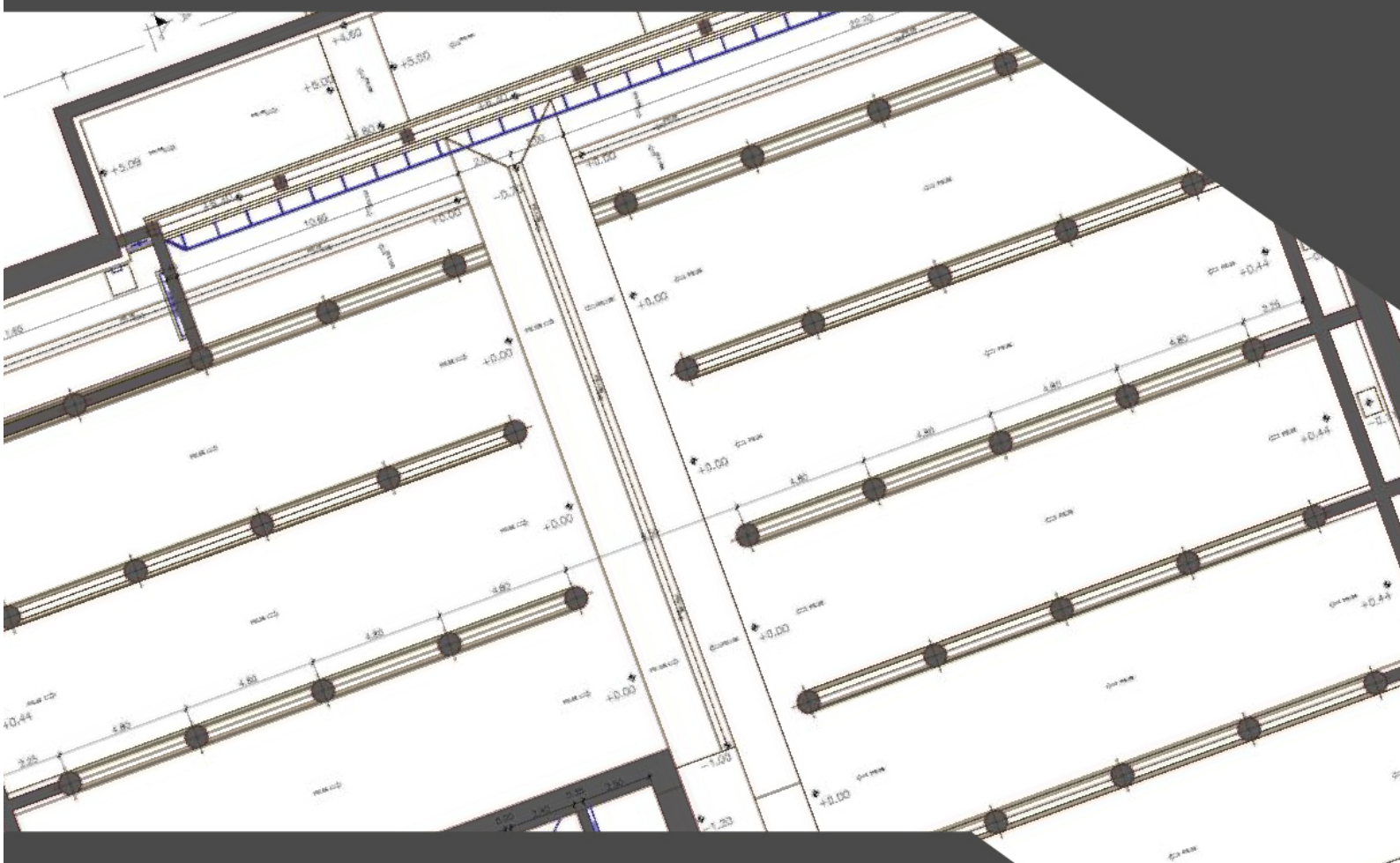


# MANUAL NACIONAL DE RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE TANQUES DE TORMENTA



Septiembre 2014



**AQUALOGY**  
Where Water Lives

Con la colaboración de



**Grupo de Enxeñaría  
da Auga e do  
Medio Ambiente**  
UNIVERSIDADE DA CORUÑA



## PRESENTACIÓN

Dentro del ámbito de competencias del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la Dirección General del Agua tiene por objetivos, entre otros, el estudio, planificación y control generales de los sistemas de saneamiento, incluida la contaminación producida por los mismos a los medios receptores en tiempo de tormenta. En este sentido, las descargas de los sistemas unitarios (DSU) son una de sus principales fuentes de contaminación y para reducirlas, en los últimos años se ha ido acometiendo la construcción de tanques de tormenta en toda España pero con criterios y soluciones técnicas muy dispares.

Es por ello que la Subdirección General de Infraestructuras y Tecnología consideró necesario la elaboración de un manual de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta con el cual uniformizar los criterios de diseño de este tipo de infraestructuras.

El presente manual es el resultado de un proceso muy participativo en el que han colaborado distintas unidades administrativas, tanto del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, como de otros departamentos ministeriales, así como numerosos especialistas tanto del ámbito profesional como universitario.

Los trabajos han sido dirigidos por:

- José Ramón Barro Bernaldo de Quirós, jefe de Servicio de Estudios y Proyectos de la Dirección General del Agua.

El equipo redactor lo han conformado:

- Aqualogy:
  - o Pau Comas
  - o Xavier Falcó
  - o Juan García
  - o Pere Malgrat
  - o David Sunyer
  - o Ángel Villanueva
- GEAMA de la Universidade da Coruña:
  - o José Anta
  - o Jerónimo Puertas

o Joaquín Suarez

Para la redacción del manual se ha contado con la colaboración de un comité de expertos formado por:

- Carlos Blanco (C.H. Cantábrico)
- Ignacio del Río (CEDEX)
- Domingo Fernández (C.H. Guadiana)
- Ángel Jaramillo (Dirección General del Agua)
- Antonio Lastra (Canal Isabel II)
- Jesús López (Ayuntamiento de Madrid)
- Luis J. Luque (EMASESA)
- Ignacio Maestro (C.H. Miño – Sil)
- Avelino Martínez (Canal Isabel II)
- Samuel Moraleda (C.H. Guadiana)
- Francisco Redondo (C. H. Cantábrico)
- Manuel Suárez (Dirección General del Agua)
- Antonio Talón (EMASA)
- Gema Torres (Dirección General del Agua)

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUCCIÓN</b>                                          | <b>1</b>  |
| 1.1 Antecedentes                                               | 2         |
| 1.2 Trabajos previos                                           | 6         |
| 1.3 Objetivos                                                  | 8         |
| 1.4 Organización del manual                                    | 8         |
| 1.5 Definiciones                                               | 9         |
| <b>2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TANQUES DE TORMENTAS</b>       | <b>18</b> |
| 2.1 Definición                                                 | 18        |
| 2.2 Clasificación                                              | 19        |
| 2.3 Configuraciones de las estructuras de alivio               | 25        |
| 2.4 Elementos que conforman un tanque de tormentas             | 29        |
| 2.4.1 Introducción                                             | 29        |
| 2.4.2 Obra de entrada                                          | 31        |
| 2.4.3 Cámara de retención                                      | 32        |
| 2.4.4 Bypass                                                   | 32        |
| 2.4.5 Obra de salida                                           | 33        |
| 2.4.6 Aliviadero                                               | 36        |
| 2.4.7 Locales técnicos                                         | 43        |
| 2.5 Sistema de telecontrol                                     | 43        |
| 2.5.1 Introducción                                             | 43        |
| 2.5.2 Elementos de un sistema de telecontrol                   | 44        |
| 2.5.3 Modos de control                                         | 46        |
| <b>3 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN Y SUS ELEMENTOS</b> | <b>49</b> |
| 3.1 Introducción                                               | 49        |
| 3.2 Clasificación                                              | 50        |
| 3.3 Aliviaderos interiores                                     | 54        |
| 3.4 Accesibilidad                                              | 55        |
| 3.5 Interacción con la superficie                              | 55        |
| 3.6 Compuertas                                                 | 56        |
| 3.6.1 Definición                                               | 56        |
| 3.6.2 Tipología de compuertas                                  | 59        |
| 3.7 Sistema de limpieza                                        | 60        |
| 3.8 Ventilación y sistema de tratamiento de olores             | 66        |
| 3.9 Otras instalaciones                                        | 69        |
| <b>4 PLANIFICACIÓN</b>                                         | <b>70</b> |

|          |                                                                                            |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1      | Introducción .....                                                                         | 71         |
| 4.1.1    | Características generales de la planificación de un sistema de drenaje.....                | 71         |
| 4.1.2    | Metodología general de la planificación.....                                               | 72         |
| 4.1.3    | Soluciones a los problemas de contaminación del medio receptor ..                          | 73         |
| 4.1.4    | Ventajas técnico-económicas de los tanques .....                                           | 75         |
| 4.2      | Criterios de dimensionamiento y objetivos de protección.....                               | 75         |
| 4.2.1    | Introducción.....                                                                          | 75         |
| 4.2.2    | Dimensionamiento de dispositivos anti-DSU en base a criterios de protección ambiental..... | 77         |
| 4.2.3    | Estrategias para el dimensionamiento de los dispositivos anti-DSU                          | 78         |
| 4.2.4    | Estrategias de Nivel N1 .....                                                              | 84         |
| 4.2.5    | Estrategias de Nivel N2 .....                                                              | 87         |
| 4.2.6    | Estrategias de Nivel N3 .....                                                              | 91         |
| 4.2.7    | Estrategias de Nivel N4 .....                                                              | 92         |
| 4.3      | Consideraciones sobre la elección de los criterios de diseño.....                          | 97         |
| 4.4      | Aprovechamiento del agua almacenada .....                                                  | 98         |
| <b>5</b> | <b>DISEÑO .....</b>                                                                        | <b>100</b> |
| 5.1      | Introducción .....                                                                         | 101        |
| 5.2      | Emplazamiento .....                                                                        | 103        |
| 5.3      | Prediseño de la geometría del tanque.....                                                  | 106        |
| 5.4      | Sistema de limpieza.....                                                                   | 108        |
| 5.4.1    | Consideraciones generales .....                                                            | 108        |
| 5.4.2    | Sistema de limpieza automático .....                                                       | 108        |
| 5.5      | Elección del sistema constructivo .....                                                    | 112        |
| 5.5.1    | Consideraciones generales .....                                                            | 112        |
| 5.5.2    | Construcción de abajo a arriba .....                                                       | 112        |
| 5.5.3    | Construcción invertida .....                                                               | 114        |
| 5.5.4    | Comparación entre los diferentes sistemas .....                                            | 116        |
| 5.6      | Diseño de los elementos de la obra civil .....                                             | 117        |
| 5.6.1    | Solera.....                                                                                | 117        |
| 5.6.2    | Cerramiento lateral .....                                                                  | 118        |
| 5.6.3    | Pilares .....                                                                              | 119        |
| 5.6.4    | Cubierta.....                                                                              | 120        |
| 5.6.5    | Compartimentación .....                                                                    | 123        |
| 5.6.6    | Aliviaderos.....                                                                           | 123        |
| 5.6.7    | Elementos de accesibilidad .....                                                           | 124        |
| 5.7      | Sistema de vaciado.....                                                                    | 125        |
| 5.7.1    | Capacidad de vaciado .....                                                                 | 125        |
| 5.7.2    | Pozo de bombas.....                                                                        | 126        |
| 5.7.3    | Equipos de bombeo.....                                                                     | 127        |

|          |                                                          |            |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| 5.7.4    | Colector de impulsión .....                              | 129        |
| 5.7.5    | Cuadro de maniobras .....                                | 129        |
| 5.7.6    | Estación remota.....                                     | 131        |
| 5.8      | Diseño de las instalaciones complementarias.....         | 134        |
| 5.8.1    | Sistema de compuertas .....                              | 134        |
| 5.8.2    | Suministro de agua.....                                  | 135        |
| 5.8.3    | Otras instalaciones .....                                | 137        |
| 5.9      | Locales técnicos .....                                   | 140        |
| 5.10     | Sistema de colectores.....                               | 143        |
| 5.10.1   | Criterios de diseño.....                                 | 143        |
| 5.10.2   | Construcción de colectores .....                         | 144        |
| <b>6</b> | <b>EXPLOTACIÓN .....</b>                                 | <b>146</b> |
| 6.1      | Consideraciones generales.....                           | 146        |
| 6.2      | Explotación ordinaria .....                              | 148        |
| 6.2.1    | Seguimiento del telecontrol .....                        | 149        |
| 6.2.2    | Seguimiento del sistema de explotación centralizada..... | 150        |
| 6.3      | Explotación durante el episodio .....                    | 150        |
| 6.4      | Explotación post – episodio .....                        | 151        |
| <b>7</b> | <b>MANTENIMIENTO .....</b>                               | <b>154</b> |
| 7.1      | Introducción .....                                       | 154        |
| 7.2      | Mantenimiento preventivo .....                           | 155        |
| 7.2.1    | Introducción.....                                        | 155        |
| 7.2.2    | Plan de Mantenimiento .....                              | 156        |
| 7.2.3    | Mantenimiento de sensores y actuadores .....             | 157        |
| 7.2.4    | Inspección .....                                         | 159        |
| 7.2.5    | Limpieza.....                                            | 160        |
| 7.2.6    | Mantenimiento de los bombeos.....                        | 160        |
| 7.2.7    | Mantenimiento de compuertas.....                         | 161        |
| 7.2.8    | Mantenimiento de sensores.....                           | 161        |
| 7.3      | Otros aspectos relacionados con el mantenimiento .....   | 164        |
| 7.3.1    | Control de plagas .....                                  | 164        |
| 7.3.2    | Gestión de residuos.....                                 | 164        |
| <b>8</b> | <b>SEGURIDAD Y SALUD .....</b>                           | <b>167</b> |
| 8.1      | Introducción .....                                       | 167        |
| 8.2      | Organización de la seguridad .....                       | 168        |
| 8.2.1    | Introducción.....                                        | 168        |
| 8.2.2    | Plan de prevención.....                                  | 168        |
| 8.3      | Espacios confinados .....                                | 170        |
| 8.4      | Tanques de tormentas .....                               | 171        |
| 8.4.1    | Introducción.....                                        | 171        |

|          |                                           |            |
|----------|-------------------------------------------|------------|
| 8.4.2    | Tanque en estado latente .....            | 171        |
| 8.4.3    | Tanque en estado de servicio .....        | 174        |
| 8.4.4    | Situación de limpieza del tanque .....    | 174        |
| 8.5      | Recopilación de normativa aplicable ..... | 175        |
| <b>9</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                 | <b>180</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 Configuración general de tanques de tormentas .....                                                                                                                  | 26  |
| Tabla 2 Elementos de regulación de caudales.....                                                                                                                             | 35  |
| Tabla 3 Coeficiente $C_w$ para el dimensionamiento de un aliviadero.....                                                                                                     | 37  |
| Tabla 4 Tipología de tanques de tormentas .....                                                                                                                              | 53  |
| Tabla 5 Tipología de compuertas.....                                                                                                                                         | 60  |
| Tabla 6 Usos de sistemas de limpieza.....                                                                                                                                    | 66  |
| Tabla 7 Clasificación de actuaciones posibles .....                                                                                                                          | 74  |
| Tabla 8 Resumen principales características de niveles establecidos en el análisis de normativas. ....                                                                       | 84  |
| Tabla 9 Volúmenes de almacenamiento específico ( $m^3/ha$ neta) mínimos para los depósitos anti-DSU según el método simplificado de las ITOHG (Xunta de Galicia, 2009). .... | 86  |
| Tabla 10 Estándares de emisión recogidos en la VSA-2007.....                                                                                                                 | 89  |
| Tabla 11 Estándares intermitentes de nitrógeno amoniacal en el UPM (FWR, 2012) .                                                                                             | 96  |
| Tabla 12 Estándares intermitentes para el OD en el UPM (FWR, 2012) .....                                                                                                     | 96  |
| Tabla 13 Aplicabilidad de los sistemas de limpieza.....                                                                                                                      | 110 |
| Tabla 14 Comparativa entre procesos constructivos.....                                                                                                                       | 116 |
| Tabla 15 Elección de tipo de compuerta .....                                                                                                                                 | 134 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Ejemplo de tanque de tormentas de Cantarranas (Madrid) .....                                                                              | 19 |
| Figura 2 Geometrías básicas de tanques en línea .....                                                                                              | 20 |
| Figura 3 Tanque de tormentas fuera de línea .....                                                                                                  | 21 |
| Figura 4 Ejemplo de tanque fuera de línea en Badalona.....                                                                                         | 22 |
| Figura 5 Ejemplo en Alemania de tanque multiconfiguración, con un cuerpo (el de arriba) de tipo on-line y dos (el de abajo) de tipo off-line ..... | 23 |
| Figura 6 Sección de tanque mixto con un cuerpo de gravedad y otro de bombeo .....                                                                  | 24 |
| Figura 7 Depósito con configuración on-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente con mezcla completa, y aliviadero integrado.....            | 27 |
| Figura 8 Depósito con configuración on-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente con mezcla completa, y aliviadero en cámara previa. ....    | 27 |
| Figura 9 Depósito con configuración off-line con vaciado por gravedad, de tipo trampa, o de volumen confinado.....                                 | 27 |
| Figura 10 Depósito con configuración on-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente sedimentador.....                                          | 28 |
| Figura 11 Depósito con configuración off-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente y mezcla. ....                                            | 28 |
| Figura 12 Depósito con configuración off-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente sedimentador.....                                         | 28 |
| Figura 13 Elementos básicos de un aliviadero con tanque de tormenta (alzado) .....                                                                 | 29 |
| Figura 14 Elementos básicos de un aliviadero con tanque de tormentas on-line (planta) .....                                                        | 30 |
| Figura 15 Elementos básicos de un aliviadero con tanque de tormentas off-line (planta) .....                                                       | 30 |
| Figura 16 Plano de obra de entrada del tanque de la Estrella (Badalona) con compuerta de derivación colector de bypass y colector de entrada. .... | 31 |
| Figura 17 Cámara de retención del tanque José Manuel Obrero (Alicante). ....                                                                       | 32 |
| Figura 18 Cálculo de orificios calibrados.....                                                                                                     | 33 |
| Figura 19 Válvula tipo vórtice.....                                                                                                                | 34 |
| Figura 20 Compuerta con accionamiento eléctrico .....                                                                                              | 34 |
| Figura 21 Dimensionamiento de un aliviadero .....                                                                                                  | 37 |
| Figura 22 Esquema de aliviadero flexible.....                                                                                                      | 37 |
| Figura 23 Diferentes disposiciones de las pantallas deflectoras .....                                                                              | 38 |
| Figura 24 Criterios para la colocación de pantallas deflectoras.....                                                                               | 38 |
| Figura 25 Ejemplo de pantalla mal diseñada. ....                                                                                                   | 39 |
| Figura 26 Ejemplo de pantalla mal diseñada .....                                                                                                   | 39 |
| Figura 27 Reja de gruesos.....                                                                                                                     | 40 |
| Figura 28 Microtamiz .....                                                                                                                         | 40 |
| Figura 29 Ejemplo de reja de tamiz de barras.....                                                                                                  | 41 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 30 Rototamiz automático .....                                                                                              | 41  |
| Figura 31 Tamiz rotativo automático colocado en un aliviadero .....                                                               | 42  |
| Figura 32 Ejemplo de locales técnicos.....                                                                                        | 43  |
| Figura 33 Ejemplos de sensores: Pluviómetro i limnómetro de ultrasonidos .....                                                    | 44  |
| Figura 34 Tanque de tormentas en Lugo. ....                                                                                       | 49  |
| Figura 35 Balsa a cielo abierto. (Viladecans, Barcelona) .....                                                                    | 50  |
| Figura 36 Zona de almacenamiento de aguas pluviales de viales. (Viladecans, Barcelona) .....                                      | 51  |
| Figura 37 Depósito de hormigón armado (Barcelona).....                                                                            | 51  |
| Figura 38 Construcción de túnel anti-DSU de 5 m de diámetro y 3.2 Km de longitud en Boston (EEUU) .....                           | 52  |
| Figura 39 Aliviadero de emergencia. Depósito de Drs Dolsa (Barcelona) .....                                                       | 54  |
| Figura 40 Ejemplo de pasarelas y escaleras de acceso a la solera en tanque de Bori Fontestà (Barcelona) .....                     | 55  |
| Figura 41 Tapas extracción bombas en medio de una plaza .....                                                                     | 56  |
| Figura 42 Clapeta antiretorno en tanque Louro (Pontevedra) .....                                                                  | 58  |
| Figura 43 Compuerta en el tanque Jose Manuel Obrero (Alicante).....                                                               | 58  |
| Figura 44 Limpiador basculante en reposo y en acción .....                                                                        | 62  |
| Figura 45 Esquema de limpiadores basculantes.....                                                                                 | 62  |
| Figura 46 Cuna de hormigón entre la solera y la pared.....                                                                        | 62  |
| Figura 47 Operación de limpieza mediante la apertura de la clapeta de descarga.....                                               | 63  |
| Figura 48 Ejemplo de cámaras de descarga y clapetas en el tanque de Vilalba dels Arcs (Barcelona) .....                           | 63  |
| Figura 49 Esquema de limpiador de llenado por vacío.....                                                                          | 64  |
| Figura 50 Eyector en funcionamiento.....                                                                                          | 65  |
| Figura 51 Extractor de aire y filtro de carbón activo .....                                                                       | 68  |
| Figura 52 Metodología de la planificación .....                                                                                   | 73  |
| Figura 53 Croquis general de posibles estrategias de gestión y control de las DSU en sistemas de saneamiento unitario.....        | 80  |
| Figura 54 Esquema de implantación de tanque en zona urbana.....                                                                   | 102 |
| Figura 55 Ejemplo de tanque enterrado en zona densamente urbana donde se aprovecha la superficie del tanque para otros usos. .... | 102 |
| Figura 56 Urbanización en superficie de tanque en Gijón .....                                                                     | 103 |
| Figura 57 Tapas de extracción de bombas en un tanque.....                                                                         | 105 |
| Figura 58 Ejemplo de acceso deficiente .....                                                                                      | 105 |
| Figura 59 Esquema para la elección del sistema de limpieza automático .....                                                       | 109 |
| Figura 60 Limpieza manual de tanque en Gijón .....                                                                                | 109 |
| Figura 61 Tanque de Bori Fontestà en Barcelona donde se pueden observar los carriles de limpieza. ....                            | 111 |
| Figura 62 Tanque de Taulat en Barcelona con sistema de limpieza de cisternas en solera y clapetas.....                            | 111 |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 63 Excavación en talud.....                                                                                                           | 112 |
| Figura 64 Ejecución de muro continuo.....                                                                                                    | 113 |
| Figura 65 Excavación entre pantallas. ....                                                                                                   | 113 |
| Figura 66 Construcción invertida de tanques. Ejecución de pilares mediante pilotes.....                                                      | 114 |
| Figura 67 Construcción invertida de tanques. Ejecución de losa empotrada entre pilares y sobre el terreno. ....                              | 115 |
| Figura 68 Construcción invertida de tanques. Excavación del tanque bajo cubierta .                                                           | 115 |
| Figura 69 Construcción invertida de tanques. Ejecución de la solera.....                                                                     | 116 |
| Figura 70 Esquema de tanque con solera con pendiente hacia canal de recogida ...                                                             | 118 |
| Figura 71 Ejemplo de construcción de cerramiento lateral mediante pantalla continua y colocación de sus armaduras .....                      | 118 |
| Figura 72 Ejecución de solera y pilares .....                                                                                                | 119 |
| Figura 73 Ejecución de cimentación y pilares .....                                                                                           | 120 |
| Figura 74 Cubierta ejecutada in situ.....                                                                                                    | 121 |
| Figura 75 Ejemplo de construcción de cubierta a base de placas prefabricadas.....                                                            | 121 |
| Figura 76 Ejemplo de pasarela con barandilla de seguridad en el tanque de Taulat (Barcelona). ....                                           | 124 |
| Figura 77 Pozo de bombeo de un tanque de tormentas.....                                                                                      | 126 |
| Figura 78 Colector de salida de una impulsión.....                                                                                           | 129 |
| Figura 79 Cuadro de maniobras del tanque de Urgell (Barcelona).....                                                                          | 131 |
| Figura 80 Ejemplo de estación remota en bombeo de Barcelona. ....                                                                            | 131 |
| Figura 81 Ejemplo de cuadro de control.....                                                                                                  | 133 |
| Figura 82 Circuito de agua a presión .....                                                                                                   | 136 |
| Figura 83 Tanque de tormentas con ventilación natural a la derecha, canal central circulación agua residual y aliviadero a la izquierda..... | 138 |
| Figura 84 Locales técnicos, tapas de extracción de equipos y polipasto.....                                                                  | 139 |
| Figura 85 Acceso al mantenimiento de las bombas .....                                                                                        | 141 |
| Figura 86 Local técnico de un tanque .....                                                                                                   | 141 |
| Figura 87 Edículo de entrada a unos locales técnicos enterrados.....                                                                         | 142 |
| Figura 88 Acceso a los locales técnicos mediante compuerta estanca .....                                                                     | 142 |
| Figura 89 Sistema de colectores asociados a un tanque de tormentas.....                                                                      | 144 |
| Figura 90 Ejemplo de centro de control desde donde se puede realizar la explotación centralizada de los tanques (Santiago de Chile). ....    | 147 |
| Figura 91 Tanque de tormentas de Butarque.....                                                                                               | 148 |
| Figura 92 Operación de mantenimiento preventivo en cuadros de control de un tanque. ....                                                     | 156 |
| Figura 93 Detector de gases a la entrada de un tanque.....                                                                                   | 172 |
| Figura 94 Escalera vertical con quitamiedos.....                                                                                             | 172 |
| Figura 95. Sala de bombeo con polipasto para extracción de bombas .....                                                                      | 173 |

# 01.

---

# INTRODUCCIÓN



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Históricamente el saneamiento se ha diseñado principalmente para prevenir inundaciones, reducir riesgos sobre la salud humana y mejorar aspectos estéticos o de calidad en las aguas receptoras. Estos objetivos se han ido consiguiendo, con más o menos fortuna, en función de los conocimientos técnicos de cada momento, de las posibilidades de actuar de forma planificada (en muchas ocasiones se han realizado ampliaciones o modificaciones para resolver problemas locales y no se ha tenido una visión más global, de sistema, de cómo se iba a afectar aguas abajo) y de los recursos disponibles (no solo para las inversiones iniciales sino también para la explotación posterior de las infraestructuras).

Afortunadamente, las demandas sociales, los requerimientos legales y los conocimientos técnicos han ido cambiando, quizás con más intensidad en los últimos 20 años, y algunas de las antiguas prácticas ya no son aceptadas. Los nuevos diseños en ingeniería del saneamiento y del drenaje urbano están motivados, fundamentalmente, por el nuevo conjunto de objetivos con respecto a la salud de las personas y a la calidad de los ecosistemas acuáticos.

La antigua visión que sólo se preocupaba de recoger adecuadamente las aguas residuales en tiempo seco y conducir las a la depuradora, ya no es suficiente para atajar la compleja problemática ambiental de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano sobre todo en tiempo de lluvia.

Tal y como se concibe hoy en día el funcionamiento de un sistema de saneamiento queda clara su interrelación directa con las masas de agua receptoras; esta relación varía, obviamente, si trata de un sistema unitario o separativo, o de si el sistema trabaja en tiempo seco o en tiempo de lluvia.

La visión actual, cuando se aborda un estudio o un plan de saneamiento, es, o debe ser, más global y permite hablar de "sistemas integrales e integrados de saneamiento". La gestión efectiva, y sostenible, requiere una aproximación integrada que considere la interrelación y dependencia entre todos los elementos del sistema.

En los sistemas unitarios las interacciones entre los principales componentes del sistema son más complejas que en los sistemas separativos. En tiempo de lluvia las redes unitarias deben transportar, además de las aguas residuales de tiempo seco, las aguas pluviales. La red unitaria de alcantarillado se ha dimensionado tradicionalmente para transportar hacia un determinado punto (generalmente hacia una EDAR) el caudal de agua residual y el caudal de lluvia correspondiente a una precipitación con

un determinado período de retorno. Cuando la lluvia genera un caudal de agua que la red no puede transportar, o que la depuradora no puede procesar, la práctica convencional ha consistido en verterlo al medio receptor mediante aliviaderos. El conjunto de estos aliviaderos, algunos situados aguas arriba y otros en la propia EDAR, han determinado las cargas hidráulicas y de contaminación que se enviaban a los sistemas acuáticos receptores, generando importantes impactos.

Hoy en día el caudal de cálculo máximo de diseño del alcantarillado unitario de una subcuenca es fijado en base a criterios de drenaje, con el fin de evitar inundaciones, pero, sin embargo, el diseño de los caudales máximos de los colectores interceptores principales, o los emisarios terrestres, que recogen aguas de diferentes subcuencas, se basa en criterios que buscan alcanzar determinados objetivos ambientales en el sistema acuático receptor; es decir, se valoran todas las presiones sobre la masa de agua. La posible existencia de infraestructuras de regulación y tratamiento de desbordamientos, conocidos de forma genérica como “tanques de tormenta”, permitirá laminar y regular los caudales generados en tiempo de lluvia evitando su vertido e, incluso, realizar un cierto grado de depuración sobre los volúmenes finalmente descargados al medio receptor. Por lo tanto, el conjunto de estas infraestructuras y aliviaderos, situados aguas arriba de la EDAR, funcionando de forma integrada, determinan las cargas hidráulicas y de contaminación que llega a la depuradora y la presión sobre el medio receptor, que se tratará de minimizar.

En la primera década del siglo XXI se ha tomado conciencia en España de las elevadas cargas contaminantes movilizadas, y las altas concentraciones de algunos contaminantes que se generan en los sistemas de saneamiento unitario en tiempo de lluvia, así como de los importantes impactos que se estaban generando por los DSU sobre los medios acuáticos receptores en tiempo de lluvia. A este impacto también contribuyen, no debemos olvidarnos, los vertidos que se generan de aguas de escorrentía desde las redes de pluviales de los sistemas separativos, que en determinadas circunstancias y para ciertos parámetros (sobretudo, sólidos en suspensión, DQO y metales pesados) pueden contribuir con una contaminación equiparable a la que puede aportar una agua residual urbana o una DSU.

Este manual se centrará en los vertidos de las redes unitarias y en recomendaciones para el diseño de tanques anti-contaminación en redes unitarias por tratarse de las redes mayoritarias en España, no obstante varias de las recomendaciones que se encuentran en este manual pueden ser de aplicación tanto para tanques anti-contaminación de redes pluviales como para tanques de función anti-inundación.

Cuando se estudia la problemática de presiones o impactos de un sistema de saneamiento o drenaje sobre un medio acuático hay que diferenciar tres tipos de fenómenos de contaminación asociados con las aguas pluviales:

- El primero es el generado por las aguas de escorrentía contaminada que llega de forma directa a través de las redes de drenaje de agua pluviales en los sistemas separativos a las masas de agua receptoras. Son aguas que lavaron las calles, los tejados, etc., y que transportan contaminantes de todo tipo, con características y concentraciones muy diversas en función de los usos que se desarrollan en las superficies de las cuencas.
- El segundo tipo de fenómeno de contaminación es el generado por los "desbordamientos de los sistemas unitarios", DSUs (CSO en la literatura anglosajona), con aguas que son mezcla de aguas pluviales, más o menos contaminadas, y aguas residuales urbanas de tiempo seco. En estas últimas redes hay que tener muy en cuenta el fenómeno de resuspensión de los depósitos de sedimentos y biopelículas existentes en la red, resultado de la sedimentación de partículas y contaminación permitida por el régimen hidráulico existente durante el período seco.
- El tercer problema de contaminación asociado a las aguas pluviales es el generado en las depuradoras. La punta de caudal y las fuertes oscilaciones de concentraciones que asume la red unitaria acaban llegando a la depuradora y, si supera su capacidad de tratamiento, también se produce un desbordamiento. Además, los procesos biológicos de depuración pueden quedar fuertemente alterados, provocando una bajada de rendimientos, que puede durar semanas, y afectar finalmente a la calidad de las aguas en medio receptor.

Los tres tipos de vertidos citados se diferencian en los volúmenes vertidos, en las concentraciones de contaminantes (medias y máximas), y en las fases y períodos de descarga.

Una visión integral de la gestión del sistema que minimice los impactos, y permita conseguir los objetivos de calidad de los sistemas acuáticos fijados, obliga a desarrollar una estrategia de control total de la contaminación. La contaminación que se permita entrar a la red de saneamiento desde la cuenca (por escorrentías o por aguas residuales urbanas o industriales), las transformaciones que dicha contaminación sufra en la red, la capacidad de transporte de la red y las concentraciones de contaminantes que se permitan en los desbordamientos, las infraestructuras de regulación y tratamiento que se implanten a lo largo de la red, determinarán qué tipo de aguas residuales, caudales y cargas recibirá la EDAR, los cuales condicionarán su diseño y sus estrategias de explotación. Precisar también, que la gestión de la contaminación asociada a las aguas pluviales es difícil; la propia naturaleza estocástica de las lluvias ya es un factor complejo, y una protección absoluta del medio receptor puede ser económica y socialmente inasumible.

Con el fin de evitar o reducir los problemas de contaminación asociados a las aguas pluviales se han desarrollado durante las últimas décadas, y ya son de uso común en

muchos países, las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TEDUS). La incorporación de TEDUS determina una nueva relación entre las fuentes de contaminación, los caudales, los sistemas de transporte, las infraestructuras de regulación y tratamiento, las depuradoras y el medio receptor.

La problemática de los impactos de las redes de drenaje en los medios receptores es conocida desde muchas décadas tanto a nivel internacional, donde países como Estados Unidos, Inglaterra o Alemania fueron pioneros en la identificación y posterior resolución de esta problemática, como a nivel nacional, donde ya en el año 2002 el Ministerio de Medio Ambiente (a partir de una iniciativa del entonces denominado “Grupo de Gestión Avanzada del Drenaje Urbano”, de la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento) financió el “Programa Nacional de Medición de Descargas de los Sistemas Unitarios (PROMEDSU)”, que puso de manifiesto las altas concentraciones de contaminantes que eran vertidas desde aliviaderos con diseño tradicional en los alcantarillados unitarios.

Con anterioridad a esta fecha, a finales de los 80 y principios de los 90, en España se construyeron los primeros tanques de tormenta. Una Administración pionera fue la antigua Confederación Hidrográfica del Norte de España, que integró depósitos en los nuevos saneamientos de las cuencas mineras de Asturias, cuyos ríos (el Caudal y el Nalón) estaban altamente degradados por la presión urbana e industrial. En la zona mediterránea los primeros depósitos se construyeron en Barcelona, con criterios y diseños elaborados por la ya desaparecida CLABSA. Durante la última década la construcción de depósitos de tormenta se ha extendido y ya es una infraestructura habitual pero, sin embargo, los criterios de dimensionamiento (en esencia la definición del volumen de almacenamiento adecuado a cada contexto geográfico y a cada problemática ambiental) son variados (en ocasiones divergentes), incluso en las mismas administraciones. Esta situación se ha mantenido así hasta hoy en día, con dos excepciones:

- Las regiones de la cornisa cantábrica y Galicia (con la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, la Confederación de Miño-Sil, y Aguas de Galicia, como administraciones hidráulicas) donde la problemática de los desbordamientos de los sistemas unitarios a los medios receptores ha sido tratada de forma más uniforme e, incluso, con planificación.
- En Cataluña el Plan de gestión de cuenca fluvial y su programa de medidas han contemplado las actuaciones anti-DSS (anti descargas del sistema de saneamiento en tiempo de lluvia) de una manera holística e integrada con la depuradora y el medio receptor, determinando la hoja de ruta para solucionar su problemática (plan de medidas mínimas, plan director integral de saneamiento, etc.) y dando pie a la implantación de diversas actuaciones en el

Área Metropolitana de Barcelona, Tarragona, cuenca del Besòs, etc. Sobre todo por parte de AGBAR / AQUALOGY.

La necesidad de identificar claramente los objetivos ambientales de los tanques de tormenta (es decir, identificar los objetivos de los sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia controlando los DSU, en los que se estos se integran), la necesidad de definir criterios coherentes de dimensionamiento para cumplir dichos objetivos ambientales, así como para definir criterios de diseño de los mismos, impulsaron en el año 2012 al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a lanzar el estudio denominado “IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS TANQUES DE TORMENTA Y REDACCIÓN DE UN MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA SU DISEÑO”, que es el marco en el cual se ha redactado el presente documento.

## 1.2 Trabajos previos

Como se ha comentado en el apartado anterior, previamente a la elaboración del manual sobre tanques de tormentas se han realizado un conjunto de actividades que han servido como base para la redacción de las recomendaciones que contiene. Básicamente estos trabajos han sido:

### Marco legal y antecedentes

Este documento contiene una recopilación de la normativa legal vigente a nivel europeo, estatal y local tanto a nivel de comunidades autónomas como de organismos de cuenca.

También se analizan diversos estudios y trabajos realizados a nivel nacional que pueden servir de referencia para otros casos similares. Entre estos cabe citar el Promedsu, el caso de Barcelona, Estudios en la cuenca del río Besòs, experiencia de la Confederación Hidrográfica del Norte, Planes de saneamiento de diversas rías gallegas y la experiencia en Madrid

Finalmente se realiza un análisis de la situación existente en otros países más avanzados en referencia a la identificación, seguimiento y aplicación de medidas que reduzcan el impacto de los desbordamientos de la red de saneamiento al medio receptor como son Reino Unido, Alemania, Francia y los Estados Unidos.

En el trabajo se concluye que a falta de una normativa clara la mayoría de actuaciones realizadas responden a iniciativas locales basándose en las dos grandes metodologías europeas: la inglesa y la alemana.

### Cuestionario de tanques y diagnóstico de la situación actual

Se ha realizado un inventario de los principales tanques de tormenta existentes en España, lo que ha permitido obtener información desde distintos puntos de vista: geométricos, funcional, económicos, explotación...

Analizando el año de construcción de los tanques, se ve claramente que la preocupación por el impacto de los vertidos en los medios receptores es una preocupación reciente de los últimos 10-15 años, sobre todo en comparación con otros países como Alemania, Inglaterra o Estados Unidos donde estos temas se empezaron a trabajar mucho antes.

Sin entrar de forma exhaustiva, es importante destacar las principales conclusiones obtenidas en el trabajo:

- En general no se hace un correcto seguimiento de la explotación de estos tanques, ni se hacen análisis periódicos sobre su funcionamiento, uso y explotación con el fin de preguntarse si la explotación actual ya cumple los objetivos planteados o si se puede hacer una explotación más eficiente.
- En general tampoco se conoce el criterio de diseño utilizado para su dimensionamiento y de conocerse, estos criterios son muy variados, algunos muy restrictivos (vertido 0 o dilución 1:17) que implican grandes volúmenes de tanque, y otros menos restrictivos dando lugar a volúmenes menores y vertidos más frecuentes.
- Para los tanques anti-DSU inventariados aproximadamente existe la misma proporción de tanques en línea que tanques fuera de línea.
- Los volúmenes de los tanques son muy variados oscilando entre los 25 y los 400.000 m<sup>3</sup>, pero la mayoría son de volumen inferior a 1.000 m<sup>3</sup>. Es de destacar que hay muy pocos tanques a cielo abierto, cosa que también puede estar relacionada con el hecho de que la mayoría se sitúan en cuencas urbanas.
- El sistema de vaciado utilizado está equilibrado entre los que lo tienen por gravedad y los que es por bombeo. Sorprende el hecho de que pocos tienen un sistema de vaciado mixto.
- La mayoría de tanques disponen de sistema de limpieza automático siendo los sistemas mayoritarios el de volquetes y el de clapetas.
- La regulación de caudales se realiza mayoritariamente mediante compuertas. Las válvulas tipo vórtex están poco implantadas.
- El principal problema durante el periodo de explotación lo provoca el sistema de compuertas, aunque la acumulación de sólidos que requieren limpieza manual, problemas con las rejillas de desbaste y con los bombeos también son habituales y a menudo se presentan a la vez.

### 1.3 Objetivos

El principal objetivo del presente documento es establecer unas recomendaciones para el dimensionamiento, diseño y posterior construcción de los tanques de tormenta que forman parte de las redes unitarias de saneamiento.

No se consideran incluidas en el manual las estructuras de control en redes pluviales ni los depósitos de retención con el objetivo de evitar inundaciones. Aun así muchos de los aspectos tratados (descripción de elementos, proyecto y ejecución de las obras, tareas de operación y mantenimiento, etc.) son extrapolables a esta tipología de depósitos.

