

# ESTANQUES DE RETENCIÓN DE AGUAS DE TORMENTA PARA ESCORENTÍAS URBANAS. UNA PROPUESTA DE ACTUACIÓN EN SANTIAGO DE COMPOSTELA

SUÁREZ, J.; PUERTAS, J.; CREUS, J.; GALLEGO, M.

Universidad de La Coruña,

DÍAZ-FIERROS, F.

Universidad de Santiago de Compostela

Nuestra participación nos la hemos planteado a dos niveles. Uno general que atañe al encuadre del tema y otro particular del ejemplo proyectado.

Los dos están íntimamente ligados.

El 1º, más conceptual nos explica su interés en relación con la ordenación del espacio de la ciudad. El 2º desarrolla este a través de un espacio concreto.

De todos es sabido la nueva realidad de la forma de la ciudad de hoy. Su tremendo crecimiento hace que desborde sus límites tradicionales, la explosión urbana se une a su fragmentación y dispersión. La ciudad de hoy pierde su forma compacta y ocupa el territorio confundiendo lo urbano con los restos de lo rural. Grandes espacios se articulan fundamentalmente por las infraestructuras, auténticos ejes y canales de crecimiento. Entre los fragmentos, restos de espacios residuales que se confunden con una gran periferia protagonista importante de su extensión. Se ha hablado de la ciudad collage, ciudad sin lugares, móvil, fugaz y espectáculo. Todos estos adjetivos dejan ver aspectos de esa realidad nueva que es la ciudad actual. Grandes y complejas aglomeraciones urbanas que cada vez prestan mayor atención al agua, bien limitado y factor determinante de su tamaño. Elemento básico para la vida y por tanto para todos los espacios de uso humano.

No se puede entender nuestra propuesta sin pensar en los problemas de la ciudad de hoy. Es con la visión de sus problemas y realidades donde adquiere su posible generalización. La propuesta, pues se enmarcaría y se generalizaría en la creación de redes o infraestructuras de espacios de ocio, de gran calidad ambiental tan necesarios en la vida urbana actual como equilibradores de tensiones, ruidos y degradaciones ambientales. Se ubicarían precisamente en intersticios inutilizados existentes. Todo ello tomando como referencia y soporte el medio natural que se asomaría regenerado entre los resquicios del espacio construido. Se enmarca en el pensamiento de la necesidad de una racionalización del uso del agua en todas sus manifestaciones, que en nuestro caso consiste en recuperar las crecidas de escorrentía, laminando los picos y actualizando procesos naturales de depuración consiguiendo así su posibilidad de integración con otros usos, que deben ser concebidos creativamente para que satisfagan demandas sociales actuales.

Espacios de sosiego en donde el agua es un elemento básico, reductos para potenciar creativamente usos nuevos de esparcimiento y lúdicos de la ciudad.

La propuesta de actuación de actuación en Santiago de Compostela, desarrolla un caso concreto. Un proyecto para un lugar determinado con condicionantes específicos y a ello da respuesta el

espacio creado en el proyecto. Lo hace aproximándose de forma sensible al lugar de actuación, modelando la forma, la calidad y textura de los suelos, buscando la relación del agua con sus bordes construidos y con las disposiciones de las especies vegetales. Se organiza todo pensando en los itinerarios peatonales propuestos para que la experiencia de este espacio sea lo más satisfactorio posible.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los primeros esfuerzos en la depuración de las aguas residuales se centraron en el control de los focos puntuales de origen urbano e industrial. Después de un fuerte desarrollo en sistemas de tratamientos se comprobó que en muchos países la calidad de las aguas no era todavía satisfactoria (Ellis, 1991). Se observó que una gran parte del problema derivaba de los vertidos intermitentes en tiempo de lluvia procedentes de los alcantarillados unitarios de los núcleos urbanos. A este tipo de vertidos se los denomina "reboses de alcantarillado unitario" (RAU) (Temprano, 1997), "descargas de sistemas unitarios" (DSU) (Malgrat, 1995) o "Combined Sewer Overflows" (CSO), en la literatura anglosajona. Fue en EE.UU. donde por primera vez se reconoció la importancia de este problema en la "Federal Water Control Act Amendments" de 1972. Al proponer las medidas de control pertinentes se comprobó el elevado coste económico que suponía el controlar la contaminación que era vertida al medio acuático a través de este tipo de vertidos (RAU) junto con la contaminación vertida por las aguas pluviales a través de los sistemas separativos ("Cost methodology of Combined Sewer Overflows and Storm Discharges", EPA-430/9-79-003). A pesar de que desde esas fechas se lleva invertido mucho en el conocimiento y control de este problema, todavía sigue siendo uno de los principales focos de contaminación del agua (Moffa, 1990; Malgrat, P., 1995).

En Europa, el control de la contaminación del agua de origen urbano siguió pautas similares a las de EE.UU. y también concluyó, al término de la década de los 80, que los reboses de los sistemas unitarios eran uno de los objetivos prioritarios a minimizar o eliminar (Ellis, 1991). La Directiva CEE 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales es, sin embargo, poco explícita en relación con este problema. Sólo cita parcialmente que todo tipo de agua que entre en una red unitaria deberá ser tratada y cita de forma concreta la minimización de los vertidos de las aguas de tormenta. Deja en general a los estados miembros la libertad de limitar la contaminación del agua de los reboses mediante el establecimiento de una determinada dilución en un momento del vertido, o aceptando un determinado número de reboses al año (Valirón, F., Tabuchi, J., 1992).

En España, donde predomina el alcantarillado unitario, el problema resulta evidente. Sin embargo, sólo muy recientemente (como en el "workshop" desarrollado en Benicassim de 1995) se destacó la importancia de este problema (Malgrat, P., 1995); asimismo, el MOPT-MA diseñó a partir de los consejos del grupo "Grupo Avanzado de Drenaje Urbano (GADU)" de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento (AEAS), el "Programa Nacional para la Medida de la Calidad de las Descargas de Alcantarillado Unitario a los Medios Receptores", que tiene prevista su aplicación a diferentes ciudades españolas (ninguna gallega), pero que todavía no ha sido llevado a la práctica por problemas de financiación. También en los últimos años la Confederación Hidrográfica del Norte y grupos de investigación del Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Cantabria han trabajado en el diseño de nuevas infraestructuras de saneamiento considerando la integración de las aguas de tormenta.

