

**Depósito de retención de aguas pluviales de Barcelona: Joan Miró**

# Regulación hidráulica, cuidado medioambiental

**El problema de las inundaciones que periódicamente sufren las redes de alcantarillado, así como el del impacto que éstas producen en tiempo de lluvia en el medio receptor tienen en los depósitos de retención una óptima solución, tanto en coste como en impacto urbano y beneficio medioambiental. Esta medida ha sido adoptada en numerosas ciudades europeas, norteamericanas y japonesas, y en los últimos años en Barcelona. Esta metrópoli española cuenta ya con diez grandes depósitos, entre los que se encuentra, como ejemplo significativo, el del parque Joan Miró.**

Desde hace más de 25 años vienen implantándose en los países más avanzados depósitos de retención de aguas pluviales, concebidos inicialmente con un propósito de regulación hidráulica para evitar inundaciones, añadiéndoles, posteriormente, también una función medioambiental: reteniendo parte de las aguas de lluvia contaminadas y evitando su vertido al medio receptor, pues está demostrado que éstas pueden llegar a aportar hasta el 50 por ciento de la contaminación total vertida. Estas soluciones suponen a menudo un ahorro económico substancial y un menor impacto sobre la actividad urbana respecto a las soluciones clásicas de grandes colectores, siempre complicados de ejecutar en ciudades consolidadas y densas.

La eficacia de los depósitos enterrados ha sido probada con éxito en numerosas ciudades europeas, norteamericanas y japonesas. En España, ha sido Barcelona la primera ciudad donde se han implantado varios de estos grandes depósitos, tanto para evitar inundaciones como para reducir el número y el volumen de las Descargas del Sistema Unitario (DSU). Actualmente existen 10 depósitos,



Arriba, depósito de Doctors Dolsa en construcción por el método de construcción inversa. Debajo, vista del interior del depósito de 'Joan Miró'



con un volumen total de 492.200 m<sup>3</sup>. La contribución de estas grandes infraestructuras ha supuesto una notable mejora en la evacuación y gestión de las aguas residuales y pluviales de Barcelona.

Por otro lado, todo este conjunto de instalaciones precisa una regulación activa y eficiente de caudales, con la finalidad de reducir los de aguas abajo y evitar desbordamientos y minimizar los vertidos a los medios receptores (río Besos y mar Mediterráneo) reduciendo así la contaminación de éstos. Otra gran ventaja de estas instalaciones es la protección de las depuradoras frente a las perjudiciales variaciones de caudal, ya que, como es sabido, no tienen mucho margen de maniobra, sobre todo en sus tratamientos secundarios o biológicos. La mejora medioambiental que se puede conseguir con los depósitos puede ser enorme,

reduciendo la contaminación vertida anualmente a los medios receptores en un 50 por ciento, o lo que es aún más importante, evitando la destrucción de ciertos ecosistemas. Una vez pasado el episodio de lluvia, los sedimentos producidos en los depósitos de retención son enviados de forma diferida a las depuradoras, sin que ocasionen ningún trastorno en éstas ni en los medios receptores. La implementación de estas mejoras supone un paso más hacia la gestión integral del ciclo de la agua en lo concerniente al saneamiento (alcantarillado, depuración y medio receptor), muy en la línea de la nueva Directiva Marco del Agua.

Asimismo, los espacios urbanos limítrofes a estos medios receptores están representando un papel vital para usos lúdicos públicos, con lo que su recuperación y protección se hace imprescindible a una ciudad como Barcelona, cuyas playas, han acogido más de ocho millones de visitantes en el último año.

## GESTIÓN MODERNA

La implantación de los grandes depósitos en Barcelona es, de hecho, el resultado de la aplicación de un nuevo tipo de gestión en las redes de alcantarillado o drenaje urbano: la GADU o Gestión Avanzada del Drenaje Urbano, o lo que se ha

venido a llamar Modelo Barcelona y que ha convertido la gestión del alcantarillado de Barcelona en una de las más modernas y avanzadas del mundo.

GADU es una metodología de trabajo que permite aplicar las técnicas más innovadoras a todos los ámbitos de la gestión de las redes de alcantarillado y drenaje urbano: planificación, proyecto, dirección de obra, explotación y mantenimiento. Este sistema de gestión se basa en cinco principios:

- Conocimiento preciso y exhaustivo de la red y de su comportamiento a través de sistemas informáticos cartográficos (GIS), de modelización y de telecontrol.
- Planificación integral basada

en modelos de simulación con criterios de regulación y control en tiempo real.