El dimensionamiento del volumen necesario depende de las normas técnicas establecidas por cada país; en el caso español el MAGRAMA redactará estas normas tal y como se establece en el Real Decreto 1290/2012. Por tanto en el presente manual no se aborda este aspecto.

Se redacta el presente manual como un conjunto de recomendaciones y especificaciones técnicas a tener en cuenta durante la fase de redacción de proyectos constructivos de tanques de tormenta y su posterior construcción.

En la redacción de estas recomendaciones se han tenido en cuenta diferentes factores que influyen en el diseño de los tanques de tormentas como son: inversión inicial necesaria, explotación y mantenimiento posterior y seguridad y salud, tanto en fase constructiva como en fase de explotación.

### 1.4 Organización del manual

El presente manual se divide en dos grandes apartados. El primer apartado es principalmente descriptivo centrándose en la clasificación de las diferentes tipologías de tanques y los elementos que los constituyen. Consta de los siguientes capítulos:

#### **Capítulo 2: Descripción de los tanques de tormenta.**

Se definen los tanques de tormentas y se describen los diferentes elementos que lo componen. El capítulo también incluye una descripción del conjunto de instalaciones asociadas a un tanque de tormentas.

#### **Capítulo 3: Descripción de la cámara de retención y sus elementos**

Se describen las cámaras de retención de los tanques de tormentas y los diferentes elementos que lo componen. El capítulo también incluye una descripción del conjunto de instalaciones asociadas a un tanque de tormentas.

El segundo apartado contiene un conjunto de recomendaciones a tener en cuenta en las fases de planificación, diseño, construcción, explotación y mantenimiento de los tanques de tormentas. Por ello se ha dividido el mismo en los siguientes capítulos:

#### **Capítulo 4: Planificación.**

Se describen las características generales que debe tener una buena planificación de una red de saneamiento. También se abordan las diferentes metodologías existentes para realizar esta planificación.

Finalmente se muestra un listado de posibles soluciones que pueden adoptarse para abordar los problemas de contaminación del medio receptor

### **Capítulo 5: Diseño.**

Se recogen un conjunto de recomendaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar, proyectar y construir un tanque de tormentas. Las recomendaciones se hacen tanto en lo que se refiere a la obra civil como a las instalaciones asociadas.

### **Capítulo 6: Explotación.**

Se describen las actividades comprendidas en la fase de explotación de un tanque de tormentas. Estas tareas pueden dividirse en tres fases diferentes: gestión ordinaria en tiempo seco, gestión por episodio en tiempo de lluvia y gestión post-episodio.

### **Capítulo 7: Mantenimiento.**

Dado que los tanques de tormenta tienen asociadas un número significativo de equipos e instalaciones, que deben funcionar en condiciones severas, se ha redactado un capítulo donde se incluyen un conjunto de recomendaciones a seguir para llevar a cabo el mantenimiento de las mismas.

### **Capítulo 8: Seguridad y salud.**

El manual recoge diferentes aspectos a tener en cuenta durante la vida útil de un tanque de tormentas desde su diseño y proyecto pasando por las fases de explotación y mantenimiento, desde el punto de vista de la seguridad y salud.

Aparte de un conjunto de recomendaciones de diseño también se incluye las necesidades de disponer de un Plan de Prevención de Riesgos Laborales.

## **1.5 Definiciones**

En este capítulo se definen una serie de términos usados en este manual estructurados por orden alfabético:

### **Aglomeración urbana**

Se entiende por aglomeración urbana según el Real Decreto-Ley 11/1995, la zona geográfica formada por uno o varios municipios, o por parte de uno o varios de ellos, que por su población o actividad económica constituya un foco de generación de aguas residuales urbanas que justifique su recogida y conducción a una instalación de depuración o a un punto de vertido final.

### **Agua de escorrentía pluvial**

Agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno. Las aguas de escorrentía pluvial tendrán carácter de aguas residuales en función de la posibilidad de alteración de los objetivos de calidad del medio receptor.

### **Aguas de infiltración**

Son aquellas que proceden del subsuelo y penetran en la red de sumideros a través de las juntas y tuberías defectuosas, conexiones y paredes de pozos de registro. También tienen su origen en incorporaciones de manantiales, fuentes y achiques de sótanos.

### **Aguas residuales brutas:**

Los flujos de aguas residuales pueden ser conducidos a través de colectores u otros sistemas de recogida y transporte y converger en una misma Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) o en una Instalación de Regulación y Tratamiento (IRT). Se entiende por aguas residuales brutas las aguas cargadas de materias diversas provenientes de cualquier actividad humana antes de depuración o tratamiento. Habrá tantas aguas brutas como estaciones depuradoras o sistemas de tratamiento, o al menos una en caso de no existir ninguno de ellos.

### **Aguas residuales domésticas:**

Las aguas residuales procedentes de los usos particulares de las viviendas, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

### **Aguas residuales no domésticas:**

Las aguas residuales vertidas desde establecimientos en los que se efectúe cualquier actividad comercial, industrial, agrícola o ganadera. Podrán clasificarse como aguas residuales asimilables a domésticas o como aguas residuales industriales. Se entiende por actividad industrial aquella que consista en la producción, transformación, manipulación, preparación y almacenaje de materias primas y productos manufacturados.

### **Aguas residuales urbanas:**

Son las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con las aguas residuales no domésticas (como industriales, comerciales, etc.), con aguas de escorrentía pluvial o con las de infiltración.

### **Aguas de tipo unitario**

Aguas que circulan por un sistema de saneamiento unitario.

### **Aliviadero**

Es el dispositivo asociado a una conducción o infraestructura fija, dentro de un sistema de saneamiento ya sea unitario o separativo, desde el que se produce el rebose de las aguas circulantes hacia el medio receptor en episodios de lluvia inusuales.

En los sistemas de saneamiento los aliviaderos suelen ir asociados a una cámara de retención, que es la estructura hidráulica destinada a regular caudales durante los episodios de lluvia y posteriormente evacuarlos de forma controlada con el objetivo de reducir los volúmenes y la contaminación de los desbordamientos, así como para evitar inundaciones aguas abajo. No es obligatoria la existencia de una cámara de retención en los aliviaderos.

### **Área drenada asociada al desbordamiento**

Es el territorio o zona por donde discurre la esorrentía recogida por la red de saneamiento

### **Arenero:**

Obra destinada a separar mediante decantación localizada las arenas de un escurrimiento.

### **Cuenca tributaria**

Ver Área drenada asociada al desbordamiento

### **Desbordamiento o descargas del sistema de saneamiento en episodios de lluvias (DSS)**

Se consideran desbordamientos del sistema de saneamiento en episodios de lluvias únicamente a los procedentes de sistemas de saneamiento unitarios o separativos, en correcto funcionamiento, no debiendo confundirse con los reboses o derrames ocasionales que puedan producirse como consecuencia de un funcionamiento anómalo del sistema de saneamiento, tales como reboses debidos a atascos de colectores, fallos del sistema de bombeo, bypass en la entrada de la EDAR por avería, fallos en los SRT, etc.

Son términos equivalentes a “desbordamiento” en los sistemas de saneamiento: rebose, rebosamiento o alivio.

Estos desbordamientos o descargas pueden ser:

- Desbordamientos del sistema unitario DSU
- Desbordamientos del sistema de pluviales DSP

### **Espacio confinado**

Cualquier espacio con aberturas limitadas de entrada y salida, y ventilación natural desfavorable, en el que puedan acumularse contaminantes tóxicos (sulfhídrico, monóxido carbono, etc.) o inflamables (principalmente metano), así como escasez de oxígeno, no estando concebido para una ocupación continuada por parte del trabajador.

### **Estación de bombeo**

Construcción, estructura y equipamiento utilizado para transferir aguas a través de un conducto que eleve dicha agua a una cota superior mediante conducción a presión.

Las estaciones de bombeo pueden elevar aguas residuales (EBAR) o aguas pluviales (EBAP)

### **Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)**

Son las instalaciones en las que las aguas residuales urbanas o industriales una vez recogidas son sometidas a una serie de tratamientos y procesos, de modo que se produzca una reducción en la contaminación de las mismas que permita alcanzar los valores límite de emisión del vertido, teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental determinadas para el medio receptor.

### **Instalación de regulación y tratamiento (IRT)**

Son las obras o instalaciones en las que los flujos residuales (bien aguas de escorrentía pluvial contaminadas bien aguas residuales urbanas o industriales mezcladas con aguas de escorrentía pluvial) son sometidas a una serie de tratamientos y procesos de depuración, de modo que se produzca una reducción de la contaminación presente en las mismas que permita alcanzar los valores límite de emisión del vertido, teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental determinadas para la masa de agua receptora.

En estas instalaciones podrán existir aliviaderos que generen desbordamientos en situaciones de lluvias inusuales.

Son una tipología de TEDUS (de control aguas abajo) en la que se busca tanto la regulación de caudales (uno de cuyos objetivos es minimizar impactos hidromorfológicos) como la reducción de la contaminación asociada a las aguas de escorrentía pluvial.

### **Flujo de aguas residuales**

Se entiende por flujo de aguas residuales cada uno de los efluentes procedentes de un mismo origen (municipio, pedanía, núcleo, actividad industrial, etc.) que sean claramente diferenciados. Una misma procedencia puede originar varios flujos diferenciados. En el caso de que la procedencia sea urbana, podría haber hasta dos flujos diferentes procedentes del mismo origen: flujo de aguas residuales urbanas y flujo de desbordamiento de sistema de saneamiento. En el caso de procedencia industrial se podrían distinguir cinco flujos por procedencia, distinguiendo entre aguas residuales de proceso, aguas de refrigeración, aguas asimilables a domésticas, aguas de escorrentía pluvial contaminada y desbordamientos de sistema de saneamiento.

### **Pozo de registro**

Obra de fábrica que permite el acceso a la red de saneamiento para su mantenimiento y explotación.

### **Procedencia**

Es aquel lugar o territorio en el que se origina un flujo de aguas residuales claramente diferenciado. Para los vertidos urbanos, la procedencia puede ser un una vivienda aislada, una urbanización, un núcleo de población, una pedanía, un municipio, un distrito municipal en caso de grandes aglomeraciones urbanas. Para los vertidos industriales, puede ser una instalación industrial, una etapa dentro de la actividad industrial, cada una de las industrias de un polígono industrial, etc.

### **Punto de control**

Es el lugar o sección en la cual se analizan las características de la contaminación presente en un flujo de agua residual, en un desbordamiento o en el vertido efluente de una depuradora o sistema de tratamiento.

La caracterización del vertido se realiza en lo que se denomina punto de control que es aquél donde se exige el cumplimiento de las condiciones de la autorización de vertido. Este punto de control se encontrará situado después de la Estación Depuradora de Aguas Residuales o del Sistema de Regulación y Tratamiento, si existen, siendo de fácil acceso para las tareas de vigilancia e inspección.

### **Punto de desbordamiento**

Es el punto donde se produce el rebose de las aguas procedentes de un sistema de saneamiento, ya sea unitario o separativo, hacia el medio receptor en un episodio de lluvia inusual.

Siempre que exista más de una procedencia de flujo de aguas residuales (aguas residuales brutas, EDAR, SRT, punto de control, punto de vertido, área drenada asociada al desbordamiento, aliviadero o puntos de desbordamiento) debe asignarse un número correlativo a cada uno de ellos tal y como puede verse en los ejemplos

### **Punto de vertido**

Las aguas residuales se incorporan al medio receptor en lo que se denomina punto de vertido. El punto de control puede ser diferente al de vertido para facilitar el acceso para las tareas de vigilancia e inspección. En general el punto de control se encontrará dentro de la instalación y será accesible mediante una arqueta o sistema similar, mientras que el punto de vertido puede tener difícil acceso debido a la vegetación de las márgenes, o al hecho de encontrarse sumergido etc. Entre el punto de control y el punto de vertido no debe de haber más que una red de evacuación, sin ninguna alteración del efluente depurado, de modo que las características del efluente se mantengan inalteradas entre ambos puntos. Es posible que para facilitar la evacuación al medio receptor, los efluentes que

proviene de varios puntos de control se agrupan a través de una red de evacuación para verterse al medio receptor en un único punto de vertido final. En ningún caso esto supondrá una dilución del vertido, ya que el condicionado de la autorización de vertido será exigible en el punto de control.

### Red de saneamiento

La red de saneamiento consta de una red de conducciones y de infraestructuras complementarias, tales como pozos de registro, estaciones de bombeo, sistemas de regulación y tratamiento (depósitos de regulación, depósitos-aliviaderos, etc.). Las conducciones de una red de saneamiento se suelen jerarquizar en función de sus objetivos, así se habla de red de colectores y colectores interceptores (al conjunto podría denominarse sistema colector).

- **Acometida:** Conducto destinado a transportar las aguas residuales y /o pluviales desde un edificio o finca a un colector. Albañal es un término análogo.
- **Colector:** Conducción que lleva hasta el colector principal las aguas de un conjunto de sumideros o acometidas. Alcantarilla es un término análogo
- **Colector principal:** conducción que transporta hasta el colector interceptor o a una infraestructura de regulación y tratamiento (por ejemplo un depósito regulador o un depósito-aliviadero) las aguas procedentes de un conjunto de colectores de una subcuenca.
- **Colectores interceptores:** Conductos que transportan las aguas residuales procedentes de una o varias subcuencas de saneamiento hasta la estación depuradora o hasta el punto final de vertido. Normalmente recoge las aguas de los colectores principales o de alguna de las infraestructuras de control y tratamiento. En ocasiones se habla de “interceptores de aguas residuales”.
- **Emisario terrestre:** Conducción cerrada que transporta las aguas residuales desde la estación de tratamiento hasta la cabecera de emisario submarino o hasta el punto de vertido de forma que se cumplan las condiciones establecidas para el vertido.
- **Emisario submarino:** Conducción cerrada que transporta las aguas residuales desde el emisario terrestre hasta una zona de inyección en el mar de forma que se cumplan las condiciones establecidas para el vertido.

Es un término equivalente red de alcantarillado

### SCADA

Acronimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y

supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

### **Sistema de saneamiento**

Conjunto de infraestructuras e instalaciones interrelacionadas; los tres elementos principales que componen un sistema de saneamiento son: red de saneamiento, estación depuradora de aguas residuales e infraestructuras de evacuación del vertido.

### **Sistema de saneamiento separativo**

Aquel que consta de dos redes de conducciones o canalizaciones independientes; una de ellas transporta las aguas residuales de origen doméstico, comercial o industrial, y las aguas de infiltración, hasta la estación depuradora (denominada red de saneamiento de aguas residuales), y la otra conduce las aguas de escorrentía pluvial y las posibles aguas de infiltración, hasta el medio receptor, o hasta un posible sistema de regulación y tratamiento previo a su vertido (denominada red de aguas pluviales o red de drenaje de pluviales).

### **Sistema de saneamiento unitario**

Aquel que consta de una sola red de conductos por la que en tiempo seco circulan aguas residuales urbanas (aguas residuales domésticas y no domésticas, y las de infiltración) y por la que en tiempo de lluvia circulan aguas residuales mezcla de las aguas residuales urbanas y las aguas de escorrentía pluvial ya que asume también la función de drenar estas aguas de escorrentía pluvial, provocándose una mezcla de ambos tipos de aguas. Se habla de red de saneamiento unitario.

### **Técnica de Drenaje Urbano Sostenible**

Las técnicas de drenaje urbano sostenible (TEDUS) son medidas, procedimientos o infraestructuras destinados a que el sistema de saneamiento mejore su eficacia en la gestión de las aguas pluviales (recogida, transporte, tratamiento, valorización, etc.). Los beneficios obtenidos al emplear TEDUS pueden ser de dos tipos: el control de la cantidad de agua (caudales, volúmenes) y el control de la contaminación.

Muchas de las TEDUS tienen como objetivo reproducir, de la manera más fiel posible, los flujos hidrológicos naturales previos a la urbanización, con el objetivo de minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía.

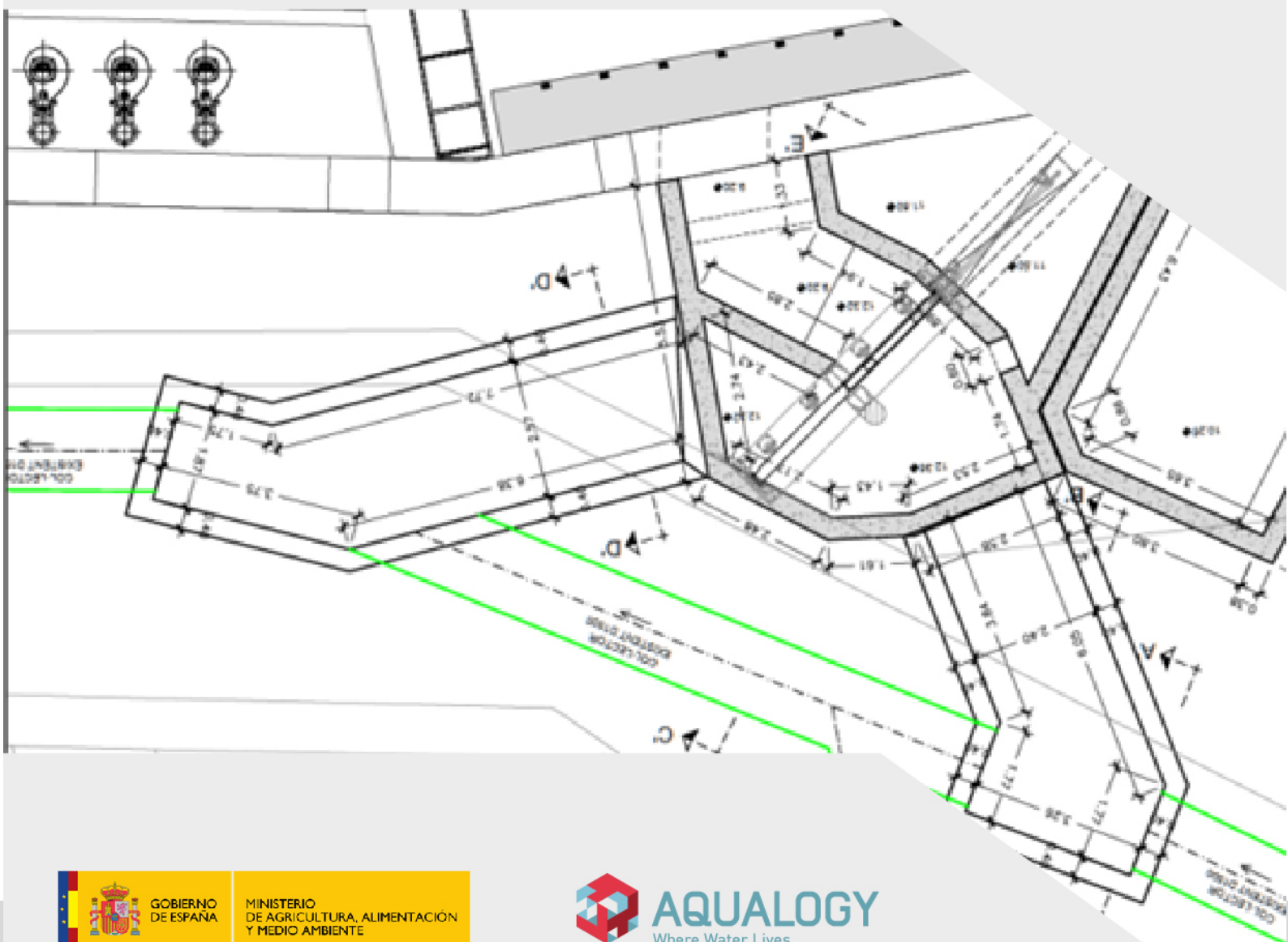
Las técnicas de drenaje urbano sostenible comprenden un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar la gestión de las aguas pluviales dando tanta

importancia a los aspectos ambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.

Las TEDUS pueden aplicarse tanto en el “origen” (allí en donde cae la lluvia y todavía los flujos no han sido introducidos en la red de drenaje), siendo aplicadas en la superficie de la cuenca (tanto si la red de saneamiento es unitaria o separativa), como “aguas abajo”, una vez las aguas de escorrentía pluvial ya han sido drenadas mediante colectores separativos de pluviales.

# 02.

## DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TANQUES DE TORMENTAS



## 2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TANQUES DE TORMENTAS

### 2.1 Definición

Una red de saneamiento de tipo unitario es aquella por la que circulan tanto las aguas residuales como las aguas pluviales por los mismos conductos. Dado que los caudales de lluvia pueden ser muy superiores a los de las aguas residuales, con la consiguiente imposibilidad para vehicular y tratar la totalidad de los caudales generados, este tipo de redes disponen de determinados puntos donde es posible verter al exterior el volumen de agua que supera un cierto umbral.

Los puntos donde se produce un vertido en tiempo de lluvia desde la red de saneamiento unitaria se conocen como aliviaderos al medio. Estos puntos de vertido o aliviaderos producen una contaminación ya que, aunque el agua residual se mezcle con una importante cantidad de agua de lluvia, la contaminación lavada de la superficie de la cuenca por la escorrentía y la resuspensión de sedimentos de la red de saneamiento determina que estos desbordamientos tengan un importante grado de contaminación. Los aliviaderos pueden ir asociados a un volumen de retención, bien aprovechando la capacidad de los propios conductos, que pueden sobredimensionarse con este objetivo, bien mediante la construcción de depósitos específicos; se habla entonces de tanques o depósitos de tormenta.

Un tanque o depósito de tormenta puede definirse como aquella infraestructura hidráulico-sanitaria destinada a optimizar la gestión de los flujos de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia mediante estrategias de regulación y tratamiento de los mismos; se pueden definir como infraestructuras de regulación y tratamiento (IRT). Esta gestión de los flujos de aguas residuales (mezcla de aguas residuales de tiempo seco y aguas de escorrentía pluvial) permitirá evitar, o reducir, inundaciones, cuando para ello hayan sido diseñados, y también permitirá minimizar los vertidos de un sistema de saneamiento al medio receptor. La regulación de los caudales hacia la EDAR permitirá que ésta sufra menos sobrecargas hidráulicas y los flujos de contaminantes tengan menos oscilaciones, permitiendo que trabaje de forma más eficiente en tiempo de lluvia.

La expresión tanque de tormentas puede substituirse por tanque “*anti-vertidos*” o depósito “*anti-DSU*” (*anti Desbordamientos de los Sistemas Unitarios*).



Figura 1 Ejemplo de tanque de tormentas de Cantarranas (Madrid)

## 2.2 Clasificación

Los tanques de tormentas y en general los depósitos de retención pueden clasificarse de diferentes maneras atendiendo a diversos aspectos que los caracterizan:

- Por su función principal dentro del sistema de saneamiento
  - Depósitos Anti-DSU o tanque de tormentas. Son aquellos depósitos cuya función principal es evitar el vertido de contaminantes al medio receptor durante sucesos de lluvia. Suelen estar ubicados cerca del medio receptor, en la parte final de la cuenca tributaria.
  - Depósitos Anti-Inundación. Son aquellos depósitos cuya función principal es evitar inundaciones debidas a insuficiencias hidráulicas de la red de saneamiento. Suelen estar ubicados en las partes altas o medias de las cuencas tributarias.
  - Depósitos Mixtos. Son aquellos depósitos en los que siendo su función principal la de evitar inundaciones, disponen también de los elementos de regulación y control necesarios para ser utilizados para la función de reducir el aporte de contaminantes al medio receptor.

- Por su posición relativa respecto a la red de saneamiento
  - Tanques de tormenta en línea u On-Line (ver Figura 2). Son aquellos que están ubicados en la traza del colector, de manera que todo el flujo circulante atraviesa el depósito de retención. Después de la lluvia, el agua almacenada se suele descargar por gravedad a la red y se conduce a la planta de tratamiento.

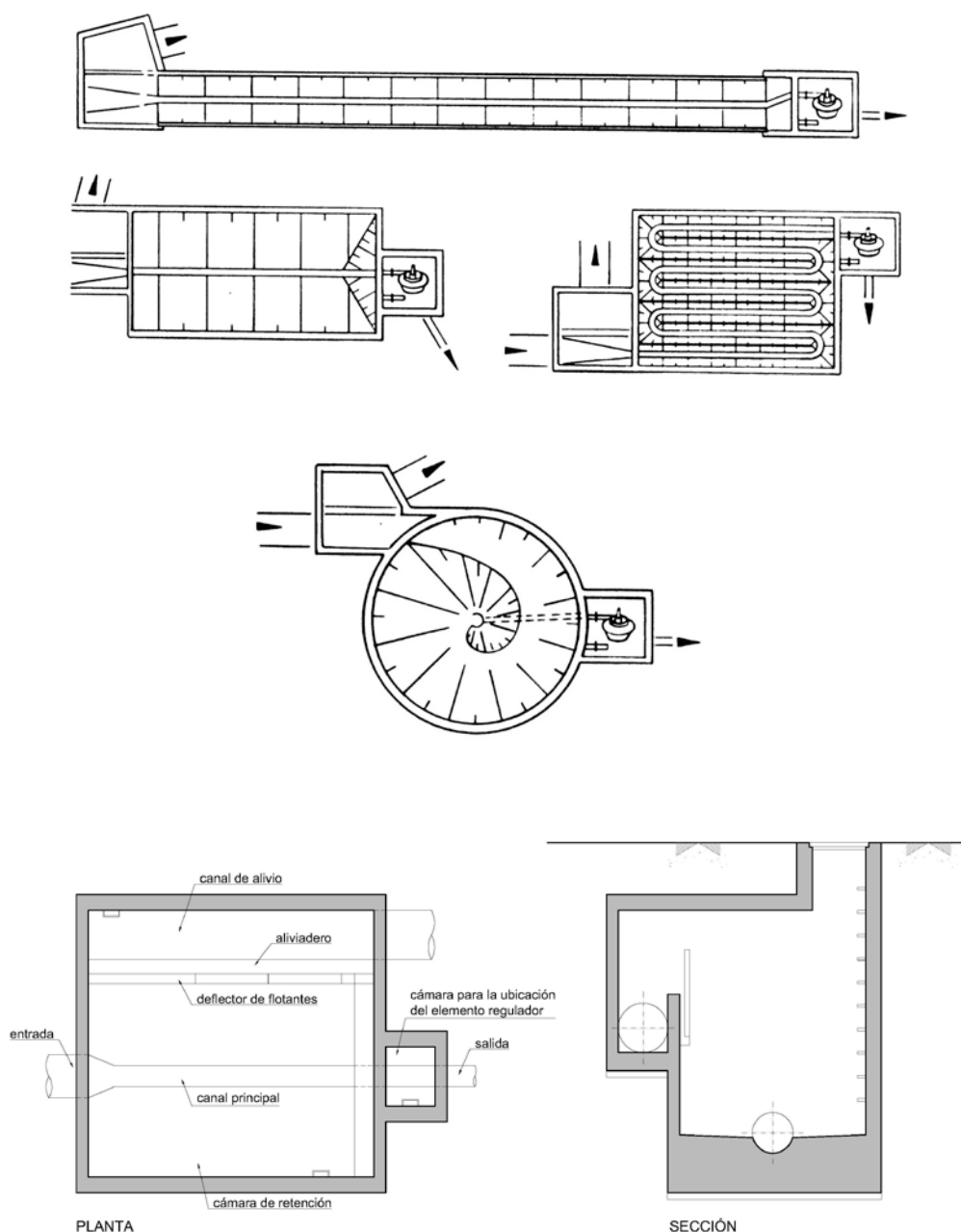


Figura 2 Geometrías básicas de tanques en línea

- Tanques de tormentas fuera de línea, Off-line o depósitos de retención con derivación (ver Figura 3 i 4). La retención fuera de línea se lleva a cabo desviando el caudal desde el sistema de conducción hasta el depósito cuando se supera un valor de caudal predeterminado. El agua desviada se almacena hasta que se recupera la capacidad de la conducción o del tratamiento aguas abajo. En ese instante, el agua almacenada se vacía por gravedad o bombeo a un punto aguas abajo de la red de saneamiento.

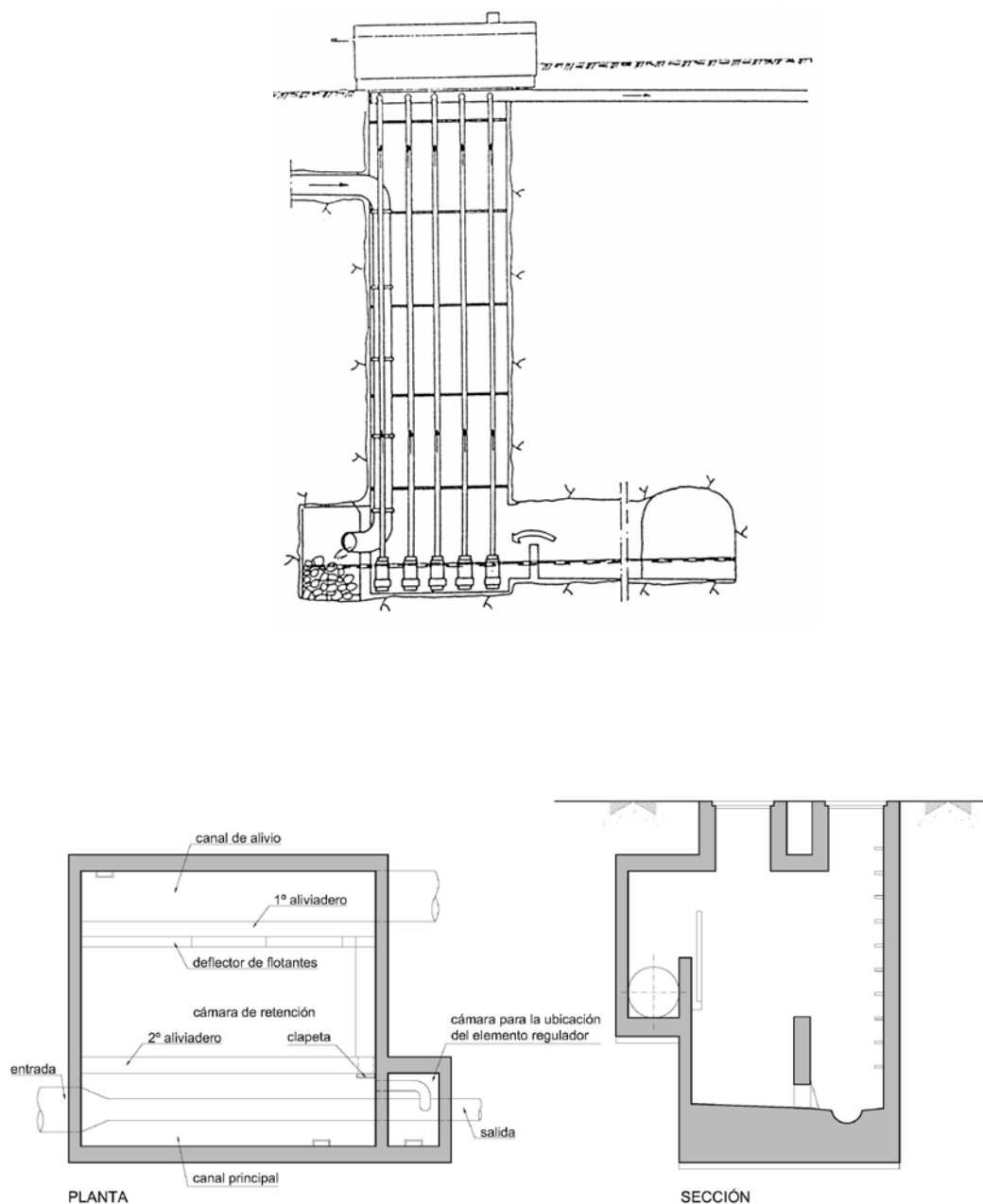


Figura 3 Tanque de tormentas fuera de línea



Figura 4 Ejemplo de tanque fuera de línea en Badalona.

En la figura 4 se muestra un ejemplo real de la implantación de un tanque de tormentas fuera de línea con dos colectores de entrada, Torrent la Batlloria y Rambla de Sant Joan,

- Depósitos de retención combinados (Figura 5). Son depósitos que constan de varios compartimentos o cámaras que funcionan de forma acoplada y, normalmente secuencial. El primer compartimento está situado en línea con la red de saneamiento.
- Comparando ambos tipos de depósitos:
  - ✓ Los depósitos on-line son más apropiados para el almacenamiento de pequeños volúmenes, ya que el espacio disponible en la traza del colector suele ser insuficiente para grandes volúmenes.
  - ✓ Los depósitos off-line son preferibles para la regulación de volúmenes importantes. Tienen la desventaja de que suelen ser estructuras más caras y la red de colectores asociada más complicada.

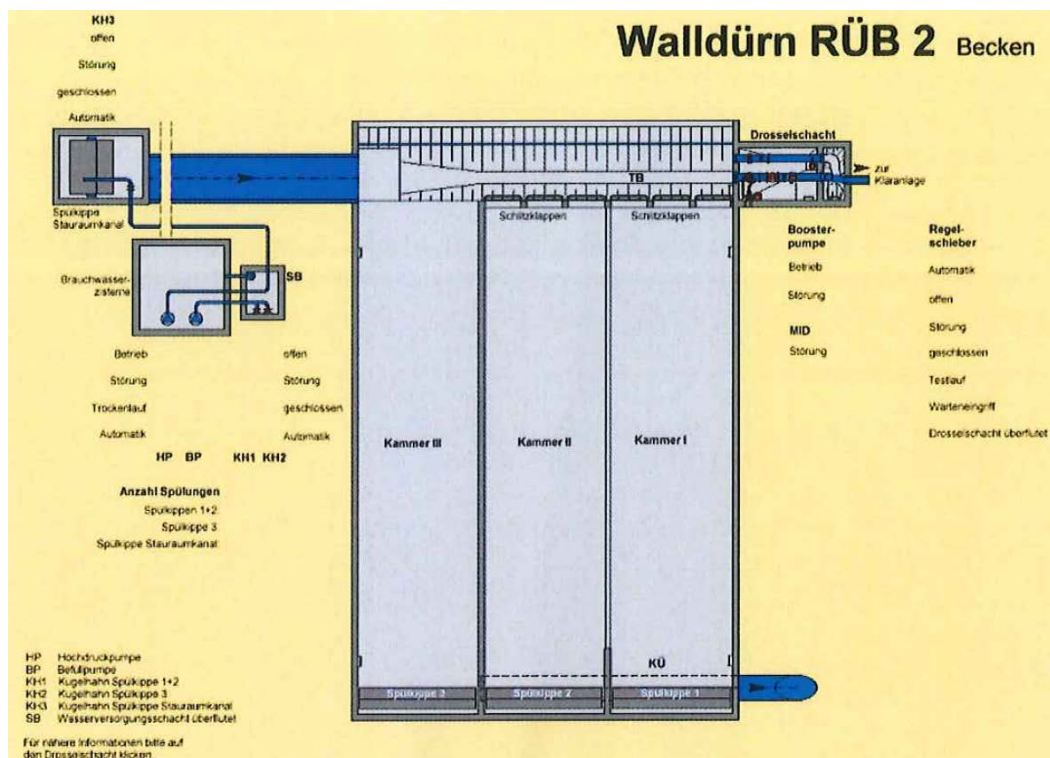


Figura 5 Ejemplo en Alemania de tanque multiconfiguración, con un cuerpo (el de arriba) de tipo on-line y dos (el de abajo) de tipo off-line

- Comparando ambos tipos de depósitos:
  - ✓ Los depósitos on-line son más apropiados para el almacenamiento de pequeños volúmenes, ya que el espacio disponible en la traza del colector suele ser insuficiente para grandes volúmenes.
  - ✓ Los depósitos off-line son preferibles para la regulación de volúmenes importantes. Tienen la desventaja de que suelen ser estructuras más caras y la red de colectores asociada más complicada.
- Por el sistema de vaciado:
  - Vaciado por gravedad. El depósito se implanta a una cota tal que todo el volumen de agua almacenada puede ser reintegrada a la red de saneamiento por gravedad.
  - Vaciado por bombeo. Son aquellos depósitos donde la cota de la solera de los mismos obliga a evacuar toda el agua almacenada mediante un sistema de bombeo.
  - Vaciado mixto. Son aquellos depósitos donde el agua almacenada se evacua por gravedad hasta cierta cota a partir de la cual es necesario el uso de bombas. Los depósitos de esta tipología suelen tener varios cuerpos diferenciados: un primer cuerpo más superficial de vaciado por gravedad y otros cuerpos de mayor profundidad con llenado sucesivo y vaciado por bombeo. Cuando el primer cuerpo se llena el agua rebosa y cae, llenando el segundo cuerpo. Una vez concluido el suceso de lluvia, se vacía primero el cuerpo de gravedad y se bombea a éste el agua acumulada en los cuerpos más profundos, desde donde se vacía a su vez por gravedad.

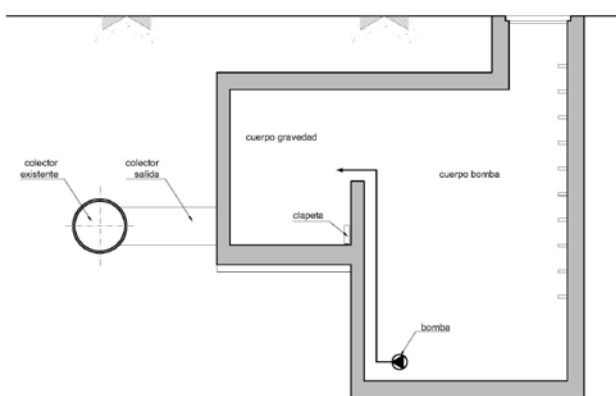


Figura 6 Sección de tanque mixto con un cuerpo de gravedad y otro de bombeo

- Por la gestión de las aguas entrantes, una vez el depósito ya está lleno, los depósitos pueden clasificarse en:
  - Depósitos de volumen confinado o trampa: una vez se llena el depósito, las aguas entrantes se desvían al colector de bypass, reteniendo en su interior las primeras aguas recibidas hasta el final del suceso de lluvia, o el momento que se decida su vaciado. Para ello el depósito tiene que ser necesariamente “off-line”. A este tipo de tanques también se les denomina de “primer lavado”.
  - Depósitos fluyentes: el depósito se llena y sigue recibiendo el agua de la red, pudiendo llegarse a producir un desbordamiento por un aliviadero situado en el mismo o aguas arriba. Normalmente en este tipo de depósitos, el agua entrante se mezcla con la retenida, y se llega a producir una mezcla más o menos completa. También se pueden llegar a configurar y dimensionar con el fin de que se vean potenciados los fenómenos de sedimentación (se fijan límites para las velocidades ascensionales para determinados caudales, se limita la velocidad hacia el aliviadero, se fijan calados mínimos y relaciones de forma, etc.); se habla entonces de depósitos sedimentadores o decantadores. Este tipo de depósitos se pueden configurar tanto “off-line” como “on-line”.

### 2.3 Configuraciones de las estructuras de alivio

Con los diferentes criterios de clasificación de los tanques de tormentas vistos en el apartado anterior, se pueden contemplar diversas configuraciones en función de la situación y función del tanque de tormentas.

En la tabla 1 se adjuntan estas configuraciones básicas, configuraciones que se reproducen de forma esquemática en las figuras 8 a 13.