Hoy en día se admite que el control de los RAU debe realizarse siempre bajo el principio de la "Gestión Integrada", considerando todas las relaciones que se establecen entre: A) lluvia, B) sistema de colectores; C) estación depuradora; D) medio receptor, aplicando siempre las que son definidas como "prácticas de gestión racional" (BMP- "Best Management Practices"). Para poner en práctica estas medidas se necesita tener un buen conocimiento de los siguientes puntos:

1. Medida y análisis de las lluvias.
2. Modelos de lluvia-escorrentía.
3. Modelización de la red de alcantarillado.
4. Caracterización y modelado de los reboses.
5. Comportamiento de la estación depuradora frente a variaciones de caudal y carga.
6. Capacidad autodepuradora del medio receptor.

Para ello se necesita disponer como mínimo de medidas in situ de caudales en diferentes puntos de la red (sobre todo en los aliviaderos), de datos pluviométricos en periodos cortos de tiempo, de datos físico-químicos de caracterización de los reboses y de la variación de la calidad del agua del medio receptor frente a este tipo de sucesos.

Con el objetivo de comenzar este tipo de estudios en la ciudad de Santiago, un equipo multidisciplinar de las Universidades de Santiago de Compostela y La Coruña, con la colaboración de la empresa AQUAGEST y la financiación de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), inició en el año 1995 la primera toma de datos.

Santiago de Compostela es la capital de la Comunidad Autónoma de Galicia. Con una población creciente de más de 100.000 habitantes es la tercera ciudad de Galicia. La ciudad se encuentra situada entre dos ríos: el Sar y el Sarela (afluente del primero); motivo del surgimiento de la actual ciudad, son en la actualidad muy presionados por la misma. La ciudad ha utilizado sus aguas a lo largo de su historia, primero para abastecerse y luego para realizar sus vertidos de aguas residuales y basuras.

Santiago dispone en la actualidad de un sistema de saneamiento heterogéneo, como sucede en todas las ciudades que han ido consolidando su estado actual a lo largo de siglos de historia: distintos materiales y distintos enfoques técnicos se han ido superponiendo hasta conformar su red de alcantarillado.

El sistema de saneamiento de Santiago es unitario a excepción de alguna nueva área urbanizada recientemente (área de Fontiñas). Se diferencian claramente las zonas del casco antiguo, zona del ensanche, y los nuevos asentamientos. El sistema es en algunas zonas viejo, con

numerosas infiltraciones, manantiales incorporados a la red y entrada de aguas procedente de achiques de sótanos. En los últimos años se han realizado importantes obras para eliminar problemas de inundaciones.

El sistema de colectores interceptores de saneamiento tiene forma de "Y" y discurre paralelo a los ríos Sar y Sarela. Por supuesto, en época de lluvias, y a través de los numerosos aliviaderos, son vertidas a los dos ríos las aguas que no pueden ser transportadas a la estación depuradora de aguas residuales (EDAR). Un elevado volumen de agua con una importante carga contaminante se vierte sistemáticamente durante estos sucesos a ambos ríos.

En la depuradora, de fangos activos convencional (sin nitrificación y desnitrificación por lo tanto) aparecen problemas debido a que los caudales máximos que es capaz de tratar ya son superados numerosas veces en tiempo seco. Las dificultades de operar la planta en esta situación, que debería ser excepcional y no ordinaria, hace que tanto la línea de agua como la línea de fangos se desequilibren y la calidad del efluente empeore.

Tanto el Sar como el Sarela nacen en las proximidades de la ciudad, por lo que apenas son arroyos de menos de 4 metros de anchura y unos decímetros de profundidad. Conforme va aumentando la cuenca de aportación van aumentando sus caudales pero a la altura de la EDAR, que vierte un caudal medio de 400 l/s, el río Sar apenas lleva 500 l/s en verano. La calidad del efluente de la EDAR y de las aguas que hay que "by-pasear" condiciona totalmente la calidad del agua del río. Los efectos de los sucesos de reboses de alcantarillado en época de lluvia, frecuentes en esta región, han acabado por degradar el ecosistema fluvial.

## 2. CONTROL DE LAS AGUAS DE TORMENTA

Una red de saneamiento se dimensiona para recoger y conducir hacia un determinado punto la suma del caudal de aguas negras y aguas de lluvia. El volumen de aguas de lluvia, en general, es muy superior al de aguas negras. En ciertos puntos de la red se disponen aliviaderos; estos dispositivos permiten sacar fuera de la red de alcantarillado el volumen de agua que supera cierto umbral.

El agua del reboses generado en los aliviaderos contiene contaminación; esta contaminación varía a lo largo de cada suceso. Para controlar y tratar la contaminación que es descargada al medio receptor es necesaria la instalación de diferentes tipos de estructuras que permitan almacenar ciertos volúmenes de agua a la vez que se producen determinados procesos de depuración. Los principales tipos de sistemas de control y tratamiento de reboses se basan en depósitos.

Los depósitos de almacenamiento también reciben el nombre de depósitos de tormenta o de retención. El dimensionamiento de los depósitos se puede hacer para alcanzar dos objetivos: control de caudal en el sistema y control de la contaminación vertida en el reboses. El control del caudal en el sistema consiste en disponer un depósito o varios en la red de saneamiento, de esta forma se almacena en la red un mayor volumen de agua que en el caso de que no existieran. La construcción de depósitos con esta finalidad permite un cierto control hidráulico del sistema y prevenir inundaciones. Los depósitos de almacenamiento permiten la mejora de las condiciones de los vertidos al reducir su volumen y frecuencia.

Los depósitos cuyo objetivo es la reducción de la contaminación vertida en el reboses se diseñan con otros criterios. Se basan en la colocación de procesos físicos (decantación, desbaste, sistemas tipo "vortex"...), de procesos físico-químicos, o de procesos biológicos, ya sean los tradicionales o los basados en procesos naturales (humedales, lagunajes, infiltración al terreno, etc.).

