perteneciente a la explotación activa, aunque posteriormente consideraremos por separado algunos de sus elementos constituyentes.

Los depósitos de retención realizan la acción funcional de laminar los caudales, es decir: redistribuir el paso del agua, de manera que pasando un volumen total idéntico, los caudales sean más uniformes y sus máximos más pequeños. La función laminadora de los depósitos de retención se aplica tanto en la regulación de caudales para evitar inundaciones como para evitar descargas polucionantes.

Una segunda función de algunos depósitos de retención es la predepuración, a través de una decantación de la materia en suspensión, que posteriormente es extraída del depósito.

Desde el punto de vista de la explotación activa el sistema de explotación centralizada debe considerar un depósito como una unidad de actuación sobre la red, pero descomponiendo en un segundo nivel las acciones que se deben realizar, en acciones a realizar por sus elementos activos constituyentes (compuertas y válvulas de entrada y salida, bombeos, etc.). Esto sin perjuicio de una posible acción individual directa sobre estos últimos.

Bombeos: Éste es un elemento clásico de explotación activa en una red hídrica, y probablemente el más utilizado actualmente en una de saneamiento.

Tradicionalmente se consideran dos tipos de bombeos: aguas pluviales y aguas residuales, a los que añadiremos los bombeos asociados a los depósitos de retención.

Un sistema de explotación activa debe controlar centralizadamente todos los bombeos de la red (arranques y paradas), y todas las variables asociadas a ellos (averías, intrusismo, etc.).

La explotación activa implica una acción en tiempo real sobre el funcionamiento integrado de todo el sistema de alcantarillado

Compuertas: Las compuertas son un elemento relativamente nuevo y básico en una explotación activa. Sus dos misiones son: la derivación de caudales, y la retención de los mismos. Dentro de un sistema de alcantarillado las podemos encontrar de dos formas: aisladas, o formando parte de otro elemento de explotación activa más complejo, como por ejemplo un depósito de retención.

La tipología de compuerta aislada se da básicamente en dos casos. El primero y más clásico es el de derivación de caudales, mediante la actuación sobre la posición de una compuerta o grupo de ellas, se consigue que el caudal que llega a un determinado punto salga repartido, según las necesidades de cada momento, entre las diferentes ramas de salida disponibles. El segundo caso corresponde a una compuerta aislada que tiene la posibilidad de obstruir totalmente un colector de dimensiones importantes, creando un depósito de retención mediante la utilización de la propia red (depósito "in-line").

En la tipología de compuerta subsidiaria de otro elemento, ésta se utiliza en general como un elemento para cerrar o abrir el paso del agua a la entrada o salida de éste.

En la perspectiva de la explotación activa, el sistema de control centralizado deberá conocer primariamente la posición de todas las compuertas, y ordenar sus movimientos y posicionados, y secundariamente supervisar las alarmas de avería, intrusismo, etc.

La imposibilidad, por avería, de accionar una determinada compuerta en tiempo de lluvia, puede ser la causa de grandes inundaciones. Es por tanto muy importante establecer una serie sucesiva de medidas de seguridad: mantenimiento preventivo, sistemas mecánicos de seguridad (válvulas de sobrepresión, accionamiento manual), sistemas eléctricos de seguridad (presostatos, aperturas de conexión), sistemas hidráulicos de seguridad (tipologías seguras, aliviaderos alternativos), y sistemas de seguridad en la explotación activa (acciones según la instrumentación local, y acciones coordinadas según la instrumentación global total del sistema).

Si se tuviera que escoger un elemento de actuación para representar la explotación activa, éste sería sin duda la compuerta. La compuerta representa la posibilidad de dominar, parar y desviar los caudales circulantes y por tanto de actuar activamente sobre ellos.

Válvulas: Normalmente, desde el punto de vista de la explotación activa, sólo encontraremos

válvulas asociadas a estaciones de bombeo y depósitos de retención.