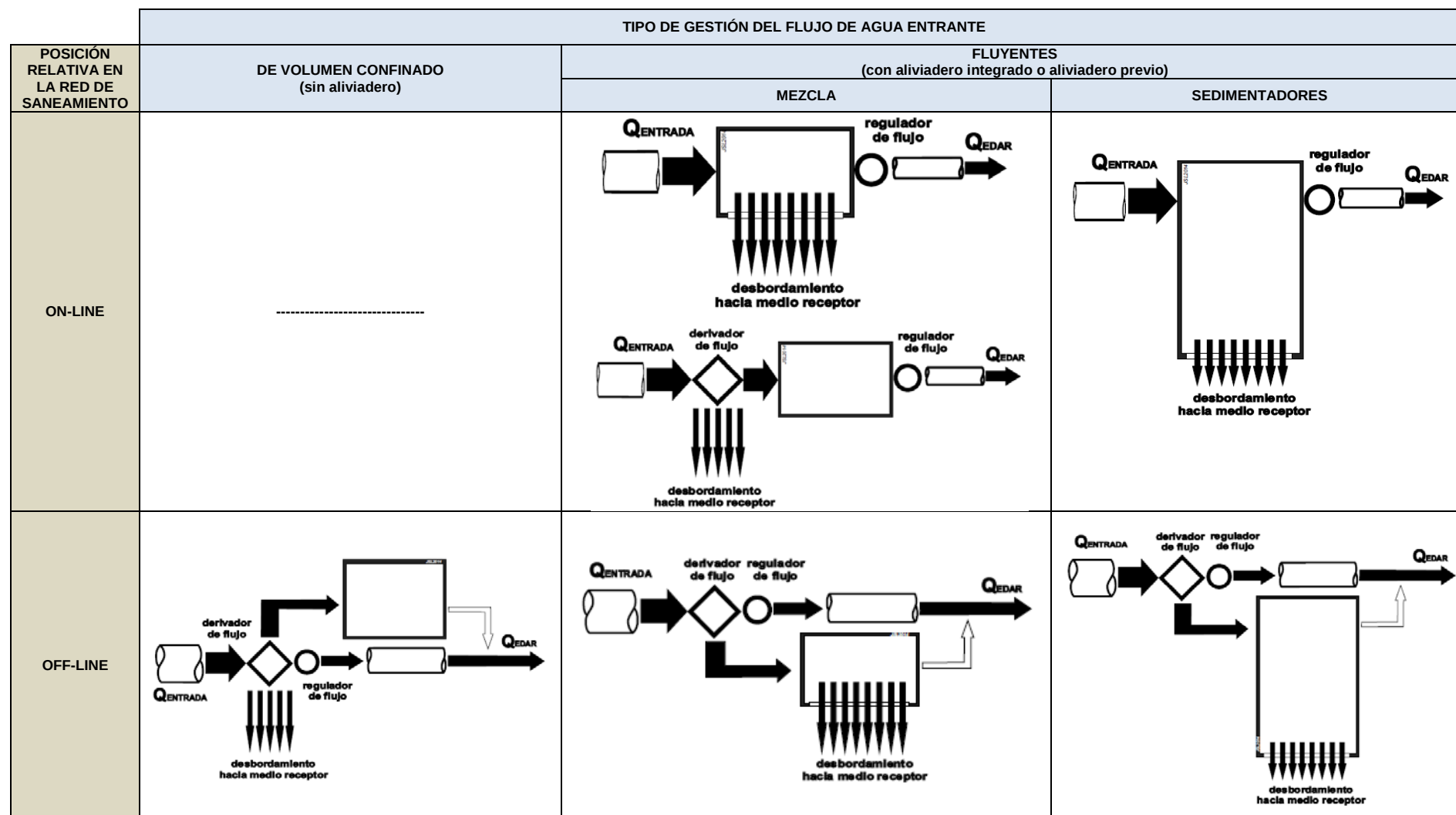


Tabla 1 Configuración general de tanques de tormentas

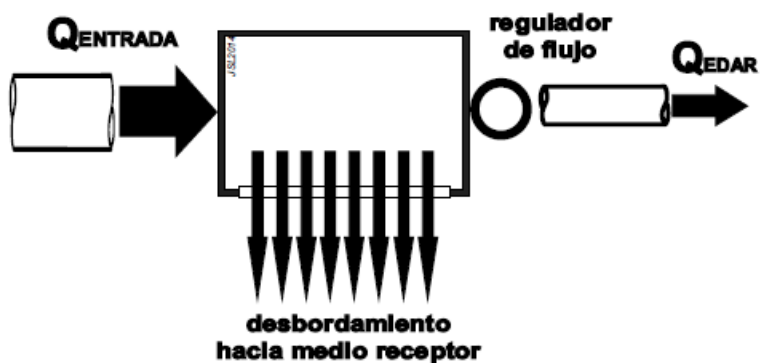


Figura 7 Depósito con configuración on-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente con mezcla completa, y aliviadero integrado.

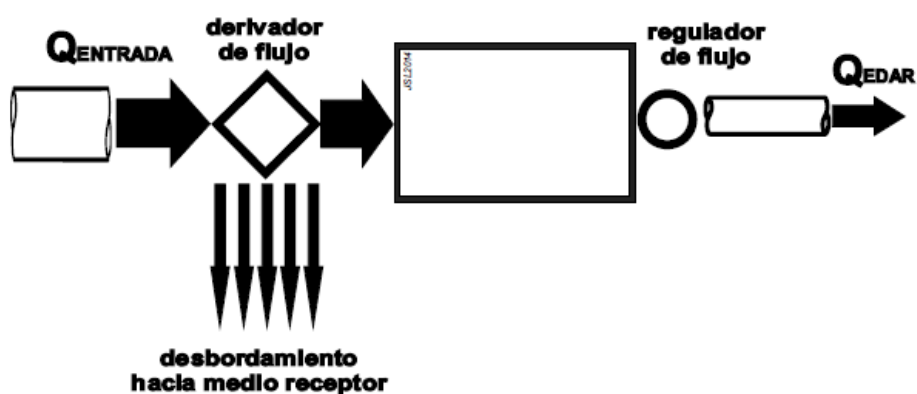


Figura 8 Depósito con configuración on-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente con mezcla completa, y aliviadero en cámara previa.

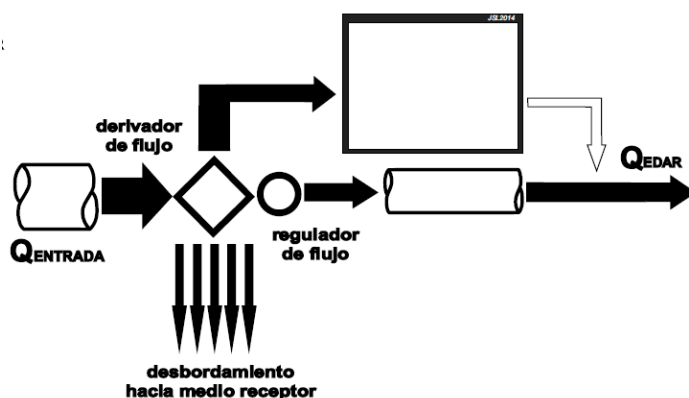


Figura 9 Depósito con configuración off-line con vaciado por gravedad, de tipo trampa, o de volumen confinado.

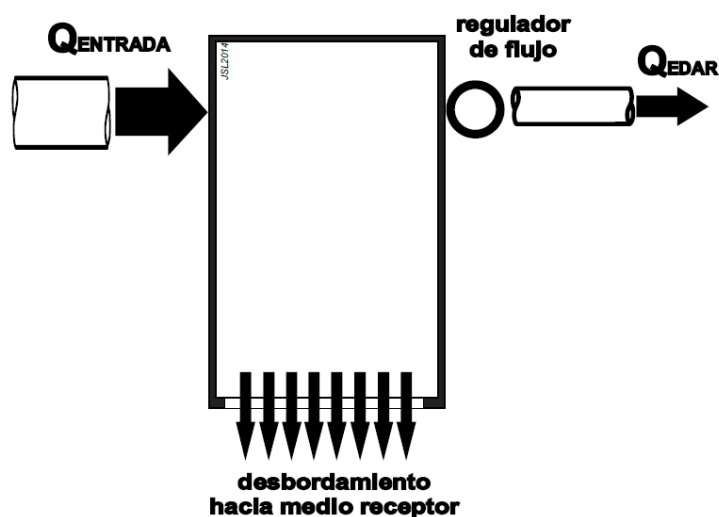


Figura 10 Depósito con configuración on-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente sedimentador.

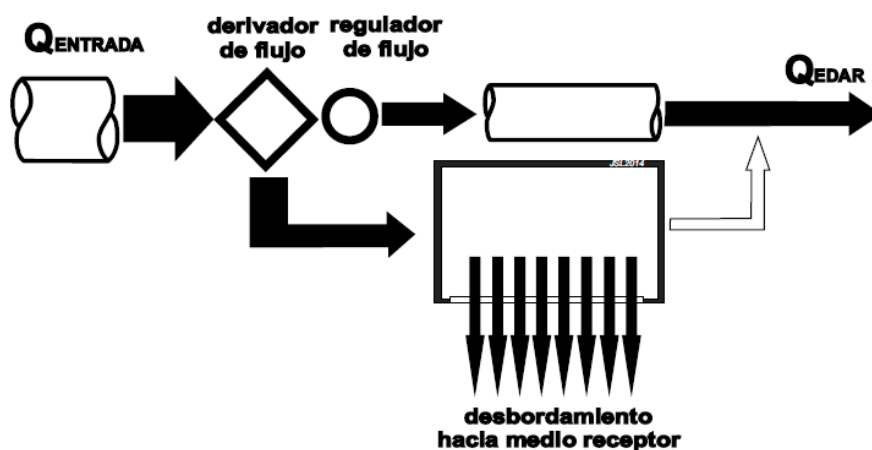


Figura 11 Depósito con configuración off-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente y mezcla.

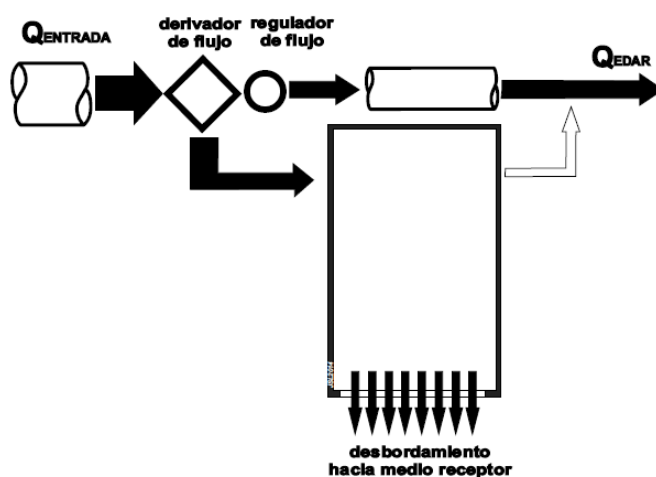


Figura 12 Depósito con configuración off-line con vaciado por gravedad, de tipo fluyente sedimentador

## 2.4 Elementos que conforman un tanque de tormentas

### 2.4.1 Introducción

Se entiende como aliviadero el dispositivo asociado a una conducción o infraestructura fija, dentro de un sistema de saneamiento ya sea unitario o separativo, desde el que se produce el rebose de las aguas circulantes hacia el medio receptor en episodios de lluvia inusuales.

Estos dispositivos pueden llevar asociado un tanque de tormentas (ya sea off-line u on-line) lo que permite regular caudales durante los episodios de lluvias y posteriormente evacuarlos de forma controlada con el objetivo de reducir los volúmenes y la contaminación de los desbordamientos.

Así, básicamente una estructura destinada a eliminar o minimizar los vertidos a los medios receptores puede estar constituida por una combinación de los siguientes elementos:

- Obra de entrada. Este elemento sólo tiene sentido si existe un tanque de tormentas off-line
- Cámara de retención si existe un elemento que permite almacenar los caudales reguladores
- Obra de salida. Si existe un elemento que permite la regulación de caudales
- Aliviadero propiamente dicho
- Cámara seca o locales técnicos

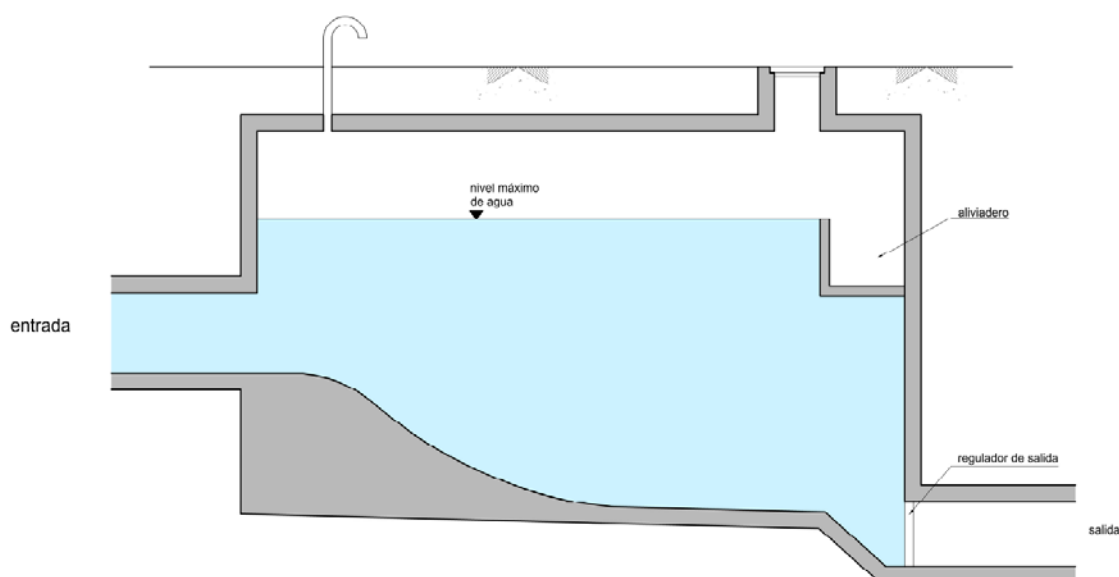


Figura 13 Elementos básicos de un aliviadero con tanque de tormenta (alzado)

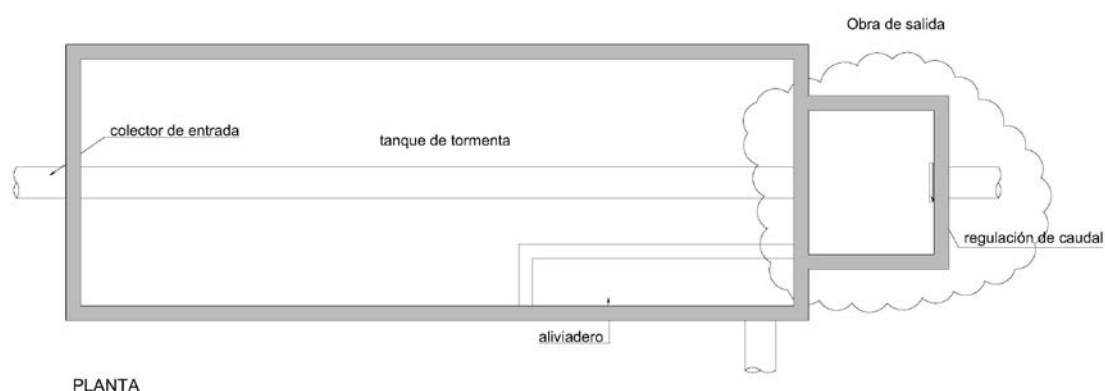


Figura 14 Elementos básicos de un aliviadero con tanque de tormentas on-line (planta)

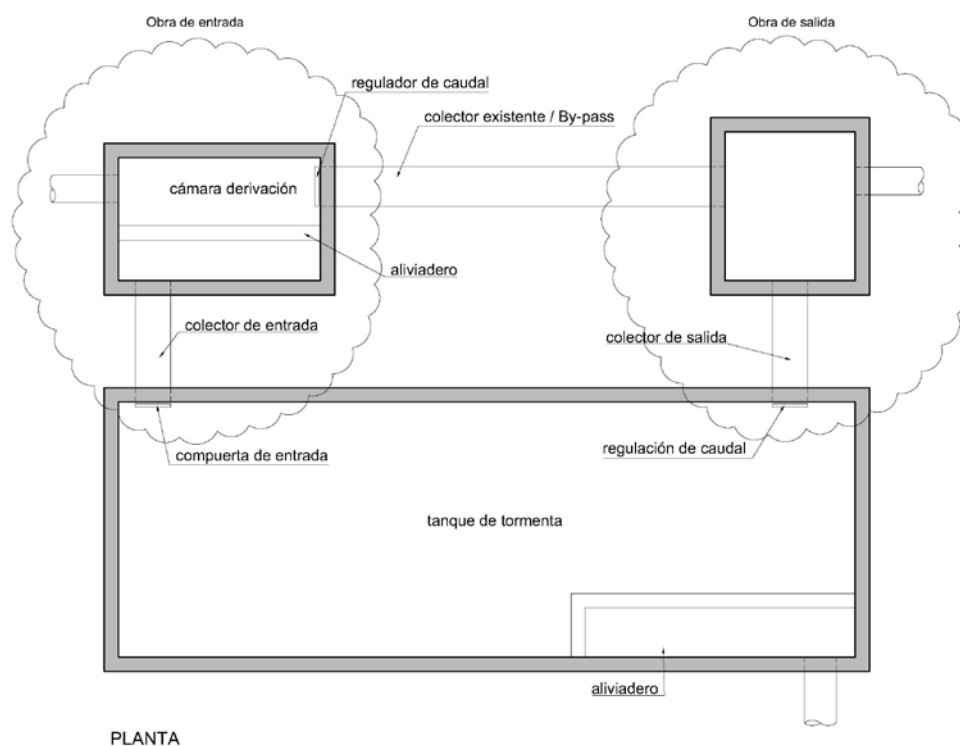


Figura 15 Elementos básicos de un aliviadero con tanque de tormentas off-line (planta)

En función de la envergadura del tanque estos elementos tendrán mayor o menor importancia.

En los siguientes apartados se realiza una descripción de todos estos elementos.

### 2.4.2 Obra de entrada

Como ya se ha comentado, la obra de entrada como tal sólo existe en aquellas estructuras de alivio que llevan incorporado un tanque de tormentas de tipo off-line. Esta obra debe diseñarse de manera que se lleve a cabo un doble objetivo:

- En tiempo seco las aguas residuales deben seguir circulando aguas abajo, evitando su entrada al interior del depósito.
- En episodios de lluvia debe derivarse la mayor cantidad de agua posible hacia el interior del depósito.

En las obras de entrada pueden diferenciarse los siguientes elementos:

- Cámara de derivación. Su función es la de interceptar el conjunto de las aguas que circulan por un colector o colectores durante un episodio de lluvia y conducir las hacia el interior del tanque, mientras que en tiempo seco debe dejar pasar las aguas residuales hacia la red de alcantarillado. Esto implica que la cámara de derivación debe disponer como mínimo de un canal principal por donde circulan las aguas residuales y un canal de alivio donde se derivan las aguas interceptadas. La derivación de las aguas puede realizarse mediante aliviadero de labio fijo o de forma controlada mediante una compuerta.
- Colector de entrada: Este colector tiene la función de conducir las aguas interceptadas en la cámara de derivación hasta el tanque de tormentas.

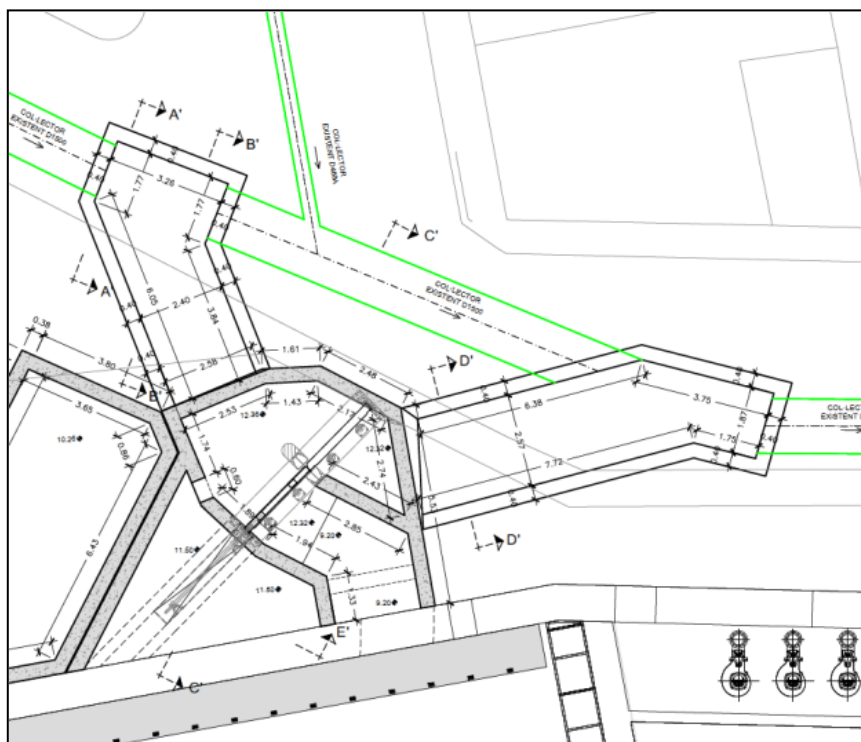


Figura 16 Plano de obra de entrada del tanque de la Estrella (Badalona) con compuerta de derivación colector de bypass y colector de entrada.

### 2.4.3 Cámara de retención

Un tanque de tormentas es el recinto donde se almacena el agua derivada desde la obra de entrada. Las características de esta cámara dependen mucho del volumen de almacenamiento previsto. En el capítulo 3 se desarrollan de una forma más exhaustiva el conjunto de elementos que conforman un tanque.



Figura 17 Cámara de retención del tanque José Manuel Obrero (Alicante).

### 2.4.4 Bypass

En el diseño de los tanques de tormenta es conveniente prever un colector de bypass que permita realizar cualquier operación de mantenimiento o reparación en el interior del tanque con éste fuera de servicio. Puede afirmarse que la existencia de este bypass es lo que determina que un depósito sea on-line u off-line.

El colector de bypass se inicia en la cámara de derivación y transporta las aguas hasta la conexión a la red de alcantarillado aguas abajo del tanque.

Así puede decirse que el colector de bypass, que en función del diseño puede ser el mismo colector existente, cumple con los siguientes objetivos:

- Derivar el caudal de las aguas residuales en tiempo seco hacia la red de saneamiento, sin que estas pasen por el interior del tanque.
- Derivar el caudal de las aguas pluviales hacia la red de saneamiento en aquellos tanques que una vez llenos cierran la compuerta de entrada.
- Derivar el caudal de las aguas pluviales hacia la red de saneamiento durante los intervalos de tiempo en los que el tanque que está fuera de servicio.

#### 2.4.5 Obra de salida

La obra de salida de un tanque de tormentas tiene como función restituir las aguas reguladas a la red de alcantarillado. Básicamente está compuesta por los siguientes elementos:

- Dispositivo de regulación. Su función es regular el caudal de vaciado del depósito hacia la red en función de los niveles aguas abajo. Es el elemento clave en la optimización del funcionamiento del depósito ya que permite gestionar los tiempos de llenado y vaciado. Este dispositivo regulador puede ser de diferentes tipos:
  - Orificios calibrados. Este sistema consiste en crear un paso mediante una ventana, rectangular o circular, de dimensiones conocidas por la cual es posible conocer, mediante fórmulas empíricas, el caudal que es capaz de circular a través de ella.

$$Q = v \times A$$

$$v = \sqrt{2 \times g \times H}$$

- ✓ Dónde:
- ✓ Q: caudal vertido en m<sup>3</sup>/s
- ✓ V: velocidad de paso a través del orificio en m/s
- ✓ A: Área transversal del orificio m<sup>2</sup>
- ✓ H: Altura del agua en el interior del tanque en m.

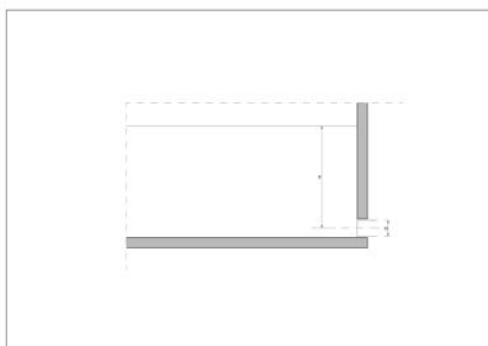


Figura 18 Cálculo de orificios calibrados

- Válvulas tipo vórtice. Son reguladores de caudal sin partes móviles que aprovechan el efecto vórtice para limitar el caudal de paso. No necesitan energía externa para funcionar. Es necesario disponer de un bypass que permita el mantenimiento de la válvula. Existen distintos modelos de válvula de dimensiones variables según las necesidades de regulación. El fabricante deberá suministrar la curva característica de la válvula que relaciona el caudal desaguado en función de la altura en el interior del tanque.



Figura 19 Válvula tipo vórtice

- Compuerta con accionamiento manual o motorizado. Son los elementos más flexibles y adaptables, ya que permiten variar el caudal vertido en función del grado de apertura de la compuerta.



Figura 20 Compuerta con accionamiento eléctrico

- Bombas en el caso de vaciado por impulsión.

En la Tabla 2 pueden verse las ventajas y desventajas de cada uno de los elementos de regulación comentados.

| Elemento regulador        | Ventajas                                                             | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                            | Campo de aplicación                                                                                                        |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Orificio regulador</b> | Fácilmente implantables<br>Muy económicos<br>Sin mantenimiento       | Difícilmente regulables. El caudal de salida depende de la lámina de agua del propio tanque<br>Difíciles de modificar a lo largo del tiempo si se detectan variaciones en los caudales a regular                                                                                       | En pequeños tanques donde la regulación del caudal no sea un elemento crítico                                              |
| <b>Válvulas vórtice</b>   | Fácilmente implantables                                              | Regulan un único valor de caudal<br>Para caudales grandes las dimensiones de los equipos son grandes                                                                                                                                                                                   | En tanques donde se quiera regular un caudal máximo de salida.<br>El campo óptimo es hasta caudales de 1 m <sup>3</sup> /s |
| <b>Compuertas</b>         | Permiten la posible regulación variable de caudales.                 | Costosas económicamente.<br>Las automáticas necesitan consumo de energía o circuitos oleohidráulicos para su funcionamiento<br>No utilizables para regular caudales pequeños ya que con aperturas pequeñas pueden provocar problemas por atascos.<br>Necesitan un mayor mantenimiento. | En tanques donde sea importante acomodar el caudal de salida a las condiciones existentes aguas abajo.                     |
| <b>Bombas</b>             | Regulación de caudales en función de las características de la bomba | Consumo de energía eléctrica                                                                                                                                                                                                                                                           | En tanques con cota inferior a la red de saneamiento                                                                       |

Tabla 2 Elementos de regulación de caudales

- El colector de salida. Devuelve las aguas reguladas a la red de saneamiento.

### 2.4.6 Aliviadero

El aliviadero tiene como función conducir hasta el medio receptor aquellas aguas que superan la capacidad de la red de alcantarillado o la capacidad de almacenamiento del tanque si lo hay y que por tanto no son derivadas al sistema de saneamiento.

De manera genérica, según como se realice el vertido, los aliviaderos pueden ser, en general, de alguno de los siguientes tipos:

- Vertedero lateral (que es el más empleado en las redes de saneamiento)
- Vertedero lateral con pantalla deflectora (se comenta más adelante)
- Vertedero transversal
- Vertedero de salto
- Sifón aliviadero

Los aliviaderos están formados por una estructura formada por un labio fijo, el cual vierte los excedentes de caudal a un colector que las conduce hasta el punto de vertido.

Atendiendo a que los aliviaderos dispongan o no de un depósito de retención adosado, las principales características de los mismos serán las siguientes:

- Aliviadero sin depósito de retención adosado. En el caso de no disponer de un tanque adosado al aliviadero, éste se emplaza directamente en una pared lateral del colector. Si el caudal a aliviar fuera tal que no bastara con el alivio por un solo lado podría disponerse de tal manera que los dos lados del colector hagan de aliviadero. En cualquier caso, las dimensiones del labio del aliviadero deben ser las suficientes para el buen funcionamiento hidráulico del mismo.
- Aliviadero con tanque de retención adosado. En el caso de disponer de un tanque adosado al aliviadero, éste consiste en una obra de fábrica construida in situ, preferentemente de hormigón armado.

En el caso de los aliviaderos de los tanques de tormenta, donde la velocidad de aproximación del fluido puede considerarse nula, la longitud necesaria del aliviadero puede calcularse por la siguiente formulación:

$$Q = Cw * L * h^{3/2}$$

Donde,

$Q$  = caudal de alivio ( $m^3/s$ )

$C_w$  = coeficiente (ver Tabla 3)

$L$  = anchura del muro de alivio (m)

$h$  = altura de la lámina de alivio (m)

$H$  = altura del vertedero (m)

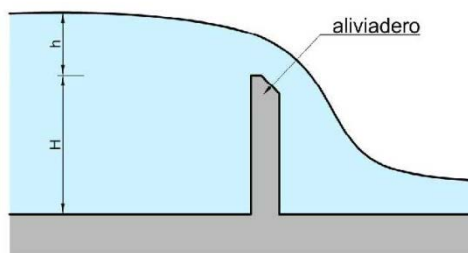


Figura 21 Dimensionamiento de un aliviadero

| Relación geométrica | Altura de agua sobre el aliviadero |          |          |          |          |          |          |          |
|---------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     | $h=0,05$                           | $h=0,10$ | $h=0,20$ | $h=0,40$ | $h=0,60$ | $h=0,80$ | $h=1,00$ | $h=1,50$ |
| <b>0,5</b>          | 2,361                              | 2,285    | 2,272    | 2,266    | 2,263    | 2,262    | 2,262    | 2,261    |
| <b>1,0</b>          | 2,082                              | 2,051    | 2,037    | 2,030    | 2,027    | 2,026    | 2,025    | 2,024    |
| <b>2,0</b>          | 1,964                              | 1,933    | 1,919    | 1,912    | 1,909    | 1,908    | 1,907    | 1,906    |
| <b>10,0</b>         | 1,870                              | 1,839    | 1,824    | 1,817    | 1,815    | 1,814    | 1,813    | 1,812    |
| <b>Infinito</b>     | 1,846                              | 1,815    | 1,801    | 1,793    | 1,791    | 1,790    | 1,789    | 1,788    |

Tabla 3 Coeficiente  $C_w$  para el dimensionamiento de un aliviadero

Existe la posibilidad de instalar aliviaderos flexibles. Esta tipología consiste en instalar una estructura que va flectando a medida que aumenta la carga de agua con lo que se consigue aumentar el caudal de vertido sin aumentar significativamente la lámina de agua. Estas estructuras son especialmente útiles en aquellos casos que pueda existir el riesgo de inundación aguas arriba del aliviadero.

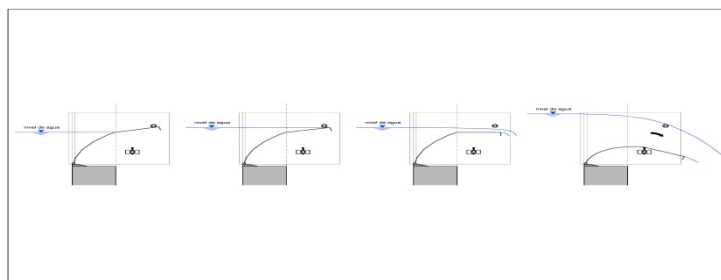


Figura 22 Esquema de aliviadero flexible

Los aliviaderos deben estar equipados con elementos tipo rejas automáticas o pantallas deflectoras de manera que se minimice el vertido al medio receptor de sólidos flotantes.

Las pantallas deflectoras antiflotantes consisten en colocar en el muro del aliviadero una pantalla semisumergida que crea una especie de sifón a la salida lo que evita el vertido al cauce de los sólidos flotantes. Las pantallas antiflotantes pueden adoptar distintas configuraciones tal y como puede verse en la siguiente Figura 23.

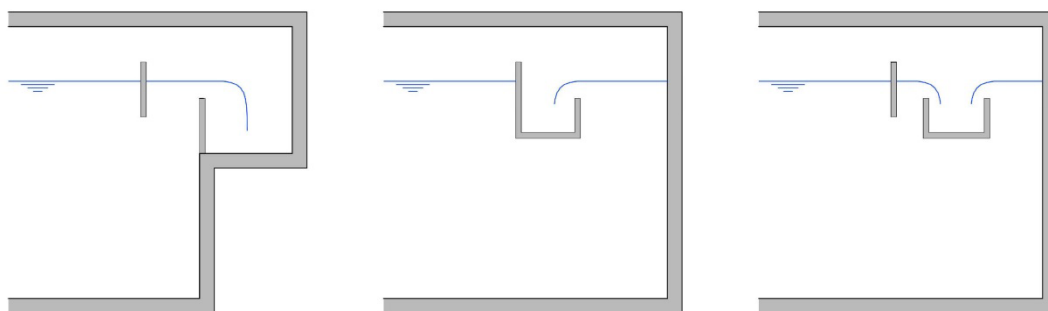


Figura 23 Diferentes disposiciones de las pantallas deflectoras

Para conseguir un óptimo rendimiento de las pantallas su colocación debe seguir los criterios que se muestran en la Figura 24.

Si la pantalla se instala con otros criterios existe la posibilidad de que en el momento del aliviado se forme una depresión que a su vez puede crear efecto de succión por debajo de la pantalla. En este caso, los flotantes saldrán succionados por el alivio al cauce, y la pantalla no podrá llevar a cabo las funciones para las que fue diseñada. En las

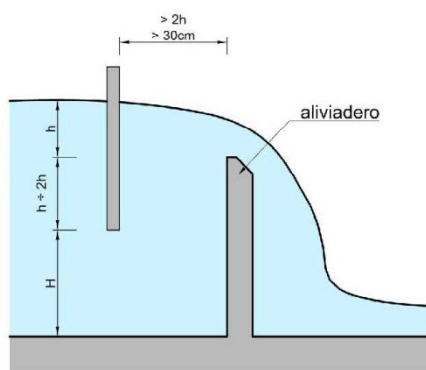


Figura 24 Criterios para la colocación de pantallas deflectoras

En las figuras 25 y 26 se muestran dos ejemplos de pantallas deflectoras mal colocadas. En el primer caso la pantalla está colocada encima de la tubería de entrada de manera que parte de los flotantes no serán retenidos al salir a flote directamente al otro lado de la pantalla. En el segundo caso la pantalla está colocada demasiado cerca de la solera del tanque.



Figura 25 Ejemplo de pantalla mal diseñada.



Figura 26 Ejemplo de pantalla mal diseñada

Las rejas o tamices presentan una mayor efectividad que las pantallas deflectoras pero su coste y su mantenimiento también son más elevados. Las rejas pueden clasificarse de diferentes maneras:

- Por el sistema de limpieza:
  - Manual
  - Automático
- Por el ancho de paso
  - Reja de gruesos
  - Reja de finos
  - Microtamiz



Figura 27 Reja de gruesos



Figura 28 Microtamiz

- Por tipo de reja
  - Tamiz de barras: El flujo del caudal es de tipo horizontal a través de las barras. El tamizado tiene lugar en el muro del tanque. La limpieza automática se realiza mediante rastrillos o peine. El movimiento puede ser vertical u horizontal.



Figura 29 Ejemplo de reja de tamiz de barras

- Tamiz rotativo. El tambor normalmente está parcialmente sumergido en el interior del tanque y los caudales aliviados caen al tambor y pasan al aliviadero a través de la reja. La limpieza suele realizarse mediante un tornillo situado en el interior del tambor.



Figura 30 Rototamiz automático

- Reja de discos. Consisten en una serie de discos colocados en columnas intercaladas que giran según un eje vertical en sentidos opuestos a la columna adyacente.

Se desaconseja la utilización de rejillas de limpieza manual ya que la ausencia de una limpieza regular de la rejilla implica una colmatación de la misma lo que puede provocar problemas de funcionamiento en el resto de la red.

El buen funcionamiento de una rejilla viene condicionado por los siguientes factores:

- La configuración de la rejilla. Se ha comprobado que los tamices de malla son más efectivos que las rejillas de barras.
- La instalación de la rejilla en el aliviadero que influye en la forma como el caudal aliviado atraviesa la rejilla.
- El régimen de caudales a aliviar. Como más uniforme sea el caudal a tratar, mejor será el comportamiento de la rejilla.
- La cantidad y tipología de sólidos contenidos en el agua.

El rendimiento en la retención de sólidos oscila entre los siguientes valores:

- Pantallas deflectoras: 15 – 20 %
- Rejas autolimpiables:
  - Reja de barras: 40 – 70 %
  - Tamices de malla: 60 – 90 %

En el caso de colocación de rejillas es necesario disponer de un aliviadero de emergencia que prevea la posible colmatación de la misma. En la Figura 31 puede verse un ejemplo de colocación de rejilla automática.



Figura 31 Tamiz rotativo automático colocado en un aliviadero

### 2.4.7 Locales técnicos

Los tanques de tormenta deben disponer de un espacio donde albergar los diferentes elementos que permiten realizar la explotación y el mantenimiento del mismo. El diseño de estos locales técnicos viene condicionado por la envergadura del propio tanque y el entorno.

Es aconsejable, cuando la integración urbanística lo permite, construir los locales técnicos en superficie. Si ello no es posible, se pueden integrar a la construcción enterrada del propio tanque. En este último caso el diseño deberá tener en cuenta el acceso adecuado para realizar las operaciones de explotación y mantenimiento así como la impermeabilidad y estanqueidad de los locales.

En la Figura 32 puede verse un ejemplo de locales técnicos ubicados sobre el tanque de tormentas.



Figura 32 Ejemplo de locales técnicos

## 2.5 Sistema de telecontrol

### 2.5.1 Introducción

Un sistema de telecontrol permite realizar la explotación integrada de un tanque de tormentas conjuntamente con el resto de elementos que configuran la red de saneamiento.

A la vez, permite medir de forma continua las diferentes variables que definen el estado del depósito y su entorno (limnímetros, pluviómetros...), teletransmitirlo en

tiempo real a un centro de control, analizar el funcionamiento y telemandar en tiempo real las acciones oportunas a los actuadores que controlan el funcionamiento del sistema del depósito (compuertas, válvulas, bombas, etc.).

### 2.5.2 Elementos de un sistema de telecontrol

Los elementos necesarios para llevar a término un telecontrol de estas características son:

- **Sensores.** Son aquellos elementos que permiten conocer la pluviometría de la zona y el estado de funcionamiento de la red de alcantarillado:
  - Pluviómetros permite determinar tanto el volumen total del agua que ha caído (precipitación), como la intensidad de la lluvia.
  - Limnímetros Son sensores que permiten medir en continuo el nivel del agua existente en un cierto punto del tanque o de la red de alcantarillado. Existen tres tipologías básicas:
    - ✓ Piezoresistivos se encuentran instalados en las cubetas de los colectores y miden la presión debida a la columna de agua que tienen por encima.
    - ✓ Ultrasonidos. Miden el tiempo que tarda en devolver unas ondas que se envían y rebotan al encontrarse la lámina de agua. Tienen la ventaja de una fácil accesibilidad para realizar su mantenimiento y como gran desventaja el coste elevado de la instalación y que dejan de medir en cuanto de mojan.
    - ✓ Radar, con una metodología de trabajo igual a los de ultrasonidos pero trabajando con un tipo diferente de onda.



Figura 33 Ejemplos de sensores: Pluviómetro i limnómetro de ultrasonidos

- **Sensores de estado.** Son aquellos sensores que permiten conocer el estado de las instalaciones:

- Boyas. Permiten detectar niveles puntuales que son útiles y pueden llegar a ser críticos, de cara al control de la estación. Pueden ser boyas que al volcar cierran o abran contactos, o bien electrodos que al ser comunicados por el agua cierran un circuito. Esta señal se conecta al cuadro eléctrico, a una entrada digital de la remota y puede ser utilizada en los programas de control local y a la vez, transmitida hacia el centro de control. Habitualmente las boyas se utilizan como sensores de seguridad, ya que en caso de fallo de un limnómetro de control las boyas pueden realizar su función.
- Detectores de marcha y parada de bombas. Permiten conocer el estado de una determinada bomba, tanto en el cuadro eléctrico como en el «centro de control por medio de la conexión de la estación remota.
- Protecciones de las bombas (sondas térmicas). Se trata de sondas que al detectar un sobrecalentamiento de una bomba, probablemente por trabajar en vacío, hacen saltar una protección que las para o deja de alimentar. Es importante tener telecontroladas estas protecciones.
- Protecciones eléctricas (magnetotérmicos/diferenciales). Se trata de las habituales protecciones eléctricas de sobreintensidades y sobretensiones empleadas en los cuadros. Interesa tener controlados los estados de las alimentaciones eléctricas en los cuadros de maniobra, ya sea para activar los correspondientes sistemas de seguridad, bien con una finalidad puramente informativa hacia el centro de control para realizar actuaciones correctivas si hace falta.
- Finales de carrera. Estos sensores nos indican el estado abierto/cerrado de un actuador, ya sean válvulas, compuertas de entrada o salida, etc. Estos detectores pueden ser mecánicos, inductivos, ultrasónicos, etc., dependiendo de la tipología y ubicación de cada uno de los actuadores.
- Sensor de estado del grupo electrógeno. Cuando los actuadores disponen de un grupo electrógeno para alimentarlos en caso de fallo de la red, es importante conocer tanto el estado de funcionamiento del mismo (marcha/paro), como las principales variables que caracterizan su funcionamiento: nivel de aceite correcto, avería, etc.
- Sensores de intrusismo (detectores de presencia). Estos sensores nos indican si puede haber alguien en el interior de una instalación. Pueden ser contactores en puertas o volumétricos o detectores de presencia.
- Cámaras de TV. En algunos depósitos se pueden instalar cámaras de televisión en color para supervisar desde el Centro de Control las operaciones que se realizan en el depósito. Estas cámaras de TV han de ser motorizadas, para poder moverlas desde el centro de control. El

sistema de comunicaciones hasta el centro de control es aconsejable que sea de fibra óptica o de RDSI. Tienen que estar protegidas con un sistema de calefacción.