Los depósitos de almacenamiento pueden clasificarse atendiendo a su disposición en la red de saneamiento. Así, pueden situarse antes (depósitos de superficie) o en la propia red de alcantarillado. Otra clasificación puede ser la basada en su disposición respecto a los conductos o canales de drenaje:

- Depósitos en red o en línea: son aquellos por los que siempre pasa el agua procedente de aguas del sistema.
- Depósitos fuera de línea: entran en funcionamiento cuando en un punto prefijado de la red se supera un cierto umbral de agua. En ese instante parte del agua es conducida al depósito fuera de línea. Cuando el aguacero cesa el agua almacenada se dirige de nuevo a la red de saneamiento situada aguas abajo.

Los depósitos de superficie se suelen colocar antes de que el agua entre a la red de saneamiento. Se pueden dividir en secos o permanentes según el agua se presente sólo durante las lluvias o de forma constante. Pueden estar en línea o fuera de línea.

La posición del depósito en el sistema de alcantarillado es tanto o más importante que su forma o sus disposiciones constructivas. La implantación de un depósito de tormenta depende de las características de la cuenca vertiente (condiciones hidrológicas, meteorológicas, geológicas, topográficas, etc.) y de las características de la red (tipo, funcionamiento, población, problemas específicos, existencia de aliviaderos, etc.). Además, deberá estar optimizado en cuanto a los caudales dirigidos a la estación de tratamiento de aguas residuales y a los reboses, a los costes de inversión y a los costes de explotación (Temprano, J.; 1997).

Los sistemas de control y tratamiento de reboses (SCTR) pueden ser combinaciones de unas tipologías u otras de depósitos (regulación, tratamiento, etc.). En el futuro se deberá contemplar el binomio S.C.T.R. y E.D.A.R. como elementos de control de la contaminación, siendo la combinación óptima aquella que minimice el impacto global al medio.

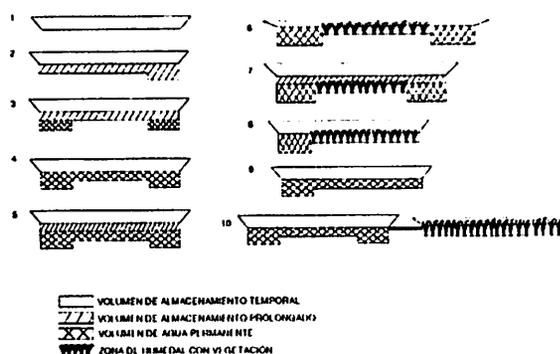
### 3. DEPÓSITOS EN SUPERFICIE. SISTEMAS DE LAGUNAJE

El uso de lagunas o estanques para el control y el tratamiento de las aguas de tormenta ha tenido un amplio uso en los últimos años en EE.UU. y en Europa. Al mismo tiempo los diseños han sido cada vez más sofisticados con el fin de alcanzar los objetivos ambientales previstos, tanto desde un punto de vista de calidad del agua como desde el punto de vista de integración paisajística. A continuación se presenta una breve descripción de los principales tipos de estos sistemas.

Desde un punto de vista operacional estos sistemas se pueden clasificar en una de las siguientes diez categorías (Schueler, T.R.; 1995):

- 1.- Lagunas, estanques o depósitos secos convencionales (control de volumen de agua solamente).
- 2.- Lagunas secas de retención prolongada (RP).
- 3.- Lagunas secas de retención prolongada con pequeños canales permanentes.
- 4.- Lagunas permanentes.
- 5.- Lagunas permanentes con un cierto volumen de retención prolongada.
- 6.- Sistemas humedales con aguas someras o poco profundas.
- 7.- Humedales con aguas someras con capacidad de retención prolongada.
- 8.- Humedales de pequeño tamaño (canales, celdas,...).
- 9.- Lagunas de pequeño tamaño (canales, celdas,...).
- 10.- Sistemas en serie de lagunas y humedales.

Cada uno de estos diseños (mostrados en sección transversal en la figura siguiente) se diferencian por el volumen total de control o tratamiento y por los tiempos de almacenamiento del agua. Como se puede apreciar cada uno de ellos incorpora una o varias técnicas.

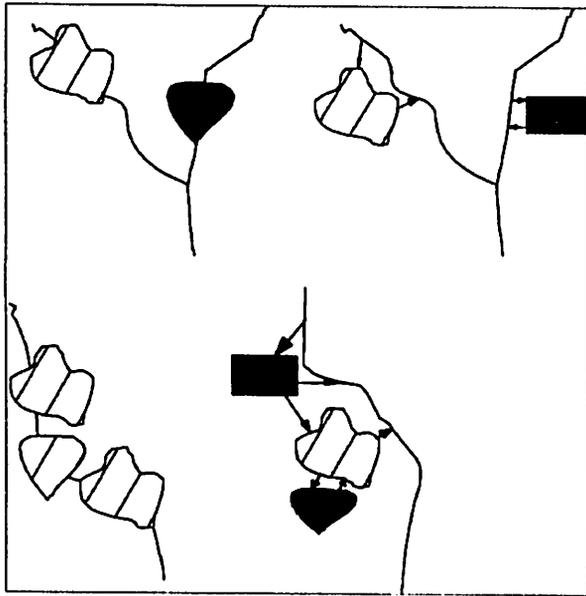


Opciones de sistemas de control y tratamiento de reboses (SCTR) basados en métodos naturales

Cada uno de los sistemas mostrados tienen rendimientos de depuración muy diferentes. Su uso quedará condicionado por los objetivos marcados en el efluente. En la tabla siguiente se muestran los rendimientos típicos de los diez sistemas mencionados en cuanto a eliminación de sólidos en suspensión totales (SST), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT).

Tabla de comparación de capacidad de eliminación de contaminantes de los sistemas naturales de control y tratamiento de aguas de tormenta.

ALTERNATIVA	TASA DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN (%)			
	SST	PT	NT	FIABILIDAD
1.- Lagunas, estanques o depósitos secos convencionales (control de volumen de agua solamente).	10	0	0	Moderada
2.- Lagunas secas de retención prolongada (RP).	30	10	10	Baja
3.- Lagunas secas de retención prolongada con pequeños canales permanentes.	70	30	15	Moderada
4.- Lagunas permanentes.	70	60	40	Alta
5.- Lagunas permanentes con un cierto volumen de retención prolongada.	75	65	40	Alta
6.- Sistemas humedales con aguas someras o poco profundas.	75	45	25	Alta
7.- Humedales con aguas someras con capacidad de retención prolongada.	70	40	20	Moderada
8.- Humedales de pequeño tamaño (canales, celdas,...).	60	25	15	Moderada
9.- Lagunas de pequeño tamaño (canales, celdas,...).	60	30	20	Moderada
10.- Sistemas en serie de lagunas y humedales.	80	70	45	Alta



Configuración de sistemas S.C.T.R.