Las válvulas en el alcantarillado, van asociadas en general a la pequeña regulación secundaria, y habitualmente son subsidiarias de elementos funcionales de orden superior.

Su explotación activa, no será normalmente directa, sino que se hará localmente en función de las necesidades de un depósito de retención o de un bombeo.

Estaciones depuradoras: Una estación depuradora es en sí misma un sistema muy complejo con una explotación activa complicada, y que tiene una entidad propia. Pero desde el punto de vista de una explotación integral activa del alcantarillado, la podemos considerar como un elemento funcional más del sistema completo.

En una explotación integral activa, el control centralizado ha de obtener de las estaciones depuradoras los datos sobre su capacidad de depuración en tiempo real y en un futuro próximo, y a la vez proporcionarle la información sobre los caudales que le llegarán a corto plazo. Con esta comunicación de información bidireccional se conseguirán dos objetivos: regular activamente y en tiempo real los caudales que lleguen a la estación depuradora de forma que no se le envíe más de lo que puede tratar, y adecuar con anticipación la explotación de la estación a los caudales que le llegarán a corto plazo.

Tradicionalmente las estaciones depuradoras han dispuesto de un sistema de explotación centralizada, y en los últimos años se están implantando sistemas de control activo en la red. En el instante en que el control activo centralizado englobe los dos aspectos conjuntamente, red y depuradora, es entonces cuando se puede decir que se ha entrado de verdad en una explotación que además de activa es integral, y ésta es la opción del futuro.

TECNOLOGÍAS

Las principales tecnologías de aplicación para implantar una explotación activa del alcantarillado son: instrumentación, comunicaciones e informática.

Instrumentación: La instrumentación nos permite conocer el estado del sistema, midiendo los valores de los parámetros que nos interesan. Los diferentes instrumentos de medida que describiremos transforman el valor de la variable a medir en

una señal eléctrica, que posteriormente se mide, transmite y almacena.

Básicamente la instrumentación usada en la explotación activa está constituida por: pluviómetros, limnómetros, caudalímetros, medidores de estado y posición, y medidores de calidad.

● **Pluviómetros:** Este instrumento mide tanto el volumen total de agua caída en un punto, como la intensidad de lluvia. Los más utilizados en la actualidad son los de cazoletas basculantes, en los que cada vez que una cazoleta se llena con un determinado volumen de lluvia (0,1-0,2 mm), bascula por su propio peso, emite un pulso eléctrico, se vacía, y hace que la segunda cazoleta empiece a llenarse, repitiéndose el proceso.

● **Limnómetros:** Los limnómetros permiten medir el calado de agua en un cierto punto. Básicamente hay de dos tipos: de presión, y ultrasónicos.

Los de presión se instalan en el interior del líquido, y miden el calado en función de la presión que el agua ejerce sobre un elemento que al deformarse varía su resistencia eléctrica o su capacidad. Estas variaciones son transformadas en una señal eléctrica de intensidad proporcional al calado. El uso de este tipo de limnómetro tiene la ventaja de no tener una limitación física en su valor superior, y la desventaja, en aguas residuales, de su rápido proceso de acumulación de suciedad que requiere un mantenimiento preventivo intenso.

Los limnómetros de tipo ultrasónico se instalan fuera del líquido por encima de su superficie, y miden el calado emitiendo un sonido ultrasónico y midiendo el tiempo de retorno del sonido desde la superficie del líquido. Este tiempo es convertido en una señal eléctrica de intensidad variable. Tienen la ventaja de su bajo mantenimiento, ya que no están en contacto con el agua residual, y la desventaja de un límite de medida correspondiente al nivel en que el agua les cubre.

● **Caudalímetros:** La medida del caudal se hace generalmente en función de la medida del calado y de una serie de suposiciones generalmente admitidas. Pero si se quiere tener una precisión más grande se puede recorrer a su medida directa.

Citaremos tres tipos de caudalímetros: ultrasónicos, electromagnéticos, e hidráulicos.