- Gestión completa y coordinada en tiempo real, integrada con el resto del ciclo integral del agua, con el medioambiente y con el urbanismo.
- Enfoque medioambiental, sostenible y de calidad.
- Divulgación y concienciación.

## PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL MEDIO

Después de cuatro planes directores de alcantarillado (1891, 1952, 1969 y 1988), los cambios acaecidos en todos los sentidos (urbanísticos, tecnológicos, conceptuales, etcétera.) desembocaron en un quinto muy ambicioso: El PECLAB'97. Este contempla soluciones innovadoras para el control de las inundaciones y la contaminación producida por las aguas



de tormenta (actuaciones reductoras del impacto ambiental).

Este plan tiene dos objetivos básicos: evitar inundaciones para lluvias de 10 años de período de retorno (llegando a 50 años en algunos puntos críticos) y reducir el número de vertidos actuales al medio receptor en tiempo de lluvia a una tercera parte y, más específicamente, reducir el porcentaje de horas de baño prohibido por culpa de la lluvia de un 5 a un 1,5 por ciento.

En conjunto, el PECLAB contiene un detallado estudio de la situación y deficiencias actuales, los criterios, metodologías y planteamientos utilizados, las propuestas valoradas y una serie de recomendaciones y normativas. Dicho documento es una pieza clave para la programación cuatrienal de los programas de obras y constituye, asimismo, un documento con validez urbanística y por tanto imperativo en la configuración de la planificación y de otras infraestructuras.

Las grandes obras primarias del PECLAB consisten en 13 depósitos de uso mixto (anti-inundación y anti-vertido), 10 exclusivamente anti-vertido, 37 compuertas de almacenamiento en colectores, 10 compuertas de derivación y 57 km de grandes colectores. La capacidad global de almacenamiento prevista es de casi 1.000.000 m<sup>3</sup> con una inversión prevista de 240 millones de euros. Desde la redacción del PECLAB, una parte importante de los depósitos previstos han sido ya ejecutados o están en avanzado estado de construcción. En total, se trata de 8 depósitos enterrados y dos balsas de inundación preferente, con un volumen total de 490.000 m<sup>3</sup>, más de 25 km de grandes colectores y 5 compuertas de derivación, con una inversión total de 113 millones de euros.

## Diseño y construcción

Los criterios de diseño utilizados —en los depósitos de retención, y en particular en la estimación de su volumen— son de dos tipos (Stahre et al, 1990), según sea su función principal: en el caso de depósitos mixtos,

(Continúa en la pág. 75)



(Viene de la pág. 73)

se suelen dimensionar para regular la lluvia de 10 años de período de retorno, en base a un análisis frecuencial de volúmenes producidos por lluvias históricas; por otro lado, en el caso de depósitos anti-vertido, el criterio es el de los estándares de calidad ambiental específicos en tiempo de lluvia. Esto es, el de no sobrepasar el 1,5 por ciento de horas de baño prohibidas por culpa de la contaminación aportada a las playas por las DSUs.

Una vez encajadas sus dimensiones principales, otro de los factores que suelen condicionar la propia ubicación del depósito es la interacción con la urbanización de superficie y con el tráfico, ya que éstos imponen una serie de restricciones de primera magnitud.

En lo que se refiere a la construcción, hay que destacar dos tipos de obras: el propio depó-

rentes, ya que acostumbran a estar ubicados bajo zonas verdes y con afectación a edificios colindantes y a la servidumbre al ciudadano de a pie. En el caso de Barcelona los depósitos se han ejecutado mayoritariamente siguiendo dos procesos: a cielo abierto y bajo cubierta.

El primer caso consiste en la ejecución de muros-pantalla y posterior excavación a cielo abierto, con o sin anclajes provisionales. Posteriormente se ejecuta la solera, los pilares y la cubierta, generalmente prefabricada. El segundo se refiere a la ejecución de los muros-pantallas y los pilares (bien sean pantallas o pilotes) desde la superficie de trabajo. Posteriormente se construye la cubierta 'in situ', la cual sirve de apuntalamiento. A continuación se procede a excavar bajo cubierta, con o sin anclajes provisionales y finalmente se ejecuta la solera. Este segundo sistema permite mayores profundidades de depósito sin utilización de anclajes y evita problemas con edificios colindantes, amén de permitir el uso de la superficie sin mayores ocupaciones y en menor tiempo.

