Inundaciones en Málaga. Necesidad de Tanques de Tormenta

*Un **tanque de tormentas**, también conocido como **aliviadero**, es una infraestructura de alcantarillado consistente en un depósito dedicado a capturar y retener el agua de lluvia transportada hasta él por los colectores, sobre todo cuando hay precipitaciones muy intensas, para disminuir la posibilidad de inundaciones en los casos en que la capacidad de escurrido del agua es menor que el volumen de lluvia* [1].

Tanques de tormenta [2]

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

Los tanques de tormenta deberían colocarse siempre en paralelo. Es decir, que no es aconsejable mezclar aguas que han pasado por un tanque de tormenta con aguas unitarias no controladas.

En la figura 2 se indican dos posibles emplazamientos de tanques de tormenta. El primero debe ser evitado porque aumenta el grado de dilución del agua residual, mientras que el segundo es el más recomendable, ya que el grado de dilución de la contaminación se mantiene constante y el control de caudales es adecuado. De aquí nace el concepto de interceptor general, que es el colector que recibe los vertidos de los tanques de tormenta y los traslada hasta la estación de depuración.

---

[1] https://es.wikipedia.org/wiki/Tanque_de_tormentas

[2] SALAVERRIA MONFORT, Miguel. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Responsable del Área Hidráulica de IKAUR, Ingenieros y Arquitectos. *Las redes unitarias de saneamiento: Criterios de diseño y control*. http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/31/op31_6.htm

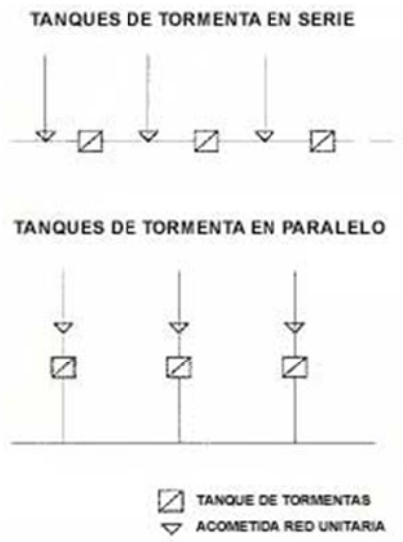


Fig. 2. *Los dos posibles emplazamientos de los tanques de tormenta.*

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

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

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

Siendo:

Q = caudal (l/s)

P = población

Q_I = caudal industrial

Q_{TS} = caudal medio en tiempo seco urbano

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

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

La fórmula inglesa se empleó en Liverpool por primera vez en los años cincuenta. Supone llevar un importante caudal hacia la depuradora, lo que permite disminuir el volumen de retención de los tanques de tormenta. En

general crea problemas a la entrada de la estación de depuración, ya que obliga a que el tratamiento primario se diseñe para estos caudales, mientras que el secundario se suele diseñar para el caudal punta en tiempo seco, del orden de 2 a 2,5 veces el caudal medio en tiempo seco.

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

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

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

Siendo:

Q_{cw} = caudal derivado hacia el interceptor

Q_{px} = caudal medio día de máximo consumo

Q_i = caudal de infiltración

$$Q_{px} = \frac{24}{x} Q_{d24} + \frac{24}{ac} \cdot \frac{365}{bc}\, Q_{c24} + \frac{24}{ai} \cdot \frac{365}{bi}\, Q_{i24}$$

en donde:

x = factor que depende del número de habitantes

Q_{d24} = caudal medio urbano

Q_{c24} = caudal medio comercial

Q_{i24} = caudal medio industrial

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

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

Los valores de X son:

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

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

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

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

TABLA 7

Comparación de caudales de diseño

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

TABLA 8

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

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

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

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

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

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

siendo tc = tiempo de concentración, en minutos

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

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

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

Tipología de tanques de tormenta

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

Se denomina un tanque en línea cuando el tanque se coloca como un elemento situado a continuación del colector (Fig. 3). En cambio, en paralelo, cuando el tanque es un elemento exterior a la red de colectores, conectado a ellos mediante un aliviadero de control.