Uno de los tipos más utilizados dentro de los ultrasónicos se basa en depositar en el fondo del agua un emisor-receptor de ultrasonidos, por efecto doppler los ecos de los ultrasonidos, emitidos por el emisor y captados por el receptor, pro-

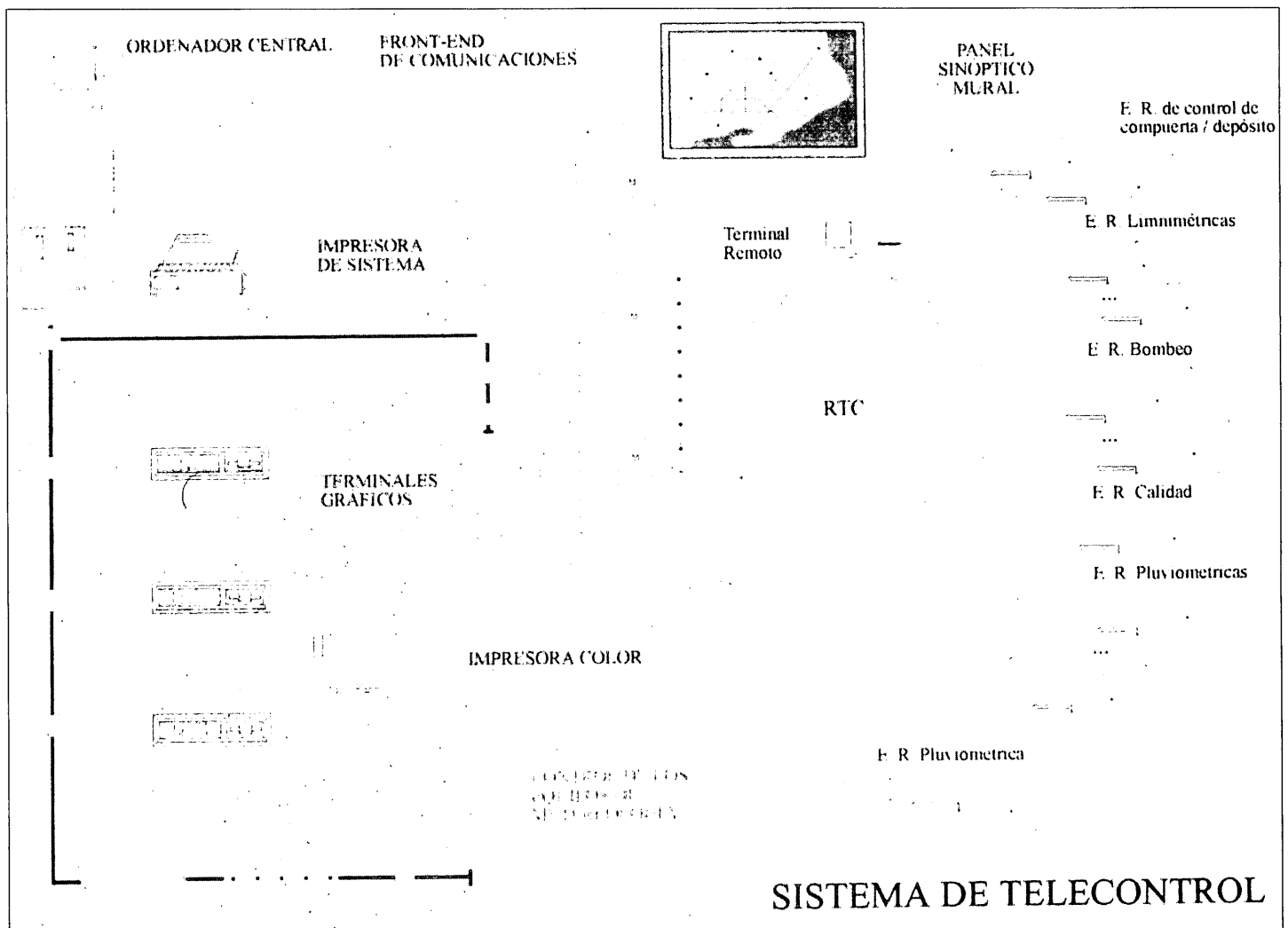


Figura 7. Sistema de telecontrol del alcantarillado de Barcelona

ducidos por el rebote en las partículas en suspensión y pequeñas burbujas de aire tienen una frecuencia diferente a la señal emitida, y proporcionalmente diferente a la velocidad del fluido. Una vez calculada la velocidad media del fluido y su calado, mediante un sensor limnimétrico, se puede calcular el caudal circulante.

Los electromagnéticos, usados principalmente para conductos en carga, miden el potencial, inducido en unas espiras que envuelven la conducción, cuando se hace circular una corriente dentro del agua. El potencial inducido es proporcional al caudal circulante. Para conducciones a presión son los más exactos.

Los que hemos nombrado hidráulicos consisten en crear un calado crítico en un punto de una conducción en lámina libre, y aprovechando que en un punto crítico el calado está biunívocamente relacionado con el caudal, medir, por ejemplo ul-

trasónicamente, el calado y obtener el caudal. Han sido muy utilizados para grandes caudales de aguas residuales debido a su buen comportamiento ante los taponamientos.

● **Medidores de estado y posición:** Englobamos en este apartado un gran abanico de diferentes tipos de instrumentos, como medidores de ángulos de giro de compuertas (resistivos u ópticos), de finales de carrera (mecánicos o magnéticos), boyas de nivel (flotantes por contacto de mercurio), de posición de válvulas (generalmente resistivos), etc.

● **Medidores de calidad:** Este apartado es amplísimo, y va desde la medida de la conductividad (haciendo circular una corriente eléctrica), la medida de la turbidez (en función de la absorción óptica), la medida del pH (midiendo el potencial eléctrico producido en una membrana), hasta la medida de variables más complejas como el carbón or-

gánico total (por absorción del espectro en el ultravioleta).