- **Actuadores.** Son aquellos dispositivos de regulación que permiten modificar las condiciones de flujo de la red y de los desagües:
  - Compuertas
  - Bombas
  - Limpiadores
  - Válvulas motorizadas
- **Estaciones remotas.** La estación remota realiza funciones de control local del sistema y recibe las consignas desde el centro de control cuando el control es remoto. Están compuestas por controladores lógicos programables (PLC), con un sistema de comunicaciones. Sus funciones son adquirir y tratar las señales de los sensores, realizar cálculos primarios, realizar procesos y regulaciones locales, accionar los actuadores y mantener la comunicación con el centro de control.
- **Red de comunicaciones.** Es el conjunto de equipos, líneas y enlaces que permiten la comunicación bidireccional de datos entre las estaciones remotas y el centro de control.
- **Centro de control.** Es el conjunto de equipos informáticos de almacenamiento y cálculo. Básicamente se compone de un computador central: Scada, unos periféricos de almacenamiento de datos, unos periféricos de comunicación con el operador y un sistema de comunicación con el resto de sistemas informáticos

### 2.5.3 Modos de control

El control de un tanque de tormenta ha de ser integral, es decir, teniendo en cuenta todo el ciclo, desde la recogida, tanto de las aguas pluviales como residuales, hasta su tratamiento y vertido al medio receptor,. Para ello sería óptimo definir una explotación integral y activa que permita actuar en tiempo real sobre el tanque, no obstante esto dependerá del volumen del tanque y el objetivo para el cual se diseñe.

Pueden definirse diferentes modos de funcionamiento de una instalación:

- **Funcionamiento sin control:** En muchos casos, los tanques pueden diseñarse sin elementos de control de manera que no dispone de actuadores y por tanto no puede modificarse el funcionamiento por el cual fue diseñado. Es el caso de tanques que disponen de orificios de salida, o válvulas vórtex para gestionar el caudal de salida del tanque.

- **Funcionamiento manual:** Es el control más bajo en el que el actuador se gobierna mediante pulsadores desde los cuadros de maniobra ubicados en la propia instalación.
- **Funcionamiento controlado.** Este funcionamiento debe estar jerarquizado pensando en la seguridad, de manera que en caso de que ocurra algún fallo que imposibilite seguir operando en un determinado nivel de control, se pase al siguiente nivel, de control inferior, pero que permita operar con total seguridad en esas circunstancias. Para ello se plantea:
  - El control global es el óptimo de todos los controles. En él, se recogen los datos del estado de toda la red a gestionar y sobretodo de los puntos de vertido, y en función de éstos se envían las consignas a los actuadores. Así, no sólo se regula según el estado de la red en el entorno del actuador, sino que se extiende a toda la red. El uso de la totalidad de la información en tiempo real del sistema de drenaje para decidir la mejor estrategia de control de los actuadores, dota al control global de una potencialidad muy superior a controles localizados. Para desarrollar este tipo de control es necesario que las comunicaciones con el centro de control funcionen adecuadamente; en caso de interrupción habría que pasar automáticamente a un nivel inferior de control que sería el control local.
  - En el control local las decisiones sobre los actuadores del tanque (estaciones de bombeo, compuertas de entrada, de retención, etc.) son tomadas en función de los valores que miden y transmiten los sensores locales que pertenecen al sistema concreto asociado a ese actuador. En este tipo de control es la estación remota del propio actuador la que, de manera previamente programada, gestiona el control del actuador según el estado de la red en un entorno cercano a éste.
  - En ocasiones se hace necesario recurrir a un control remoto por operador desde el centro de control. Puede tomar el mando de los actuadores y realizar todas las operaciones necesarias desde el centro de control.
  - Finalmente todos los sistemas deben disponer de un modo de control manual. En este caso es el propio cuadro eléctrico del actuador quien lo gobierna de manera electromecánica mediante mecanismos eléctricos o por actuación directa de un operario, sin intervención de ningún software de control.
  - En caso de que no fuera posible gobernar el actuador con los sistemas anteriores, debe existir un control físico, basado en la propia tipología de los actuadores, que se diseña pensando en posiciones de seguridad establecidas de antemano.

# 03.

## DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN Y SUS ELEMENTOS



## 3 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE RETENCIÓN Y SUS ELEMENTOS

### 3.1 Introducción

Un tanque de tormentas es el recinto destinado al almacenamiento de las aguas derivadas desde la red de saneamiento, mientras dura un episodio de lluvias evitando o reduciendo su vertido al medio receptor. Son elementos con un volumen de almacenamiento muy variable en función de las necesidades de cada caso, pudiendo ir desde unos centenares de metros cúbicos a centenares de miles.

En función de este volumen y por tanto de sus dimensiones las cámaras de retención dispondrán de mayor o menor número de instalaciones y elementos en su interior.

En la Figura 34 puede verse un ejemplo de tanque de tormentas.



Figura 34 Tanque de tormentas en Lugo.

En los siguientes apartados se describen los diferentes elementos y sistemas que pueden llegarse a encontrar en una cámara de retención de un tanque de tormentas, no siendo todos ellos indispensables para el funcionamiento del tanque.

### 3.2 Clasificación

Por la apariencia, la geometría y la forma de almacenamiento los tanques de tormentas se puede clasificar en:

- Balsas de retención a cielo abierto.
- Depósitos de hormigón. Pueden ser a cielo abierto o enterrados. Por su geometría pueden ser rectangulares, circulares o de forma irregular.



Figura 35 Balsa a cielo abierto. (Viladecans, Barcelona)



Figura 36 Zona de almacenamiento de aguas pluviales de viales. (Viladecans, Barcelona)

- Baterías de tubos de gran diámetro. Consisten en la colocación en serie de tuberías de gran diámetro conectadas a una cámara común de entrada y otra de salida.
- Túneles

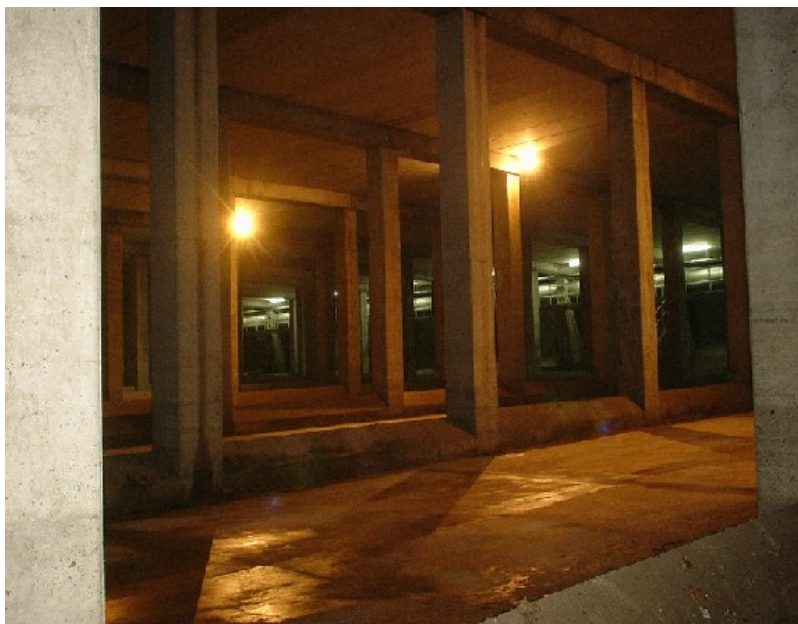


Figura 37 Depósito de hormigón armado (Barcelona)



Figura 38 Construcción de túnel anti-DSU de 5 m de diámetro y 3.2 Km de longitud en Boston (EEUU)

En la Tabla 4 se muestran las ventajas y desventajas de cada una de las tipologías mencionadas y los casos donde es más conveniente su utilización.

| Tipología                      |                           | Ventajas                                                                                                                                   | Desventajas                                                                                                                                                                                                                     | Uso                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Balsas a cielo abierto.</b> |                           | <p>Más económicas.</p> <p>Compatibles con otros usos como estanques o zonas verdes.</p> <p>Pueden convertirse en zonas lúdicas.</p>        | <p>Mayores problemas de integración con el entorno.</p> <p>Operaciones de mantenimiento y limpieza más complicadas.</p> <p>Posibilidad de convertirse en vertederos.</p> <p>Protección más complicada de las instalaciones.</p> | <p>Zonas periurbanas.</p> <p>Sistemas separativos para almacenar aguas pluviales de carreteras y/o autopistas</p>                                                               |
| <b>Tanques hormigón</b>        | <b>Rectangulares</b>      | Fácil implementación de sistemas de limpieza automáticos.                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                 | Zonas urbanas consolidadas.                                                                                                                                                     |
|                                | <b>Circulares</b>         | <p>Mejor comportamiento estructural</p> <p>Pueden llegar a ser autolimpiantes</p>                                                          | <p>Mayores necesidades de espacio</p> <p>Mayores dificultades constructivas</p>                                                                                                                                                 | Volúmenes pequeños o medianos en zonas urbanas                                                                                                                                  |
|                                | <b>Formas irregulares</b> | Adaptables al espacio disponible                                                                                                           | Difícil implantar un sistema de limpieza automático                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                 |
| <b>Baterías de tubos</b>       |                           | <p>Mejor adaptabilidad a las características del terreno.</p> <p>Menores períodos de ejecución debido a las facilidades de premontaje.</p> | <p>Peor aprovechamiento del espacio disponible.</p>                                                                                                                                                                             | Pequeños volúmenes en zonas periurbanas.                                                                                                                                        |
| <b>Túneles</b>                 |                           | Por su profundidad y sistema constructivo menores afecciones en superficie.                                                                | <p>Obra económicamente muy costosa.</p> <p>Diseño complicado de obras de entrada y salida, accesibilidad, ventilaciones...</p> <p>Operaciones de mantenimiento costosas.</p>                                                    | <p>Casos excepcionales.</p> <p>Pueden ser la solución óptima para el caso de sistemas con numerosos aliviaderos vertiendo a un mismo medio receptor muy extenso en longitud</p> |

Tabla 4 Tipología de tanques de tormentas

### 3.3 Aliviaderos interiores

En el interior de un tanque de tormentas existen tres tipologías de aliviaderos atendiendo a su función:

- Aliviaderos de compartimentación interior: Estos aliviaderos separan los diferentes cuerpos o compartimentos del depósito en los que puede estar dividida la cámara de retención.
- Aliviaderos de emergencia: Todos los tanques deben contar forzosamente con uno o varios aliviaderos de emergencia como seguridad última. Estos aliviaderos pueden tener diferentes puntos de vertido:
  - Directamente al medio receptor en el caso de que este se encuentre cerca del depósito. Este tipo de aliviaderos deben equiparse con algún mecanismo que impida el vertido de flotantes (pantallas deflectoras, rejas...) tal y como se ha indicado en el apartado 2.3.5.
  - A la red de saneamiento existente aguas abajo.
- Aliviaderos de emergencia estructural. Estos aliviaderos están conectados directamente a la superficie y se utilizan para evitar el colapso estructural del tanque ante la posibilidad de que los aliviaderos de emergencia no puedan desaguar el máximo caudal admisible por el colector de entrada. Estos aliviaderos, si bien no son imprescindibles para el funcionamiento del tanque, son muy recomendables para garantizar su seguridad.



Figura 39 Aliviadero de emergencia. Depósito de Drs Dolsa (Barcelona)

### 3.4 Accesibilidad

Para realizar las operaciones de mantenimiento y explotación del tanque es necesario el acceso del personal al interior de la cámara de retención del mismo. Por ello y en función de sus dimensiones, el depósito debe disponer de pasarelas perimetrales, escaleras de acceso a la solera y salidas de emergencia.



Figura 40 Ejemplo de pasarelas y escaleras de acceso a la solera en tanque de Bori Fontestà (Barcelona)

### 3.5 Interacción con la superficie

Los tanques de tormentas enterrados tienen una interacción con la superficie, ya que es necesario disponer una serie de elementos necesarios para su explotación que afectan al diseño de la superficie.

Estos elementos son básicamente los accesos a las cámaras y locales técnicos, las ventilaciones necesarias y las diferentes tapas necesarias para realizar el mantenimiento de los equipos instalados. Entre otras deben considerarse:

- Acceso a los locales técnicos y cámara secas.
- Salidas de emergencia.
- Entradas y salidas de las ventilaciones.
- Tapas de extracción o sustitución de las compuertas.
- Tapas de entrada extraordinaria de maquinaria de obra al interior del depósito.

- Tapas de extracción de las bombas.
- Tapas de extracción de residuos ocasionales.
- Tapas de extracción desde locales técnicos, en caso de estar enterrados, del transformador, el grupo electrógeno, las bombas, etc...



Figura 41 Tapas extracción bombas en medio de una plaza

En los accesos desde el interior del depósito a las cámaras secas (cámara de las compuertas, locales, bombeos, etc.) se debe asegurar la estanquidad de los mismos. La ubicación de las salidas a la superficie desde las cámaras secas y salidas de emergencia debe asegurar su accesibilidad en cualquier momento.

### 3.6 Compuertas

#### 3.6.1 Definición

Las compuertas son elementos mecánicos que mediante sus movimientos ya sean totales (apertura o cierre) o parciales (posiciones intermedias) permiten gestionar la red de alcantarillado y regular con un importante grado de precisión el caudal de entrada y salida de un depósito.

Se define como posición de seguridad de una compuerta la posición a la que ésta acude por acción de la gravedad en caso de fallo del mecanismo. Este aspecto es básico en la elección de la tipología de compuerta más adecuada ya que su diseño

debe ser tal que en caso de fallo, la posición a la que vaya la compuerta debe ser la de máxima seguridad para el sistema de saneamiento.

En base a la función que las compuertas desempeñan, estas pueden clasificarse en:

- Compuerta de entrada. Gestiona la admisión del agua pluvial al interior del depósito. Esta compuerta puede combinarse con las compuertas de derivación.
- Compuertas de salida. Regulan el caudal reintegrado desde el depósito a la red de alcantarillado en función de los niveles aguas abajo.
- Compuertas de derivación o de bypass. Permiten derivar las aguas hacia el interior del depósito o hacia el colector de bypass en función de los requisitos de explotación.
- Compuertas de compartimentación. Comunican o aíslan los diferentes compartimientos en que se ha dividido el depósito. Generalmente se sitúan en la base de los muros separadores y pueden ser:
  - Clapetas antiretorno. Pueden ser de tres tipos:
    - ✓ Cuerpo de acero inoxidable y cierre mediante lengüeta de elastómero. Es muy sensible a la apertura y cierre y muy válida para cierres estancos y de gran eficacia para los casos de baja presión (3mts de manera estándar y hasta 5-6mts reforzándolas)
    - ✓ Cuerpo y cierre en polietileno de alta densidad, con junta de cierre de EPDM. Válida para cargas normales y sin exigencias de cierre estanco.
    - ✓ Cuerpo y cierre en acero inoxidable con junta de elastómero, a veces complicada para lograr la estanqueidad y sobre todo con mucha pérdida de carga para su apertura.



Figura 42 Clapeta antiretorno en tanque Louro (Pontevedra)

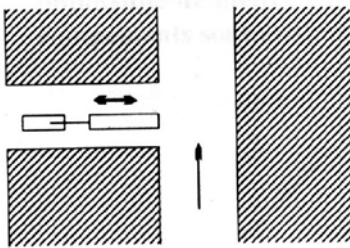
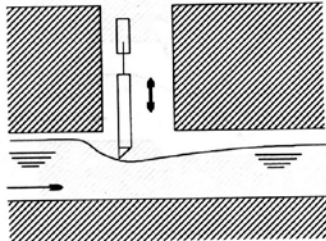
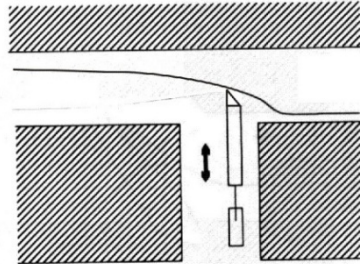
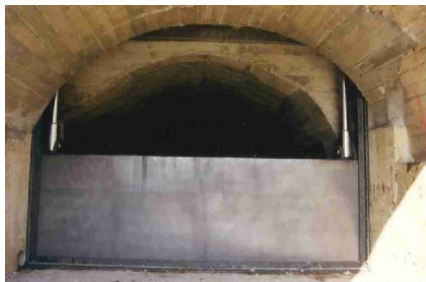
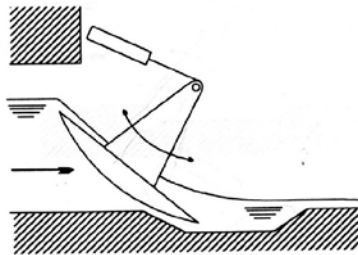
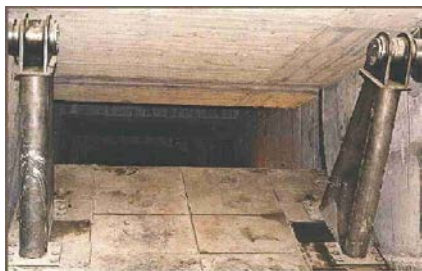
- Compuertas murales con funcionamiento manual o motorizado.



Figura 43 Compuerta en el tanque Jose Manuel Obrero (Alicante)

### 3.6.2 Tipología de compuertas

En función del desplazamiento de la compuerta existen diferentes tipologías tal y como se muestra en la Tabla 5

| TIPOLOGÍA DE COMPUERTAS EN FUNCIÓN DE SU TIPOLOGÍA |                    |                       |                                                                                      |                                                                                       |
|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Desplazamiento                                     |                    | Posición de seguridad | Esquema                                                                              | Fotografía                                                                            |
| Horizontal                                         | Eje superior       | No tiene              |    |    |
| Vertical                                           | Cierre descendente | Compuerta cerrada     |   |   |
|                                                    | Cierre ascendente  | Compuerta abierta     |  |  |
| Axial                                              | Tipo sector        | Compuerta abierta     |  |  |

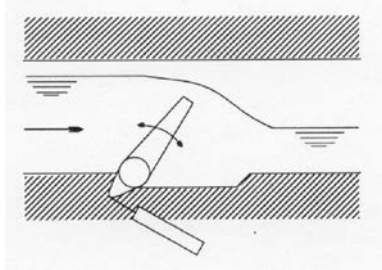
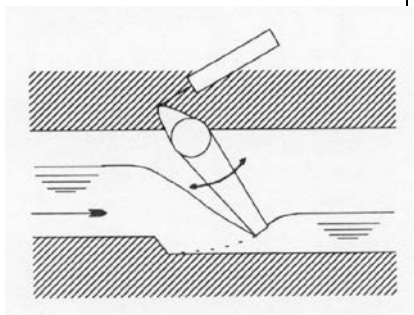
| TIPOLOGÍA DE COMPUERTAS EN FUNCIÓN DE SU TIPOLOGÍA |                         |                       |                                                                                     |                                                                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Desplazamiento                                     |                         | Posición de seguridad | Esquema                                                                             | Fotografía                                                                          |
|                                                    | Clapeta de eje inferior | Compuerta abierta     |   |  |
|                                                    | Clapeta de eje superior | Compuerta cerrada     |  |                                                                                     |

Tabla 5 Tipología de compuertas

En función del mecanismo que provoca el movimiento de la compuerta estas pueden ser:

- Manuales.
- Funcionamiento eléctrico.
- Funcionamiento oleohidráulico. Las compuertas se mueven mediante la acción de un circuito oleohidráulico. Este sistema presenta la ventaja de que en caso de avería las compuertas van por acción de su propio peso a la posición de seguridad. Además este sistema permite la realización de un último movimiento con la presión acumulada en un calderín. Por otro lado el problema que presentan estos sistemas es el elevado coste de mantenimiento de las instalaciones y circuitos necesarios.

### 3.7 Sistema de limpieza

Uno de los elementos funcionales más importantes de un tanque de tormentas es el sistema de limpieza utilizado. Terminado un episodio de lluvia, el agua acumulada en el depósito se vacía en función de la capacidad de evacuación de la red de

saneamiento y de la depuradora. Una vez vacío, en el interior del depósito quedan los residuos arrastrados por la escorrentía y decantados durante su estancia en el mismo. Estos residuos deben extraerse del depósito lo antes posible para evitar olores y septicidad, y ello se consigue mediante la limpieza del mismo. Por otro lado, cuanto antes se eliminen dichos residuos, menos costosa resulta la operación, dado que éstos tienden a apelmazarse al cabo de las horas.

Por todo ello, las principales características que deben cumplir los sistemas de limpieza de los depósitos son:

- Rapidez de actuación
- Facilidad de explotación
- Robustez y durabilidad
- Reducido coste de mantenimiento
- Autonomía y automatización gracias al mando telecontrolado.

Los sistemas de limpieza pueden ser de dos tipos:

- Sistemas de limpieza automáticos. Existen básicamente dos metodologías:
  - Limpieza por la creación de una ola que barre longitudinalmente el depósito. Estos sistemas precisan de un pequeño depósito en cabecera donde se acumula un determinado volumen de agua que posteriormente creará la ola de limpieza. Para que estos sistemas sean eficientes, es necesario dividir el depósito en una serie de carriles paralelos entre sí con pendiente hacia un carril transversal de recogida que a su vez conduce las aguas hacia la obra de salida o en su caso al pozo de bombeo. En función del tipo de cisterna y el método de llenado se puede hablar de:
    - ✓ Limpiadores de volcadores o basculantes. Son mecanismos consistentes en unos tanques excéntricos colocados en la cabecera de cada carril. En situación normal los limpiadores están en posición de equilibrio y a medida que se van llenando de agua se produce un desplazamiento del centro de gravedad hasta producir el vuelco del mismo y el lavado del carril correspondiente. Los limpiadores deben colocarse a una altura adecuada ya que su efectividad se basa en la transformación de la energía potencial en cinética. Por otro lado, para asegurar su buen funcionamiento se exige una ejecución cuidadosa de la solera de los carriles y de la pared sobre la que se vierte el agua de los limpiadores. Es importante disponer de una cuna de hormigón entre la solera y la pared sobre la que voltea el limpiador ya que favorece la correcta formación de la ola.



Figura 44 Limpiador basculante en reposo y en acción

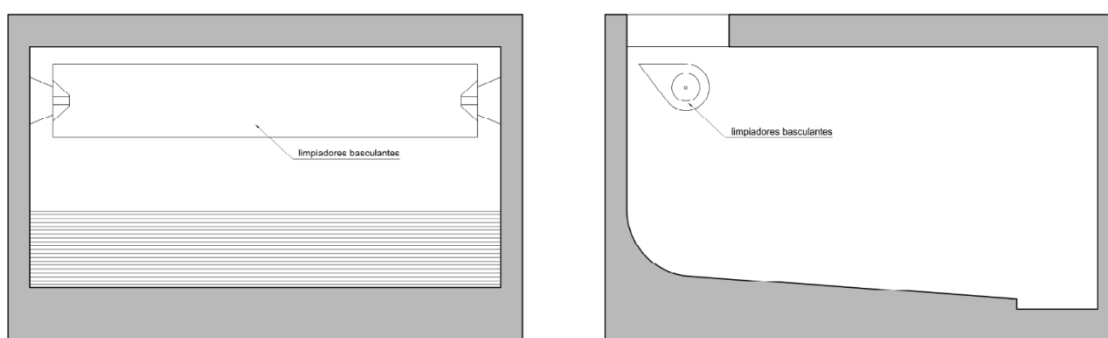


Figura 45 Esquema de limpiadores basculantes



Figura 46 Cuna de hormigón entre la solera y la pared

- ✓ Cámaras de descarga. Clapetas de descarga. Este sistema basa su eficacia en la creación de una ola de agua de fuerte carga piezométrica que barre la solera. Esta ola se consigue mediante el vaciado de unas cámaras de descarga situadas al inicio del carril y a nivel de solera. Por la forma de provocar la descarga existen dos tipologías distintas:
  - Clapetas oleohidráulicas. El agua se almacena en la cisterna que creada por una clapeta equipada con unos dispositivos oleohidráulicos. La descarga se produce por la apertura rápida y brusca de la clapeta.



Figura 47 Operación de limpieza mediante la apertura de la clapeta de descarga



Figura 48 Ejemplo de cámaras de descarga y clapetas en el tanque de Vilalba dels Arcs (Barcelona)

- Llenado por vacío. La idea de este sistema es similar al de las clapetas de descarga diferenciándose básicamente en la forma de retener el agua en la cámara de descarga. Este sistema necesita de una bomba de vacío, una válvula de diafragma y un medidor de nivel. Cuando la cámara de retención comienza a llenarse debido a un episodio de lluvia, se provoca el vacío en la cámara de limpieza provocando que el agua inunde dicha cámara. En el momento de la limpieza se rompe este vacío generando la ola de limpieza que barre la solera.

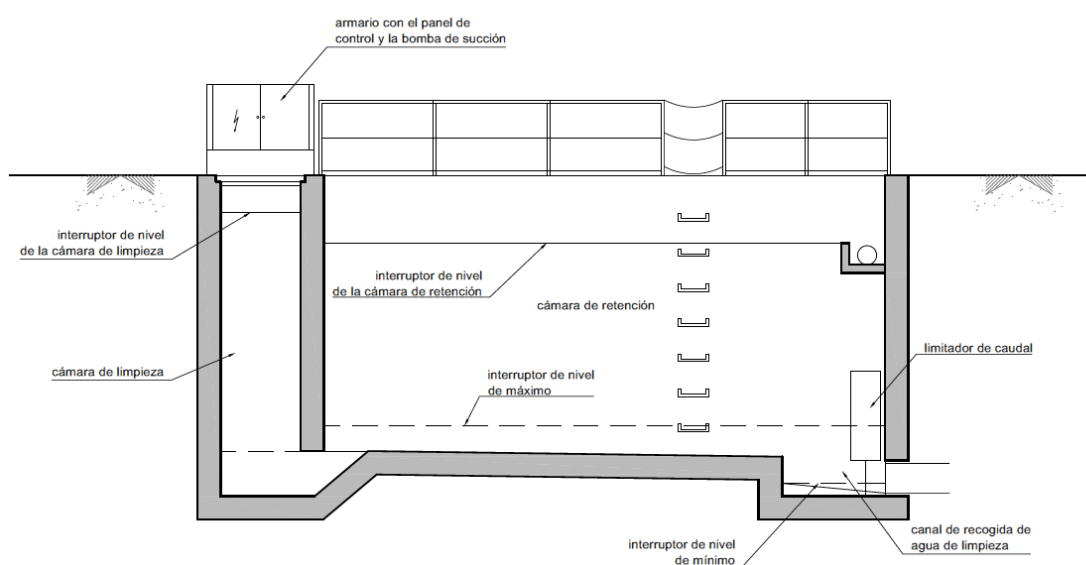


Figura 49 Esquema de limpiador de llenado por vacío

- Limpieza por chorro. Consisten en una bomba sumergible equipada con una lanza de mezcla de aire y agua. La mezcla de aire y agua es propulsada a gran velocidad y mantiene todo el volumen del tanque en rotación de manera que los materiales contaminantes se mantienen en suspensión y los que han sedimentado son mezclados de nuevo y puestos en suspensión. En las fases finales la tubería comienza a girar lentamente garantizando que todas las zonas del fondo del tanque son directamente chorreadas.



Figura 50 Eyector en funcionamiento

- Agitadores o mezcladores de fondo. No son propiamente un dispositivo de limpieza. Son unos dispositivos que evitan la sedimentación de los sólidos en el interior del tanque.
- Sistemas de limpieza manuales. Entre los sistemas de limpieza manuales se encuentran los siguientes:
  - Bocas de aspersión para mangueras. Se utilizan para depósitos pequeños o como soporte a otros sistemas automáticos, para la limpieza de zonas localizadas como son los rincones, coronación de muretes o pasarelas.
  - Maquinaria de carga operada por personal. Existen varias modalidades como son pequeñas excavadoras, puentes grúas equipados con cucharas bivalvas, contenedores de residuos. Estos métodos necesitan de una obertura en el depósito que permita la entrada de la maquinaria.

En la Tabla 6 se indican las principales características de los diferentes sistemas de limpieza automáticos.

| SISTEMAS DE LIMPIEZA AUTOMÁTICOS |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                     |                                                                                                      |                                                                                                                      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema                          | Características                                                                                                                                                   | Ventajas                                                                                                            | Desventajas                                                                                          | Aplicación                                                                                                           |
| <b>Volcadores</b>                | Dividir el depósito en carriles de anchura inferior a 10 metros.<br><br>Pendientes longitudinales de los carriles entre el 2% i el 4%.<br><br>Necesario construir | Sistema automático sin mecanismos.<br><br>Sencillo.<br><br>Fiable.<br><br>Menores consumos de agua para la limpieza | Profundidad del tanque limitada.<br><br>Mecanismo no inundable.<br><br>Longitud de limpieza pequeña. | Para depósitos medianos con longitudes de limpieza inferiores a los 50-60 m y alturas de agua inferiores a 7 metros. |

| SISTEMAS DE LIMPIEZA AUTOMÁTICOS |                                                                                                                          |                                                                                |                                                                                                 |                                                                               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema                          | Características                                                                                                          | Ventajas                                                                       | Desventajas                                                                                     | Aplicación                                                                    |
|                                  | una cuna de hormigón entre la solera y la pared sobre la que voltea el limpiador.                                        |                                                                                |                                                                                                 |                                                                               |
| <b>Clapetas</b>                  | Dividir el depósito en carriles de anchura inferior a 5 metros.<br><br>Pendientes longitudinales de los carriles del 1%. | Sistema robusto.<br><br>Sistema fiable.<br><br>Mayores longitudes de limpieza. | Accionamiento oleo- hidráulico.<br><br>Mayores consumos de agua.<br><br>Mayores mantenimientos  | Para depósitos grandes con longitudes de limpieza hasta 120 m.                |
| <b>Vacío</b>                     | Dividir el depósito en carriles de anchura inferior a 5 metros.<br><br>Pendientes longitudinales de los carriles del 1%. | Sistema robusto.<br><br>Sistema fiable.<br><br>Mayores longitudes de limpieza. | Consumo eléctrico.<br><br>Vibraciones en la cámara de vacío si no está perfectamente construida | Para depósitos grandes con longitudes de limpieza hasta 120 m.                |
| <b>Eyectores</b>                 |                                                                                                                          | Aplicación para geometrías no rectangulares                                    | Gran consumo eléctrico.<br><br>No utilizables con el depósito vacío.                            | Pequeños depósitos<br><br>En depósitos grandes utilizar en zonas localizadas. |
| <b>Agitadores</b>                |                                                                                                                          | Inversión pequeña<br><br>Consumo energético pequeño                            | No son sistemas de limpieza propiamente dichos                                                  | Pequeños depósitos                                                            |

Tabla 6 Usos de sistemas de limpieza

### 3.8 Ventilación y sistema de tratamiento de olores

Son muchos y variados los compuestos químicos capaces de producir olor, sobre todo si se tiene en cuenta la variedad de sustancias que pueden estar presentes en las aguas residuales y más si estas pueden estar mezcladas con aguas industriales. Cada sustancia tiene unas características propias de toxicidad y un umbral de percepción determinado. Así por ejemplo, el umbral de percepción del sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$  que produce el olor a huevos podridos) está en 0.1 mg/l.

La generación de sulfuros y los problemas de olores se producen de forma más notoria en climas cálidos, en conducciones donde las aguas circulan a velocidades bajas y con mala ventilación. La mejor manera de evitar problemas de olores en el tanque es partiendo de las siguientes premisas:

- Reducir los tiempos de permanencia de las aguas en el tanque. En los tanques de tormenta esto no siempre es posible ya que el ritmo de vaciado del mismo viene condicionado a la capacidad del sistema de saneamiento existente aguas abajo, colectores y depuradora.
- Limpieza periódica, con la extracción correspondiente de los sedimentos acumulados en el interior del tanque.
- Disponer de una buena ventilación en el tanque. La ventilación puede ser natural o forzada mediante extractores.

En caso de que se prevean molestias por efecto de los malos olores será necesario disponer de un sistema de tratamiento del aire. Pueden considerarse seis técnicas para la eliminación o control de olores:

- Dilución. Consiste en mezclar los gases olorosos con suficiente aire fresco para reducir el olor detectable a una concentración por debajo del umbral de detección
- Adsorción. Con esta técnica los componentes olorosos se atrapan en la superficie de una partícula sólida. La adsorción puede realizarse mediante filtros de carbón activo, o elementos de biofiltración entre otros.
- Absorción. Esta es una técnica en la que los componentes olorosos de la corriente de gas se disuelven (y por tanto se eliminan) en una solución líquida que incluye reactivos químicos.
- Oxidación química. Consiste en oxidar los elementos causantes del olor utilizando reactivos químicos. Esta técnica suele llevarse a cabo combinada con la de la absorción.
- Oxidación térmica. La temperatura del gas se eleva a un nivel en la que los componentes causantes del olor se queman en presencia de oxígeno.
- Enmascaramiento. Es una técnica en la que se añade otro componente oloroso con olor agradable para tapar o enmascarar el olor desagradable.

Los métodos más utilizados para el tratamiento de aire en tanques de tormenta son los filtros de carbón activo aunque puede haber otros como torres de desodorización, etc... En casos particulares pueden utilizarse torres de lavado de gases, aunque esta metodología es mucho más costosa desde el punto de vista económico.



Figura 51 Extractor de aire y filtro de carbón activo

Los filtros biológicos no deben utilizarse en este tipo de instalaciones, ya que para que el filtro trabaje en condiciones óptimas se requiere un funcionamiento continuo del aporte de aire, cosa que no sucede en los tanques de tormenta.

Tampoco es aconsejable la adición de productos químicos, como pueden ser el cloruro férrico, peróxido de oxígeno, ozono, y dióxido de azufre, ya que presentan las siguientes desventajas:

- Son productos caros y dados los volúmenes de aire a tratar el coste económico a lo largo de la vida útil del tanque es elevado.
- En función del producto que se utilice pueden ser corrosivo para el resto de las instalaciones especialmente para las compuertas y las bombas de vaciado.
- En función del producto que se utilice se requieren medidas especiales de seguridad en la manipulación y almacenamiento del mismo.

Finalmente se desaconseja la colocación de aireadores o inyectoros de aire por dos motivos:

- Importante consumo energético
- Dificultan las operaciones de limpieza de la solera, especialmente si el tanque cuenta con sistemas de limpieza automáticos.

En aquellos tanques de tormenta en los que se disponga de un sistema de tratamiento del aire por filtración o por lavado, esta condicionará el diseño de la ventilación del tanque ya que en estos casos la ventilación será necesariamente forzada.

En estos casos se colocará un sistema de extractores de aire que capten el aire del interior del tanque, lo conduzcan hasta el sistema de tratamiento y luego lo conduzcan hasta el exterior. Este sistema tiene la ventaja adicional de que mientras funciona la ventilación, el depósito se encuentra en depresión lo que impide la salida del aire al exterior.

### 3.9 Otras instalaciones

En el interior de los depósitos existen además un conjunto de instalaciones auxiliares que permiten una mejor explotación y mantenimiento de los mismos. Entre estas se pueden encontrar las siguientes:

- Sistema de impulsión en el caso de tanques con vaciado por bombas
- Suministro de agua para la limpieza
- Sistema de iluminación
- Sistema de iluminación de emergencia
- Sistemas portantes, grúas, cucharas, puentes

# 04.

## PLANIFICACIÓN



## 4 PLANIFICACIÓN

### 4.1 Introducción

**La planificación de los tanques de tormenta y de los aliviaderos al medio, no puede abordarse correctamente sin hacer una planificación global e integral de todo el sistema de drenaje urbano.**

Parece obvio que lo primero que se debe hacer es conocer la red de la que se dispone. De alguna manera, estos tanques y aliviaderos no dejan de ser una de las múltiples posibles soluciones de las que se dispone para resolver una problemática asociada al drenaje urbano. Así, se puede decir que la fase de planificación de un tanque, se inicia con la planificación general del sistema de saneamiento, en el momento en que se avalúan los objetivos de este sistema, los problemas actuales que tiene y las diferentes opciones y alternativas para solucionarlos y se decide que la mejor solución es la construcción de un tanque de tormenta o de un aliviadero.

Así, en este apartado introductorio se describirá de forma resumida:

- Las características generales que debe tener esta planificación
- La metodología de esta planificación general
- Listado de posibles soluciones a los problemas de contaminación del medio receptor
- Ventajas técnico-económicas de los tanques

#### 4.1.1 Características generales de la planificación de un sistema de drenaje

Las características básicas de la planificación general de una red de saneamiento son:

- Ha de contemplar el estudio de las cuencas vertientes en su integridad, lo cual en muchos casos implica un ámbito hidrológico supramunicipal.
- Sería deseable que el sistema de drenaje fuese una parte integral del proceso de concepción urbanística y que no sea que este se implante en una urbanización una vez ya desarrollada.
- Debe estudiar la viabilidad de técnicas de drenaje urbano sostenible (TEDUS) que permitan reducir los caudales circulantes en la red y su contaminación asociada fomentando la infiltración y el almacenamiento en el subsuelo.
- Ha de tener en cuenta todo el flujo (pluvial y residual) generado y que circula tanto por el sistema de drenaje “inferior” (imbornales, rejillas, colectores, etc.) como por el “superior” (cauces naturales, estanques a cielo abierto, calles, etc.)

- Debe plantearse la posibilidad de implantar técnicas de control en tiempo real que permita reducir los problemas gracias a un mejor aprovechamiento de la capacidad de la red actual.
- El funcionamiento de la red deberá estudiarse con un modelo hidrológico-hidráulico de simulación debidamente calibrado.
- El alcantarillado deberá restituir al medio receptor las aguas de lluvia captadas, en las mejores condiciones posibles, minimizando el impacto de los vertidos en tiempo de lluvia.
- Deberá abordar el estudio del sistema de saneamiento urbano de una forma integral, es decir, no sólo contemplando la red de alcantarillado, sino también la depuradora y el medio receptor.

#### 4.1.2 Metodología general de la planificación

Para poder hacer una correcta planificación de un sistema de drenaje es necesario disponer de una mínima información de base que se clasifica en:

- Información estructural del sistema: Esta hace referencia a la información de la estructura donde ocurre el suceso que se pretende analizar. La información hace referencia al sistema superficial (red drenaste natural, vegetación, tipo de suelo, impermeabilidad...), a la red de alcantarillado (imbornales, pozos, colectores, bombeos, con información de su ubicación en planta, cotas, medidas, pendientes, materiales, capacidad, etc.) e información de la depuradora y del medio receptor. Esta información habitualmente se almacena en un sistema de información geográfico (SIG).
- Información fenomenológica: Hace referencia a toda la información variable en el tiempo del suceso que se pretende analizar. Esta puede comprender datos de la lluvia (hietogramas), características del flujo en la red de alcantarillado (hidrogramas y polutogramas), en la depuradora (hidrogramas y polutogramas del afluente y del efluente) y en el medio receptor. Esta información suele almacenarse en una base de datos.

Esta información es importante para poder crear un modelo matemático de la red de saneamiento que reproduzca en un ordenador lo que sucede en el mundo real cuando se produce una lluvia de una determinada intensidad. Para asegurarse de que los resultados del modelo se corresponden con la realidad, es necesario realizar una labor de calibración y validación del modelo, ajustando los parámetros de entrada del modelo hasta conseguir un buen ajuste.

Entrando ya en las etapas del proceso de planificación, la primera y esencial es la diagnosis, donde a partir de la fijación de un objetivo se analiza el estado actual de

funcionamiento de la red, y se analiza en que puntos no se consigue alcanzar el objetivo y los motivos que lo impiden.

Posteriormente, hay que iniciar la fase de prognosis, mediante la evaluación de diferentes escenarios se hace una adecuada propuesta de actuaciones debidamente justificadas y presupuestadas, que se deberán adaptar a toda una serie de condicionantes urbanísticos, orohidrográficos, sociales, y económicos. En esta fase de prognosis se comprobará mediante el modelo de simulación el buen funcionamiento de las actuaciones previstas y la resolución de todos los problemas detectados en la diagnosis.

En la Figura 52 se describe el flujo de procesos descritos.