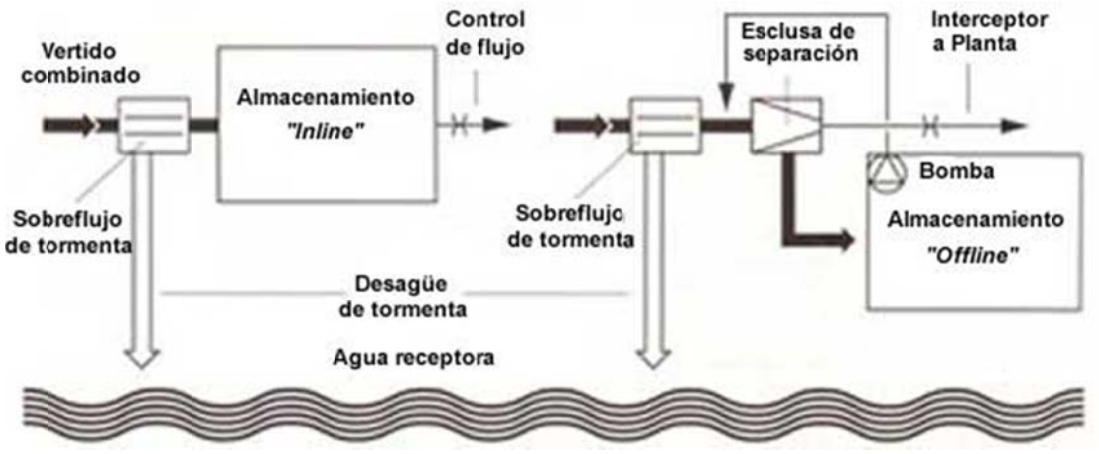


Fig. 3. *Disposición de los tanques de tormenta en línea (izquierda) y en paralelo.*

En las figuras 4 y 5 se presenta un ejemplo real de ambos tipos de tanques. Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes, tanto si se dimensionan para retener la contaminación de la primera lluvia como si se dimensionan con capacidad de decantación de acuerdo con la norma ATV-128.