#### 4. PROPUESTA DE SISTEMA DE CONTROL Y TRATAMIENTO DE REBOSES EN EL ENSANCHE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

La zona urbana de Santiago de Compostela denominada "El Ensanche" dispone de una red de saneamiento unitaria. Esta zona tiene una población estimada entre 25000 y 30000 habitantes. La red de alcantarillado de esta zona conecta aguas abajo con el colector Interceptor general del Sar. Esta cuenca aporta en tiempo de lluvia un volumen importante de agua de lluvia, generando picos de caudales que no pueden ser transportados por el colector, con lo cual se producen

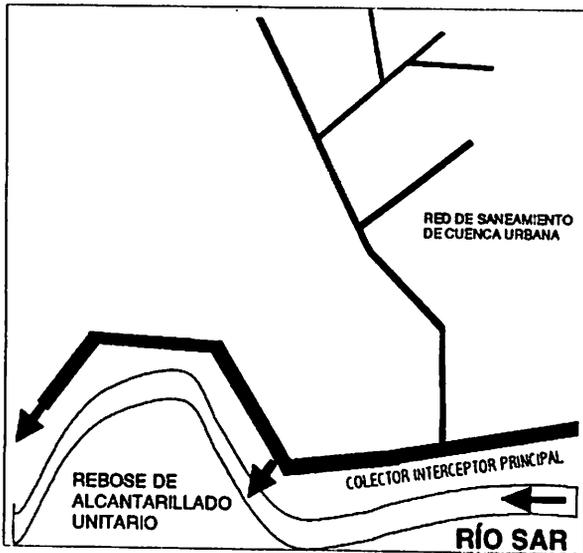
rebores del alcantarillado unitario por un aliviadero diseñado a tal efecto.

Con el objetivo de reducir los rebores que se producen en este punto de la red y poder minimizar las cargas de contaminación que son aportadas al río Sar se propone un sistema de control y tratamiento de rebores. El sistema propuesto es una primera aproximación, un bosquejo. La solución que se propone es simplemente un ejercicio académico (basado en parte en datos reales) que pretende mostrar el interés de los sistemas presentados y su integración en el contexto urbano.

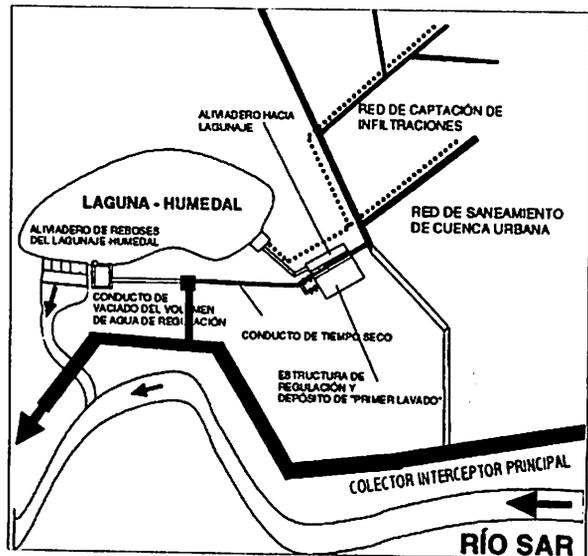
La implantación del sistema partiría de la desviación del colector principal, con el fin de dirigir los flujos hacia el emplazamiento seleccionado. Como primera estructura de control se coloca un sistema de depósitos del tipo fuera de línea para la retención del primer lavado o "first flush". Como segundo elemento de control se propone un estanque del tipo S, es decir lagunas permanentes con un cierto volumen de retención temporal, con la posibilidad de instalar alguna zona con humedal

Se denomina flujo de primer lavado a la primera parte del hidrograma de la tormenta que es la que más contaminación arrastra. Cuando comienza una lluvia y el caudal empieza a ser significativo se produce un arrastre de la suciedad de la superficie (calles, azoteas, etc.) que acaba en los colectores. Una vez allí, y conforme va aumentando el caudal, la capacidad de arrastre y erosión del flujo se incrementa, con lo que partículas, arenas, flotantes que habían sedimentado o quedado retenidos son de nuevo resuspendidos y arrastrados. Es este primer flujo el que mezclado con las aguas residuales de tiempo seco van a representar la fracción más contaminada del rebose de la red de alcantarillado. Es por lo tanto esta primera fracción la que es más importante controlar y se debe evitar su salida hacia el medio receptor. El objetivo del depósito de "first flush" es almacenar este volumen.

En tiempo seco el agua residual es conducida por los nuevos conductos hacia el interceptor general. El agua pasa por un canal central en la estructura de control del primer lavado. La laguna se mantiene con agua limpia procedente de la captación de las aguas de infiltración que actualmente penetran en la red de colectores. Estas aguas serían captadas por una red de drenaje en las zonas principales de aportación. Este tipo de aportación proporciona una renovación de las aguas del estanque con la consiguiente mejora de la calidad de la misma.



A) SITUACIÓN ACTUAL



B) PROPUESTA DE S.C.T.R.

Cuando el caudal procedente de la cuenca urbana comienza a aumentar, y al tener el nuevo colector una capacidad limitada, se produce una acumulación de agua en el depósito de "first-flush". Este depósito tiene una capacidad cuyo valor se obtiene a partir de diferentes normativas de diseño europeas.

Una vez se ha llenado este depósito comienza a producirse una salida de agua hacia la laguna o estanque. Antes de llegar a la laguna el agua, mezcla de pluviales y residuales, pasa por un sistema de tamicas que elimina los sólidos y los flotantes.