Comunicaciones: Desde el punto de vista de la explotación activa las comunicaciones entendidas como tecnología aplicable, se refieren a la posibilidad de transmitir los valores medidos hasta un centro de control, y también transmitir las órdenes desde el centro de control hasta los actuadores en la red.

Los canales de comunicación utilizados son básicamente cuatro: cable de conexión directa, teléfono, radio, convencional, y satélite.

El cable de conexión directa es el menos utilizado, incluso siendo el canal más rápido y económico, dado que las ubicaciones y distancia entre las estaciones y el centro de control raramente permiten esta conexión.

El teléfono, en sus dos modalidades de línea dedicada y línea normal, tiene una implantación relativamente económica y un coste de mantenimiento medio.

La radio convencional requiere inicialmente una infraestructura más cara, pero su coste de mantenimiento es más bajo. En la actualidad en los países industrializados, como el nuestro, el espectro radioeléctrico está muy saturado y cada vez es más difícil obtener concesiones en él, y probablemente los cánones para hacerlo irán en aumento, entonces la decisión entre radio y teléfono que ahora está bastante equilibrada, se decantará probablemente hacia el teléfono, o hacia sistemas de radio muy avanzados (paquetizados) que aprovechen mejor el espectro, aunque estos últimos en la actualidad son muy caros.

Los satélites, utilizándolos como repetidores, permiten la comunicación fácil con puntos alejados donde sería muy caro llevar el teléfono, o administrativamente difícil la comunicación vía radio convencional. En la actualidad a pesar de todo existe este servicio en el satélite español Hispasat, este canal es muy caro, y sólo justificable para cubrir grandes extensiones territoriales. Por contra las capacidades de transmisión de información vía satélite son mucho más elevadas que por teléfono o radio convencional.

Una característica muy importante dentro de las comunicaciones es la tecnología de corrección de errores, que permite eliminar de las señales recibidas los errores producidos por las deficiencias en los canales de transmisión. Esta tecnología desarrollada en los viajes al espacio, es la que ha da-

do la fiabilidad precisa a las comunicaciones necesarias en la explotación activa del alcantarillado.