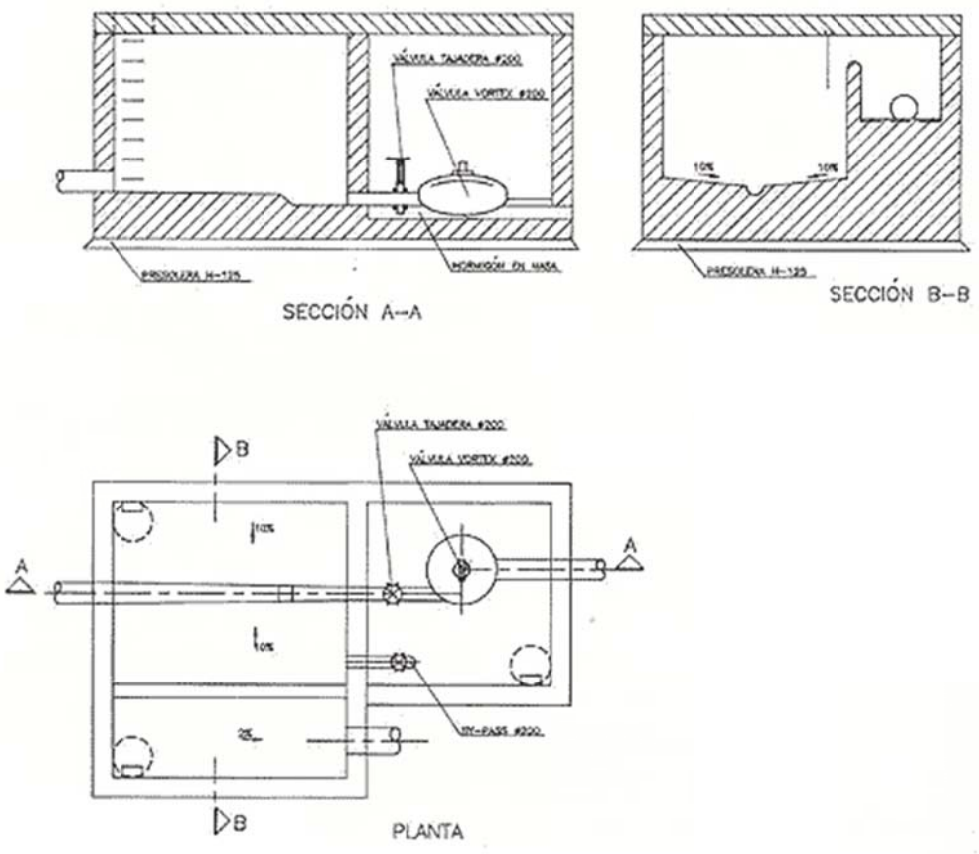


Fig. 4. Ejemplo real de tanque de tormenta en línea.

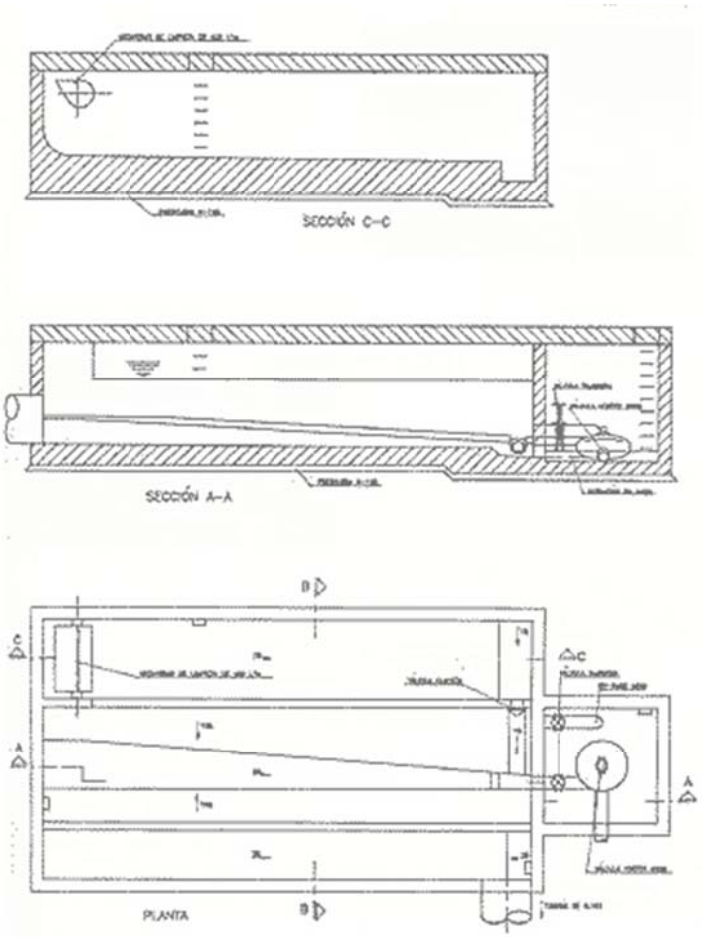


Fig. 5. Ejemplo real de tanque de tormenta en paralelo.

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

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

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

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

Equipamiento de los tanques de tormenta

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

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

De acuerdo con nuestra experiencia en el diseño y construcción de tanques de tormenta para caudales entre 20 y 100 l/s, la válvula que mejor se adapta es la válvula vortex, cuya forma se observa en la figura 6 y su curva de gasto en la figura 7.

Fig. 6. Válvula vortex.