La laguna tiene un determinado volumen de retención o regulación, que permite que el calado comience a subir hasta un determinado nivel. Si el suceso de tormenta genera un volumen de agua menor al de proyecto (en torno a 2 años de periodo de retorno), no se produce rebose al medio receptor. Si el volumen es superior entonces se produce rebose hacia el río. Sin embargo, esta agua ha pasado por los tamicas y por la laguna y por lo tanto se ha producido eliminación de flotantes, gruesos y sólidos en suspensión (que llevan asociados gran parte de la contaminación) y por lo tanto se reduce el impacto en el medio.

Una vez el suceso de lluvia ha cesado y los caudales en los colectores regresan a los valores de tiempo seco se procede al vaciado del depósito de "primer lavado" y la laguna hacia el colector interceptor.

## 5. DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

### Condiciones de partida

- Se considera para el dimensionamiento hidráulico del embalse de laminación la siguiente distribución de caudales incidentes y efluentes en la cuenca del Ensanche de Santiago:

-caudal de aguas claras incidente (filtraciones captadas del subsuelo, manantiales): 100 l/s. Este caudal es el encargado de mantener un nivel mínimo de agua (salvo en épocas de limpieza), y una circulación que garantice la calidad del agua del estanque

-caudal de avenida de proyecto: hidrograma correspondiente a la avenida de 2 años de periodo de retorno. El objetivo es tratar en la depuradora un máximo del caudal y evitar puntas de contaminación en el río. Se proyectará el embalse para asumir el 90% del caudal de esta avenida

-volumen captado por el depósito de primer lavado (first-flush): 184 m<sup>3</sup> (obtenidos de un dimensionamiento previo -Hernández, D., 1996)

-caudal máximo tratado por la depuradora: 0.48 m<sup>3</sup>/s

Las dimensiones del embalse, de modo esquemático, son: 100 m de longitud, sección trapezoidal de 20 m de base inferior, 40 m de base superior y 1.5 m de altura. Se dispone un aliviadero a cota 1.2 m.

- Se consideran dos modos de funcionamiento del embalse, a saber:

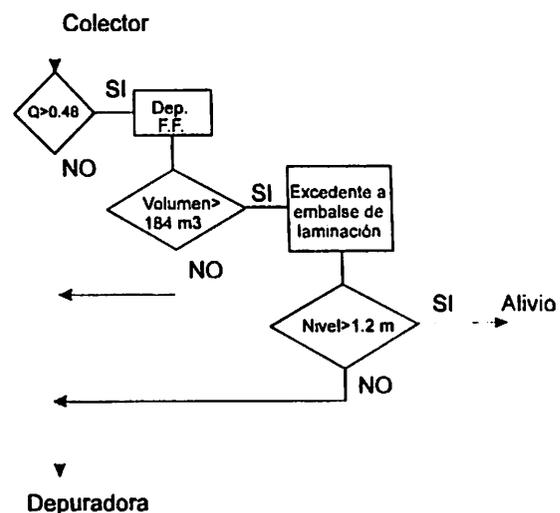
1.-En tiempo seco, se desvía el caudal de aguas claras hacia el embalse, manteniéndose en el mismo un caudal del orden de 100 l/s, y creando una zona de embalse artificial permanente, que vierte en general directamente al río o a la depuradora si ésta puede asumir el caudal (aguas bajas) o si la calidad del agua lo aconseja (episodios de lavado, etc).

2.-En tiempo húmedo, cuando los caudales directos a la depuradora superan el umbral de 0.48 m<sup>3</sup>/s y el depósito de primer lavado ha captado la primera punta de caudal (que contiene las mayores cargas de contaminación), se envía el agua (residual diluida por el agua de lluvia) al

embalse, garantizando una salida continua de 0.48 m<sup>3</sup>/s. El excedente va llenando el embalse, ejerciendo un efecto laminador. En episodios de lluvia moderada (por debajo del de proyecto), el embalse tiene capacidad para asumir el excedente y, una vez pasada la lluvia, reenviar el agua a la depuradora. En episodios de lluvia muy persistente se alcanzará el nivel del aliviadero, que verterá el excedente (muy diluido) al río.

### Disposición de elementos. Dimensionamiento hidráulico

El esquema hidráulico global de la cuenca del Ensanche de Santiago es el siguiente:



De este modo, sólo llega al embalse de laminación el agua diluida no recogida previamente por el depósito de primer lavado (first flush), y sólo se vierte el agua excedente (muy diluida) tras una acumulación en el embalse del orden de 3500 m<sup>3</sup>.

El estanque de laminación cuenta con los siguientes elementos activos:

- Conducto de entrada de aguas claras (tubería de 400 mm de diámetro en cabecera, en el canal principal)
- Conducto de derivación a la depuradora (tubería de 600 mm de diámetro, en cola, a cota baja en el canal principal). Control mediante una válvula motorizada.
- Conducto de alivio de aguas claras (tubería de 500 mm de diámetro, en cola, a cota 100 cm por encima de la tubería de derivación a depuradora). Control mediante una válvula motorizada.
- Aliviadero, de 4 m de longitud y 30 cm de sobreelevación máxima, a cota 1.2 m por encima de la clave del conducto de alivio de aguas claras. Vertido al río sin control activo una vez se supera su cota límite

El régimen de operación de las válvulas es el siguiente:

- En tiempo seco: válvula de derivación cerrada y válvula de alivio abierta. Se crea una circulación por el canal principal con un caudal del orden de 100 l/s y un calado máximo del orden de 110-120 cm. Este es el nivel mínimo de operación salvo en los intervalos de limpieza. El caudal circulante se envía al río (es agua de infiltración, razonablemente limpia).
- En tiempo lluvioso, con alivio: Se cierra la válvula de alivio y se abre la de derivación. El agua se envía a la depuradora. El

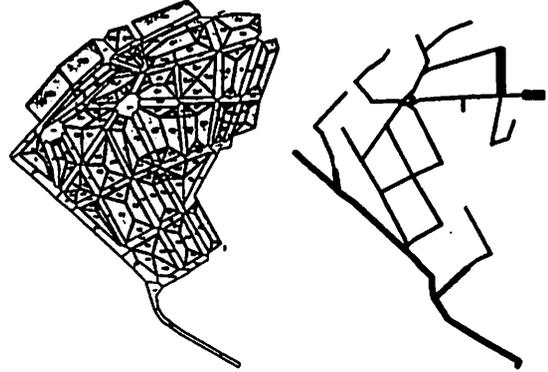
excedente se acumula en el embalse, ocupando los taludes de modo transitorio. Si el nivel llega al de los aliviaderos se vierte directamente al río. Tras la punta, el embalse se vacía enviando el agua a la depuradora, trabajando con la válvula de modo que la suma de los caudales directo, de vaciado del depósito de primer lavado y del embalse no superen los 0.48 m<sup>3</sup>/s.