Tecnologías informáticas: En la actualidad, entre otras, tienen especial relevancia en la explotación activa del alcantarillado, las siguientes tecnologías informáticas: microprocesadores, sistemas abiertos y distribuidos, redes de computadores, bases de datos, y sistemas de presentación gráfica avanzada.

● *Microprocesadores:* El hecho de haber podido condensar en un solo "chip" una elevada capacidad de proceso, ha hecho posible la construcción de ordenadores industriales pequeños y autosuficientes. Estos ordenadores llamados estaciones remotas, son los que permiten ser colocados al lado del punto de medida o actuación, realizando las tareas de conexión con la instrumentación, comunicaciones con el centro de control, cálculo y proceso propio, y en caso de fallo del centro o de las comunicaciones, almacenamiento temporal de la información.

● *Sistemas abiertos y distribuidos:* Por sistema abierto se entiende el que está formado por una serie de elementos que no han de ser forzosamente del mismo fabricante. Se definen unos estándares de interconectividad y cada fabricante se adecua a ellos, de manera que los diferentes elementos se puedan interconectar con facilidad. Un sistema abierto facilita mucho la conexión de los puntos de trabajo para los operadores, y sobre todo simplifica muchísimo los elementos de comunicaciones con las estaciones remotas, y su inclusión en el sistema. Hasta la existencia de estos sistemas las conexiones con las estaciones remotas eran complicadas y se llevaban una parte importante de la capacidad de proceso del sistema central, en la actualidad se han eliminado los dos problemas.

Los sistemas distribuidos han aportado la posibilidad de repartir la capacidad de proceso y la de almacenaje de información, en diferentes puntos de un sistema informático. Esta característica permite implantar con gran facilidad sistemas de explotación activa con más de un centro de control de una forma natural.

● *Redes de computadores:* El poder contar con una serie de computadores conectados entre sí a bajo nivel, permite diseñar aplicaciones informáticas que aprovechen mejor la capacidad total de cálculo, especializando, por ejemplo, cada computador en una actividad diferente.

Los sistemas de telecontrol aprovechan masivamente esta arquitectura ejecutando las funciones de comunicaciones, presentación gráfica, gestión de los datos, y control en procesos de entrada y salida en computadores diferentes cooperando entre sí.

La más alta potencia y eficiencia de los sistemas que se apoyan en redes de computadores facilita la explotación activa del alcantarillado.

● **Bases de datos:** Los sistemas de telecontrol generan una cantidad muy grande y continua de datos, y tan importante es obtenerlos como guardarlos de una forma ordenada y fácilmente accesible a los usuarios, asegurando la integridad. Este último aspecto se puede realizar gracias al desarrollo de las bases de datos, y toda su tecnología asociada.

Las bases de datos actuales aseguran la integridad y conservación de la información, fuerzan un almacenamiento lógico y coherente, y por último hacen fácil el acceso a la información a todos los usuarios que lo necesiten.

En el momento de plantearse un sistema de telecontrol es muy importante analizar ya desde un primer momento las aplicaciones que harán uso de los datos, a fin de conseguir una verdadera explotación y no sólo una acumulación enorme de información desordenada, que en sí misma no tiene ninguna utilidad.

● **Sistemas de presentación gráfica avanzada:** Los interfaces entre los operadores de los sistemas de explotación y los propios sistemas, sólo gracias a la existencia de la posibilidad de presentaciones gráficas avanzadas han podido llegar a un alto grado de sofisticación y al mismo tiempo de sencillez.

Actualmente es normal disponer de pantallas gráficas de alta resolución, donde se puede representar cualquier dibujo, gráfica, esquema, fotografía, plano, etc., o un conjunto de todos ellos. Estas posibilidades permiten una riqueza de datos muy elevada, y la sintetización gráfica inherente permite aportar al operador una información que de otra forma no podría absorber.