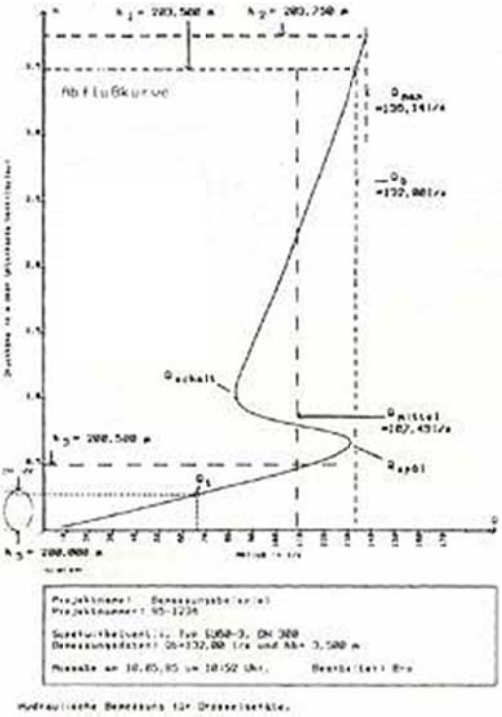


Fig. 7. Curva de gasto de la válvula vortex.

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

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

Para caudales superiores a 100 l/s parece conveniente colocar una compuerta mural con paso superior a 20 cm, tal y como se puede apreciar en la figura 8. Esta compuerta conviene colocarla en el lado del tanque, para que la presión del agua tienda a comprimirla contra la pared y evitar así infiltraciones.

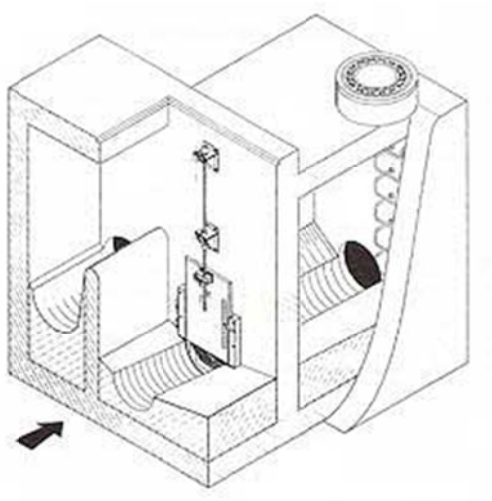


Fig. 8. Compuerta mural.

En cuanto a mecanismos de limpieza, vamos a indicar en este artículo también dos. En primer lugar está el volteador. Este sistema, que aparece en la figura 9, se llena de agua, ya sea del propio colector mediante bombeo o bien de una red de agua limpia. Una vez lleno, y por el efecto del cambio del centro de gravedad que se produce mientras se llena, se vacía de golpe, produciendo una ola que limpia el tanque. El sistema es sencillo, seguro, pero requiere unas características de diseño específicas en cuanto a capacidad, pendiente, volumen de cuneta, etc. Actúa, igual que el otro sistema que se indica a continuación, sobre sedimento fresco, es decir, se debe poner en marcha y limpiar el tanque cada vez que se produce un llenado del mismo.

Fig. 9. Sistema de limpieza mediante un depósito volteador.

El segundo sistema se basa en una bomba sumergida que aspira aire y agua a la vez y los lanza a gran velocidad, produciendo un barrido en la solera. Este sistema aparece en la figura 10. Tiene el inconveniente de requerir una potencia eléctrica importante, pero el resultado final es también adecuado al fin propuesto.

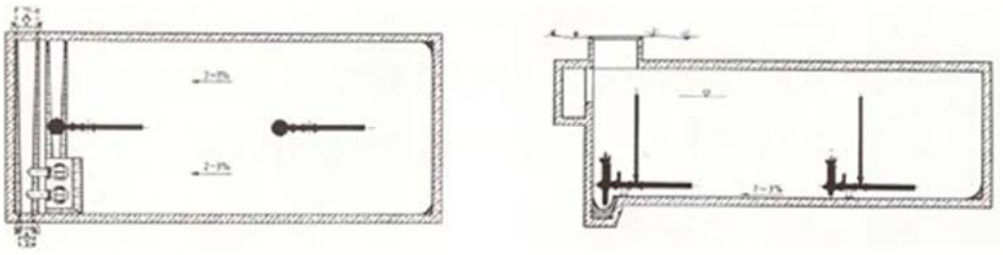


Fig. 10. Sistema de limpieza mediante bomba sumergida.