- Tras un episodio lluvioso de cierta intensidad se debe limpiar el embalse, abriendo la válvula de derivación y regando el fondo y los taludes con agua limpia, que arrastre el lodo acumulado. Esta agua de lavado se enviará a la depuradora

**Simulación numérica del funcionamiento hidráulico del embalse**

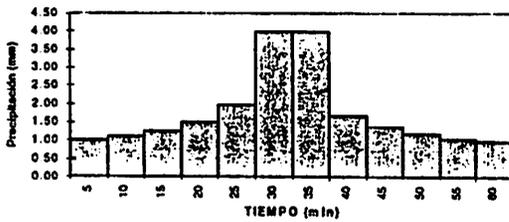
Se considera la lluvia de 2 años de periodo de retorno, obtenida de curvas IDF mediante la aplicación del método de bloques alternados, y su hidrograma correspondiente (Calvo, E. 1996). El proceso de transformación lluvia-escorrentía se ha calculado mediante un modelo de simulación numérica (SWMM-EXTRAN), discretizando la

cuenca y la red de saneamiento y calculando el tránsito de la avenida en régimen no permanente.

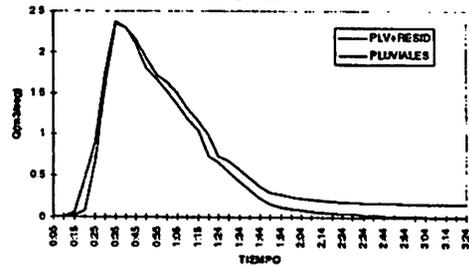


Discretización de la cuenca del ensanche de Santiago y de su red principal de saneamiento, para ser introducida en el modelo SWMM-EXTRAN

**TORMENTA DE DISEÑO  
T = 2 años**



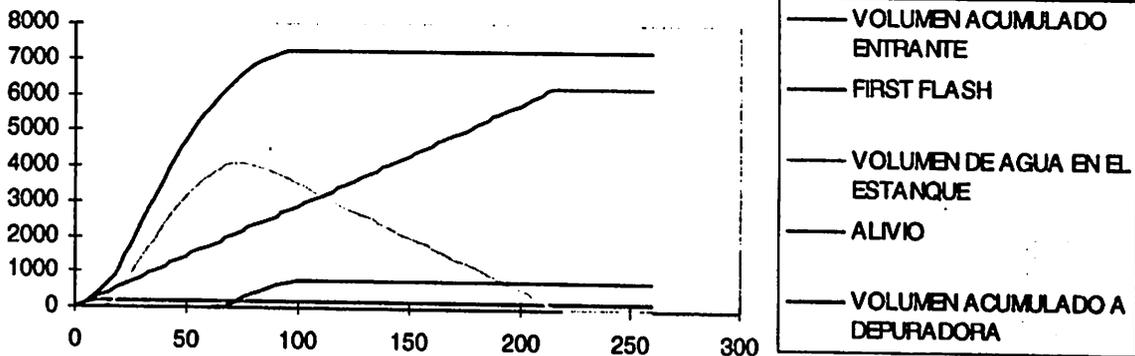
**CAUDAL DE SALIDA  
T = 2 años**



Histograma e hidrograma de diseño. El hidrograma ha sido obtenido de la aplicación del modelo SWMM-EXTRAN a la cuenca del Ensanche de Santiago

La aplicación de este hidrograma al sistema propuesto, calculando la dinámica del embalse en régimen no permanente, ofrece el siguiente funcionamiento hidráulico:

lluvia de 2 años de periodo de retorno



Funcionamiento hidráulico del embalse. Acumulación de agua, volúmenes tratados por la depuradora, retenidos en el depósito de primer lavado y aliviados, para la lluvia de 2 años de periodo de retorno

Se puede observar que de los más de 7000 m<sup>3</sup> que llegan al sistema, sólo se vierten del orden de 700; el resto es tratado por la depuradora. Estos 700 m<sup>3</sup>/s tienen un alto grado de dilución, tanto por

el propio efecto de la lluvia como por su permanencia en el estanque, que cumple una misión adicional de decantación (el alivio se produce en cota alta).

## 6. DESCRIPCIÓN E INTEGRACIÓN EN EL ENTORNO

Uno de los principales problemas que aparecen a la hora de construir sistemas de control y tratamiento de aguas de escorrentía en superficie en zonas urbanas consolidadas es el encontrar suelo disponible en entornos adecuados. Cuando no es posible integrar este tipo de infraestructuras en superficie se recurre a depósitos enterrados ó túneles.

En Santiago de Compostela existe una zona idónea para la instalación de estos sistemas. Se trata de la porción de terreno que existe entre el terraplén de la vía férrea y el nuevo vial "A. Fraguas". Es una zona que quedó aislada entre dos vías de comunicación y tiene la peculiaridad de que su cota es muy baja con relación a la cuenca urbana del "Ensanche", por lo que es relativamente fácil derivar las aguas hacia ella por gravedad.