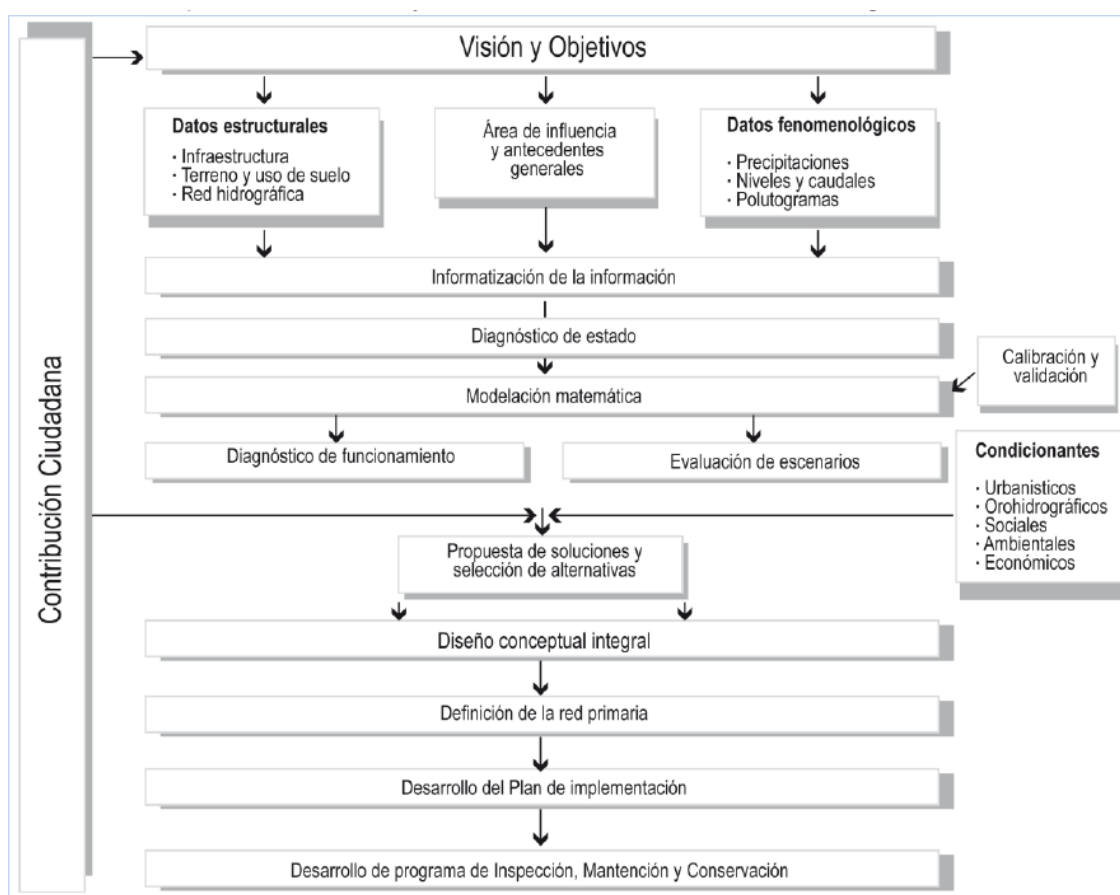


Figura 52 Metodología de la planificación

#### 4.1.3 Soluciones a los problemas de contaminación del medio receptor

En la Tabla 7 se definen las diferentes opciones de obras y actuaciones que pueden ser implementadas para resolver los problemas de contaminación del medio receptor así como su objetivo

| Lugar de la actuación         | Tipo de actuación                                                                                                                                                                          | Objetivo                                                                                                                                           |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aguas arriba de la red</b> | Limpieza de los espacios públicos (calles, mercados, etc.)                                                                                                                                 | Reducción de la materia gruesa y polución visual. Mejora de la capacidad de evacuación                                                             |
|                               | Desconexión de áreas impermeables y técnicas de drenaje urbano sostenible (techos verdes, cunetas en espacios verdes, zanjas drenantes, pozo de infiltración, pavimentos filtrantes, etc.) | Reducción de volúmenes de escorrentía, y caudales máximos, eliminación de diversos contaminantes (materiales en suspensión, metales pesados, etc.) |
|                               | Fosas e imbornales desarenadores                                                                                                                                                           | Retención de arenas y materias gruesas.                                                                                                            |
| <b>Red</b>                    | Depósitos de retención (enterrados o al aire libre)                                                                                                                                        | Reducción de vertidos, arenas y materia en suspensión (MES) y su contaminación asociada                                                            |
|                               | Compuerta de retención                                                                                                                                                                     | Eliminación de MES y contaminación asociada                                                                                                        |
|                               | Areneros y trampas de sedimentos                                                                                                                                                           | Eliminación de MES y contaminación asociada                                                                                                        |
|                               | Desbaste en los aliviaderos al medio receptor                                                                                                                                              | Retención de flotantes                                                                                                                             |
| <b>Estación depuradora</b>    | Aumento de la capacidad del colector interceptor y de toda la estación o del primario                                                                                                      | Optimizar la reducción de contaminantes en el caudal residual y pluvial afluente                                                                   |
|                               | Gestión coordinada entre depuradora y alcantarillado, especialmente en tiempo de lluvia                                                                                                    | Optimizar la reducción de contaminantes en el caudal residual y pluvial afluente                                                                   |
|                               | Modificación en el bypass, modificación del circuito de fangos, desinfección de las aguas pluviales, etc.                                                                                  | Optimizar la reducción de contaminantes en el caudal residual y pluvial afluente                                                                   |
| <b>Medio receptor</b>         | Barrera flotante, red interceptora vertical, o barcos tipo "pelicano"                                                                                                                      | Retención de flotantes                                                                                                                             |
|                               | Limpieza del lecho del medio receptor aguas abajo de los puntos de vertido                                                                                                                 | Reducir polución acumulada en el medio receptor, o de choque aguas abajo                                                                           |
|                               | Agitación del agua, insuflación de O <sub>2</sub> , inyección de agua sobresaturada en oxígeno, aumento artificial de caudal de estiaje, etc.                                              | Aumento del O <sub>2</sub> disuelto en el medio receptor                                                                                           |

| Lugar de la actuación | Tipo de actuación                          | Objetivo                                        |
|-----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                       | Instalación de zonas piscícolas protegidas | Refugio de peces en casos de polución muy alta. |
|                       | Campañas de repoblación piscícola          | Restaurar la fauna piscícola                    |

Tabla 7 Clasificación de actuaciones posibles

#### 4.1.4 Ventajas técnico-económicas de los tanques

Queda fuera del ámbito de este manual analizar todas las posibles soluciones planteadas en la Tabla 7 y ver en qué casos puede ser mejor una solución a otra. No obstante en este apartado se presenta de modo general, las ventajas técnico-económicas de los tanques que hacen que estos sean la solución más comúnmente empleada para el problema de las descargas de los sistemas de saneamiento.

Las ventajas técnico-económicas de los tanques son:

- Según su ubicación permiten con una misma actuación resolver o mejorar además del problema medio-ambiental, el problema de las inundaciones, reduciendo los caudales punta aguas abajo de los tanques.
- En comparación con otras soluciones (aumento de la capacidad del colector interceptor, implementación de TEDUS, etc.), las obras de un tanque son muy localizadas y por tanto tienen pocas afecciones a servicios existentes tráfico y molestias generales para los ciudadanos.
- En ciudades densamente pobladas y muy asentadas, los tanques pueden ser de las pocas soluciones viables puesto que conseguir los mismos resultados mediante TEDUS supondría una transformación urbanística a gran escala.
- Permiten maximizar y optimizar la capacidad actual de la red de alcantarillado y de la EDAR reduciendo la contaminación total vertida a los medios receptores laminando los caudales punta y enviándolos de forma controlada a la EDAR.
- Posibilitan la construcción de infraestructuras compartidas de uso público como aparcamientos, jardines, zonas deportivas, etc.

## 4.2 Criterios de dimensionamiento y objetivos de protección

### 4.2.1 Introducción

El diseño de dispositivos anti-DSU se ha basado históricamente en el concepto de dilución. Así, los criterios y normativas más simples permiten los vertidos por DSU cuando el ratio entre el caudal de agua residual de tiempo seco y el caudal circulante

por la red unitaria supera el valor de la dilución de diseño, con valores típicos que oscilan entre 2 y 8. Esta aproximación se basaba en el concepto de “agua blancas”, por el que se asumía que las aguas de escorrentía no están sustancialmente contaminadas. Sin embargo, se ha demostrado que esto no es así, y en la actualidad se sabe que las aguas que circulan por las redes unitarias en tiempo de lluvia contienen una importante carga de contaminación, como demuestran por ejemplo a nivel nacional los trabajos del PROMEDSU.

Poco a poco, el concepto de aguas blancas se fue abandonando y el diseño de los depósitos se comenzó a desarrollar a partir de la idea de capturar el volumen de lluvia correspondiente al del “primer lavado” de la cuenca. La idea a priori es sencilla, si se retienen las primeras aguas de la escorrentía movilizadas, que son las más contaminadas, se conseguirá reducir notablemente la contaminación movilizada hacia el medio receptor. Los métodos desarrollados a partir de esta filosofía definían un valor de intensidad media para una “lluvia crítica”, que se debía retener en las unidades anti-DSU durante un tiempo predeterminado.

Algunos ejemplos clásicos de los dos métodos presentados en los párrafos anteriores son la conocida “fórmula A” desarrollada en el Reino Unido a través de la BS-8005 o la norma Alemana ATV A-128 (Puertas et al. 2008). La influencia de estas dos referencias o “formas de hacer” se ve reflejada en el desarrollo de la UNE EN 752, sobre “Sistemas de desagües y alcantarillado exteriores a edificios”. Esta normativa propone dos criterios “sencillos” para la definición de las estructuras anti-DSU. El primero está basado en el concepto de lluvia crítica, citando una capacidad de retención del sistema de 10 a 30 L/s/ha (aunque sin establecer ningún tiempo de retención). El segundo criterio se sugiere para zonas menos sensibles, y señala como límite para la generación de DSUs diluciones de 5 a 8 veces el caudal medio de tiempo seco.

Gracias al desarrollo de nuevos programas de simulación, el diseño de infraestructuras de control de los reboses se ha ido haciendo más complejo (Engelhard, 2006). Así, se fueron incorporando en el proceso de diseño modelos de calidad de las masas de agua receptoras, especialmente en ríos y lagos. El trabajo conjunto de ingenieros y biólogos permitió analizar por ejemplo los efectos de la reducción del oxígeno en la vida piscícola, lo que llevó al desarrollo de la aproximación danesa (Danish Engineering Union Wastewater Committee, 1985). Otros trabajos pioneros se centraron en los impactos agudos producidos por elevadas concentraciones de amonio en la fauna piscícola (Lijklema et al. 1993).

En la actualidad, las presiones ejercidas por las DSUs en la calidad ecológica de las masas receptoras está ampliamente reconocida y se han desarrollado numerosas instrucciones y recomendaciones basadas en estándares de calidad ambiental. Algunos ejemplos significativos son el Urban Pollution Manual del Reino Unido (UPM), el proyecto STORM suizo (Rossi et al. 2009), la norma austríaca ÖWAV-Regelblatt 19,

o las nuevas normas M3 y M7 de la Association of Engineers for Water Management, Waste Management and Land Improvement (BWK) de Alemania.

#### **4.2.2 Dimensionamiento de dispositivos anti-DSU en base a criterios de protección ambiental**

Para alcanzar el buen estado ecológico de las masas receptoras como establece la DMA, es necesario abordar el problema de los vertidos desde las redes de saneamiento y drenaje, ya sean unitarias o separativas, con un enfoque integrado que permita la reducción de la contaminación puntual y difusa. Para ello, se pueden establecer unos límites de emisión o ES (*Emission Standards*) en los focos que ejercen presiones sobre el medio receptor como los vertidos desde EDAR o los vertidos desde aliviaderos. En el ámbito de las DSU, quizás el ES más conocido es el de limitar el número de DSU a lo largo del año (p.ej. 20 vertidos)

Sin embargo, la elección de los valores límite de emisión es en muchos casos insuficiente para proteger la calidad de las masas receptoras en términos de la DMA. Algunos problemas que surgen a la hora de aplicar este tipo de criterios es su carácter arbitrario (siguiendo el ejemplo anterior, porqué 20 vertidos y no 15 o 22). Para obtener buenos resultados a la hora de aplicar los ES estos deberían contemplar aspectos como la naturaleza del medio receptor, las condiciones climáticas locales o incluso, el carácter intermitente de las DSU.

Por este motivo, en el desarrollo de las estrategias de diseño de sistemas de saneamiento y drenaje enfocados a la protección de la calidad de agua (*Water Quality based Assessment*), se deben adoptar también una serie de criterios encaminados al cumplimiento de una serie de objetivos de calidad ambiental. Estos criterios, se denominan Estándares de Calidad de Aguas – EQS (*Environmental quality standards*) y presentan como contrapartida, su mayor grado de complejidad ya que por una parte deben contemplar el carácter intermitente de las DSU y los vertidos de los sistemas separativos de aguas pluviales, y también los usos establecidos en las masas de agua receptoras.

Así, los efectos de los desbordamientos de los sistemas unitarios y los vertidos de las redes separativas van a depender de una serie de parámetros relacionados con el medio como los procesos, cinéticas e interacciones que se pueden producir en las masas de agua. Para analizar estos procesos, se suelen agrupar en los siguientes tipos (Puertas et al. 2008):

- Procesos físicos: transporte, mezcla, dilución, erosión, sedimentación, efectos térmicos, reaireación, etc.
- Procesos bioquímicos: descenso de la materia orgánica, adsorción de metales y microcontaminantes, etc.

- Procesos microbiológicos: fuga de organismos, disminución de bacterias y virus, etc.

Un aspecto importante de estos procesos es la escala espacial y temporal sobre la actúan, que están relacionados con las características de los propios vertidos así como con la naturaleza y extensión de las masas receptoras. Los principales cambios en la calidad del agua se van a producir por los siguientes fenómenos (Puertas et al. 2008):

- Cambios en la concentración de oxígeno disuelto. Valores bajos del oxígeno disuelto pueden llevar a la asfixia de los organismos acuáticos.
- Cambios en las concentraciones de Nitrógeno. Los principales problemas están relacionados con la eutrofización (junto con el Fósforo) y con la formación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que es una de las formas más tóxicas de amonio.
- Impactos producidos por los sedimentos, relacionados con problemas de acumulación en las fases hiporréicas de los lechos, por acumulación de metales y otros contaminantes o por su puesta en suspensión e incremento de la turbidez.
- Impactos morfológicos ligados a fenómenos de erosión.
- Impactos producidos por hidrocarburos, PAHs, metales pesados y otros contaminantes emergentes.
- Impactos térmicos, que pueden tener efectos sobre la vida acuática.
- Riesgos sobre la salud pública, ligados fundamentalmente a los contaminantes de origen fecal.
- Impactos estéticos, ligados a la presencia de flotantes y otros elementos en suspensión asociados a las DSU.

#### 4.2.3 Estrategias para el dimensionamiento de los dispositivos anti-DSU

Una vez definidos los enfoques basados en estándares de emisión o de calidad de aguas, en este apartado se van a analizar de forma general las principales estrategias recogidas en diversas normativas y procedimientos de diseño, tanto de nivel nacional como internacional.

Para realizar este análisis, en este manual se propone la siguiente clasificación para jerarquizar los diferentes niveles de aproximación al procedimiento de diseño de los tanques de tormenta:

- **Procedimientos de Nivel 1 (N1).** Dimensionamiento parametrizado, fundamentado en criterio de emisión.
- **Procedimientos de Nivel 2 (N2).** Dimensionamiento basado en modelización hidrológico-hidráulica. Fundamentado también en criterios de emisión.

- **Procedimientos de Nivel 3 (N3).** Dimensionamiento basado en modelización hidrológico-hidráulica y asignación de concentraciones de la contaminación emitida, basado también en criterio de emisión.
- **Procedimientos de Nivel 4 (N4).** Dimensionamiento basado en modelización hidrológico-hidráulica y contaminación en régimen no permanente en la cuenca y en el medio natural (basado en criterio de inmisión o de calidad del agua).

Las principales características de estos niveles de diseño se presentan en la Figura 53.

Los procedimientos de nivel N1 a N3 son estrategias que emplean estándares de emisión para el dimensionamiento de las infraestructuras anti-DSU de los sistemas de saneamiento, mientras que el nivel N4 requiere de estándares de calidad ambiental. Esta clasificación de las diferentes estrategias tiene una complejidad creciente a la hora de su implantación y, por tanto, las necesidades de información y datos para su correcto desarrollo también lo son. Las principales características de cada uno de los niveles son las siguientes:

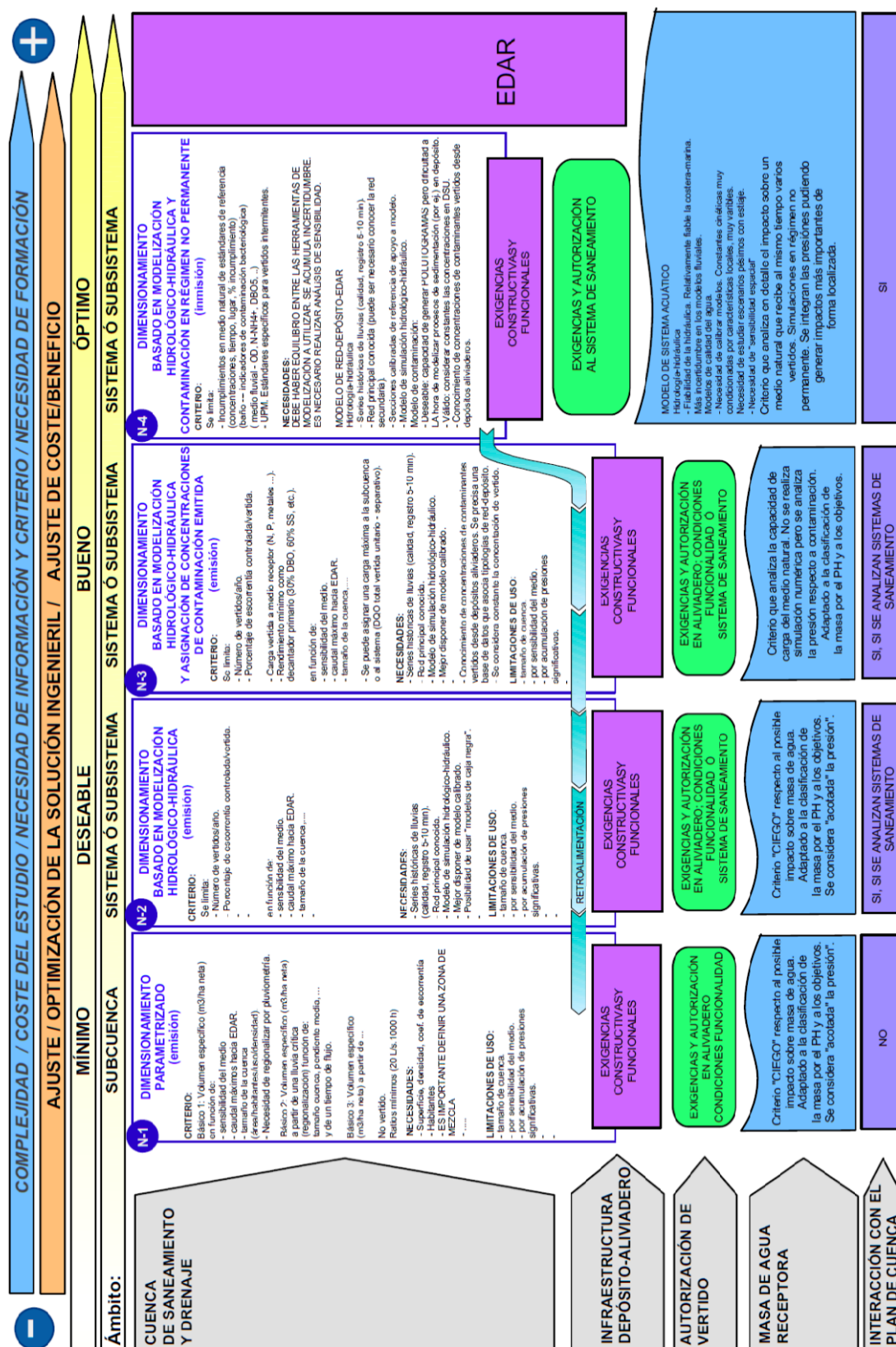


Figura 53 Croquis general de posibles estrategias de gestión y control de las DSU en sistemas de saneamiento unitario.

**Estrategia N1. Dimensionamiento parametrizado**

- Se basan en estándares de emisión, aunque no están explícitos en la formulación del procedimiento. Estas estrategias se basan en definir los tanques de tormenta en base a un volumen específico ( $\text{m}^3/\text{ha}$  neta) y una estrategia de caudales máximos hacia la EDAR.
- El volumen específico de diseño es función de los siguientes parámetros:
  - o Tamaño de la cuenca
  - o Tipo de medio receptor
  - o Usos del suelo
  - o Estrategia de caudales hacia EDAR
- Para aplicar esta estrategia no es necesario realizar una modelización del sistema.
- Esta estrategia no incorpora aspectos relacionados con la contaminación de las DSU.

**Estrategia N2. Dimensionamiento basado en la modelización hidrológica – hidráulica**

- Estas estrategias se basan en criterios de emisión como la definición de un número o tiempo de vertido, o el establecimiento de un volumen de escorrentía vertido hacia el medio receptor.
- El volumen de diseño resultado de la aplicación de este tipo de metodologías depende de parámetros como:
  - o Tamaño y tipologías de la cuenca (porcentaje de impermeabilidad, pendiente media, etc.)
  - o El tipo de medio receptor, si es que se establecen criterios de emisión en función de este parámetro
  - o Usos del suelo
  - o Estrategia de caudales hacia EDAR
- Para aplicar esta estrategia si es necesario realizar una modelización del sistema con algún software de análisis de redes de saneamiento. La modelización debe realizarse empleando series históricas de precipitación o series sintéticas que reproduzcan las características pluviométricas locales.
- Esta estrategia no incorpora aspectos relacionados con la contaminación de las DSU.

### **Estrategia N3. Dimensionamiento basado en la modelización hidrológica – hidráulica y en la asignación de una concentración emitida**

- Estas estrategias se basan en criterios de emisión como la definición de un número o tiempo de vertido, o el establecimiento de un volumen de escorrentía vertido hacia el medio receptor. Estos criterios de emisión se complementan con el análisis de la carga de contaminación vertida hacia el medio receptor por la subcuenca de estudio, o por el sistema de saneamiento completo (vertidos por DSU, vertidos desde la EDAR y vertidos desde las eventuales redes separativas).
- El volumen de diseño resultado de la aplicación de este tipo de metodologías depende de parámetros como:
  - o Tamaño y tipologías de la cuenca (porcentaje de impermeabilidad, pendiente media, etc.)
  - o El tipo de medio receptor, si es que se establecen criterios de emisión en función de este parámetro
  - o Usos del suelo (serán importantes a la hora de estimar la generación de cargas de contaminación)
  - o Estrategia de caudales hacia EDAR
- Para aplicar esta estrategia si es necesario realizar una modelización del sistema con algún software de análisis de redes de saneamiento. La modelización debe realizarse empleando series históricas de precipitación o series sintéticas que reproduzcan las características pluviométricas locales.
- Esta estrategia sí que incorpora aspectos relacionados con la contaminación por lo que será necesario establecer valores de las cargas de contaminación movilizadas por los diferentes elementos de la red. Para ello se pueden asignar diferentes valores de CMS a los vertidos de DSU, EDAR y redes separativas.

La aplicación de los procedimientos de tipo N3 permitirán caracterizar la emisión real del sistema de saneamiento y drenaje, y cuál es la eficacia que introduce en el sistema la construcción de las infraestructuras de control y tratamiento de reboses (carga que se deja de verter). Esta metodología también permitirá asentar el criterio recogido en la norma alemana ATV A-128 que se basa en el principio de que “una red unitaria no debe contaminar más que una red separativa en la que no se realice ningún tratamiento de las aguas pluviales”. Este es también uno de los nuevos requerimientos que recoge el RD 1290/2012, que dice que se debe justificar la elección de una red unitaria o separativa.

Por último, la aplicación de este tipo de criterios también servirá para acotar parámetros típicos de los Estudios de Impacto Ambiental como por ejemplo la carga

anual de metales pesados o nutrientes, para analizar el impacto sobre zonas con riesgo de bioacumulación o eutrofización.

**Estrategia N4. Dimensionamiento basado en la modelización hidrológica – hidráulica y en la asignación de una concentración emitida en régimen no permanente.**

- Estas estrategias se basan en criterios de calidad de aguas que suelen ser de carácter intermitente (dosis-duración-frecuencia). Los parámetros más habituales que recogen estos estándares están relacionados con el descenso del oxígeno disuelto, la generación de puntas de alguna forma de nitrógeno, impactos morfológicos sobre los cauces naturales, impactos producidos por altas cargas de sedimentos, etc.
- Para la aplicación de estos criterios será necesario desarrollar una aproximación integral de todo el sistema de saneamiento y drenaje (redes unitarias y separativas, aliviaderos, EDAR), así como del medio receptor.
- El volumen de diseño resultado de la aplicación de este tipo de metodologías depende de parámetros como:
  - o Tamaño y tipologías de la cuenca (porcentaje de impermeabilidad, pendiente media, etc.)
  - o El tipo de medio receptor, si es que se establecen criterios de emisión en función de este parámetro
  - o Usos del suelo (serán importantes a la hora de estimar la generación de cargas de contaminación)
  - o Estrategia de caudales hacia EDAR
- Para aplicar esta estrategia si es necesario realizar una modelización del sistema con algún software de análisis de redes de saneamiento. La modelización debe realizarse empleando series históricas de precipitación o series sintéticas que reproduzcan las características pluviométricas locales.
- Esta estrategia sí que incorpora aspectos relacionados con la contaminación por lo que será necesario establecer valores de las cargas de contaminación movilizadas por los diferentes elementos de la red. Para ello se pueden asignar diferentes en algunos casos los valores de CMS a los vertidos de DSU, EDAR y redes separativas. En otros casos será necesario modelizar la movilización de la contaminación en régimen no permanente (a través de la definición de los polutogramas).
- También será necesario desarrollar algún modelo hidráulico y de contaminación del medio receptor. El tipo de parámetros a introducir en el modelo depende del tipo de medio receptor a analizar. Así, en masas de aguas marinas la

contaminación a modelizar será de tipo bacteriológica (por ejemplo EC), mientras que en medios continentales será necesario modelizar el ciclo del nitrógeno y/o la degradación de materia orgánica (procesos consumidores de oxígeno). De este modo, en vertidos a ríos será necesario obtener el polutograma de DBO<sub>5</sub>, NTK (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N + N orgánico) con el modelo de la red. Estos polutogramas se introducen luego en el modelo del medio receptor para analizar el cumplimiento de los valores de OD en el medio natural, el cumplimiento en amonio y DBO<sub>5</sub>.

A modo de resumen, se recogen en la Tabla 8 las principales características de los diferentes procedimientos descritos anteriormente. A continuación, se presenta un resumen de los principales criterios establecidos en las principales normativas y recomendaciones de ámbito nacional e internacional sobre el diseño de depósitos anti-DSU. Hay que señalar, que esta revisión no pretende ser una guía metodológica que permita dimensionar los tanques de tormenta, sino una visión general de las principales tendencias

|                                                                                | N1                   | N2                                                     | N3                                                                     | N4                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                | MÍNIMO               | DESEABLE                                               | BUENO                                                                  | ÓPTIMO                                                                                                                |
| <b>NIVEL</b>                                                                   | Diseño parametrizado | Diseño basado en modelización hidrológica / hidráulica | Diseño basado en modelización hidrológica / hidráulica y contaminación | Diseño basado en modelización hidrológica / hidráulica y contaminación en régimen no permanente con el medio receptor |
| <b>ÁMBITO</b>                                                                  | Subcuenca            | Red de saneamiento o subcuenca                         | Sistema o subsistema integral de saneamiento                           | Sistema integral de saneamiento                                                                                       |
| <b>CRITERIOS</b>                                                               | Volumen específico   | ES: Número / Volumen DSU                               | ES: contaminación DSU                                                  | EQS: OD, NH <sub>3</sub> -N, etc.                                                                                     |
| →→ COMPLEJIDAD/ COSTE / NECESIDADES DE INFORMACIÓN / NECESIDAD DE FORMACIÓN →→ |                      |                                                        |                                                                        |                                                                                                                       |

Tabla 8 Resumen principales características de niveles establecidos en el análisis de normativas.

#### 4.2.4 Estrategias de Nivel N1

Dentro de las estrategias de nivel N1 se pueden citar las siguientes recomendaciones:

- **Experiencias desarrolladas por la Confederación Hidrográfica del Norte**

La Confederación Hidrográfica del Norte tiene una amplia experiencia en la regulación del caudal de lluvias mediante depósitos de retención. Los sistemas de control y tratamiento de reboses reconocidos por las *"Especificaciones técnicas básicas para el*

*proyecto de conducciones generales de saneamiento de la Confederación Hidrográfica del Norte* son aliviaderos tradicionales, sin cámara de regulación y utilizados únicamente en casos de incorporaciones de pequeños caudales, y los depósitos para el control de la contaminación que llaman depósitos de tormenta.

El criterio de dimensionamiento de los depósitos de tormenta, las Especificaciones de la CHN recomiendan los siguientes volúmenes de almacenamiento específico para los depósitos anti-DSU:

- 4 m<sup>3</sup>/ha impermeable en zonas de población densa.
- 9 m<sup>3</sup>/ha impermeable en zonas de población dispersa.

En realidad, el volumen de almacenamiento específico del sistema es mayor porque según la estrategia de la CHN, se envían hacia EDAR un caudal que asciende a unas 6.7 el valor del caudal de tiempo seco. Por este motivo, las estaciones depuradoras están dotadas de cierta capacidad de regulación y tratamiento de los caudales de agua de lluvia, gracias a un sobredimensionamiento del pretratamiento y el tratamiento primario de la EDAR.

#### • **Experiencias desarrolladas por la Administración Hidráulica de Galicia**

Durante los últimos años la labor de Augas de Galicia ha permitido definir un marco normativo que contempla claramente la gestión de los sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia. El desarrollo de las *“Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas de Galicia” (ITOGH)*, por parte de técnicos de la administración local, entes privados y miembros del grupo GEAMA de la UDC, contempla diferentes niveles de aproximación al diseño de las infraestructuras anti-DSU.

La Instrucción SAN 1/5 “Cálculo de depósitos de aguas pluviales en sistemas unitarios” establece dos métodos para el diseño hidráulico de los tanques de tormenta, denominados método simplificado y completo. Las ITOHG definen el caudal de salida de los depósitos anti-DSU con un ratio de 3 veces el caudal medio de tiempo seco. Sin embargo, se permiten adoptar valores más elevados siempre y cuando cualquier vertido de la EDAR se adecue a los objetivos de la Directiva 91/271 (p.ej. con la instalación de líneas auxiliares para el tratamiento de las aguas pluviales).

El método simplificado de las ITOHG permite determinar el volumen de los tanques de tormentas empleando una serie de volúmenes de almacenamiento específico que dependen de parámetros como el tipo de medio receptor, los usos del suelo y la estrategia de caudales derivados hacia la EDAR. El método simplificado es de aplicación únicamente en cuencas con superficies netas (impermeables) inferiores a 10 ha, en aglomeraciones de menos de 3000 habitantes y siempre que no existan riesgos de inundaciones.

La Tabla 9 recoge los volúmenes de almacenamiento específico definidos en las ITOGH para diferentes estrategias de caudal enviados hacia EDAR, en función de los

usos del suelo y del tipo de medio receptor (definido en términos de la Directiva 91/271 como zona sensible o no catalogada).

| CAUDAL DE SALIDA DEL DEPÓSITO | TIPO DE MEDIO RECEPTOR | TIPOLOGÍA DE LA CUENCA DE APORTACIÓN |                             |                             |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                               |                        | Rural                                | Urbana                      | Urbana densa                |
| 3 $Q_{\text{medio,TS}}$       | Sensible               | 80 m <sup>3</sup> /ha neta           | 100 m <sup>3</sup> /ha neta | 110 m <sup>3</sup> /ha neta |
|                               | No catalogado          | 60 m <sup>3</sup> /ha neta           | 80 m <sup>3</sup> /ha neta  | 90 m <sup>3</sup> /ha neta  |
| 5 $Q_{\text{medio,TS}}$       | Sensible               | 56 m <sup>3</sup> /ha neta           | 70 m <sup>3</sup> /ha neta  | 77 m <sup>3</sup> /ha neta  |
|                               | No catalogado          | 42 m <sup>3</sup> /ha neta           | 56 m <sup>3</sup> /ha neta  | 63 m <sup>3</sup> /ha neta  |
| 7 $Q_{\text{medio,TS}}$       | Sensible               | 32 m <sup>3</sup> /ha neta           | 40 m <sup>3</sup> /ha neta  | 44 m <sup>3</sup> /ha neta  |
|                               | No catalogado          | 24 m <sup>3</sup> /ha neta           | 32 m <sup>3</sup> /ha neta  | 36 m <sup>3</sup> /ha neta  |

Tabla 9 Volúmenes de almacenamiento específico (m<sup>3</sup>/ha neta) mínimos para los depósitos anti-DSU según el método simplificado de las ITOHG (Xunta de Galicia, 2009).

#### • Experiencias desarrolladas en la comunidad autónoma de Madrid

Durante la remodelación de la M-30, se han construido unos nuevos colectores de margen en el tramo que discurre paralelo al río Manzanares, así como una serie de depósitos de control de los DSU. Durante la redacción del proyecto, la Confederación Hidrográfica del Tago fijó como criterio de dimensionamiento de los aliviaderos una dilución de 17 veces el caudal medio de tiempo seco. Para garantizar estos objetivos, se han construido 22 depósitos asociados a los colectores tributarios para impedir el vertido directo al río de las primeras aguas de lluvia, y 4 depósitos de almacenamiento asociados a las 4 depuradoras presentes en la zona. El volumen total de los 28 tanques de tormenta asciende a 1.300.000 m<sup>3</sup>.

#### • Experiencias desarrolladas en Alemania

En Abril de 1992 la asociación German Association for Water Pollution Control (ATV) publicó una serie de normas sobre el diseño de estructuras de control anti-DSU: "Standard for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewer" comúnmente conocida como A128-Standard. La ATV A-128 fue una de las normas de referencia a nivel internacional para el diseño de tanques de tormenta. La filosofía subyacente a la instrucción es la de que las redes de saneamiento unitario no pueden contaminar más que las redes de saneamiento separativo, sin tratamiento de las aguas pluviales.

La ATV A-128 permite realizar un dimensionamiento parametrizado N1 de los depósitos anti-DSU en función de parámetros como el porcentaje máximo de reboses

permitido en la red o la determinación de la contaminación en las DSU. El contaminante de referencia empleado en la ATV A-128 es la DQO, y el procedimiento empleado en la norma realiza un balance de masas de las cargas de este contaminante vertido por la EDAR, por una red separativa equivalente, y exige que la carga de DSU sea similar en ambos escenarios. La aplicación de la ATV A-128 es muy tediosa, como se puede comprobar en la metodología descrita en Puertas et al. (2008).

#### 4.2.5 Estrategias de Nivel N2

Dentro de las estrategias de nivel N2 se pueden citar las siguientes recomendaciones:

- **Experiencias desarrolladas por la Confederación Hidrográfica del Norte**

En la actualidad, se sabe que la aplicación de las Especificaciones de la CHN del año 1995 da como resultado depósitos de tormenta que en muchos casos producen un número muy elevado de vertidos. Por este motivo, desde la CHN se ha promovido la utilización de estrategias de modelización numérica y de control del número de vertidos. Con esta metodología se diseñaron por ejemplo, los depósitos del nuevo interceptor general de la ciudad de Lugo, resultando volúmenes específicos de almacenamiento de entre 20 a 40 m<sup>3</sup>/ha imp. El número de vertidos anuales oscila entre 18 y 25, y el porcentaje de captura de aguas de escorrentía en tiempo de lluvia está entre un 80 y un 90%. Por tanto, este sería un ejemplo de aplicación de una estrategia de nivel N2.

- **Experiencias desarrolladas por la Administración Hidráulica de Galicia**

El método completo desarrollado en las ITOHGs consiste en la aplicación de modelos matemáticos para realizar una modelización integrada de la cuenca urbana, de la red de alcantarillado, de los depósitos del sistema de saneamiento unitario, y siempre que sea posible, del medio receptor y de la propia depuradora

Las ITOGH permiten optar en este procedimiento por establecer estándares de emisión (tipo N2) o desarrollar estándares de calidad ambiental (tipo N4). Con respecto a los criterios de emisión, las instrucciones indican que se deben asegurar al menos uno de los siguientes criterios:

- Limitar el número de DSU al medio receptor en el año medio a un valor de entre 15 y 20.
- Limitar el porcentaje de agua vertida a un 10% - 15% del volumen total de lluvia neta de la cuenca.

- **Experiencias desarrolladas en Cataluña**

En Cataluña se pueden destacar los trabajos realizados por una parte en la ciudad de Barcelona, también los trabajos realizados en la cuenca del Besós y, por último, la

redacción *“Programa de reducción del impacto al medio receptor por efecto de las descargas de los colectores en tiempo de lluvia”* de la Agencia Catalana del Agua.

La ciudad de Barcelona hace años que trabaja en la reducción de la contaminación que llega a los medios receptores cercanos a la ciudad desde la red de alcantarillado, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia. En cuanto al diseño de estrategias anti-DSU de nivel N2 se pueden citar los trabajos del Plan Especial de Alcantarillado de 1997 (PECLAB), que incluyó como apartado fundamental el estudio del impacto contaminante del alcantarillado sobre los medios receptores, fijando como objetivo la reducción a 1/3 del número de episodios que producen descargas, y del 50% de la contaminación vertida.

El Programa de reducción del impacto al medio receptor por efecto de las descargas de los colectores en tiempo de lluvia, de la Agencia Catalana del Agua, finalizado en el año 2010, tiene como objetivo definir las medidas estructurales y de gestión destinadas a reducir el impacto por DSU, facilitando así el cumplimiento de los objetivos ambientales fijados en la DMA. En lo relativo a la definición de los objetivos de calidad en el medio receptor, el Programa diferencia entre medios acuáticos continentales y medio marino. Para medio marino y algunas zonas interiores se establecieron los valores de la Directiva comunitaria de aguas de baño. En los ríos efímeros se establecieron estándares de emisión, como son la reducción del número de vertidos (a un tercio de la situación actual) y la carga movilizada (en un 60%). Por tanto, se trata de estrategias de Nivel N2 y N3.

- **Experiencias desarrolladas en Suiza**

La instrucción suiza VSA – 2007 incorpora el análisis de estándares de emisión de nivel N2 y de calidad de agua de tipo N3 en su redacción. Los estándares de nivel N3 se presentarán en el apartado 4.2.6 de este manual. En cuanto a los estándares de nivel N2, la instrucción limita la duración de las DSU, su volumen específico y frecuencia en función de la tipología de las masas receptoras, según lo indicado en la Tabla 10. Los parámetros de duración y número de DSU se consideran indicativos, mientras que el volumen específico es el parámetro que se considera como decisivo a la hora de analizar los cumplimientos de la norma. Estos estándares deben cumplirse para una simulación numérica de larga duración empleando datos pluviométricos locales.

| TIPO DE MEDIO RECEPTOR | VALORES LÍMITE              |                                                     |                       |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
|                        | Duración de los DSU (h/año) | Volumen específico de DSU (m <sup>3</sup> /ha neta) | Número de DSU (n/año) |
| Manantial              | 1                           | 180                                                 | 5                     |
| Cauce pequeño          | 4                           | 450                                                 | 15                    |
| Cauce pequeño alpino   | 4                           | 450                                                 | 15                    |
| Cauce grande           | 5                           | 650                                                 | 20                    |
| Cauce grande alpino    | 5                           | 650                                                 | 20                    |
| Gran cauce fluvial     | 9                           | 770                                                 | 30                    |
| Gran río               | 12                          | 870                                                 | 35                    |

Tabla 10 Estándares de emisión recogidos en la VSA-2007.

#### • Experiencias desarrolladas en Francia

En el ámbito francés se puede destacar la instrucción *Le ville et son assainement* (CERTU, 2003) que propone una aproximación multidisciplinar a la problemática de los sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia, que van más allá de aspectos meramente hidráulicos (Blumenssat et al. 2012). En la guía se promueven actividades de monitorización y modelización, pero no se hace ninguna referencia a los procedimientos de modelización.