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

Modelización de la red

Con todos los criterios aquí expuestos se calculó la red de saneamiento de los municipios de Legazpi, Urretxu y Zumárraga (Gipuzkoa), proyectándose un interceptor general entre ellos con una estación de depuración conjunta. El esquema del saneamiento aparece en la figura 11.

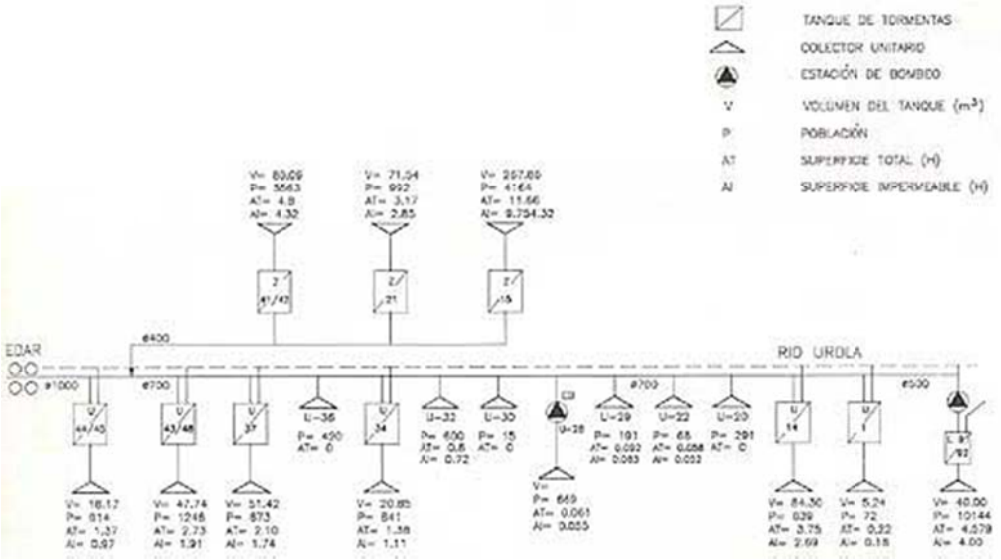


Fig. 11. Esquema del saneamiento de los municipios de Legazpi, Urretxu y Zumárraga.

De acuerdo con este esquema de saneamiento se ha modelizado la red proyectada con el modelo *MOUSE* del *Danish Hydraulic Institute,* y se ha estudiado su funcionamiento durante tres años (1990-1992) con lluvias reales con intervalos de medición de 10 minutos.

Se ha calculado el volumen y la carga contaminante vertidos por cada tanque de tormenta y se ha comparado con el vertido real de la estación de depuración. Los resultados aparecen en la tabla 9.

TABLA 9	
Simulación del MOUSE	
Sistema EDAR Urretxu	
Volumen total vertido en 3 años (m^3)	8.788.380,80
Volumen total anual (m^3)	2.929.460,27
Caudal medio (l/s)	92,89
Contaminación total vertida en 3 años	516.422,25
Contaminación total anual	172.140,75

Porcentajes de volumen y contaminación

Elemento	*Porcentaje de volumen*	*Porcentaje de contaminación*
EDAR	98,70	90,75
Bombeo lega	0,00	0,03
U-1	0,00	0,00
U-14	0,10	0,61
U-34	0,02	0,15
U-37	0,04	0,31
U-43 48	0,06	0,42
U-44 45	0,01	0,10
Z-15	0,66	4,66
Z-21	0,08	0,60
Z-41 42	0,03	0,20
Tanque	0,29	2,17

De acuerdo con ello, podemos ver que la contaminación más importante la produce la propia depuradora y que los tanques de tormenta producen una contaminación residual, de acuerdo con el proceso de diseño aquí señalado.