Los sistemas gráficos actuales han permitido pasar de la necesidad de operadores especializa-

dos y visualizaciones muy rígidas, hasta una gran sencillez de operación con presentaciones muy flexibles y más entendedoras.

● **Metodologías:** Las dos metodologías que marcan el cambio de enfoque que permite efectuar la explotación activa del alcantarillado son: la regulación, y la optimización.

La regulación: La regulación, entendida como la capacidad de acción inteligente sobre un sistema físico, es una metodología extendida y consolidada en muchos campos de la técnica, y en particular en otras redes de servicios urbanos (teléfono, electricidad, agua, etc.)



Figura 8. Compuerta de regulación en la red de alcantarillado de Barcelona

La explotación activa del alcantarillado tiene en la metodología de la regulación, su principal pilar. La regulación permite actuar sobre la evolución de los estados que se dan en el alcantarillado, considerado como un sistema dinámico.

La regulación tendrá, en la explotación activa del alcantarillado, dos cometidos principales, la disminución del riesgo de inundaciones, y la disminución de las descargas contaminantes al medio receptor.

La regulación del sistema de alcantarillado se basa en las teorías sobre el control de sistemas no lineales ampliamente consolidadas en otras líneas. Queremos destacar tres aspectos: medición, controlabilidad, y posicionado de medidores y actuadores.

La medición es el análisis de la capacidad, a través de un cierto número de sensores, de conocer el estado del sistema de alcantarillado, este análisis nos ayudará en las decisiones sobre sensores.

La controlabilidad permite conocer y cuantificar qué grado de acción y control se puede ejercer sobre el sistema a través de los actuadores que disponemos, ello permitirá la elección de los actuadores más adecuados.

El análisis de posicionado de medidores y actuadores permite optimizar su colocación, de manera que con el menor número posible sean el máximo d'eficaces en la medida y control del sistema de alcantarillado.

En resumen, la metodología de la regulación es la herramienta técnica que aplicaremos, para realizar efectivamente la idea intuitiva de que las redes de alcantarillado tienen y pueden ser controladas activamente en tiempo real.

La optimización: Esta segunda metodología nos da la posibilidad de, no tan sólo actuar activamente, sino de hacerlo óptimamente.

La optimización no es practicable, si antes no se ha aplicado la metodología de la regulación, por tanto podremos hablar de la optimización de la regulación.

La optimización de la explotación activa del alcantarillado, hace concretamente referencia a la mejor forma de operar los actuadores, para conseguir el óptimo en algún aspecto determinado. Por ejemplo podemos optimizar la minimización de la carga contaminante al medio receptor actuando en los elementos de regulación de un depósito de retención; podemos optimizar la constancia del caudal enviado a una estación depura-

dora actuando en unas compuertas de derivación; o podemos optimizar el máximo distanciamiento del nivel del agua respecto a la cota de calle actuando en un conjunto de depósitos de retención y compuertas.

La optimización tiene un completo cuerpo de doctrina, con toda una serie de procedimientos establecidos, que son los que habrá que aplicar en el caso concreto del alcantarillado.

Este capítulo ha dado una visión de los principales aspectos que permiten realizar una explotación activa del alcantarillado.