Por este motivo, en la práctica, se siguen empleando enfoques tradicionales basados en estándares de emisión, como limitar el número de DSUs o en tratar un porcentaje del agua residual unitaria en la EDAR. Un ejemplo es la propuesta del Ministerio francés de Ecología, Sostenibilidad, Desarrollo y Energía de Junio de 2012 que proponía los siguientes criterios para el dimensionamiento de los tanques de tormenta:

- Almacenar (sin vertido) la lluvia de un periodo de retorno de un mes
- Un diseño basado en el percentil del 95% del caudal de entrada en la EDAR, con un número máximo de 20 vertidos al año.

De momento esta proposición no se ha concretado en ninguna ley ni normativa.

#### • Experiencias desarrolladas en Estados Unidos

El marco federal para el control de descargas de sistemas unitarios está constituido por el estudio CSO Control Policy publicado el 19 de abril de 1994 por la EPA (Environmental Protection Agency). Esta publicación establece una política eficaz para el control de este tipo de vertidos hacia aguas nacionales a través de un programa llamado "National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) permit program".

Actualmente es una guía para los ayuntamientos y los Estados Federales para conseguir los objetivos anti-contaminación del "Clean Water Act" de forma flexible y económicamente sostenible.

La CSO Control Policy se basa en unos principios fundamentales para garantizar que el control de las descargas de redes unitarias se pueda obtener asegurando los estándares ambientales locales a través de acciones con costes sostenibles para las administraciones públicas. Estos principios son:

- Inmediata implementación de las tecnologías basadas en los requisitos propuestos por las Nine Minimum Controls (NMC).
- Prioridad para reducir las DSU en zonas sensibles
- Preparación de planes de control a largo plazo
- Revisiones y controles de los parámetros indicadores de calidad de las aguas durante todas las acciones anti-DSU y evaluación del impacto de la DSU.
- Adecuación de los controles de DSU en relación con la capacidad financiera de las comunidades

Las nueve actuaciones mínimas propuestas por la CSO Control Policy son:

1. Programas de mantenimiento para las redes de alcantarillado y las DSU.
2. Máximo aprovechamiento de la red para almacenar aguas.
3. Revisión y modificaciones de los requisitos de tratamiento de las aguas para garantizar que los impactos de la DSU sean mínimos.
4. Maximización del caudal que a través de la red pública llega a la depuradora, limitando otras formas de vertido.
5. Prohibición de DSU en tiempo seco.
6. Control de los sólidos y los materiales en la DSU.
7. Prevención de contaminación.
8. Notificaciones públicas a la ciudadanía sobre las ocurrencias de DSU y sus impactos.
9. Caracterización de los impactos de las DSU y eficacia de los controles DSU.

En el marco de esta reglamentación, las comunidades con redes unitarias deben desarrollar estrategias y actuaciones anti-DSU a largo plazo para poder cumplir con los requisitos de calidad de las aguas presentes en el Clean Water Act.

Para el desarrollo de dichos planes, se pueden realizar dos aproximaciones a la hora de evaluar las diferentes alternativas para el control de las DSU. La primera metodología consiste en presuponer que tras la adopción de una serie de estándares

de emisión se conseguirá alcanzar el buen estado de las aguas. Los estándares propuestos para esta aproximación son:

- Limitar el número de DSU a 4-6 al año
- Controlar el 85% del volumen de escorrentía generada
- Reducir el 85% de la carga movilizada hacia el medio receptor

Por tanto, se puede hablar de estándares de nivel N2 (control de vertidos y volumen de escorrentía) y N3 (control de masas de contaminantes).

En la segunda metodología de análisis, los planes de desarrollo del saneamiento se realizan a largo plazo con enfoque demostrativo. En este caso, y para algunos sistemas singulares, se adoptan estándares de calidad de agua intermitentes de tipo N4 (ver apartado 4.2.7).

#### 4.2.6 Estrategias de Nivel N3

En el ámbito de las estrategias de nivel N3 se pueden citar las experiencias comentadas previamente en el ámbito del PECLAB en Barcelona o en el programa de reducción del impacto por DSU de la ACA, a nivel nacional, o la limitación de masa vertida recogida en la CSO Control Policy estadounidense. Además de estas aproximaciones, en este apartado se van a presentar dos nuevas aproximaciones desarrolladas en el ámbito Alemán y Austríaco.

- **Experiencias desarrolladas en Alemania. Procedimiento BWK-M3**

En la actualidad, las normas más populares para el diseño de los tanques de tormenta en Alemania son las Instrucciones desarrolladas por la Association of Engineers for Water Management, Waste Management and Land Improvement, BWK (Blumensaat et al. 2012). La BWK propone dos aproximaciones para el análisis de los impactos de los DSU en el medio receptor. La instrucción BWK-M3 es un método simplificado de nivel N3, emplea estándares de emisión para parámetros hidráulicos y de contaminación y describe una metodología para su estimación. Por otra parte, la BWK-M7 es un método completo que incluye estándares de calidad de agua de nivel N4.

La instrucción BWK-M3 analiza los siguientes impactos por los vertidos de DSU:

- Impacto morfológico producido por la erosión de la biocenosis fluvial de la zona afectada por el vertido. La norma propone analizar el caudal máximo de la DSU con periodo de retorno de un año y lo limita a un valor que oscila entre el 10% y el 50% del caudal del río para el mismo periodo de retorno.
- Impactos sobre la calidad del agua. Para evitar impactos por toxicidad aguda de amonio se limita la concentración de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  a 2.5 mg/L para aguas de salmónidos y a 5 mg/L para ciprínidos. La instrucción alemana BWK-M3 también limita la concentración de OD a valores por debajo de 5 mg/L. Para estimar las

concentraciones de amonio en las masas receptoras, se emplea un modelo de mezcla completa empleando una tabla excel proporcionada por la propia norma (Verena M3).

- **Experiencias desarrolladas en Austria**

En Austria la normativa de la Austrian Water and Waste Management Association ÖWAV – Regelblatt 19 (2007) sustituye a la antigua su versión anterior publicada en el año 1987, similar en su filosofía a la ATV A-128 alemana (Puertas et al. 2008). El diseño de los depósitos según la nueva norma austríaca se basa en asegurar una eficacia de control de contaminación en los depósitos, estimada a partir de balances de masas de agua y contaminación realizadas con la ayuda de simulaciones numéricas del sistema de saneamiento y drenaje.

Además de este procedimiento de nivel N3, la norma también propone otros estándares de nivel N4 que no son de obligado cumplimiento.

#### **4.2.7 Estrategias de Nivel N4**

Dentro de las estrategias de nivel N4 se pueden citar las siguientes recomendaciones:

- **Experiencias demostrativas desarrolladas por la Confederación Hidrográfica del Norte**

En los trabajos más recientes promovidos desde la Confederación Hidrográfica del Norte, se han desarrollado trabajos en los que se han analizado los impactos por DSU empleando modelos numéricos de simulación del medio receptor y estándares de calidad de aguas en el ámbito fluvial. Por ejemplo, en el último desarrollo de la red de saneamiento de Lugo se aplicó la metodología del UPM gracias a la modelización completa de la red de saneamiento de la ciudad y del propio río Miño.

En el ámbito de los medios marinos, la CHN cuenta también con una gran experiencia en el diseño de emisarios submarinos, como acredita la “*Metodología de Estudio de los Saneamientos Litorales*”. Recientemente, y ya como Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, se ha realizado el análisis del sistema de saneamiento de la margen norte de la Ría de Ferrol empleando modelos numéricos del sistema de saneamiento y del medio receptor, aplicando estrategias de nivel N4. En concreto, se limitaron los umbrales de superación de los Coliformes Fecales a un valor de 100 ufc/100 mL durante el 90% de un año medio, en diferentes zonas sensibles de la ría.

- **Experiencias desarrolladas por la Administración Hidráulica de Galicia**

El método completo desarrollado en las ITOHGs contempla una segunda metodología que consiste en el cumplimiento de una serie de objetivos de calidad ambiental. En la instrucción no se definen este tipo de estándares, dejando la opción de esta modelización para medios receptores de alta sensibilidad y en previsión de la generalización de este tipo de metodologías a corto y medio plazo.

- **Experiencias desarrolladas en Cataluña**

En el ámbito catalán, se pueden citar algunas experiencias de diseño con procedimiento de nivel N4 en la ciudad de Barcelona, empleado para reducir a un 1.5% el número de horas donde las aguas de las playas no cumplen los valores de la directiva de aguas de baño durante la temporada de baño. Otro ejemplo son las actuaciones desarrolladas en la cuenca del Besós, en la que se aplicaron modelos de calidad de aguas fluviales para comprobar los estándares de OD y amonio establecidos en el UPM.

Por último, el Programa de reducción del impacto al medio receptor por efecto de las descargas de los colectores en tiempo de lluvia, de la ACA, impone los valores de la directiva de aguas de baño para medio marino y algunas aguas continentales, mientras que para el análisis de la mayoría de tramos fluviales, se aplicaron los estándares intermitentes para amonio y OD establecidos en el UPM.

- **Experiencias desarrolladas en Alemania. Procedimiento BWK-M7**

El método detallado recogido en el procedimiento BWK-M7 es más ambicioso a la hora de definir el análisis de los impactos por DSU en las masas receptoras que el procedimiento simplificado M3. Esta instrucción propone el desarrollo de un análisis detallado de las masas movilizadas hacia el medio receptor empleando modelos en régimen no permanente calibrados, en los que se integre todo el sistema de saneamiento y drenaje (la red, los depósitos de tormenta y la EDAR). Una vez desarrollado y validado el modelo se debe realizar un análisis de los incumplimientos en el año medio de los impactos morfológicos, por toxicidad aguda de amonio y por descenso de los niveles de oxígeno. Los valores propuestos para los estándares de calidad de agua son los mismos que los presentados en la norma BWK-M3. Como en la norma M3, la instrucción sugiere emplear métodos de análisis de sensibilidad e incertidumbre para analizar los incumplimientos.

- **Experiencias desarrolladas en Austria**

La aproximación más ambiciosa de la norma austríaca ÖWAV-Regelblatt 19 de 2007 consiste en la realización de un modelo detallado del sistema completo de saneamiento en el que se aplicarán los siguientes estándares de calidad de agua:

- Impacto morfológico, similar al recogido en el procedimiento alemán BWK-M3.
- Impacto por toxicidad aguda de amonio. La norma clasifica los cursos fluviales en ciprínidos y salmónidos. Los valores límites de la concentración de amonio provocada por la DSU durante una hora son de 5 mg/L y 2.5 mg/L respectivamente.
- Impacto por OD. La concentración en el medio receptor después de la DSU no puede ser inferior a 5 mg/L.

- Impacto por sólidos. Se limita el valor de los TSS a 50 mg/L.
- Impacto higiénico y estético. La norma señala que se reducirán y limitarán las DSUs para reducir los impactos por contaminación bacteriológica, y se añadirán filtros y tamices para reducir los impactos visuales producidos por los flotantes.

- **Experiencias desarrolladas en Suiza**

Como las normas alemana y austríaca, la norma suiza VSA – 2007 propone analizar los impactos morfológicos provocados por los caudales máximos de los DSU así como una serie de estándares de calidad de agua.

- Impacto morfológico. La instrucción VSA 2007 limita el número de DSU que causan la erosión de los cauces receptores en función de la calidad ecomorfológica del mismo, aguas arriba y aguas abajo del depósito anti-DSU. Para la determinación del número de eventos que producen erosión del cauce la norma emplea el software de simulación REBEKA II, que implementa la ecuación de Meyer-Peter para determinar la tensión tangencial crítica para el inicio del movimiento de los sedimentos del lecho.
- Impacto por toxicidad aguda de amonio. Los impactos por toxicidad aguda se fijan con estándares intermitentes tipo dosis-duración-frecuencia.
- Impacto por OD. Los valores críticos para la demanda de oxígeno disuelto están establecidos siguiendo los criterios descritos en el Urban Pollution Management.
- Impacto por carga de sedimentos en suspensión. La concentración de SST se considera como un trazador de otros contaminantes crónicos como metales pesados o hidrocarburos, y por este motivo la norma suiza limita los valores máximos de SST en base a estudios ecotoxicológicos sobre la vida piscícola.
- Impacto por carga de nutrientes. Cuando es de aplicación, la norma propone realizar un balance de masas en la cuenca para determinar los valores admisibles de carga de nutrientes movilizadas a lo largo de un periodo largo de tiempo.
- Impacto higiénico. Para reducir el impacto producido por la contaminación bacteriológica en las masas receptoras la norma establece un procedimiento basado en los usos establecidos en el medio receptor.
- Impacto por cambios de temperatura. Se establecen tres criterios para proteger la vida piscícola en las masas acuáticas: una temperatura máxima tras el DSU para los meses de verano y otra para los meses de invierno (25° C de Abril a Octubre y 12° C entre Noviembre y Marzo), y por otra parte, un incremento de la temperatura máxima de 7° C durante los eventos que producen DSU que aseguren la supervivencia de la vida piscícola.

Para la evaluación de los estándares de calidad de agua en paralelo al desarrollo a la norma VSA – 2007 se ha elaborado un software de simulación denominado REBEKA II. Este programa no es un programa de cálculo detallado, sino como una herramienta de análisis preliminar de la situación existente, ya que simula el sistema con modelos agregados. El modelo permite incorporar una red de saneamiento unitaria, otra separativa y sus respectivos tanques anti-DSU y DSS. Además, para analizar el funcionamiento del medio fluvial receptor permite incorporar las características de una natural.

La aproximación empleada por REBEKA II es similar a la propuesta en la herramienta SIMPOL incorporada en el UPM, aunque este programa cuenta con dos ventajas frente a este último: dispone de una interfaz de usuario amigable y, lo que es más importante, permite realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo y de incertidumbre de los resultados.

- **Experiencias desarrolladas en el Reino Unido**

La Foundation for Water Research (FWR) ha sido la encargada de publicar el conocido informe Urban Pollution Management (UPM) que en el año 2012 sacó su tercera versión, ya adaptada a la DMA. Este manual es una guía para la planificación y la gestión de las descargas en sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia.

El manual propone un exhaustivo marco de planificación para conseguir que la calidad de los medios acuáticos sea la adecuada. El procedimiento incluye cuatro fases, alrededor de las cuales, se estructura el manual:

- Fase A: Planificación Inicial
- Fase B: Recogida datos y herramientas
- Fase C: Desarrollo de soluciones
- Fase D: Proyecto detallado

Quizás la característica más importante del UPM es que introduce una serie de estándares intermitentes para la protección ecológica de la calidad de las masas receptoras. Estos estándares intermitentes están expresados en términos de dosis-duración-frecuencia para el oxígeno-disuelto y el amonio no-ionizado (ver

Tabla 11 y Tabla 12). El desarrollo de la metodología del Urban Pollution Management se pueden consultar por ejemplo en Puertas et al. (2008).

| PERIODO DE RETORNO                                                                  |         | CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE NITRÓGENO AMONIAAL (mg/L) |       |       |            |       |       |                                      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------------------------------|------|------|
|                                                                                     |         | SALMÓNIDOS                                        |       |       | CIPRÍNIDOS |       |       | ECOSISTEMAS MARGINALES DE CIPRÍNIDOS |      |      |
|                                                                                     |         | 1 h                                               | 6 h   | 24 h  | 1 h        | 6 h   | 24 h  | 1 h                                  | 6 h  | 24 h |
| 1 mes                                                                               |         | 0.065                                             | 0.025 | 0.018 | 0.15       | 0.075 | 0.03  | 0.175                                | 0.1  | 0.05 |
| 3 meses                                                                             |         | 0.095                                             | 0.035 | 0.025 | 0.225      | 0.125 | 0.05  | 0.25                                 | 0.15 | 0.08 |
| 1 año                                                                               |         | 0.105                                             | 0.04  | 0.03  | 0.25       | 0.15  | 0.065 | 0.3                                  | 0.2  | 0.14 |
| Factores de conversión en amonio total (mg/L) para distintas condiciones de pH y T° |         |                                                   |       |       |            |       |       |                                      |      |      |
| pH 8<br>15 °C                                                                       | 1 mes   | 2.4                                               | 0.94  | 0.68  | 5.6        | 2.8   | 1.1   | 6.6                                  | 3.8  | 1.9  |
|                                                                                     | 3 meses | 3.6                                               | 1.3   | 0.94  | 8.4        | 4.7   | 1.9   | 9.4                                  | 5.6  | 3    |
|                                                                                     | 1 año   | 3.9                                               | 1.5   | 1.1   | 9.4        | 5.6   | 2.4   | 11                                   | 7.5  | 5.3  |
| pH 8<br>5 °C                                                                        | 1 mes   | 5.3                                               | 2     | 1.5   | 12         | 6.1   | 2.4   | 14                                   | 8.1  | 4.1  |
|                                                                                     | 3 meses | 7.7                                               | 2.8   | 2     | 18         | 10    | 4.4   | 20                                   | 12   | 6.5  |
|                                                                                     | 1 año   | 8.5                                               | 3.2   | 2.4   | 20         | 12    | 5.3   | 24                                   | 16   | 11   |
| pH 7<br>15 °C                                                                       | 1 mes   | 24                                                | 9.2   | 6.6   | 55         | 27    | 11    | 64                                   | 37   | 18   |
|                                                                                     | 3 meses | 35                                                | 13    | 9.2   | 82         | 46    | 18    | 91                                   | 55   | 29   |
|                                                                                     | 1 año   | 38                                                | 15    | 11    | 92         | 55    | 24    | 110                                  | 73   | 51   |
| pH 7<br>5 °C                                                                        | 1 mes   | 52                                                | 20    | 14    | 120        | 60    | 24    | 140                                  | 80   | 40   |
|                                                                                     | 3 meses | 76                                                | 28    | 20    | 180        | 100   | 40    | 200                                  | 120  | 64   |
|                                                                                     | 1 año   | 81                                                | 32    | 24    | 200        | 120   | 52    | 240                                  | 160  | 112  |

Tabla 11 Estándares intermitentes de nitrógeno amoniacal en el UPM (FWR, 2012)

| PERIODO DE RETORNO |  | CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE OD (mg/L) |     |      |            |     |      |                                      |     |      |
|--------------------|--|-----------------------------------|-----|------|------------|-----|------|--------------------------------------|-----|------|
|                    |  | SALMÓNIDOS                        |     |      | CIPRÍNIDOS |     |      | ECOSISTEMAS MARGINALES DE CIPRÍNIDOS |     |      |
|                    |  | 1 h                               | 6 h | 24 h | 1 h        | 6 h | 24 h | 1 h                                  | 6 h | 24 h |
| 1 mes              |  | 5                                 | 5.5 | 6    | 4          | 5   | 5.5  | 3                                    | 3.5 | 4    |
| 3 meses            |  | 4.5                               | 5   | 5.5  | 3.5        | 4.5 | 5    | 2.5                                  | 3   | 3.5  |
| 1 año              |  | 4                                 | 4.5 | 5    | 3          | 4   | 4.5  | 2                                    | 2.5 | 3    |

Tabla 12 Estándares intermitentes para el OD en el UPM (FWR, 2012)

- **Experiencias desarrolladas en Estados Unidos**

Para el desarrollo de la CSO Control Policy estadounidense, se puede emplear una aproximación demostrativa para el diseño de los dispositivos anti-DSU. Con esta aproximación se adoptan los estándares de calidad de aguas de tipo N4 que aparecen citados en la Clean Water Act.

### 4.3 Consideraciones sobre la elección de los criterios de diseño

De la revisión de la diferente normativa de referencia sobre el dimensionamiento de depósitos anti-DSU presentada en el apartado anterior, se pueden extraer las siguientes consideraciones:

- Las estrategias de nivel N1 para el dimensionamiento parametrizado de los tanques de tormenta representan la aproximación inicial al problema de dimensionamiento del volumen de dichos elementos. Este tipo de aproximación es útil para el diseño de tanques para pequeñas áreas de aportación, habitualmente subcuencas de un sistema de saneamiento más grande.

Para la aplicación de estas metodologías la cantidad de información necesaria es muy reducida (p.ej. superficie impermeable y estrategia de caudales hacia EDAR). Sin embargo, hay que señalar que para definir este tipo de estándares (p.ej. volumen de almacenamiento específico), se han tenido que emplear modelos de simulación numérica basados en criterios de emisión, con la información pluviométrica y morfológica representativa de la zona de aplicación de los mismos. Algunos ejemplos en este sentido lo representan el método simplificado de las ITOHG, desarrollado a partir de criterios de número y volumen vertido de DSU (nivel N2), o el método de la ATV A128, basado en criterios de emisión de masa movilizada de DQO (nivel N3).

- Las estrategias de nivel N2 más habituales se basan en establecer una frecuencia o un volumen de DSU, aunque en algunas normas como la VSA Suiza, se fija el volumen específico de vertido o el número de horas de vertido como estándar de emisión. El ámbito de aplicación de los criterios de nivel N2 es más amplio que el de un sistema aislado, como en el caso de las normas de nivel N1, aunque no contempla aspectos de flujos o balances de masas entre la red de drenaje y la EDAR.

Para la aplicación de las metodologías de nivel N2 es necesario realizar una modelización numérica de la red de saneamiento y drenaje, sin incluir aspectos relacionados con la contaminación movilizada. Por tanto, la cantidad y calidad de los datos para el dimensionamiento de los tanques es mayor: topología de la red y de las cuencas de drenaje, dotaciones de tiempo seco, geometría y órganos de regulación de los tanques, etc. Además, es necesario disponer de series largas de precipitación locales para poder evaluar el cumplimiento de los estándares de emisión.

- Las estrategias de nivel N3 son similares a las de tipo N2, en tanto que no contemplan directamente aspectos relacionados con el impacto producido por los DSU en los medios receptores. Sin embargo, van un paso más allá ya que incorporan los fenómenos de generación y movilización de la contaminación de

manera agregada (p.ej. a través del establecimiento de CMS) o en régimen variable (p.ej. mediante la generación de polutogramas).

El ámbito de aplicación de las normas N3 son los sistemas de saneamiento completos. Para la correcta evaluación de los estándares N3 es necesario conocer el flujo másico de contaminación movilizado hacia la EDAR y establecer algún tipo de rendimiento global del sistema. Este tipo de aproximaciones está recogido en las actuales normas austríacas o la norma alemán BWK-M3.

- Las metodologías de nivel N4 son aquellas que incorporan estándares de inmisión. Este tipo de aproximaciones se deben aplicar para sistemas de saneamiento integrales que, por su tamaño o por encontrarse en zonas sensibles, requieran de un diseño que permita analizar directamente el efecto de las DSU sobre el medio receptor. Este tipo de aproximaciones son cada vez más habituales, y están recogidas en las normas europeas más modernas, como la VSA suiza, el procedimiento BWK-M3 alemán o la actual norma austríaca.

En este nivel de diseño los requerimientos de información son los más elevados, ya que además de los datos necesarios y modelos del sistema de saneamiento, se precisan datos sobre el medio receptor y la modelización de los impactos producidos por las DSUs.

Por último, y a nivel global, hay que señalar que para el correcto establecimiento del nivel de norma a aplicar en cada escenario, es necesario por una parte analizar la susceptibilidad del medio natural sobre el que se van a producir los DSU (río, medio marino, zona sensible, etc.), y por otra parte evaluar la magnitud o importancia del desbordamiento, a través de parámetros como el porcentaje de impermeabilidad, la densidad de población o de tráfico, los usos de las cuencas. Después de establecer la magnitud del DSU y el parámetro de susceptibilidad del medio, se podrá evaluar el impacto producido por el sistema de saneamiento en tiempo de lluvia y decidir qué tipo de aproximación es más adecuada para el diseño de las infraestructuras de regulación y tratamiento de los vertidos.

#### 4.4 Aprovechamiento del agua almacenada

El aprovechamiento de las aguas pluviales se viene realizando desde siempre a nivel particular, pero su aprovechamiento a nivel municipal es un tema de relativa actualidad.

Es cierto que en general los ciudadanos perciben negativamente que las aguas de origen pluvial (que se suele creer que son aguas limpias) acaben entrando en el alcantarillado, donde se acaban contaminando irremediablemente y acaban produciendo vertidos contaminantes (DSS) a los medios receptores, i/o sobrecostes de tratamiento y disfunciones en las depuradoras. Por esto están de tanta actualidad las iniciativas destinadas a aprovechar estas aguas. Pero la realidad es que, cuando se

confrontan estos conceptos con todos los otros inconvenientes, las cantidades realmente aprovechables son muy moderadas.

A continuación se listan las aguas pluviales ordenadas de menos a más contaminadas:

- Aguas recogidas en cabecera de las zonas urbanas, interceptando la escorrentía superficial de las rieras naturales antes de que entren en el medio urbano.
- Aguas recogidas a través de los sistemas de captación de las técnicas de drenaje urbano sostenible (TEDUS), que recogen la escorrentía superficial y realizan un tratamiento básico.
- Aguas de escorrentía urbana captadas directamente por las redes separativas (procedentes de los sumideros y / o de las acometidas pluviales de los edificios).
- Aguas almacenadas en los tanques reguladores.
- Aguas recogidas directamente en los tejados del ámbito privado antes de llegar al suelo.

En el caso de las aguas pluviales almacenadas en un tanque de tormentas, no es recomendable su reutilización por los siguientes motivos:

- Incompatibilidad de usos. La misión de estos tanques reguladores es precisamente evitar al máximo los vertidos al medio receptor. y para eso siempre deben estar vacíos antes del inicio de las lluvias. Si se utilizase su capacidad de almacenaje para poder reaprovechar el agua, esta función quedaría comprometida. Esto implica que para poder reaprovechar esta agua, se deberían construir unos tanques para poder almacenarla y por tanto la inversión ya sería más elevada.
- Calidad del agua. En contra de lo que se tiende a pensar, las aguas pluviales retenidas en los tanques no son limpias, especialmente en redes unitarias, y esto se demuestra tanto en la bibliografía como en las analíticas realizadas en este mismo proyecto sin ir más lejos. Esto es debido a que el agua de lluvia en su camino hasta el tanque, primero limpia la atmósfera, los tejados, las aceras, el asfalto y los colectores, donde en caso de las redes unitarias además se mezcla con aguas residuales. En este camino, va limpiando estas superficies y arrastrando mucha contaminación, y el resultado final es un nivel de calidad que en ciertos casos es equiparable al de las aguas residuales sobre todo para parámetros como metales pesados y sólidos en suspensión.
- Garantía del servicio. Todas las aguas pluviales son, por la propia naturaleza del régimen de precipitaciones, irregulares. El recurso solo está disponible en las horas o días posteriores a la lluvia, que es precisamente cuando baja la demanda. Por tanto, la misma aleatoriedad de las lluvias implica que este recurso tenga muy poca garantía de disponibilidad en el momento en que se necesita.

# 05.

---

## DISEÑO



## 5 DISEÑO

### 5.1 Introducción

Una vez conocido el volumen de almacenamiento necesario del tanque de tormentas, es necesario pasar a la fase de diseño y redacción del proyecto constructivo y su posterior construcción. En este proceso de definición geométrica y estructural del tanque hay que tener en cuenta diversos factores que de una manera o de otra condicionan el diseño final.

Aunque muchos de estos factores están íntimamente ligados entre si y unos interfieren en otros, se puede plantear el proyecto de un tanque de tormentas como un proceso dividido en las siguientes etapas:

- Dimensionamiento del volumen necesario.
- Elección del emplazamiento donde se ubicará el tanque y la red de colectores asociada.
- Prediseño de la geometría del tanque.
- Elección de los sistemas de limpieza del tanque.
- Elección del sistema constructivo.
- Diseño final de la geometría del tanque.
- Diseño de las restantes instalaciones incluidas las instalaciones eléctricas y accesos al tanque.
- Diseño estructural del tanque.

En los apartados siguientes se recogen un conjunto de recomendaciones de diseño de un tanque de tormentas en las que se han tenido en cuenta aspectos relacionados con:

- Economía de la inversión inicial.
- Facilidad constructiva.
- Facilidad y robustez en el posterior mantenimiento.
- Aspectos ligados a la seguridad y salud tanto en el proceso constructivo como en su posterior mantenimiento y explotación.

El orden en el que se presentan estas recomendaciones responde a un orden cronológico del proceso de diseño del tanque.

Finalmente añadir que estas recomendaciones están realizadas para tanques de hormigón por ser esta la tipología más comúnmente utilizada.



Figura 54 Esquema de implantación de tanque en zona urbana

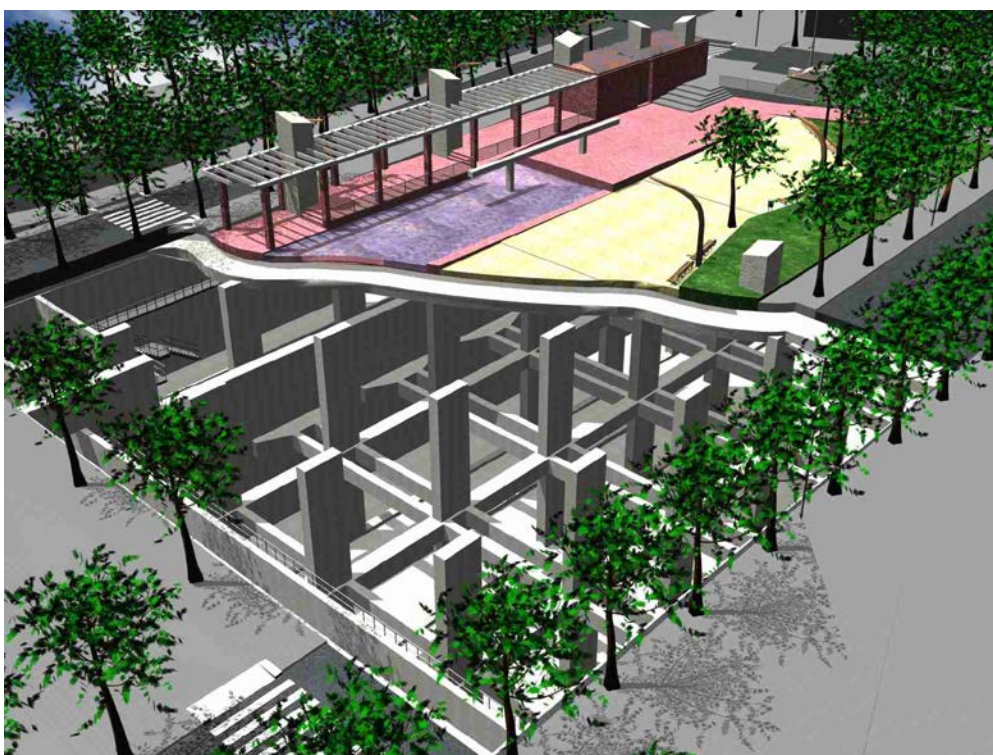


Figura 55 Ejemplo de tanque enterrado en zona densamente urbana donde se aprovecha la superficie del tanque para otros usos.



Figura 56 Urbanización en superficie de tanque en Gijón

## 5.2 Emplazamiento

La elección del emplazamiento del depósito es una de las actividades más complicadas del proceso debido a las interferencias que un tanque supone en el entorno y los intereses, a veces contrapuestos, que presenta delante de otros usos urbanísticos.

Hay que tener en cuenta las diferentes afecciones que supone la presencia de un depósito dentro de su entorno, presencia de ventilaciones, edículos y tapas de accesibilidad para personal y vehículos de mantenimiento, molestias casadas durante la ejecución de las obras y posterior mantenimiento...

Partiendo de lo dicho anteriormente, hay dos ubicaciones ideales para el emplazamiento de los tanques:

- A final de cuenca antes del colector interceptor: En redes unitarias, lo normal es que hay una red de colectores que recoge tanto las aguas residuales domésticas como las aguas de escorrentía pluvial y las transporta hasta un colector interceptor. Este es el encargado de transportar las aguas hacia la estación depuradora. Lo normal es que este colector interceptor tenga una capacidad

menor que los de los colectores que se le conectan de manera que en este punto suele ubicarse un aliviadero que en tiempo de lluvia vierte el exceso de caudal hacia el medio receptor. Es en este punto donde idealmente deberían ubicarse los tanques, de manera que los caudales regulados pudiesen mandarse hacia el interceptor y depuradora y el exceso aliviarse al medio receptor. Esta ubicación presenta dos ventajas obvias:

- Al estar al final de cuenca se le dará un mayor uso por tener una cuenca de aportación mayor. En este sentido, un tanque situado a final de cuenca de volumen equivalente a la suma de volúmenes de varios tanques más pequeños situados en cabecera o a mitad de cuenca es más eficiente y consigue menores volúmenes vertidos al medio receptor.
  - Al estar cerca del medio receptor, el colector de alivio del tanque hacia el medio receptor será de menor longitud y por tanto menos caro, además que se evitará el riesgo que haya conexiones futuras a este colector y que por tanto las aguas que se conecten a este vayan directamente al medio receptor sin pasar por el tanque ni por la depuradora caso de que se conecten aguas residuales.
- En cabecera de planta depuradora: Es habitual también que el colector interceptor, a pesar de tener una capacidad de transporte menor que algunos de los colectores unitarios que se le conectan como decíamos en el párrafo anterior, tenga una capacidad mayor que el caudal de tratamiento máximo de la estación depuradora. En estos casos hay un aliviadero al inicio de la planta para evacuar en tiempo de lluvia el caudal que no puede ser tratado. En estos casos, es muy buena opción situar el tanque en cabecera de planta para poder laminar las puntas de caudal y maximizar el volumen de agua que trata la depuradora a la vez que se minimiza el volumen de agua vertido al medio receptor sin tratamiento.

De todas maneras, los emplazamientos descritos anteriormente son los ideales, pero hay que ser consciente de que en la realidad existen muchos condicionantes entre los que se encuentran:

- Disponibilidad suficiente de espacio. El emplazamiento elegido tiene que tener unas dimensiones suficientes para poder realizar la construcción del depósito con unas garantías de seguridad.
- Condicionamientos urbanísticos existentes en la parcela elegida, tanto actuales como futuros. Este hecho condiciona todo el conjunto de afecciones del tanque en superficie y sus accesos.



Figura 57 Tapas de extracción de bombas en un tanque

- Proximidad y configuración tanto de los colectores tributarios como del colector de vertido y el medio receptor. Esta proximidad reducirá los costes en las obras de entrada y salida del tanque.
- Condicionantes técnicos debido a la posible afectación a otros servicios existentes, proximidad de edificaciones...
- Acceso en condiciones al depósito para poder realizar una explotación y mantenimiento del mismo. Mejor tener viales de acceso con pavimentos que no se vean afectados por las lluvias. (mezclas bituminosas u hormigón)



Figura 58 Ejemplo de acceso deficiente

En los tanques de tormentas una de las actividades que puede llegar a ser más relevante en la fase de su mantenimiento, es la extracción de los residuos acumulados en su interior que no hayan podido ser evacuados por los sistemas de limpieza automáticos. Esta extracción suele hacerse mediante el empleo de puentes grúa equipados con cucharas y/o pequeña maquinaria. Por este motivo, el emplazamiento elegido debe permitir realizar esta labor en las mejores condiciones dotando de los locales y accesos necesarios al interior del tanque.

Otro aspecto a tener en cuenta en la elección del emplazamiento final del depósito es la fase de obras. Hay que tener en cuenta que el espacio necesario para realizar las obras es muy superior a la estricta ocupación del depósito. En este sentido conviene tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- En zonas urbanas hay que prever los pasos necesarios tanto para peatones como vehículos. Se recomienda dejar un mínimo de una franja de 6 metros entre el cierre de la obra y las edificaciones más cercanas.
- Hay que prever los desvíos de tráfico necesarios de manera que se evite que el tráfico condicione el desarrollo de las obras, ya sea en tiempo o en espacio disponible.
- Hay que prever el acceso y salida de los vehículos a la obra. Aspecto especialmente importante en la fase de movimiento de tierras.

### 5.3 Prediseño de la geometría del tanque

Una vez elegido el emplazamiento deberá adaptarse la geometría del tanque a este en función de los siguientes criterios:

- Cota máxima de agua. La cota máxima de agua en el interior del tanque viene fijada por la red de saneamiento existente. Siempre que sea posible esta cota de agua se definirá de manera que el depósito lleno no interfiera en el normal funcionamiento del sistema de colectores. Lo ideal es definir la cota máxima de agua, cota a la que se situará el aliviadero de emergencia, igual a la cota de la solera del colector existente en la cámara de derivación.
- Profundidad del tanque. Los tanques más efectivos son aquellos que tienen una mayor profundidad, es decir, para un mismo volumen la superficie necesaria es menor lo que implica un menor coste de inversión tanto en obra civil como en instalaciones y por lo tanto menores costes de mantenimiento. Ahora bien, este hecho tiene las siguientes limitaciones.
  - La profundidad de un tanque de tormentas, se recomienda que sea siempre mayor que 4,0 m. Para profundidades menores se tienen peores eficiencias hidráulicas y mayores dificultades en las tareas de mantenimiento y explotación.

- Siempre se buscará el máximo volumen de vaciado por gravedad. De esta manera se diseñará el tanque con la mayor profundidad posible que permita este tipo de vaciado. A partir de aquí se conseguirá el volumen necesario con la mayor superficie posible.
- Cuando por limitaciones del espacio sea necesario ir a vaciados por bombeo el tanque se diseñara con la máxima profundidad teniendo en cuenta a los siguientes condicionantes:
  - ✓ Presencia de estrato rocoso que implique unos costes excesivos en las excavaciones. En este caso mejor aumentar superficie.
  - ✓ Presencia de nivel freático que además de complicar los procesos de ejecución produce efectos de supresión encareciendo el coste del tanque. Hay que buscar un equilibrio entre la profundidad y el aumento de superficie.
  - ✓ Necesidad de sistemas de apuntalamientos intermedios definitivos ya que además de encarecer mucho el coste de la inversión del tanque, aumenta los costes de limpieza. Es preferible aumentar la superficie del tanque antes que incorporar sistemas de apuntalamiento intermedios definitivos.
- Superficie necesaria. Definidos el volumen y la profundidad del tanque la superficie necesaria viene dada. La geometría en planta podrá ser rectangular, circular o irregular.
  - En geometrías rectangulares son preferibles depósitos, más largos que anchos, siendo una relación óptima aquella en la que la longitud es 1,5 – 2 veces la anchura. La longitud se encontrará dentro de las limitaciones que presenta cada sistema de limpieza como posteriormente se verá.
  - Los depósitos circulares presentan mayores posibilidades de auto limpieza a la vez que presentan un comportamiento estructural mejor. Por el contrario la complejidad constructiva puede ser mayor. Esta geometría necesita, para un mismo volumen de almacenamiento mayores dimensiones que las geometrías rectangulares. Esta tipología de depósitos está indicada especialmente para tanques con volúmenes intermedios y grandes profundidades.
  - Los tanques con geometría irregular deben evitarse ya que multiplican enormemente los costes de su posterior explotación. Esta tipología de tanques suele ser útil para balsas a cielo abierto.

## 5.4 Sistema de limpieza

### 5.4.1 Consideraciones generales

La elección del sistema de limpieza de un tanque de tormentas es uno de los pasos más importantes porque de la tipología del sistema elegido depende:

- Diseño final del tanque tanto en lo que se refiere a su forma geométrica como a sus dimensiones.
- Inversión económica inicial ya que los costes de inversión no son los mismos para cada tipología.
- Costes de mantenimiento. Los diferentes sistemas de limpieza tienen diferentes costes de mantenimiento.

Es recomendable siempre disponer de un sistema de limpieza automático en todos los tanques de tormenta. Podrían considerarse como una excepción los tanques con una cámara de retención muy pequeña, inferiores a 150 m<sup>3</sup>, en los que la limpieza puede realizarse de una forma manual. En estos casos es importante diseñar la solera con pendientes grandes, alrededor del 3% para minimizar la sedimentación.

### 5.4.2 Sistema de limpieza automático

Para la elección de un sistema de limpieza deberán seguirse las siguientes recomendaciones:

- Para tanques de tormenta de reducidas dimensiones el sistema más adecuado es el uso de eyectores, ya que el consumo eléctrico que suponen es pequeño, y la inversión inicial es muy inferior a los demás sistemas.
- Desde el punto de vista del mantenimiento el sistema ideal es el de los volcadores, ya que el mantenimiento necesario es mínimo. Este sistema presenta las siguientes limitaciones:
  - Longitud máxima de carril inferior a 50 metros
  - Altura máxima de agua inferior a 7 metros
  - Deben situarse por encima del máximo nivel de agua previsto.
- Para el sistema de cisterna en solera la elección del método de llenado no influye en la eficacia de la limpieza del tanque. Únicamente influye en los gastos del mantenimiento posterior.
  - Los sistemas de llenado por vacío presentan mayores consumos eléctricos.
  - Los sistemas de clapetas presentan mayores costes de mantenimiento de los circuitos oleohidráulicos de las clapetas es costoso.