Tanques de Tormenta en Andalucía

Depósito de Aguas Pluviales El Arenal

Interior Tanque de Tormentas El Arenal

El depósito de aguas pluviales, ubicado en Dos Hermanas, tiene una planta rectangular de 43,4 x 28,8 m con una altura de 7,3 m, y un volumen de explotación de 6.300 m^3. Ejecutado bajo rasante en la Plaza Félix Rodríguez de la Fuente.

El Depósito de Aguas Pluviales de Dos Hermanas, está situado estratégicamente, y junto con las Estaciones de Bombeo cercanas, evita que ante lluvias intensas, una importante cantidad de calles, plazas y pasos inferiores (túneles) sufran inundaciones.

La evacuación del agua recogida se realiza mediante 2 bombas sumergidas, de una potencia de 33 kW cada una.

Otros tanques de tormenta en EMASESA

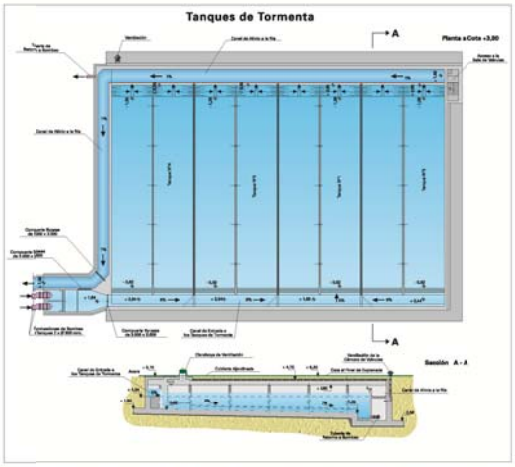
- Depósito de aguas pluviales Parque Centro en Alcalá de Guadaira
- Depósito de aguas pluviales Alameda en Sevilla
- Depósito de aguas pluviales en proyecto

Consorcio de Agua de Bilbao-Vizcaya

Dispone de varios tanques de tormenta:

Bombeo de Lamiako - Tanques de Tormenta

Bilbao Bizkaia Ur Partzuergoa
Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia



C) Conducciones y Cruces bajo la Ría

Conducción de trasvase

Tramo en zanja
- Tipo de tubería:
  Poliéster reforzado con fibra de vidrio
- Diámetro: 900 mm.
- Nº de conductos: 2
- Longitud unitaria: 305 m.l.

Tramo fondeado en el lecho de la Ría
- Tipo de tubería: Acero al carbono
- Diámetro: 900 mm.
- Nº de conductos: 2
- Longitud unitaria: 144 m.l.

Conducciones a los Tanques de Tormenta
- Tipo de tubería:
  Poliéster reforzado con fibra de vidrio
- Diámetro: 900 mm.
- Nº de unidades: 2
- Longitud unitaria: 111 m.l.

D) Tanques de Tormenta

Obra civil
- Disposición enterrada con cubierta ajardinada
- Nº de unidades: 4
- Dimensiones unitarias: 35 x 14 m.
- Profundidad media: 6 m.
- Capacidad total: 10.000 m^3
- Sistema de alimentación:
  Forzada desde la Estación de Bombeo
- Sistema de alivio:
  Por rebose mediante labio vertedero
- Retorno a la Estación:
  Por desagüe de fondo regulado mediante válvula motorizada

Instalaciones
- Sistema de limpieza:
  Con unidades basculantes de descarga violenta tipo volquete
- Nº de unidades: 2 por tanque
- Longitud unitaria: 6,50 m.
- Capacidad p/ml.: 700 l/ml.
- Sistema llenado:
  con agua de la Ría mediante obra de captación y bombeo.