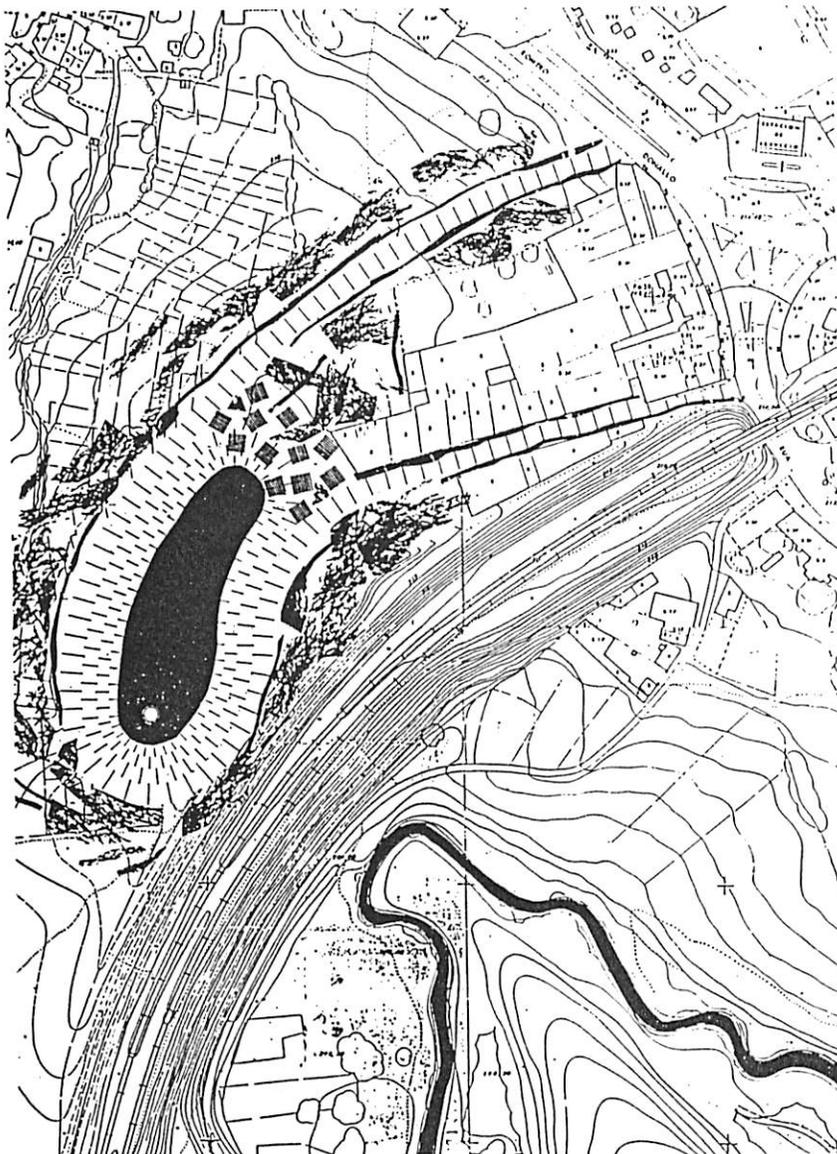
El acceso al estanque se realiza desde la calle Romero Donallo, en la zona opuesta a la ciudad. Se proponen dos entradas/salidas. La nueva área se va a estructurar en torno a un itinerario principal que une las dos entradas/salidas. Se busca la idea de pequeño paseo en una

zona soleada próxima a las densas manzanas del "Ensanche" y la estación de ferrocarril.

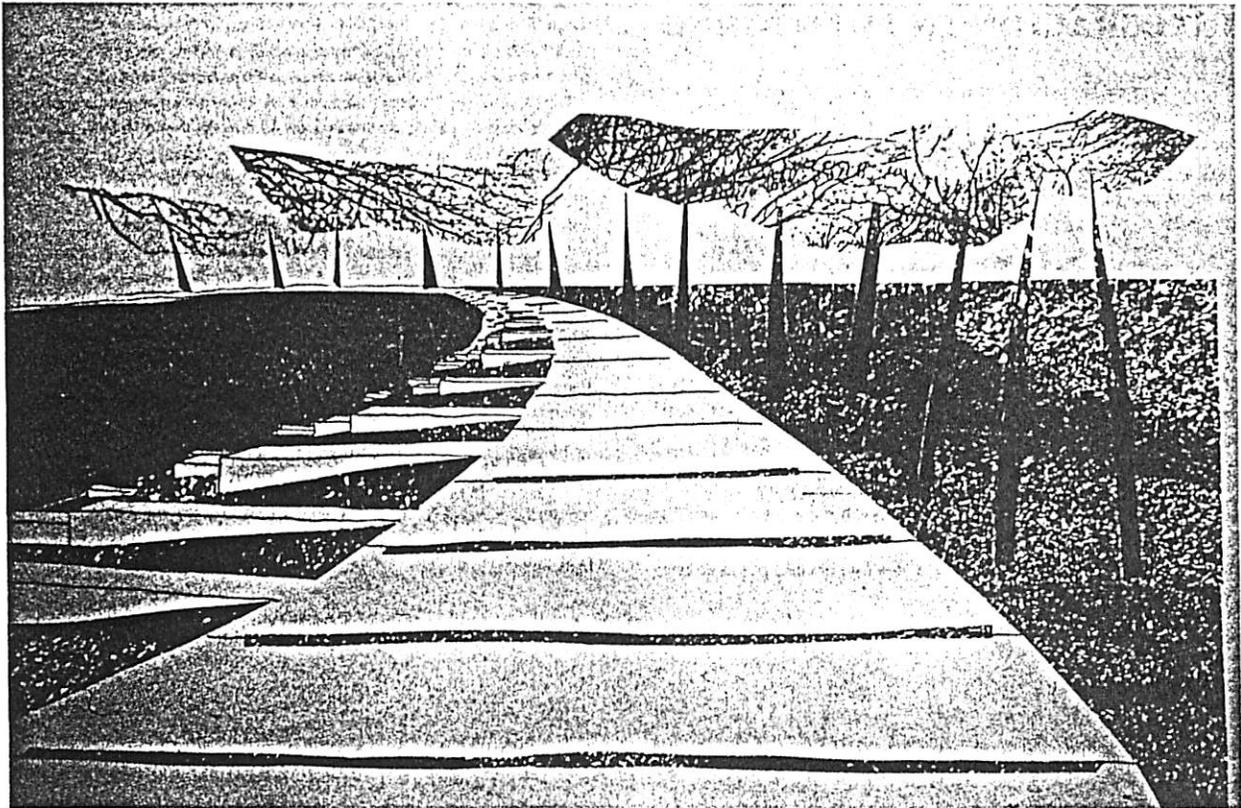
El paseo se realiza manteniendo la misma cota. Discurre por una superficie horizontal que representa el borde del depósito en su máximo nivel de llenado. El pavimento consiste en losas alargadas de hormigón, o de pastas de granito, de 40 cm. de ancho, separadas entre sí, dejando que crezca la hierba entre ellas. Desde esta cota se da forma al estanque mediante un pavimento de hormigón calado que permite la plantación.