A continuación se presenta un diagrama donde pueden verse los criterios para elegir el mejor sistema de limpieza automático de un tanque de limpieza.

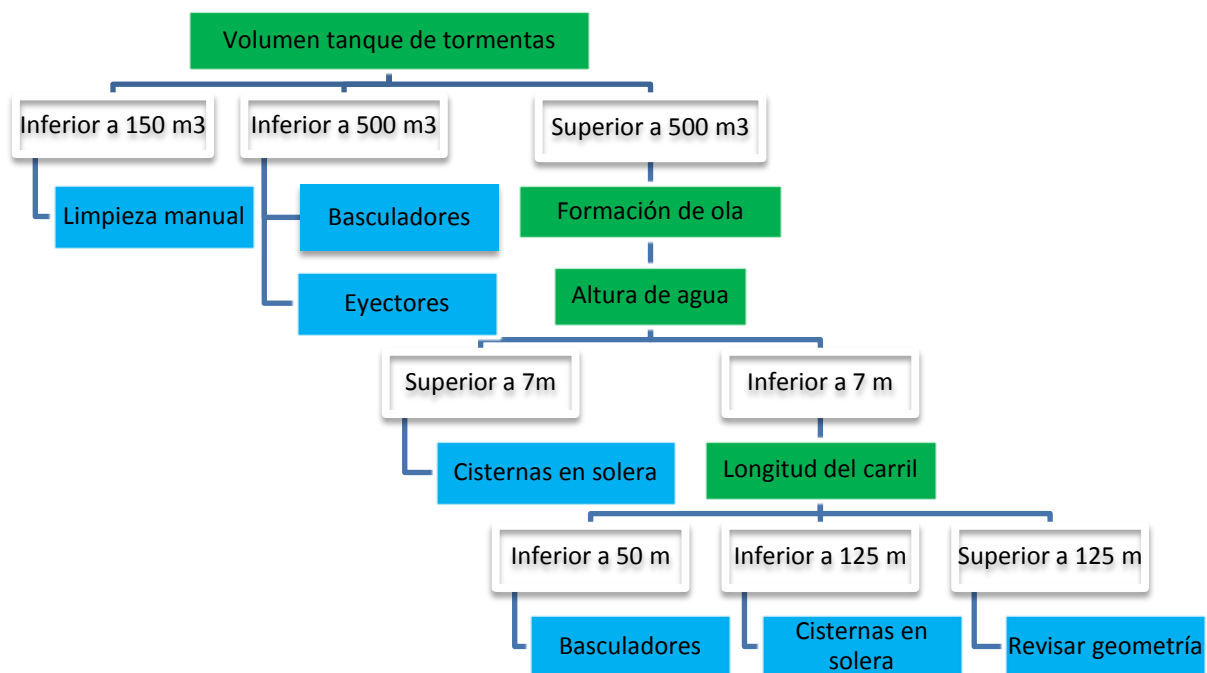


Figura 59 Esquema para la elección del sistema de limpieza automático



Figura 60 Limpieza manual de tanque en Gijón

Es importante destacar que las recomendaciones citadas no deben tomarse como una regla inamovible sino como un primer criterio de selección, y que las fronteras marcadas deben tomarse como meras orientaciones. Estas fronteras pueden variar en función de otros factores como son la geometría del tanque, pendiente de la solera, presencia de espacios muertos, disponibilidad de brigadas de mantenimiento. Por ejemplo, en tanques circulares, la utilización de eyectores puede considerarse para volúmenes superiores a los 500 m<sup>3</sup>.

Finalmente en la tabla 13 se muestran los campos de utilización de los dos sistemas más utilizados, volcadores y cisternas en solera, con el siguiente código de colores

- Verde: Sistema completamente eficaz
- Amarillo: Sistema utilizable con reservas
- Rojo: Sistema no utilizable
- Azul: Sistema utilizable técnicamente pero no es el óptimo

Se marcan en verde los sistemas aplicables y en rojo los que no deberían ser utilizados. Insistir en el tema de que las fronteras son valores aproximados. En blanco implica que técnicamente son utilizables pero que no son el sistema óptimo

| SISTEMAS DE LIMPIEZA   |           | Basculadores | Cisternas en solera |
|------------------------|-----------|--------------|---------------------|
| Longitud de carril (m) | < 50      | Verde        | Azul                |
|                        | 50 - 70   | Amarillo     | Verde               |
|                        | 70 - 110  | Rojo         | Verde               |
|                        | 110 - 140 | Rojo         | Amarillo            |
|                        | >140      | Rojo         | Rojo                |
| Limpiador inundable    |           | Rojo         | Verde               |
| Pendiente solera (‰)   | < 1       | Rojo         | Rojo                |
|                        | 1 - 2     | Rojo         | Verde               |
|                        | > 2       | Verde        | Verde               |
| Altura máxima de agua  | H<7       | Verde        | Verde               |
|                        | H>7       | Rojo         | Verde               |

Tabla 13 Aplicabilidad de los sistemas de limpieza



Figura 61 Tanque de Bori Fontestà en Barcelona donde se pueden observar los carriles de limpieza.



Figura 62 Tanque de Taulat en Barcelona con sistema de limpieza de cisternas en solera y clapetas.

## 5.5 Elección del sistema constructivo

### 5.5.1 Consideraciones generales

Un tanque de tormenta y sus elementos asociados constituyen un sistema de infraestructuras con unos períodos constructivos relativamente largos, superiores a los 6 meses pudiendo llegar a los dos años para tanques importantes.

Esta prolongación en el tiempo de las obras provoca una serie de condicionantes que hay que tener en cuenta ya que pueden llegar afectar al diseño del tanque. Los factores más importantes son:

- Convivencia de las obras en el entorno en el que se producen. Especialmente importante en obras urbanas con especial incidencia en la vida diaria de los ciudadanos.
- Plazos de ejecución de las obras, tanto en lo que se refiere al plazo final como a los posibles plazos parciales.

### 5.5.2 Construcción de abajo a arriba

El método constructivo de abajo a arriba supone la secuencia tradicional de los procesos constructivos, es decir excavación a cielo abierto, construcción de solera, muros y pilares y finalmente ejecución de cubierta.



Figura 63 Excavación en talud

Esta excavación puede realizarse de tres formas diferentes:

- Excavación en talud. El tanque se construye mediante una excavación tradicional a cielo abierto con formación de taludes. Posteriormente se ejecutan la solera y

cimentaciones de muros y pilares, se ejecutan muros de hormigón con encofrado, los pilares y finalmente se ejecuta la cubierta.

- Excavación entre pantallas la secuencia constructiva es la misma que la anterior exceptuando que primero se realizan los muros mediante pantallas continuas y luego se realiza la excavación del tanque y la estructura.
- Excavación mixta. Se realiza una parte de la excavación en talud y otra entre pantallas.



Figura 64 Ejecución de muro continuo.



Figura 65 Excavación entre pantallas.

### 5.5.3 Construcción invertida

Esta metodología constructiva busca la reducción de las afecciones de las obras de los tanques en superficie. Por ello se cambia la secuencia constructiva de manera que en este método constructivo una vez realizados los muros pantallas y los pilares y previa a la ejecución del movimiento de tierras se ejecuta la cubierta. Una vez realizado el vaciado de las tierras se ejecuta el resto de la estructura. De esta manera este sistema constructivo la secuencia constructiva es:

- Ejecución de muro continuo de pantallas
- Ejecución de pilares mediante módulos de pantallas o pilotes
- Ejecución de cubierta
- Excavación del volumen del tanque
- Ejecución de solera



Figura 66 Construcción invertida de tanques. Ejecución de pilares mediante pilotes.



Figura 67 Construcción invertida de tanques. Ejecución de losa empotrada entre pilares y sobre el terreno.

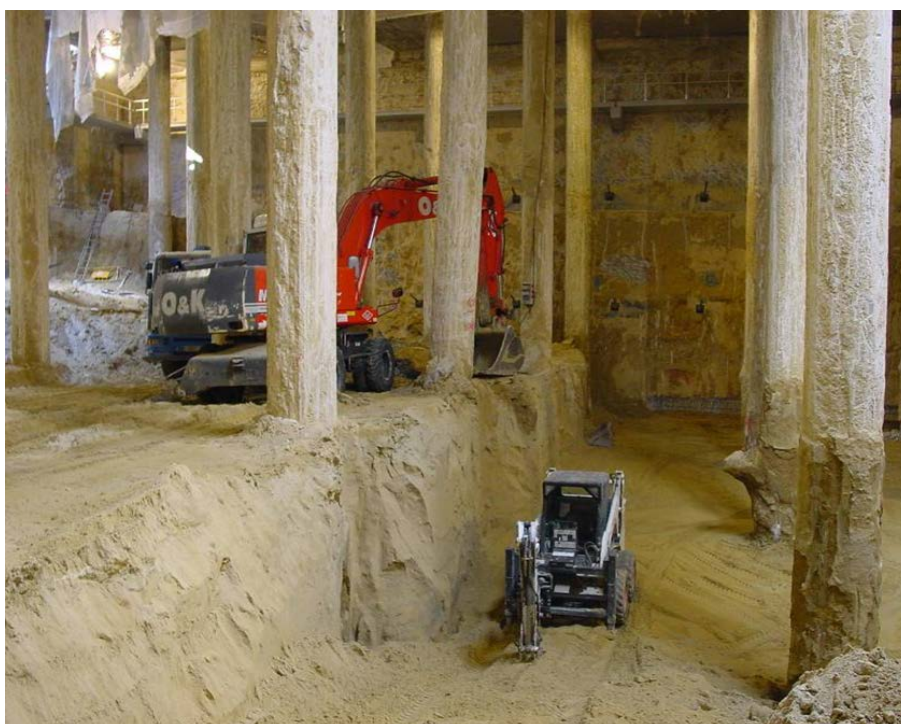


Figura 68 Construcción invertida de tanques. Excavación del tanque bajo cubierta



Figura 69 Construcción invertida de tanques. Ejecución de la solera.

#### 5.5.4 Comparación entre los diferentes sistemas

En la Tabla 14 se muestran las ventajas e inconvenientes de cada uno de los métodos descritos y en los casos en los que se considera más adecuado el uso de uno u otro método.

| Método                              | Ventajas                                                                                                                                   | Desventajas                                                                                                | Adecuado                                                                                               |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abajo arriba en talud</b>        | Sistema más económico                                                                                                                      | Mayor ocupación de la obra                                                                                 | Tanques pequeños de poca profundidad (menores a 5 metros) en entornos no urbanos                       |
| <b>Abajo Arriba entre pantallas</b> | Construcción tradicional                                                                                                                   | Duración de las obras<br>Molestias a los vecinos                                                           | Tanques en zona urbana sin influencia en los plazos de urbanización                                    |
| <b>Arriba abajo</b>                 | Permite la urbanización simultánea de la cubierta lo que avanza su uso posterior.<br><br>La cubierta proporciona un puntal a las pantallas | Mayor complejidad en la gestión de la obra por:<br>gestión de las tierras<br><br>iluminación y ventilación | Tanques grandes en zona urbana con necesidad de uso de la cubierta.<br><br>Tanques de gran profundidad |

Tabla 14 Comparativa entre procesos constructivos

## 5.6 Diseño de los elementos de la obra civil

### 5.6.1 Solera

El diseño de la solera depende mucho del sistema de limpieza elegido.

En aquellos tanques que dispongan de un sistema de limpieza automático, la solera se estructura en función de unos carriles longitudinales que desembocan en un carril transversal encargado de llevar las aguas de la limpieza hasta el punto de salida. Los criterios de diseño recomendados son:

- Pendiente longitudinal mínima:
  - Volcadores: 2%
  - Cisternas: 1 %
  - Eyectores 2 %
- Anchura de los carriles
  - Volcadores: entre 4 y 7 metros.
  - Cisternas: entre 3 y 5 metros.
  - Eyectores: entre 5 y 10 metros
- Carril transversal:
  - Altura: El canal tendrá una altura tal que durante los ciclos de limpieza sea capaz de conducir el agua hasta el punto de salida sin que haya retorno al tanque.
  - Anchura: Debe ser suficiente como para conducir hasta la salida el caudal correspondiente al volumen de agua de dos limpiadores.
- El acabado de la solera será completamente liso, con un fratasado mecánico.

En el caso de disponer únicamente de sistema de limpieza manual, se recomienda disponer de una solera lo más exenta posible de obstáculos de manera que la limpieza con mangueras sea lo más eficiente. En estos casos se recomienda una pendiente mínima del 3% hacia el canal de salida o pozo e bombeo. Pendientes superiores pueden mejorar la eficacia de la limpieza pero pueden convertir el tanque en inaccesible.

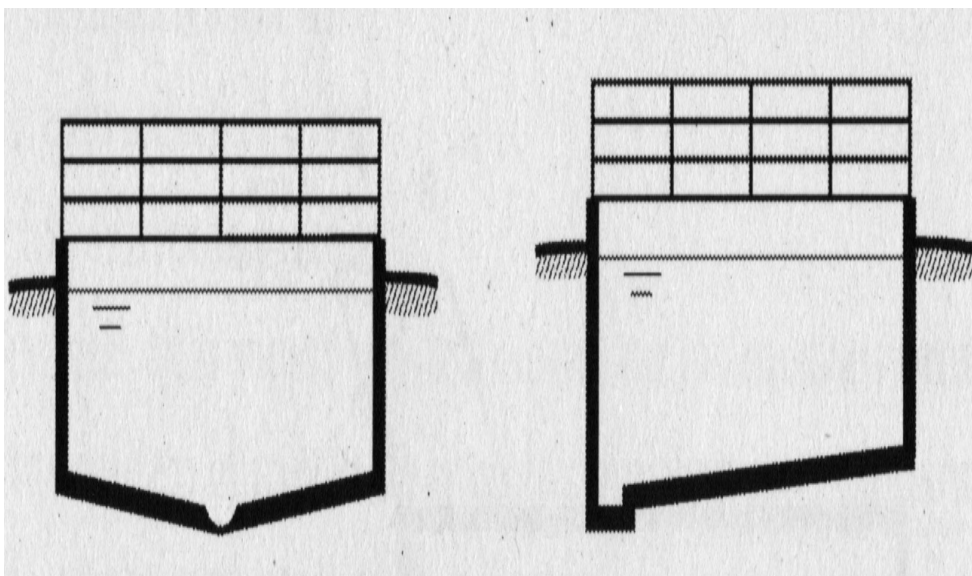


Figura 70 Esquema de tanque con solera con pendiente hacia canal de recogida

### 5.6.2 Cerramiento lateral

El sistema de cerramiento lateral del tanque viene determinado por el sistema constructivo elegido:

- En sistemas a cielo abierto entre taludes se utilizarán muros encofrados.
- En sistemas entre pantallas se utilizarán pantallas continuas. En este caso y en función del espacio disponible puede realizarse una combinación de pantallas continuas y muros encofrados los últimos metros.
- En sistemas con construcción invertida necesariamente pantallas continuas.

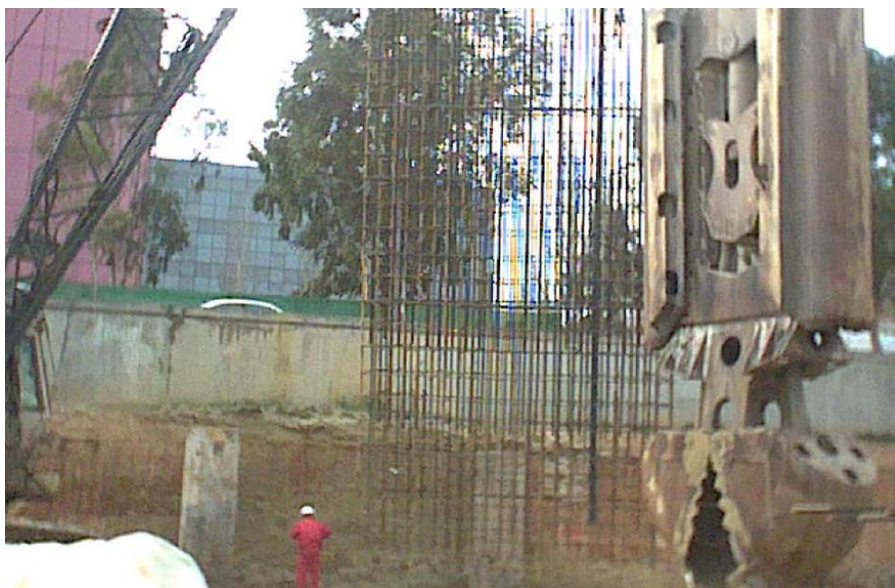


Figura 71 Ejemplo de construcción de cerramiento lateral mediante pantalla continua y colocación de sus armaduras

### 5.6.3 Pilares

Igual que en el caso del cerramiento lateral del tanque de tormentas el sistema constructivo elegido es el que fijará la tipología de los pilares:

- Sistema constructivo de abajo-arriba. Los pilares pueden realizarse mediante encofrado y posterior hormigonado o mediante módulos de pantalla. La elección de un sistema u otro dependerá de:
  - Altura del depósito. Para depósitos muy profundos la ejecución del encofrado de los pilares puede resultar muy costosa
  - El hecho de realizar los pilares mediante módulos de pantalla puede llegar a dificultar el movimiento de tierras al reducir la movilidad de los vehículos.
- Sistema constructivo de arriba-abajo necesariamente los pilares se realizarán mediante módulos pantalla o pilotes.

En el diseño del nº de pilares habrá que tener en cuenta los siguientes factores:

- Anchura de los carriles que conforman la solera. Los pilares deben coincidir con los muros que separan los diferentes carriles. Hay que recordar que los carriles de limpieza deben estar exentos de cualquier obstáculo.
- Los pilares tendrán una geometría lo más redonda posible, evitándose, especialmente en el caso de pilares encofrados, pilares con secciones rectangulares o cuadradas



Figura 72 Ejecución de solera y pilares



Figura 73 Ejecución de cimentación y pilares

## 5.6.4 Cubierta

### 5.6.4.1 Diseño

Para el diseño de la cubierta de un tanque de tormenta se deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Gálibo. Entre la cota de la pasarela y la cota inferior de la cubierta se dejará un gálibo libre de como mínimo 2 metros para permitir las operaciones de mantenimiento.
- Recubrimiento de tierras. El recubrimiento de tierras por encima de la cubierta vendrá fijado por la urbanización posterior. Siempre que sea posible se dejará un recubrimiento mínimo de 1,5 metros de manera que el tanque no suponga una barrera y se permita el paso de otros servicios. Esto es especialmente importante en zonas urbanas.
- La cubierta debe contemplar todos los accesos necesarios al depósito así como las ventilaciones.
- Es recomendable realizar una impermeabilización de la cubierta, especialmente en aquellas zonas donde la entrada de agua puede llegar a ser crítica para el funcionamiento del tanque como son las cámaras secas y los locales técnicos.

#### 5.6.4.2 Sistemas constructivos

Para la ejecución de la cubierta de un depósito existen básicamente tres metodologías constructivas diferentes:

- Cubierta de hormigón ejecutada in situ mediante cimbrado y encofrado de la superficie.
- Cubierta de hormigón ejecutada in situ hormigonada directamente sobre terreno. Esta tipología sólo es utilizable en tanques con sistema constructivos de arriba abajo.



Figura 74 Cubierta ejecutada in situ

- Cubierta ejecutada a base de elementos prefabricados.



Figura 75 Ejemplo de construcción de cubierta a base de placas prefabricadas

La elección de una metodología u otra depende de diferentes factores entre los que se encuentran:

- Aspectos económicos de costes de materiales y ejecución.
- Plazos de ejecución
- Interacción con la superficie

Para el diseño de la cubierta de un tanque de tormentas se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se desaconsejan las cubiertas hormigonadas contra el terreno por:
  - Se complica mucho el posterior movimiento de tierras debido a la falta de gálbo para la maquinaria
  - El acabado posterior de la cubierta suele ser bastante defectuoso, especialmente desde el punto de vista estético.
  - En el caso de construcciones de tanques de arriba-abajo es preferible realizar una preexcavación de unos 3-4 metros y ejecutar la cubierta sobre cimbrado.
- Las cubiertas con elementos prefabricados son especialmente útiles para grandes depósitos con una construcción de abajo-arriba. Permiten la ejecución de cubiertas de forma relativamente sencilla para depósitos de gran profundidad. Presentan las siguientes desventajas:
  - Para que económicamente salgan rentables se necesitan unas mínimas superficies
  - Son más rígidas a la hora de diseñar los accesos y ventilaciones
  - Se necesitan superficies mayores en la obra para el acopio de los materiales
- Las cubiertas ejecutadas in situ por el contrario son útiles para tanques pequeños y para grandes depósitos con construcción de arriba-abajo. Básicamente presentan dos desventajas respecto a las cubiertas prefabricadas:
  - En construcciones de abajo-arriba para grandes depósitos conllevan importantes volúmenes de cimbrado
  - Los plazos de ejecución suelen ser mayores que en el caso de los elementos prefabricados.

Son desaconsejables las cubiertas realizadas con elementos metálicos o estructuras mixtas ya que debido a los ambientes existentes en el interior de los tanques su durabilidad está más comprometida. En el caso de utilizar esta tipología de materiales

hay que diseñar los sistemas de protección de los elementos metálicos ya sea mediante gunitado o pinturas especializadas.

### 5.6.5 Compartimentación

En función de las dimensiones del tanque de tormentas y de los condicionantes externos, espacio disponible, topografía, geotecnia, es conveniente dividir el cuerpo de almacenamiento en diferentes cuerpos que permitan la optimización tanto de la gestión del tanque como de su mantenimiento.

La compartimentación de un tanque depende mucho de su función. De esta manera en los tanques de retención anti contaminación la velocidad de vaciado no es el factor importante sino la calidad del agua que se vierte por el aliviadero en caso de llenado del tanque. En este sentido es más conveniente plantearse una compartimentación más horizontal que vertical. De hecho se trata más de conseguir un vaciado selectivo al medio receptor más que de una compartimentación.

### 5.6.6 Aliviaderos

- Aliviaderos de compartimentación interior: El único requisito hidráulico que cabe exigirles es que sean de labio fino para incrementar su capacidad de vertido, y que se sitúen a una cota tal que no haya ninguna posibilidad de que el agua se escape antes por los aliviaderos de emergencia. Suele bastar con que los aliviaderos de compartimentación queden 1m más bajos que los de emergencia. En todo caso, debe comprobarse la altura de la lámina vertiente para el caudal de diseño.
- Aliviaderos de emergencia funcional: Estos aliviaderos deben ser capaces de evacuar al exterior del depósito el máximo caudal físicamente admisible por el colector de entrada funcionando en carga. Estos aliviaderos suelen materializarse en unos labios fijos con canal posterior de recogida y caída por detrás de las compuertas de salida. Ante la probable insuficiencia de capacidad de la red de aguas abajo, cualquier posible punto complementario de vertido debe explorarse: cuanto mayor sea el número de puntos de la red a la que se restituye este caudal de alivio, mayor será la garantía de desagüe. Por otro lado, la cota de dicho aliviadero debe ser lo más alta posible para maximizar el volumen útil del depósito, pero respetando asimismo un cierto resguardo de seguridad, del orden de 1m, desde la máxima cota de lámina vertiente hasta la cara inferior de los elementos más bajos de la cubierta del depósito. De ser posible, deberán garantizarse también que las instalaciones queden por encima de la cota del aliviadero. Como en el caso anterior debe comprobarse siempre la altura de la lámina vertiente, y se recomienda que sean de labio fino.
- Elementos adicionales de seguridad: El depósito debe contar con unos elementos adicionales de seguridad que le eviten el perjuicio estructural de una hipotética entrada en carga del mismo. Estos elementos se han de dimensionar para que

puedan evacuar la diferencia entre el máximo caudal admisible por el colector de entrada y el caudal admisible por el colector de salida.

### 5.6.7 Elementos de accesibilidad

Para el acceso del personal de mantenimiento y explotación, el tanque debe disponer de pasarelas, escaleras y salidas de emergencia, que deberán diseñarse siguiendo las siguientes recomendaciones.

- Acceso al interior del tanque desde los locales o cámaras secas:
  - Preferibles los accesos mediante escaleras definitivas con una anchura mínima que permita el acceso del trabajador con los equipos necesarios de una forma segura.
  - Se deberá asegurar la estanqueidad
- Pasarelas:
  - Se situaran por encima de la máxima cota de inundación del depósito siempre que sea posible.
  - Las pasarelas irán preferentemente por el perímetro del depósito dando acceso especialmente a los puntos donde existen instalaciones.
  - Se dejará una altura libre de paso de 2,00 metros.
  - La anchura de la pasarela será de como mínimo 0,80 m. Especialmente importante que esta anchura libre se cumpla en la zona donde existan instalaciones.
  - Las pasarelas se equiparan en toda su longitud con una barandilla de seguridad que cumpla la normativa vigente.



Figura 76 Ejemplo de pasarela con barandilla de seguridad en el tanque de Taulat (Barcelona).

- Accesos a la solera. Los accesos a la solera del depósito se harán desde las pasarelas mediante escaleras siguiendo las siguientes recomendaciones:
  - Se dispondrán del número de escaleras necesarias tal que se cumpla que la distancia mínima a recorrer sea de 50 m.
  - Las escaleras pueden ser de hormigón o de materiales plásticos. Se dispondrán con una anchura mínima de 0,80.
  - Estructuralmente el apoyo de las escaleras no será directamente sobre la solera, de manera que no se interrumpa el flujo de agua en los ciclos de lavado.
  - En escaleras verticales, si la altura es superior a 2,50 metros, deberá disponerse de mecanismos guarda cuerpos o quitamiedos consistentes en aros circulares tangentes a la escalera y que permiten apoyar la espalda en caso de pérdida de pie.
- Salidas de emergencia. El depósito dispondrá de las correspondientes salidas de emergencia conectando la pasarela con la superficie.
  - Separación entre salidas de emergencia no superior a los 50 metros
  - Las salidas de emergencia deben realizarse mediante edículo, no mediante pozo enrasado con tapa.

Existen casos en los que por sus dimensiones i/o usos los tanques de tormenta pueden convertirse en lugares de visitas (culturales, escolares...). En estos casos todas las recomendaciones que se proponen deben ser revisadas de manera que se cumpla con la normativa vigente para estas situaciones.

## 5.7 Sistema de vaciado

### 5.7.1 Capacidad de vaciado

En la mayoría de los tanques de tormentas, por la propia configuración de la red de saneamiento, es necesario disponer de un vaciado mediante un sistema de bombeo.

La capacidad de vaciado se diseñará atendiendo a las siguientes recomendaciones.

- Se calculará un sistema de bombeo para conseguir un tiempo de vaciado no superior a las 15 horas. Hay que tener en cuenta, que siempre que el sistema de saneamiento aguas abajo lo permita, el tiempo de vaciado ha de ser el menor posible ya que:
  - De esta forma se dispondrá del tanque para una nueva entrada en servicio.

- Como mayor sea el tiempo de permanencia del agua en el interior del tanque mayor es la sedimentación y mayores los costes de limpieza del tanque.
- Para mayores tiempos de permanencia mayores posibilidades de generar malos olores debido a la creación de ácido sulfhídrico.
- Dado que el vaciado del tanque se conduce al sistema de saneamiento existente, con una capacidad que en algunos casos puede estar limitada, es mejor disponer de un sistema flexible de vaciado. Esto implica que es mejor un sistema con un mayor número de bombas pequeñas que pocas bombas grandes, de manera que se pueda regular mejor el caudal bombeado.
- El caudal máximo de vaciado se conseguirá con dos o más bombas funcionando simultáneamente.
- Siempre se dispondrá de una bomba de reserva

### 5.7.2 Pozo de bombas

Los equipos de bombeo se colocaran en un pozo el cual se diseñará atendiendo a las siguientes recomendaciones:

- El pozo se situará en el punto o puntos más bajos del depósito.
- El pozo tendrá una capacidad suficiente para almacenar en su interior el agua necesaria para completar un ciclo completo de limpieza.



Figura 77 Pozo de bombeo de un tanque de tormentas

### 5.7.3 Equipos de bombeo

#### 5.7.3.1 Clasificación de los equipos de bombeo

Hay muchas formas de clasificar las bombas. Se pueden clasificar por rangos de volúmenes a tratar o por fluidos a elevar entre otras. La clasificación más general es en función de la forma en que las bombas imprimen el movimiento al fluido.

Para el caso de las bombas de aguas residuales y pluviales las bombas más utilizadas son las bombas helicoidales, las bombas centrífugas y las bombas eyectoras.

- Las bombas centrífugas también llamadas rotodinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno lo conduce hacia las tuberías de salida. Su elemento transmisor de energía se denomina impulsor rotatorio llamado rodete y es este elemento el que comunica energía al fluido en forma de energía cinética. Las bombas centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras:
  - Por la dirección del flujo en: Radial, Axial y Mixto.
  - Por la posición del eje de rotación en: Horizontales, Verticales e Inclinados.
  - Por el diseño de la coraza (forma) en: Voluta y las de Turbina.
  - Por la colocación: sumergibles o en cámara seca
- Las bombas eyectoras reciben las aguas residuales sin cribado previo. Están conformadas por una cámara a la que llega el agua directamente desde un colector alimentador. Cuando el nivel alcanza una cota determinada, un sensor eléctrico activa un compresor que inyecta aire en la cámara e impulsa el agua por la tubería de salida. Son adecuadas para caudales de bombeo bajos.
- Las bombas helicoidales están basadas en el tornillo de Arquímedes funcionan al aire libre y, por lo tanto, a presión atmosférica. La altura que debe vencerse corresponde al desnivel existente entre las extremidades del tornillo, colocado en su posición de operación. Estas bombas son adecuadas para caudales importantes y pequeñas alturas de elevación. Su rendimiento es relativamente bajo debido principalmente a fugas entre la hélice y la canaleta que la contiene.

Dentro de los reducidos límites de estas recomendaciones no es posible hacer una descripción más detallada, de la expuesta, de los tipos y características de las bombas y motores, tema que, por otra parte, está ampliamente tratada en la bibliografía especializada. Ahora bien por las características de los tanques de tormentas las bombas más utilizadas para el vaciado de los mismos son las bombas centrífugas.

### 5.7.3.2 Número de bombas

Para seleccionar el número de bombas que es conveniente instalar deberán tenerse en cuenta al menos las normas que a continuación se enumeran:

- El número de bombas a instalar depende, evidentemente, del tamaño de la instalación. Como norma, sea cual sea el tamaño del tanque, se han de instalar dos bombas como mínimo. Debiendo dejar siempre, al menos, una de ellas de reserva. Todas ellas (incluida la de reserva) estarán instaladas y conectadas de manera adecuada para que puedan utilizarse cuando se requieran.
- Todas las bombas deberán ser iguales debiendo cada una de ellas ser capaz de elevar el caudal máximo de cálculo dividido entre el número de bombas menos uno.
- Teniendo en cuenta la gran variedad de los caudales a bombear, se ha de seleccionar las bombas de forma que tengan la máxima eficiencia para las condiciones medias de servicio. En general y teniendo en cuenta todos los accesorios y equipos, resulta prácticamente el mismo coste disponiendo de varias bombas pequeñas en lugar de pocas pero grandes; por lo tanto no es el coste si no las condiciones particulares del proyecto el que ha de decidir la elección sobre el número y tamaño de las bombas para una determinada capacidad de bombeo.

### 5.7.3.3 Criterios de instalación

Las bombas sumergibles se deben instalar acopladas a un pedestal y deben ir siempre dispuestas con un tubo guía y una cadena para facilitar las operaciones de montaje y desmontaje de las mismas. Por el contrario las bombas de cámara seca se colocaran sobre una base de soporte. En cualquier caso, los equipos de bombeo nunca se deben instalar anclados directamente mediante pernos a la solera.

Cada una de las bombas ha de ir provista de las válvulas necesarias en la aspiración y la impulsión para que pueda desmontarse la bomba con independencia del funcionamiento de la estación.

El arranque de las bombas puede hacerse de diferentes maneras en función del tamaño de las mismas:

- Arranque directo para bombas con potencias inferiores a los 5 kW
- Arranque mediante arrancadores suaves para equipos con potencias inferiores a 15 kW
- Variadores de frecuencia para bombas con potencias superiores a los 15 kW. Este sistema de arranque incorpora la electrónica necesaria para:
  - Asegurar unas curvas de arranque y parada de las bombas suave, de manera que se evitan picos de corriente y de tensión que pueden provocar

golpes de ariete, rupturas de cadenas, deterioro y desgaste, caídas de alimentación.

- Proteger la instalación eléctrica: magnetotérmicos, diferenciales
- Protección de subcargas, útil para evitar cavitación de bombas.

#### 5.7.4 Colector de impulsión

El colector de impulsión es aquel tramo de conducción que une las bombas con la conducción de impulsión general.



Figura 78 Colector de salida de una impulsión

#### 5.7.5 Cuadro de maniobras

El funcionamiento del sistema de vaciado viene determinado por unos niveles de agua en el interior del pozo y por unos automatismos propios gobernados desde un armario eléctrico.

Las funciones de los cuadros de maniobras son, por lo tanto, las de gobernar las bombas de la estación a partir del estado de las boyas de nivel disponibles en la cámara, proteger eléctricamente la instalación mediante térmicos y magnetotérmicos, permite su rearmamiento, suavizar los arranques de las bombas, dar información del estado de cada elemento (bomba, boya,...), consumos, etc. y, finalmente, ha de permitir desarrollar un gobierno de la estación manual (modo manual) mediante pulsadores de arranque/parada de las bombas. Esta última utilidad es básica para las operaciones de mantenimiento de la estación.

El cuadro de maniobras se ha de colocar en una cámara seca. El cuadro deberá contener un cierto nombre de visualizaciones de leds y displays, para conocer el estado de los elementos de la estación, y de actuadores en forma de pulsadores o selectores para maniobrarla normalmente, así como una serie de contactos de señales. Además es recomendable que tenga incorporada una resistencia calefactora con termostato para evitar problemas de humedad que puedan dañar alguno de los

elementos del cuadro. Todos los indicadores luminosos deben de disponer de un sistema de prueba accionado por un pulsador. Las señales convienen que se hagan mediante contactos libres de potenciales, y se utilicen regletas de interconexión específicas entre el cuadro eléctrico y la estación remota si esta existe.

Se recomienda que el cuadro de maniobras de un bombeo disponga de las siguientes visualizaciones:

- Luces:
  - Tensión en el armario
  - Arranque/paro de cada una de las bombas
  - Térmico de cada una de las bombas
  - Magnetotérmico de cada una de las bombas
  - Paro de cada una de las bombas
  - Estado de cada una de las boyas
- Displays:
  - Intensidad de cada una de las bombas
  - Contador mecánico de horas de funcionamiento de cada una de las bombas
- Pulsadores
  - Marcha/paro para cada una de las bombas
  - Rearme térmico para cada una de las bombas
  - Rearme magneto térmico de cada una de las bombas
- Selectores:
  - Selector manual–controlado bombeo
  - Selector rearmes controlados permitidos /no permitidos

En el caso que la estación remota gobierne el bombeo, es aconsejable que el cuadro de maniobras disponga de un Watchdog que, mediante un sistema de relés y temporizadores, define el sistema de seguridad en caso de fallo de la remota. Cuando el Watchdog avisa de que se ha perdido la conexión entre el cuadro de maniobras y la remota, entonces el control del bombeo en cuestión pasa a modo manual, y por lo tanto, solo se puede accionar des el cuadro de maniobras, o bien se regula el solo automáticamente en función de las boyas de nivel, quedando anulado todo gobierno de telemando.



Figura 79 Cuadro de maniobras del tanque de Urgell (Barcelona).

### 5.7.6 Estación remota

Las funciones de las estaciones remotas de bombeo son básicamente las siguientes:

- Adquisición en tiempo real de las señales indicativas del estado de funcionamiento de los equipos instalados (bombas, grupo electrógeno, boyas, limnímetros,...).
- Regulación local, global o control remoto para operador.
- Envío en tiempo real de la información obtenida de los equipos hasta el Centro de Control, y recepción desde el mismo de las órdenes de control.

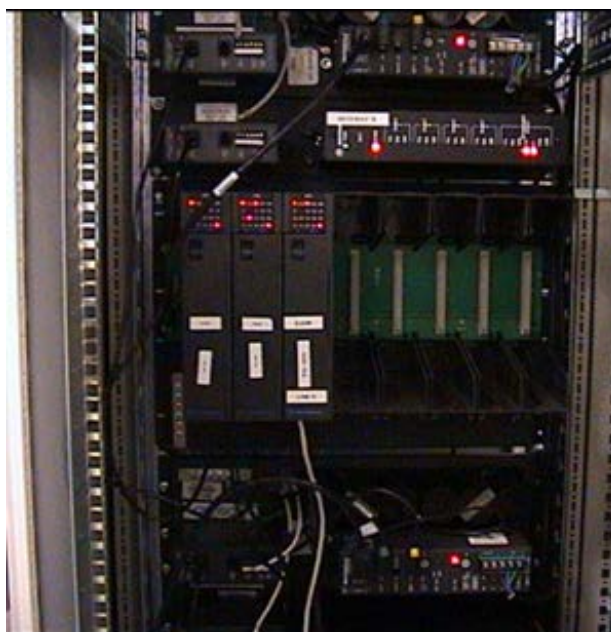


Figura 80 Ejemplo de estación remota en bombeo de Barcelona.

En el caso que la estación remota gobierne el bombeo, es aconsejable que el cuadro de maniobras disponga de un Watchdog que, mediante un sistema de relés y temporizadores, define el sistema de seguridad en caso de fallo de la remota.

Las estaciones remotas suelen estar instaladas en un armario, que están formadas por el conjunto de equipos hardware necesario para realizar la adquisición de datos generados por los sensores, el software necesario para su tratamiento y almacenaje, así como los equipos para su transmisión.

Los equipos y las instalaciones incluidos en las estaciones remotas son habitualmente los siguientes:

- Microordenador industrial, normalmente alimentado a 12 o 24 V., mediante una fuente de alimentación de 220 V. y unas baterías de emergencia que le permitirán un funcionamiento normal durante 1 hora sin alimentación de red. Además los correspondientes módulos de adquisición de las señales de los equipos de control incluyendo E/S digitales, E/S analógicas, puerto/s serie, etc.
- La conexión a los distintos elementos a controlar se realizará mediante puntos de interconexión libres de potencial.
- Elementos de control automático, remoto y local de elementos reguladores.
- Protecciones eléctricas de posibles descargas que puedan llegar tanto de la acometida eléctrica, de las líneas telefónicas, como de los propios sensores.
- Señales generales de funcionamiento de la remota, que habitualmente son las siguientes:
  - o Alarma falta de red
  - o Alarma baja batería de emergencia
  - o Alarma de mantenimiento
  - o Alarma global de funcionamiento
- Instalación necesaria para la alimentación de los equipos de control, fuente de alimentación, fusibles, diferenciales, protecciones de sobretensiones, etc.
- Unidad de procesamiento de control (CPU) del microordenador industrial, con funciones de control, tratamiento, grabación de datos y gestión de comunicaciones.
- Software de PLC local y del sistema de adquisición de datos.
- Red de comunicaciones funciona en base a Radio (GSM, GPRS, 3G, 4G, radio convencional, etc.), por cable, módems, router y antena (omnidireccional o directiva), equipos Ethernet, líneas digitales RDSI, ADSL, fibra óptica, sistema TETRA, etc.

- Terminal táctil de operador.
- Software necesario y sus actualizaciones.



Figura 81 Ejemplo de cuadro de control.

Las señales que se recomienda que sean adquiridas para la remota para su funcionamiento y telecontrol son las siguientes:

- Modo manual
- Modo controlado
- Rearmes controlados permitidos
- Para cada una de las bombas: marcha, magnetotérmico, sonda térmica e intensidad
- Estado de cada una de las boyas
- Tensión cuadro de maniobras

Con la evolución de los registradores de datos (data-loggers, que tienen la función de registrar datos de los sensores asociados), al dotarles de un sistema de comunicaciones móviles tipo GSM o GPRS, va implicando la adquisición de las

funcionalidades más parecidas a las estaciones remotas, aunque con una menor capacidad de telesupervisión y calidad pero con requerimientos menos exigentes en cuanto a su instalación.

## 5.8 Diseño de las instalaciones complementarias

### 5.8.1 Sistema de compuertas

La elección del tipo de compuerta viene condicionada con la posición de seguridad que lleva asociada. Se llama posición de seguridad de una compuerta, aquella posición a la que irá la compuerta por acción de la gravedad, en caso de fallo en el suministro de accionamiento.