BIBLIOGRAFÍA

- Harremões, P., Hansen, O.B., and Sund, C.** "Rain run-off from sewer systems & treatment plants", Engineering Foundation Conference, Switzerland. 1989.
- Jacobsen, P.**, "Improvement of combined sewer systems by stormwater infiltration", Second European Junior Workshop on Hydrological and Pollution Aspects of Stormwater infiltration, Kostanienbaum, Switzerland, 1989.
- Redaño, A.**, "Estructura fina de las lluvias intensas en Barcelona", Mem. R. Ac. Ciencias y Artes de Barcelona, Vol. XLIV, nº 7, 1989.
- Arandes, R.**, "Problemática técnica en la lucha por el uso del subsuelo urbano", Congreso de Urbanismo y Territorio, Barcelona, 1990.
- Hartong, H.**, "Aspectos económicos del Control en tiempo real en sistemas de drenaje urbano" y "Estudio de casos en la región de Westfriesland y en el Flevopolder", Workshop sobre gestión en tiempo real de sistemas de drenaje urbano, Barcelona, 1990.
- Vázquez, R., Cabot, J., Malgrat, P., Wisner, P.**, "Master Drainage Plan for Barcelona City", V International Conference on Urban Storm Drainage, Osaka (Japón), 1990.
- Vázquez, R., Malgrat, P.**, "Sictrab, a Rtcuds project for Barcelona City", V International Conference on Urban Storm Drainage, Osaka (Japón), 1990.
- Desbordes, M., Deutsch, J.C., Frerot, A.**, "Les eaux de pluie dans les villes", La recherche, 1990.
- Bachoc, A.**, "La pollution des rejets pluvieux urbains", Journées Techniques sur les eaux pluviales, 1991.
- Balades, J.D., Bourgogne, P., Bachoc, A., Madiet, H.**, "Un moyen de lutte contre la pollution des rejets urbains de temps de pluie. Les solutions

compensatoires", G.-M. Faup - T.M.S. L'Eau, 1991.

–**Service Technique de l'Urbanisme**, "Réconcilier l'eau et la ville par la maîtrise des eaux pluviales", 1991.

–**Malgrat, P.**, "Sistema de control en tiempo real del alcantarillado de Barcelona, El proyecto Sic-trab", Municipalia-91, 1991.

–**Delattre, J.M.**, "Approche Opérationnelle de la Gestion en Temps Réel des Réseaux d'Assainissement. L'expérience de Seine Saint-Denis", III Curso de Avenidas: Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1992.

–**Malgrat, P.**, "El Plan Especial de Alcantarillado de Barcelona (PECB)", III Curso de Avenidas: Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1992.

–**Malgrat, P.**, "Desarrollo del PECB: Hacia el drenaje urbano del futuro", III Curso de Avenidas: Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1992.

–**Gómez, M.**, "Análisis hidráulico de las redes de drenaje urbano", III Curso de Avenidas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canals y Puertos - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1992.

–**Clascà, J.R. de, Andújar, M.A., Arderiu, J.N.**, "Los colectores del frente marítimo de Barcelona", III Curso de Avenidas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1992.

–**Malgrat, P., Martí, J.**, "On the implementation of a GIS for the management of the urban drainage system (Saem Project), Novatech'92, Lyon (Francia), 1992.

–**Quer, J.L., Martí, J., Malgrat, P.**, "On the implementation of Real Time Control (RTC) and a GIS in Barcelona's urban drainage system", Novatech'92, Lyon (Francia), 1992.

–**Ostrowski, M.W., Bettmann, T.**, "Optimum design of storage tanks for decentral storm water usage", Novatech'92, Lyon (Francia), 1992.

–**Hulot, J.C., Bachoc, A., Delattre, J.M.**, "Etude d'un bassin de stockage-decantation", Novatech'92, Lyon (Francia), 1992.

–**Balades, J.D., Bourgogue, P., Madiec, H.**, "Evaluation de l'abattement des flux de pollution transitant dans un type de solution compensatoire et 200 solutions compensatoires mises en oeuvre sur Bordeaux", Novatech'92, Lyon (Francia), 1992.

–**Sévar, J.M.**, "Nouvelles technologies utilisées pour la mesure et l'enregistrement des débits des eaux usées et pluviales", Novatech'92, Lyon (Francia), 1992.

–**Direction de l'Eau et l'Assainissement de Seine Saint-Denis**, "Le guide des vannes en assainissement", Conseil Général du Département de Seine Saint-Denis (Paris), 1992.

–**Malgrat, P.**, "Gestió avançada del clavegueram. El cas de Barcelona", Diputació de Barcelona, 1992.