Todos los depósitos de Barcelona, así como el resto de compuertas y bombes ubicados en la red de alcantarillado de la ciudad son vigilados en



Arriba, ejecución bajo cubierta en el depósito de Doctors Dolsa. Debajo, a la izquierda, ejecución de una pila-pilote en el depósito 'Joan Miró'.

un centro de control. Desde éste, y a partir de los datos provenientes de los diferentes sensores (limnómetros, pluviómetros...), del radar meteorológico y de las previsiones meteorológicas facilitadas por el Instituto Nacional de Meteorología y el Servicio Catalán de Meteorología, se operan los diferentes elementos, siguiendo una serie de protocolos de actuación preestablecidos.

#### DEPÓSITO 'JOAN MIRÓ'

Claro ejemplo de los depósitos de retención de aguas pluviales de Barcelona, este depósito

es, de los de uso mixto, el último que ha entrado en funcionamiento. Tiene una capacidad de 70.000 m<sup>3</sup>, dividido en dos cuerpos: el de gravedad, de 14.800 m<sup>3</sup> y el cuerpo profundo, de 55.200 m<sup>3</sup>, de los cuales 30.000 m<sup>3</sup> se evacúan por bombeo. Tiene un caudal de diseño de 40 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un T=10 años, admitiendo un caudal máximo de entrada de 51 m<sup>3</sup>/s, con dos colectores de entrada y uno de salida. Además cuenta con una explotación de agua freática, que no sólo se utiliza para la limpieza del propio depósito, sino también para limpieza de las calles adyacentes y riegos urbanos.

Cuenta con una compuerta de regulación de entrada, de 6,00 x 2,30 m, y dos compuertas de salida, de 1,30 x 1,70 m cada una, además de otras cuatro de derivación. La limpieza se produce mediante 16 clapetas de descarga. Todos estos mecanismos, además de los sensores de nivel, de gases, etc. se controlan, como el resto de los depósitos de Barcelona, desde el centro de telecontrol. Ubicado encima del depósito se encuentra un aparcamiento público y encima de éste irá un parque, de forma que se compatibilizan los usos propios del depósito con otros usos urbanos.

#### Proceso constructivo

La dificultad de ejecutar algunos de los anclajes provisionales previstos, debido a la existencia del túnel del metro de la línea 3 y de una galería de servicios que transcurren por la calle en la que se ubica, así como la ejecución del aparcamiento encima del depósito,

obligaron a aumentar la capacidad portante de la losa de cubierta y ello condicionó las distancias entre los pilotes. Debido a esto se eligió el método de la construcción inversa, de manera que la excavación se realizó una vez ejecutados los pilares, las pantallas y la cubierta, y excavando posteriormente la solera. Este proceso constructivo ya se había utilizado con anterioridad en otros dos depósitos (Doctors Dolsa y Bori i Fontestà). El detalle de la ejecución se describe a continuación:

El proceso constructivo se inició con la excavación hasta llegar a la cota de la cubierta del depósito. Posteriormente se ejecutaron las pantallas, de 45 a 65 cm de grosor en el cuerpo de gravedad y de 80 a 100 cm de grosor en el cuerpo profundo. Gracias al estudio geotécnico efectuado en el inicio de la obra se consiguió caracterizar con bastante exactitud el terreno, lo que permitió optimizar la excavación y el volumen de hormi-

gón 'in situ', maciza de 40 cm, con clavos de 8,4 a 11 m. Funcionan como pilares en el interior del depósito y como cimentación de pilotes debajo de solera. Una vez ejecutados los pilotes y las pantallas, se realizó la cubierta de hormi-



Arriba, ejecución de la losa aligerada hormigonada contra el terreno en el depósito de Doctors Dolsa. Sobre estas líneas, vista del centro de control del alcantarillado de Barcelona.

lan entre los 15 y los 25,5 m, con clavos de 8,4 a 11 m. Funcionan como pilares en el interior del depósito y como cimentación de pilotes debajo de solera. Una vez ejecutados los pilotes y las pantallas, se realizó la cubierta de hormi-

gón 'in situ', maciza de 40 cm, hormigonada sobre el terreno utilizándolo como encofrado, empotrando la losa a las pantallas y a los pilares. El hecho de realizar la cubierta antes de empezar a excavar evitó que se tuviera que ejecutar la pri-

mera línea de anclajes provisionales, que afectaban al túnel del metro y a la galería de servicios, ya que el arriostamiento de la cubierta hacía de apuntalamiento en cabeza.

Posteriormente se ejecutó una rampa de acceso lateral al depósito para excavar bajo la cubierta ya construida. A priori, esto implica una gran dificultad debido a que la excavación debe hacerse en condiciones precarias en una primera fase, hecho agravado por la presencia de todos los pilares ya ejecutados.