Dado que la pendiente transversal de esta superficie es del 15% se proponen unas "costillas" de hormigón/piedra dispuestas radialmente y con una pendiente en su cara superior del 3%. El objeto de estas piezas, colocadas alternativamente y en los lugares que interese, es el de servir de soporte a otras piezas más ligeras (tablas, paneles prefabricados, etc.) que formarían el mobiliario temporal (banco, plataformas, escenarios, pasarelas, circuitos, ...) de este espacio.

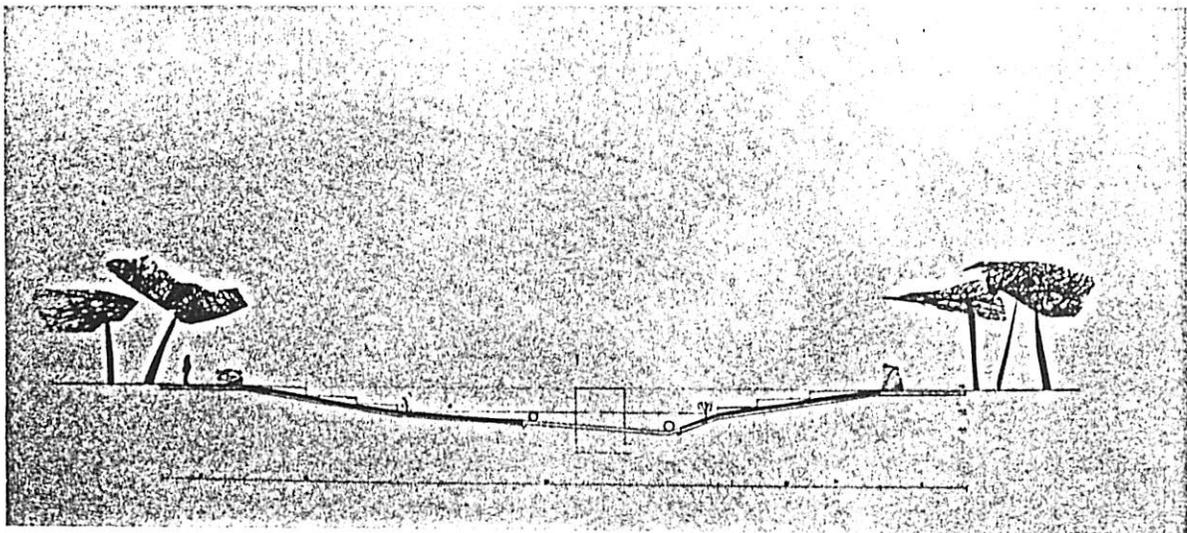
La utilización del arbolado (aliso, sauce,...) acompaña el recorrido y funciona, además, como barrera visual y de ruido frente a las infraestructuras próximas. Se han colocado en la zona orientada al sur unas pantallas horizontales sobre mástiles que sirven de protección para el sol y la lluvia.



Planta de la instalación propuesta



Perspectiva del estanque. Definición de las texturas



Perfil transversal. Esquema de los elementos de alivio

## 7. CONCLUSIONES

Ante las nuevas estrategias de gestión de las aguas de tormenta que implican la integración de los sistemas de tratamiento y control en el espacio urbano es necesario adoptar soluciones imaginativas. La simple conducción de las aguas hacia los cauces receptores genera situaciones de contaminación inaceptables en las puertas del siglo XXI. Dado que las redes de alcantarillado son una herencia del

pasado difícil de remodelar por su encaje en la ciudad es preciso incorporar elementos intermedios que cumplan una función de regulación y de garantía de calidad.

La solución propuesta es un primer esbozo de cómo estas soluciones de pueden ser complementarias de otros sistemas urbanos (zonas de paseo, deporte, esparcimiento,...).

Agradecimientos: AQUAGEST; Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT-AMB95-0997-C02).

## Bibliografía

- CALVO, E. (1996); "Elaboración de un modelo hidrológico e hidráulico aplicado a la red de saneamiento del Ensanche de Santiago de Compostela"; Proyecto Técnico; E.T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de La Coruña, sin publicar; dirigida por J. Puertas.
- ELLIS, J.B.; (1991); "Measures for control and treatment of urban runoff quality"; Rep. DT3PL/FV/JB; Agence de léau Seine-Normandie.
- HERNÁEZ, D.; (1996); "Caracterización de las aguas de redes de alcantarillado unitario en tiempo de lluvia"; Proyecto Técnico; E.T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de La Coruña, sin publicar; dirigida por J. Suárez.
- MALGRAT, P.; (1995); "Panorámica general de la escorrentía de aguas pluviales como fuente de contaminación. Actuaciones posibles"; "Calidad de aguas e impacto en medios receptores por vertidos procedentes de drenajes urbanos y agrícolas"; Workshop Bencassim, 28 Nov. 1 Dic..
- MOFFA, P.E.; (1990); "Control and treatment of combined sewer overflows" Environmental Engineering Series; Van Nostrand Reinhold; ISBN 0-442-26491-7; Nueva York, 229 págs.
- SHUELER, T.R.; (1993); "Stormwater pond and wetland options for stormwater quality control"; National Conference on Urban Runoff Management: Enhancing Urban Watershed Management at the Local County, and State Levels; Seminar Publication; March 30 to April 2, Chicago, Illinois; EPA/625/R-95/003.
- TEMPRANO, J.; CERVIGNI, M.; SUÁREZ, J.; TEJERO, J.I.; "Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia. Control en origen"; Revista de Obras Públicas. Marzo de 1996; n° 3352; Madrid; pag. 45-57.
- TEMPRANO, J.; SUÁREZ, J.; TEJERO, J.I.; "Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia. Control de vertidos"; Revista de Obras Públicas, Enero de 1997; n° 3361; Madrid; pag. 47-57.
- VALIRON, F.; TABUCHI, J.P.; (1992); "Maitrise de la pollution urbaine par temps de pluie. État de l'art."; AGH-TM; Tec-doc; Paris, ISBN 2-85206-863-X.