–**Gutiérrez, L.A.**, "Gestión avanzada del alcantarillado", Simposium Internacional de Desalación y Reuso del Agua, Las Palmas de Gran Canaria, 1992.

–**Malgrat, P.**, "Seminario de evacuación de aguas, redes de alcantarillado y emisarios", Curs Tècnics de l'Aigua, Barcelona, 1992.

–**Malgrat, P.**, "Gestió de la qualitat de l'aigua a l'àmbit municipal", Institut Municipal de la Salut, Barcelona, 1993.

–**Malgrat, P.**, "Sistemes avançats de manteniment d'espais públics", Institut Català de Tecnologia, Barcelona, 1993.

–**Malgrat, P.**, "Evacuació d'aigües residuals i pluvials", Consell Comarcal del Maresme, Curs Tècnic Base en Medi Ambient, Barcelona, 1993.

–**Malgrat, P., Martí, J.**, "Aplicación de Tecnologías Avanzadas de Gestión en una Red de Alcantarillado", XIV Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), Las Palmas de Gran Canaria, 1993.

–**Martí, J., Ballester, LL., Malgrat, P.**, "On the implementation of a Gis for the management of Urban Drainage System of Barcelona", Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Ontario - Canadá, 1993.

–**Martí, J., Ballester, LL., Malgrat, P.**, "Implementation of Real Time Control in Barcelona's Urban Drainage System", Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Ontario - Canadá, 1993.

–**Martí, J., Verdejo, J.M.**, "Diseño e implantación de la base de datos del Sig de la Empresa Mixta del Alcantarillado de Barcelona, S.A. (Clabsa)", II Congreso de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica (Aesig), Madrid, 1993.

–**Martí, J.**, "Problemática General del Saneamiento y Drenaje", Curso de Nuevas Tecnologías aplicadas al diseño y renovación de Alcantarillados Urbanos, Benicasim, 1993.

–**Martí, J.**, “Diseño de Sistemas Informáticos de Gestión de Redes de Saneamiento”, XIV Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), Jerez de la Frontera, 1994.

–**Gutiérrez, L.A.**, “Experiencia de Cooperación Público-privada en el Desarrollo y Gestión Avanzada del Alcantarillado de Barcelona”, CITYTEC, 1994.

–**Grupo GADU**, “Encuesta sobre el Alcantarillado Municipal”, 1995.

–**Raso, J., Malgrat, P., Castillo, F.**, “Improvement in the selection of Design Storms for the new master Drainage Plan of Barcelona”, Novatech, Lyon, 1995.

–**Gutiérrez, L.A.**, “Control de la Polución Pluvial Urbana”, Técnicas y Equipamientos Municipales, 1995.

–**Burdons, S., Sans, Y., Morraja, A.**, “Sistema de Información Territorial del Alcantarillado de Barcelona”, Mapping (nº 22, Marzo), 1995.

–**Verdejo, J.M.**, “Tendencias del SIG aplicables a la Gestión de Redes”, II Semana Geomática de Barcelona (Abril), 1995.

–**Verdejo, J.M., Sans, Y.**, “Generación automática de recorridos de mantenimiento de una red de servicios”, AESIG (Barcelona, Septiembre), 1995.

–**Malgrat, P., Ballester, LL.**, “Medición y Control de la Polución producida por las Descargas de Sistemas Unitarios de Alcantarillado”, AEAS, Vitoria, 1995.

–**Vázquez, R.**, “El modelo futuro de gestión de saneamiento: el caso de Barcelona”, Seminario sobre Tratamiento, Gestión y Regeneración de las Aguas Residuales Urbanas”, Madrid, 1995.

–**Malgrat, P.**, “Control de la contaminación producida en tiempo de lluvia por las Descargas de Sistemas Unitarios de Alcantarillado”, Revista Obra Pública (Saneamiento II, nº 33), 1995.

–**Martí, J.**, “Explotación centralizada de redes de saneamiento”, Revista Obra Pública (Saneamiento II, nº 33), 1995. ●