A medida que se profundiza en la excavación se van haciendo los anclajes necesarios en las pantallas (una o dos filas, dependiendo de la pantalla). Una vez finalizada la excavación se ejecutó la solera bajo nivel freático y unas pantallas de cimentación de la solera de manera que sirven para resistir las presiones del agua durante el llenado del depósito y para resistir la subpresión en la solera del cuerpo de bombeo. Finalmente se ejecutaron las diferentes instalaciones necesarias para la gestión en tiempo real del depósito de forma automatizada.

PERE MALGRAT I BREGOLAT Y ALBERT VILALTA I CAMBRA, ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

## FICHA TÉCNICA

### PROMOTOR:

Ayuntamiento de Barcelona  
Albert Vilalta Cambra (ICCP)  
Carlos Chico Martorell (Arquitecto Técnico)

### AUTOR DEL PROYECTO: Ángel Villanueva Blasco (ICCP)

DIRECCIÓN DEL PROYECTO Y DE LA OBRA:  
CLABSA (Empresa mixta del Ayuntamiento de Barcelona, Agbar y FCC)

### EMPRESA CONSTRUCTORA: Ferroviaria

DIRECTOR DE OBRA: Manel Olmo Alonso (ICCP)

### JEFE DE OBRA: Albert Campo Sierra (ITOP)

### CONTROL DE CALIDAD: Intemac

### PRESUPUESTO DE LAS OBRAS:

10.598.262 euros (financiado en un 80% por fondos de cohesión de la Unión Europea)

### PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS:

Volumen: 70.000 m<sup>3</sup> / Cuerpo de gravedad: 14.800 m<sup>3</sup>  
Cuerpo Profundo: 55.200 m<sup>3</sup> / Profundidad máxima: 16 m  
Caudal de diseño (T = 10 años): 40 m<sup>3</sup>/sg  
Dos pozos de captación de 27 m de profundidad  
Depósito de 625 m<sup>2</sup>



sito y sus colectores de conexión y desagüe.

La ejecución de colectores, en los tramos sin conexiones ni puntos singulares, se realiza con elementos prefabricados o bien 'in situ' con encofrados deslizantes. Se caracterizan por tener la traza coincidente con las calles de la ciudad y por tanto implica una gran afectación de tráfico y servicios. A veces se ejecutan tramos en mina o con tubo empujado, pero la gran mayoría se construye mediante excavación a cielo abierto, a menudo entre pantallas de pilotes por seguridad.

La ejecución de depósitos presenta características dife-

## Madrid-Barajas, el mejor de España según el programa EuroTAP 2005

# El túnel más seguro

El túnel situado bajo el Aeropuerto Madrid-Barajas, en la M-111, ha obtenido la calificación más alta de los ocho túneles españoles testados dentro del informe de Seguridad de Túneles 2005 elaborado por la asociación alemana del automóvil (ADAC) y en el que colabora el Real Automóvil Club de España (RACE).

El informe de Seguridad de Túneles ha evaluado, en 2005, el nivel de seguridad de 49 túneles europeos. Este informe presenta como novedad importante la incorporación de la Comisión Europea como miembro del proyecto, lo que ha hecho que cambie su denominación por la de EuroTAP (European Tunnel Assessment Programme). Durante tres años este programa pretende analizar la seguridad de 150 túneles europeos.

La evaluación que se realiza en esta



inspección recoge las directrices que marca la propia Comisión Europea en materia de seguridad en las infraestructuras: distancias entre las salidas de emergencia, vías de escape, circulación de mercancías peligrosas, sistemas de ventilación... Mediante las visitas de los expertos a los túneles, y con la ayuda de

los operadores, se realiza un informe en el que se recogen los puntos fuertes y débiles de cada uno.

Por resultados, diecisiete túneles europeos han obtenido la calificación de "Muy bueno", destacando el túnel de Ottsdorf, en Austria, y el túnel de Markusberg, en Luxemburgo; quince la de "Bueno", nueve "Aceptable", cuatro han obtenido una calificación de "insatisfactorios" y otros cuatro como "muy insatisfactorios".

En lo que respecta a los túneles españoles analizados, el túnel de Madrid-Barajas, Txorrieri-Ugasko y Txorrieri-La Salve han sido catalogados con la categoría "Muy Bueno"; El túnel urbano de Santa María de la Cabeza de Madrid y el Túnel de San Juan, en Alicante, obtuvieron una calificación de "Bueno". Los de Miravete (Cáceres) y Cerrado del Calderón (Málaga) fueron calificados de "Aceptables" y sólo el Túnel Los Barrios de León fue considerado "Insatisfactorio".