En este sentido la tipología de compuerta más adecuada en base a la función que realiza la compuerta se adjunta en la tabla 15:

| Posición                            | Posición de seguridad                                      | Tipología                                                                    | Observaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Entrada al depósito</b>          | Abierta                                                    | Movimiento vertical o axial con cierre ascendente                            | Esta compuerta puede evitarse en función del diseño de la obra de entrada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Salida del depósito</b>          | Cerrada                                                    | Movimiento vertical o axial con cierre descendente                           | Por razones de seguridad estructural y funcional se aconseja dividir esta compuerta en dos cuerpos, lo que permite la maniobra de vaciado a pesar de que una de ellas no funcione. En condiciones normales, una de ellas se mantiene cerrada mientras que la otra se mueve en función de la regulación establecida. Periódicamente se intercambiarán las funciones a realizar por las compuertas |
| <b>Derivación o bypass</b>          | Cerrado el acceso a la red y abierto el acceso al depósito | Una única compuerta con movimiento horizontal gestionando los dos colectores | Si la obra civil no lo permitiera se colocarían dos compuertas verticales una para cada colector. En el de entrada con cierre ascendente y en el de bypass con cierre descendente.                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Vaciado de módulos</b>           | No tiene                                                   | Clapeta anti retorno                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Compartimentación de módulos</b> | Cerrada                                                    | Movimiento vertical con cierre descendente                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Tabla 15 Elección de tipo de compuerta

Básicamente el accionamiento automático de las compuertas puede ser eléctrico o hidráulico.

Como norma general para las compuertas con una función crítica en la gestión del depósito (compuerta de derivación y compuerta de salida) se recomienda que el accionamiento de las mismas sea mediante cilindros hidráulicos ya que este sistema presenta la ventaja de que en caso de avería las compuertas van por acción de su propio peso a la posición de seguridad. Además este sistema permite la realización de un último movimiento con la presión acumulada en un calderín.

El problema de los sistemas hidráulicos es su elevado coste en el mantenimiento de las instalaciones que llevan asociadas. Por ello, para compuertas con funciones auxiliares, siempre que la configuración del tanque y el tamaño de la compuerta lo permitan, es viable la utilización de accionamientos eléctricos.

### **5.8.2 Suministro de agua**

Para realizar los diferentes trabajos de mantenimiento del depósito es necesario disponer de un sistema de suministro de agua. Este suministro dependerá básicamente de los sistemas de limpieza existentes. Como norma general existirán dos sistemas de abastecimiento independientes, debido a las diferentes condiciones de uso:

- Sistema que alimenta al sistema de limpieza automático
- Sistema que alimenta al sistema de limpieza manual

En tanques pequeños que no dispongan de sistema de limpieza automático, el sistema de limpieza manual puede conectarse directamente a la red de agua potable.

En el resto de los casos se dispondrá de un depósito de cabecera o tanque de almacenamiento que abastecerá a cada uno de los dos circuitos mediante sendos sistemas de bombeo independientes.



Figura 82 Circuito de agua a presión

El tanque de almacenamiento generalmente está situado adosado a la estructura del depósito de retención, con un volumen suficiente para satisfacer los diferentes usos previstos. El criterio de diseño es que tenga un volumen de agua suficiente para poder realizar dos ciclos completos de limpieza.

Este tanque se alimentará a su vez directamente de la red de abastecimiento de agua, y en caso de que sea factible mediante una captación de agua freática. Para ello será necesaria la ejecución de una captación que constará de unos pozos de captación equipados con las respectivas bombas que llevarán el agua hasta el depósito de almacenamiento.

Los grupos de presión estarán ubicados en una cámara seca junto a toda la verdulería necesaria.

Para poder realizar la limpieza manual, las bocas de presión se situarán tanto a nivel inferior para la limpieza de la solera como en las pasarelas. Se aconseja que las mangueras sean de 2 pulgadas y 25 m de largo. La presión en el punto de salida será de 4 bar funcionando 2 o 3 bocas a la vez, dependiendo de la forma y tamaño del depósito.

Aprovechando las instalaciones de captación de agua del freático se puede utilizar el agua para otros usos como el riego de zonas verdes, el llenado de estanques o la instalación de hidrantes para el llenado de camiones-cuba para limpieza de las vías públicas. Todos estos usos deberán ser servidos con sistemas de abastecimiento independientes a los usos del propio tanque. Adicionalmente el volumen del depósito de almacenamiento deberá tener un volumen que garantice estos nuevos abastecimientos, de forma independiente a los usos del depósito.

Es norma de buena práctica prever la posibilidad de llenar el depósito de almacenamiento con un suministro de agua potable, para prever la posibilidad de carestía en el suministro de agua freática.

### 5.8.3 Otras instalaciones

Dentro el tanque y en función de su envergadura se pueden encontrar otras instalaciones auxiliares que facilitan las diferentes operaciones de explotación y mantenimiento. Estas son:

- Sistema eléctrico
  - Equipos eléctricos en contacto con el agua residual. Dentro del tanque se ubican diversos equipos eléctricos (interruptores de nivel por flotación (boyas), medidores de nivel hidrostáticos, etc.) que se encuentran en contacto con el agua residual y que deben ser mantenidos. Dichos equipos serán manipulados por el personal encargado del mantenimiento y en muchas ocasiones se hace sin interrumpir el suministro eléctrico. Es por ello que para evitar posibles accidentes en el caso de derivaciones de los equipos es recomendable que su alimentación sea con 24 voltios.
  - Por otro lado dentro del tanque, se hace necesario colocar cableado eléctrico (alimentación de los equipos de limpieza, iluminación...). Siempre que sea posible se conectaran directamente al cuadro sin empalmes. En los casos en que no sea factible por la distancia a los CCMs (se suelen o deben colocar en salas aparte para evitar problemas con la humedad del tanque, gases que provocan corrosión, etc.) se debe garantizar que las conexiones eléctricas tengan un nivel de protección IP68, es decir, deben soportar la inmersión completa y continua sin que se produzcan filtraciones, de manera que se garantice una estanqueidad adecuada y que garantice la seguridad del personal de mantenimiento.
- Iluminación. El sistema de iluminación debe garantizar unas luminancias medias de:
  - Solera del depósito: 20 lux
  - Pasarelas perimetrales: 100 lux
  - Iluminación de emergencia: 5 lux
  - Los sistemas de iluminación se diseñaran con un sistema de protección IP-66.
- Ventilación. Debe preverse un sistema de ventilación, natural o forzada. Siempre que sea posible es recomendable la ventilación natural. Se dimensionará la ventilación de manera que se consiga un mínimo de una renovación a la hora en el interior del depósito. En el diseño de la ventilación hay que tener especial cuidado

en que no queden zonas muertas donde pueda existir una acumulación de gases. Una buena ventilación es fundamental tanto a nivel de operatividad como de seguridad una correcta ventilación en un tanque de tormentas por diversas razones:

- Evitar intoxicaciones con SH<sub>2</sub> de los trabajadores encargados de realizar las labores de mantenimiento.
- Evitar corrosión de los equipos instalados.



Figura 83 Tanque de tormentas con ventilación natural a la derecha, canal central circulación agua residual y aliviadero a la izquierda

- Tratamiento de olores. En zonas donde puedan existir problemas de malos olores con la consiguiente afección a la ciudadanía se recomienda proyectar un sistema de tratamiento de olores mediante filtros de carbón activo. No deben usarse filtros biológicos ya que estos solo son eficaces con un funcionamiento continuo, cosa que no es el caso de los tanques de tormenta.
- Sistemas de elevación. Es recomendable la instalación de puentes grúa y polipastos eléctricos en el tanque de forma que se pueda realizar la elevación de los equipos cuando haya que realizar labores de limpieza, mantenimientos preventivos y correctivos. Además en los tanques de tormenta de grandes dimensiones en ocasiones la acumulación de sólidos en el fondo del mismo es alta y para estos casos se debe prever sistemas de elevación para poder extraer los sólidos con medios mecánicos dado que manualmente sería inviable realizarlo. Este tipo de sistemas además de incrementar el rendimiento del personal de

mantenimiento, aumenta la seguridad en los trabajos a realizar dado que al estar previsto el polipasto y el puente grúa en la fase de proyecto, este se ubicará en la posición más favorable para poder extraer los equipos necesarios.



Figura 84 Locales técnicos, tapas de extracción de equipos y polipasto

- Sistema de detección de gases La ausencia de oxígeno, presencia de sulfhídrico o gas metano debe evitarse para poder garantizar la seguridad de todos los trabajadores encargados de realizar las labores de mantenimiento del tanque de tormentas. Por ese motivo es recomendable colocar medidores de gases en continuo dentro del tanque de forma que en todo momento se pueda conocer las concentraciones de dichos gases y se pueda emitir una alarma acústica y/o luminosa en el caso que se supere la concentración de alarma de los gases vigilados. En los tanques de grandes dimensiones es complicado el controlar todo el volumen de aire que hay dentro del tanque por lo que se recomienda la obligatoriedad de disponer de un medidor de gases portátil que deberá llevarse cuando se acceda al interior del tanque.
- Grupo electrógeno. El grupo electrógeno es deseable que esté situado en la cámara seca. Es recomendable que tenga una potencia suficiente para mantener en funcionamiento la estación en potencia continua y sea del tipo estático insonorizado con cuadro de maniobras automático. El grupo electrógeno tiene que ser capaz para suministrar potencia de forma simultánea para el número total de bombas, iluminación del tanque estación remota sistema de ventilación. El grupo electrógeno conviene que disponga de un depósito de gasoil que garantice

su funcionamiento ininterrumpido durante unas 48 h. El cuadro de maniobras automático tiene que estar equipado como mínimo con los siguientes elementos:

- contactores de potencia de red y de grupo
- detectores de fases
- cargador de baterías
- barras de utilización
- instrumentación para el control y maniobra del grupo
- contacto libre de señal
- manguera de 6 m para la conexión del grupo al cuadro
- Luces de tensión de red o de grupo
- Luz de avería
- Luz de alarma de gasoil
- Pulsador de marcha/paro del grupo
- Pulsador de rearme del grupo

Se recomienda que cada bombeo provoque el arranque del grupo según los siguientes criterios:

En modo de funcionamiento manual, el grupo electrógeno se arrancará cuando simultáneamente haya fallo de suministro eléctrico y el nivel de agua en la estación de bombeo como mínimo supere la altura de la boya de máximo de la cámara. Se apagará cuando se cumpla una de las siguientes condiciones: A) restablecimiento del suministro eléctrico; b) nivel de agua en la estación de bombeo inferior a la altura de la boya de mínimo de la cámara. Para poder evitar continuos arranques y paradas del grupo, éste tiene que estar en funcionamiento un cierto tiempo antes de ser parado. Por tanto, la parada será temporizada.

## 5.9 Locales técnicos

En el diseño de los locales debe preverse espacio suficiente para contener las siguientes dependencias:

- Sala de control donde se dispondrán de los cuadros eléctricos y cuadros de control
- Zona con acceso a bombas de vaciado del depósito con polipasto o puente-grúa para poder realizar las tareas de mantenimiento rutinarias de estos equipos.
- Zona con acceso a bombas de suministro de agua con polipasto o puente-grúa para poder realizar las tareas de mantenimiento rutinarias de estos equipos. Esta zona, en función del diseño, puede ser la misma que la anterior.



Figura 85 Acceso al mantenimiento de las bombas

- Cámaras secas de las compuertas con los grupos oleohidráulicos
- Estación transformadora si es necesaria
- Sala del grupo electrógeno con el depósito de combustible
- Almacén
- Vestuario con ducha y W.C.



Figura 86 Local técnico de un tanque

Siempre que sea posible, y que la integración urbanística lo permita es recomendable construir los locales técnicos en superficie, convenientemente integrados con el entorno. Si ello no es posible podrían integrarse en una construcción enterrada. En este caso deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Disponer de un acceso desde el exterior mediante un edículo



Figura 87 Edículo de entrada a unos locales técnicos enterrados

- Disponer de un acceso al depósito que asegure la estanqueidad de los locales



Figura 88 Acceso a los locales técnicos mediante compuerta estanca

- Disponer de los necesarios elementos de impermeabilidad y drenaje para evitar posibles humedades o inundaciones.

Finalmente se deberá tener en cuenta que los locales técnicos se equiparan con las siguientes instalaciones:

- Sistema eléctrico
- Sistema de iluminación.
- Sistema de iluminación de emergencia

- Sistema de ventilación. Importante en el caso de construcciones enterradas asegurar una renovación de 5 veces el volumen de aire. Para ello se proyectará una ventilación con entrada de aire natural y extracción forzada.
- Sistema de climatización con bomba de calor de la sala de control que permita mantener una temperatura entre los 21º y 25º C. En el diseño de esta climatización deberá tenerse en cuenta las cargas térmicas debido al uso de personas, ordenadores, iluminación... Es importante mantener los niveles de humedad bajos para asegurar la durabilidad de los equipos instalados con lo que deberán preverse los drenajes adecuados debidos a la condensación.

## 5.10 Sistema de colectores

### 5.10.1 Criterios de diseño

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, en los casos de tanques de tormentas off-line, el sistema tiene asociado un conjunto de colectores que permiten la circulación del agua entre la red de existente y el tanque. Básicamente los colectores que conforman este sistema son:

- Colector de entrada. Tiene como función llevar las aguas pluviales desde la cámara de derivación hasta el tanque. El colector debe diseñarse con una capacidad igual o superior a la capacidad de la red aguas arriba de la obra de derivación. El diseño de la obra de entrada en un tanque de tormentas dependerá de dos situaciones diferentes:
  - Tanques con aliviadero directo al medio receptor. Se diseñara la obra de entrada de manera que esta no provoque una resuspensión de las partículas ya sedimentadas. La entrada se situará a la cota de la solera, mediante la creación de un rápido en el colector de entrada si es necesario.
  - Tanques sin aliviadero o con aliviadero a la red unitaria. En este caso conviene evitar al máximo la sedimentación en el interior del tanque y proyectar una entrada lo más autolimpiante posible creando las mayores turbulencias en el interior del tanque. Para ello debe:
    - Disponer la entrada a la máxima altura posible
    - Colocar la entrada y la salida de forma tangencial de manera que se pueda mantener un movimiento rotacional.
- Colector de salida. Tiene la función de reintegrar el agua almacenada en el tanque a la red de saneamiento. Puede ser de dos tipos:
  - Funcionamiento por gravedad. El colector debe diseñarse con una capacidad igual o superior a la capacidad de la red aguas debajo de la obra de incorporación.

- Funcionamiento por impulsión. Los colectores se dimensionan en función de los equipos de bombeo instalados.
- Colector de Bypass. Tiene la función de permitir el paso de las aguas pluviales entre la cámara de derivación y la cámara de salida cuando el tanque está fuera de servicio. En función de la configuración de la cámara de derivación, pueden darse dos situaciones:
  - Utilizar como colector de bypass el colector existente.
  - Construir un nuevo colector con una capacidad igual o superior a la capacidad de la red aguas arriba de la obra de derivación.

### 5.10.2 Construcción de colectores

Las características geométricas de los colectores y la metodología a utilizar para su construcción dependen de numerosos factores entre los que se pueden citar:

- Características del terreno
- Profundidad del colector
- Disponibilidad de espacio
- Afectaciones a la superficie

Analizados estos aspectos se elegirá el mejor sistema constructivo que puede ser:

- Excavación a cielo abierto. Esta metodología es la más adecuada para colectores con profundidades inferiores a 6 metros.
- Excavación en túnel o en mina. Metodología válida para grandes colectores a profundidades superiores a los 6-7 metros. Metodología cara y solo rentable para grandes longitudes.
- Colectores hincados o empujados. Se utiliza para obras especiales de cruces con otros servicios o infraestructuras. En función de las dimensiones del colector es necesario disponer de un espacio importante para la implantación de la obra.



Figura 89 Sistema de colectores asociados a un tanque de tormentas

# 06.

---

## EXPLOTACIÓN



## 6 EXPLOTACIÓN

### 6.1 Consideraciones generales

Las actividades comprendidas dentro de la explotación de un tanque de tormentas tienen como finalidad operar, asegurar y mejorar el funcionamiento del tanque tanto en tiempo seco como durante y después de los episodios de lluvia.

De esta manera se entiende por explotación tanto las labores realizadas en sistemas altamente tecnológicos con un sistema de telecontrol y un sistema de explotación centralizada como las acciones en sistemas menos sofisticados.

En los siguientes apartados se describirán las actividades que configuran la operación de los sistemas más tecnológicos, entendiendo que estos son los que tienen una explotación más compleja. Para el resto de sistemas, podrá realizarse una simplificación y adaptación de la metodología descrita aquí.

Para estos sistemas más sofisticados tecnológicamente la explotación se basa en dos sistemas:

- El sistema de telecontrol: Comprende el conocimiento de las magnitudes más variables de la red, la telesupervisión de lluvia, niveles, caudales, calidad del agua, etc., así como el telemando de las instalaciones de la red que regulen la distribución de caudales y los vertidos al medio. Esto se realiza con una serie de equipos: sensores, estaciones remotas, red de comunicaciones, y centro de control, y de software: SCADA, programas de cálculo, de control de los actuadores y de traspaso a la Base de Datos de Explotación (BDE).
- El sistema de explotación centralizada: Comprende una serie de aplicaciones informáticas de explotación y su hardware de soporte: actualizaciones en tiempo real de la BDE, sistema de alerta preventiva de emergencia, concentración de datos meteorológicos, sistema de control de la calidad de los vertidos, etc.

Mediante esta explotación centralizada y el sistema de telecontrol, es posible conocer en todo momento el estado de la red de alcantarillado. De este modo, se pueden operar consecuentemente los actuadores existentes en uno o varios tanques simultáneamente. Además permite detectar anomalías en las instalaciones en tiempo seco así como realizar tareas de mantenimiento preventivo a distancia.

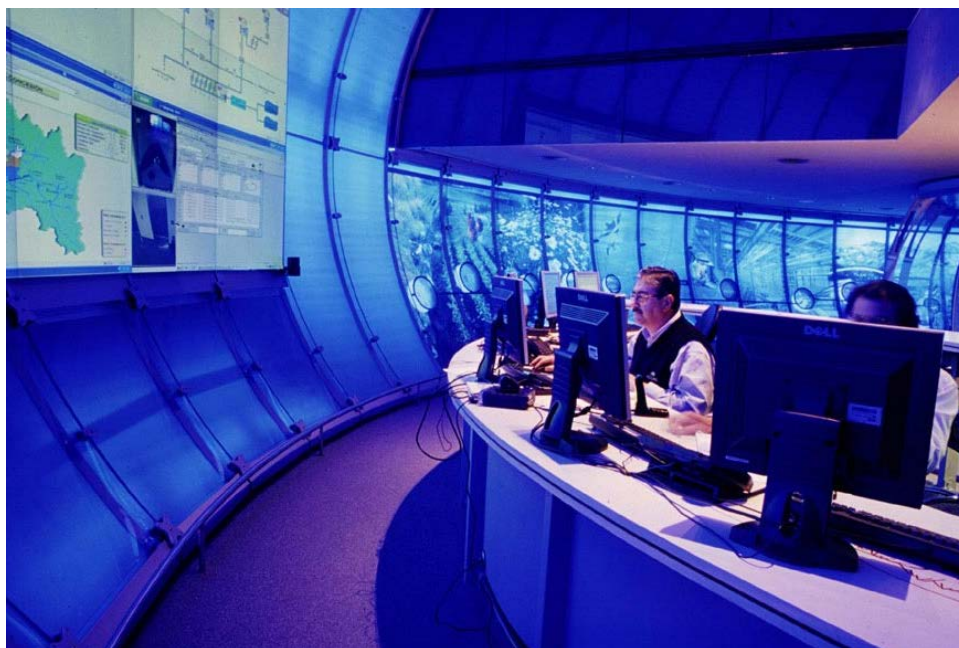


Figura 90 Ejemplo de centro de control desde donde se puede realizar la explotación centralizada de los tanques (Santiago de Chile).

La línea que delimita las tareas de explotación y las de mantenimiento es algo difusa, sobre todo para las tareas de explotación ordinaria y de mantenimiento preventivo. Efectivamente, según como se mire, algunas de las tareas de explotación ordinaria podrían clasificarse como las primeras del mantenimiento preventivo puesto que permiten detectar precozmente diferentes funcionamientos anómalos de los tanques y viceversa, algunas de las tareas de mantenimiento preventivo podrían formar parte de la explotación ordinaria. Es por ello que muchas veces estos dos capítulos se presentan en un único apartado de “explotación y mantenimiento”. En esta guía sin embargo se ha optado por distinguirlas y separarlas en capítulos diferentes.

Las tareas básicas comprendidas en una explotación de un tanque de tormentas se pueden dividir en las tres fases diferentes:

- Gestión ordinaria en tiempo seco: Se recomienda realizar un seguimiento periódico (diario, semanal o mensual) de los elementos del tanque que incluye la recepción y validación de datos, comprobación del funcionamiento correcto de los actuadores, detección de anomalías, y revisión del software del centro de control. También incluye dar soporte al mantenimiento de las incidencias detectadas.
- Gestión por episodio en tiempo de lluvia: En este caso se debe actuar de la manera más eficiente posible y para ello es recomendable tener definidas previamente las acciones a realizar. En general las acciones implican llevar un control permanente de la pluviometría, del estado del tanque y del correcto funcionamiento de los sensores y actuadores de este.

- Gestión post-episodio: Una vez pasado el episodio, sobre todo si este ha sido significativo, conviene analizarlo para detectar posibles mejoras a aplicar en el futuro.



Figura 91 Tanque de tormentas de Butarque

## 6.2 Explotación ordinaria

La explotación ordinaria se compone de las tareas de seguimiento que deben realizarse de forma periódica por un técnico de explotación. Estas tareas, que se realizan en tiempo seco, permiten asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de gestión del tanque, el telecontrol y la explotación centralizada.

Deben redactarse una serie de protocolos y fichas de trabajo donde queden descritas y definidas las tareas a realizar por el técnico responsable la periodicidad, diaria, semanal o mensual, en las que deben realizarse. Cualquier anomalía detectada durante estas tareas debe anotarse en un diario de explotación. Es conveniente que este diario se haga mediante una base de datos formada por varias tablas relacionadas, donde se debe encontrar como mínimo la siguiente información:

- Tabla de sensores
- Tabla de actuadores
- Tabla de tipo de incidencias

- Tabla de incidencias
- Tabla de actuaciones

El conjunto de anomalías detectadas y previamente priorizadas deben ser comunicados al responsable de mantenimiento para su resolución.

### 6.2.1 Seguimiento del telecontrol

El sistema de telecontrol formado por la telesupervisión y el telemando, es esencial para optimizar los volúmenes regulados por el tanque durante un episodio de lluvia. Forman parte de las tareas de seguimiento del telecontrol:

- Comprobación de alarmas: Es habitual que el SCADA disponga de diversas alarmas que alerten de posibles problemas (de comunicaciones, de malfuncionamiento de sensores, actuadores, etc.). El técnico deberá localizar diariamente las alarmas activas, comprobar si son resolubles por medios propios y en caso de no ser así, hacer un diagnóstico lo más preciso posible y comunicarlo al responsable de mantenimiento para su resolución.
- Comprobación de sensores: Se debe comprobar el correcto funcionamiento de las estaciones remotas y de los sensores existentes (pluviómetros, limnímetros, caudalímetros, estaciones de calidad, etc.) verificando que los datos aportados son correctos. Esto se puede hacer automáticamente mediante la programación de alarmas más o menos complejas relacionadas con un software de validación de datos, o mediante la experiencia del propio técnico comparando los valores con los medidos en otras circunstancias similares (otros días de tiempo seco normalmente, en que los valores suelen seguir unos patrones muy claros).
- Comprobación de actuadores: Debe realizarse el seguimiento diario de las instalaciones de compuertas, bombeos, sistemas de limpieza y demás actuadores del tanque. Se analiza el estado físico de estos comprobando las diferentes pantallas y señales del SCADA (protecciones, alimentaciones, sensores, mecanismos, posiciones, etc.) identificando que están en la posición habitual. De forma periódica se cambia la posición de los actuadores (compuertas, bombeos, etc.) para comprobar que están operativos. También se deben comprobar las consignas de los actuadores y en caso de existir diferentes modos de control (manual, local, central) se comprueba que están en el modo correcto y de no ser así se investigan los motivos y se corrige en caso de ser necesario.
- Comprobación del SCADA y otras aplicaciones de ayuda a la explotación: El SCADA es el software que permite controlar y supervisar en tiempo real el funcionamiento del tanque permitiendo controlar el proceso de forma automática mediante la recepción de los datos de los sensores y mandando las órdenes de actuación a los actuadores. Por ello es tan importante comprobar el correcto

funcionamiento de este software y de otras aplicaciones de ayuda a la explotación del tanque que puedan estar disponibles

### 6.2.2 Seguimiento del sistema de explotación centralizada

Entre las principales tareas del seguimiento del sistema de explotación centralizada cabe destacar:

- Control de accesos, operaciones e incidencias: Para garantizar la seguridad del personal que trabaja tanto en el tanque, como en la red situada aguas debajo de este, es conveniente disponer de un control de accesos al tanque y a la red, así como de las operaciones que en ella se realicen y de las incidencias que puedan surgir ocasionalmente. Para ello es de gran ayuda disponer de formularios para peticiones de acceso, avisos en caso de lluvia y avisos en caso de operaciones y/o incidencias en el tanque que conlleven un riesgo.
- Previsión meteorológica y establecimiento de avisos de lluvia: Se debe realizar un seguimiento de la previsión meteorológica a medio y largo plazo basada en la información disponible (como mínimo usando la información facilitada por los diferentes servicios meteorológicos tanto de previsión para los próximos días, como de imágenes del radar meteorológico e imágenes del Meteosat). Estas previsiones permiten anticiparse a los episodios de lluvia permitiendo iniciar las actuaciones y los avisos necesarios para estar preparado cuando estos finalmente se produzcan.
- Establecimientos de niveles de alerta: Para definir de forma clara los protocolos o fichas de seguimiento sobre cómo proceder en cada situación, es conveniente definir unos niveles de alerta (basados en riesgo de lluvia, en la lluvia registrada, en niveles en el tanque o combinación de todas ellas). Así diariamente se debería establecer el nivel de lluvia correspondiente.

### 6.3 Explotación durante el episodio

Durante el transcurso de un episodio de lluvia, es recomendable tener definidas previamente las acciones a realizar, con la doble finalidad de poder reaccionar de forma rápida ante una emergencia, y además asegurarse que ante situaciones o episodios similares se actuará de forma homogénea, independientemente del criterio y la experiencia que el técnico responsable tenga en ese momento.

Así sería deseable disponer de un manual o protocolo de actuaciones y prioridades. Este manual debe describir un modelo de actuación conjunta del explotador del tanque, el de la estación depuradora y en general de los servicios municipales y responsables de la calidad en el medio receptor, para poder garantizar una coordinación en la gestión que permita minimizar los vertidos y/o sus efectos en el medio receptor.

Estos manuales son la documentación básica de referencia para los operadores de los tanques y deben especificar el funcionamiento de cada uno de los actuadores de los tanques en función del nivel de alerta definido.

Lo habitual y recomendable es que durante un episodio de lluvia, el operador realice un seguimiento detallado de las principales variables que caracterizan el episodio de lluvia a través de los datos registrados por los pluviómetros y de las imágenes radar de que se disponga. Asimismo, se debería realizar un seguimiento del funcionamiento de las instalaciones del tanque incluso en el caso de que la regulación de estos esté programada automáticamente para verificar que no se produce ningún fallo. Para todo ello, es recomendable utilizar pantallas resumen del episodio (indicando máximos de lluvia, gráficos de evolución, etc.) y de los actuadores con sus consignas y gráficos de evolución de los niveles del tanque, caudales de entrada, salida, vertidos, posiciones de compuertas, funcionamiento de bombes, etc.

Según la gravedad de los impactos de los vertidos del tanque, también puede ser recomendable establecer un protocolo de actuación en caso de vertidos dónde se defina claramente cada uno de los grupos que han de intervenir y sus funciones. Este protocolo incluirá la sistemática de envío y recepción de avisos.

#### **6.4 Explotación post – episodio**

Después de un episodio de lluvia, se deberán realizar análisis del funcionamiento de los sistemas para comprobar que han funcionado correctamente y que se han seguido las consignas previstas en los protocolos. Dada la cantidad considerable de datos que se puede llegar a generar durante un episodio de lluvia, esta tarea se ve facilitada si los informes de funcionamiento de sensores y de actuadores del tanque pueden estandarizarse y realizarse de manera automática sobre los datos recogidos por el sistema de telecontrol.

Idealmente se debe buscar poder realizar un balance de un episodio con los datos pluviométricos, los caudales de entrada en el tanque, los niveles alcanzados, los caudales vertidos por el aliviadero de emergencia y los caudales regulados por la salida del tanque (ya sea mediante orificios, compuertas o bombes), además de las maniobras de los diferentes actuadores. También debería poder estimarse (en base a sensores de calidad online en campañas de muestreo puntuales) un balance de la carga contaminante gestionada en el tanque (la que entra, la que se vierte al medio receptor sin tratamiento por el aliviadero de emergencia, y la que se gestiona en el tanque, ya sea porque queda retenida directamente en él o porque es enviada a la depuradora.

Es siempre importante recordar que el objetivo de los tanques de retención es reducir la contaminación vertida y el impacto de esta contaminación en los medios receptores y que por tanto debemos ser capaces de justificar que este objetivo se está

cumpliendo y preguntarse si se puede mejorar la gestión del tanque para optimizar este objetivo. En este sentido, todo lo que sea aumentar la coordinación entre la gestión del tanque y de la estación depuradora permitirá depurar el máximo caudal posible y por tanto minimizar las descargas al medio. Esta coordinación puede realizarse en diferentes niveles y complejidades, desde la interconexión de los sistemas de manera que en cualquier momento el gestor de la depuradora pueda saber el funcionamiento del tanque y viceversa, hasta una simple llamada telefónica entre los operadores de ambos sistemas para poder consensuar la mejor estrategia. En cualquier caso y como se ha ido describiendo, aquí también, es conveniente definir estas estrategias de gestión en un protocolo.

# 07.

## MANTENIMIENTO



## 7 MANTENIMIENTO

### 7.1 Introducción

Los tanques de tormenta con el conjunto de instalaciones asociadas son sistemas sujetos a condiciones de funcionamiento extremadamente severas debidas a humedades elevadas, gases corrosivos y acumulación de lodos.

Se entiende como mantenimiento el conjunto de tareas que comprenden la inspección, limpieza, conservación, rehabilitación, reparación y actualización de los componentes y equipos que conforman una instalación.

En el diseño de todo sistema hay que contemplar el mantenimiento que se ha de hacer de él, utilizando elementos de calidad y con una configuración de las instalaciones adecuadas para tal fin. A la hora de diseñar una instalación se ha de tener en cuenta, a parte de los requerimientos técnicos del sensor, los aspectos de accesibilidad del personal de mantenimiento en la ubicación del sensor, evitándose el haber de acceder al colector en las tareas rutinarias de mantenimiento.

Dentro de las operaciones comprendidas en el mantenimiento, estas se pueden englobar en:

- **Mantenimiento Correctivo.** Comprende aquellas actuaciones que se realizan al producirse las averías. Las averías repercuten en la calidad del servicio dado y provocan un incremento en el coste del mantenimiento. Comprende básicamente tres tipos de acciones: detección, diagnóstico y solución de la avería. La solución de la avería puede ser paliativa (reparación provisional), o curativa (reparación definitiva). En cambio el mantenimiento correctivo, de emergencia, o bajo demanda, se realiza como resultado de un problema observado o de la recepción de una queja específica. Requiere una acción inmediata para resolver la emergencia. Además de conseguir la resolución de la incidencia, es importante que la información resultante del mantenimiento correctivo sea utilizada en el establecimiento de los programas de mejora / reposición del servicio, reduciendo así en el futuro el número de emergencias.
- **Mantenimiento Preventivo.** Consiste en una serie de acciones planificadas que permiten disminuir las averías. Un buen mantenimiento preventivo permite anticiparse a las averías, mejorando el servicio y disminuyendo el coste de mantenimiento. Esta planificación se ha de realizar teniendo en cuenta los objetivos fijados o de calidad de servicio y los recursos disponibles, definiendo las acciones de forma selectiva, es decir, incidiendo en los puntos o elementos más críticos y los más probables de averiarse. El mantenimiento preventivo suele

utilizar como herramientas la inspección del tanque y el análisis de los datos existentes sobre las áreas problemáticas detectadas en el pasado, lo cual servirá como guía a los equipos de mantenimiento sobre la localización y la frecuencia con la que se tendría que realizar el mantenimiento preventivo, obteniendo así unos resultados más efectivos. Una correcta programación del mantenimiento preventivo asegura una atención a todas las partes del tanque suficientemente a menudo como para que los problemas puedan ser descubiertos y corregidos.

- **Mantenimiento Predictivo.** Está basado en la monitorización de ciertos aspectos de las instalaciones, como por ejemplo, las vibraciones de las bombas. Este tipo de mantenimiento permite detectar anomalías incipientes y poder conocer la evolución del estado de funcionamiento para evitar averías. Eso permite mejorar el mantenimiento preventivo y correctivo, disminuir sus costes, y aumentar la calidad del servicio dado por las instalaciones. En el ejemplo de las vibraciones de las bombas, permite evitar algunas averías y seleccionar el mejor momento posible para el desmontaje de la bomba, para su revisión.

La concepción global del mantenimiento de la red de alcantarillado abraza también las diversas tecnologías que hacen posible su explotación centralizada y activa.

Este entorno tecnológico tiene una doble vertiente. Está básicamente compuesto por los equipos electromecánicos de medida y de acción sobre la red y por soportes y técnicas informáticas, que permiten automatizar, centralizar y coordinar, tanto la operación como el resto de actividades de la gestión del alcantarillado.

La especificidad de las dos tecnologías da lugar a procedimientos de mantenimiento específicos, por lo que, a efectos de descripción, se distingue el mantenimiento de los sensores y actuadores por un lado y de los sistemas informáticos por el otro.

El mantenimiento debe tender a la utilización óptima de la mano de obra, el equipo y los materiales para mantener el tanque en un buen estado de forma que pueda cumplir eficientemente su función.

En cualquier caso, tendrá que existir un equilibrio entre el coste del mantenimiento preventivo y el beneficio que se obtiene de él, no existiendo ningún método preciso para determinar exactamente cuánto mantenimiento preventivo se ha de realizar.

## **7.2 Mantenimiento preventivo**

### **7.2.1 Introducción**

Las operaciones de mantenimiento preventivo hacen referencia, como se ha indicado, a las tareas habituales y periódicas que se realizan durante la vida útil del tanque al objeto de mantener su nivel de servicio y retrasar su deterioro. Son básicamente la inspección del tanque y de todos sus elementos, su limpieza y el mantenimiento de otros elementos como estaciones de bombeo, actuadores y sensores.



Figura 92 Operación de mantenimiento preventivo en cuadros de control de un tanque.

### 7.2.2 Plan de Mantenimiento

Con el objetivo de que todos los equipos de los sistemas a mantener produzcan su servicio, y teniendo en cuenta el equipo humano y el material de que se disponga, es recomendable definir un Plan de Mantenimiento. Este plan evolucionará conforme se conozca la fiabilidad de los equipos y del tiempo técnico de reparación.

El Plan tiene que contemplar al menos los siguientes puntos:

- Política de stocks de recambios
- Evaluación y adquisición de equipos y herramientas necesarias
- Determinación del peso del mantenimiento por grupos de equipos
- Determinación de los grados de mantenimiento correctivo y preventivo a aplicar
- Medida de la fiabilidad y el tiempo técnico de reparación
- Generación de los documentos de seguimiento del plan y evaluación de resultados
- Mejora de equipos y de los sistemas

Para hacer un correcto mantenimiento preventivo es necesario llevar una planificación y control del mismo mediante:

- La definición de un plan de mantenimiento preventivo incluyendo la plasmación de un calendario de las tareas a realizar.

- El registro de las revisiones realizadas, las anomalías detectadas y de las acciones correctoras para la revisión, actualización y mejora de los planes de mantenimiento preventivo y para el estudio de las averías.

### 7.2.3 Mantenimiento de sensores y actuadores

El mantenimiento de los sensores y actuadores viene influido por el medio en el que se encuentran instalados. Los sensores pueden estar ubicados a la intemperie, en el alcantarillado o dentro de un recinto. El peor medio es el alcantarillado, en el cual podemos encontrarnos con tres tipos de casos.

- Equipos no sumergibles
- Equipos sumergibles ocasionalmente
- Equipos permanentemente sumergibles

En el mantenimiento de los equipos no sumergibles, se recomienda comprobar todas las partes móviles y eléctricas con una frecuencia que dependerá de las condiciones ambientales (humedad, etc.). En algunos de estos lugares las corrosiones pueden ser bastante elevadas.

En los equipos sumergibles ocasionalmente nos encontramos con unas condiciones todavía más duras, debido a que la influencia de los productos de ácidos o básicos que circulan por las alcantarillas es más directa. Estos equipos se recomienda que sean de un grado de protección elevado para resistir inmersiones temporales (juntas adecuadas) y por recibir golpes. Después de cada inmersión es recomendable hacer una revisión del equipo.

Los equipos constantemente sumergidos se recomienda que tengan el índice más grande de protección y, además de disponer de una adecuada instalación, que cuenten con una protección mecánica especial. Con estos equipos se recomienda considerar una revisión y una limpieza con una frecuencia muy alta.

El disponer del sistema de telecontrol permite la mejora del servicio y la disminución del coste de mantenimiento, al permitir supervisar en tiempo real los resultados y condiciones de funcionamiento de los equipos lejanos, señalizando mediante alarmas los efectos producidos por las averías importantes, permite realizar algunas tareas de mantenimiento preventivo, sin desplazarse, poderlas automatizar, y llevar a cabo el mantenimiento correctivo con un conocimiento previo del problema. El único inconveniente es añadir a las tareas de mantenimiento los equipos de comunicación desde la estación al centro de control.

A continuación se enumeran algunos puntos críticos de los sensores y actuadores a tener en cuenta a la hora de hacer el mantenimiento.

- Pluviómetro de cazoleta

- Problema en el giro de las cazoletas
- Relé de la red en mal estado
- Colector del pluviómetro embozado
- Cable de conexión
- Descalibración
- Protecciones de sobretensiones
- Limnómetro de presión
  - Desperfectos en la membrana
  - Suciedad en la membrana
  - Cable de conexión
  - Descalibración
  - Desplazamiento del sensor
- Limnómetro de ultrasonidos
  - Avería de la medida debida a la parte electrónica
  - Avería electrónica en la comunicación entre sensor y estación remota
  - Suciedad en la mira del sensor
  - Desplazamiento del sensor
  - Corte del cable de conexión
  - Descalibraje
  - Junta de estanqueidad en mal estado
- Compuertas y válvulas
  - Posicionadores de la compuerta
  - Finales de carrera
  - Presostado
  - Válvula de seguridad
  - Transmisor de presión
  - Electroválvulas
  - Motores
  - Válvulas
  - Anomalías mecánicas

- Magnetotérmicos de motor
- Boyas
- Relés
- etc.
- Bombesos
  - Magnetotérmicos de motor
  - Sondeas térmicas del motor
  - Boyas
  - Relés
  - Motores
  - Anomalías mecánicas
  - etc.

#### 7.2.4 Inspección

La primera operación de mantenimiento de un tanque sería la inspección periódica del mismo con vistas a detectar defectos y problemas de su operativa habitual. Esta inspección visual la hacen los operarios desplazándose al tanque, y visitándolo. Para ello es importante que las distintas partes del tanque resulten accesibles para que se puedan realizar las labores de inspección y de limpieza. Cada tanque debe disponer como mínimo de una escalera que permita el acceso.

La frecuencia de inspección variará con la complejidad de la instalación. Además, una inspección del tanque después de cada suceso de lluvia revelará si es necesaria la limpieza del mismo para evitar la obturación del dispositivo de salida o la eliminación de acumulaciones inusuales de sedimentos. Si se mantiene un diario de mantenimiento con un registro de todas las inspecciones que incluya fechas, horas, nombres de los inspectores y problemáticas detectadas, se pueden identificar tendencias a largo plazo y evitar mayores problemas.

De cara a sistematizar las inspecciones, homogeneizar sus resultados y asegurarse que no queda ninguna parte importante sin comprobar, es recomendable utilizar un formulario o un check-list que el operario irá completando de forma ordenada. Los elementos a inspeccionar en cada visita y que contendrá el check-list como mínimo serán:

- Comprobar la instalación eléctrica.
- Examinar el funcionamiento de los actuadores (bombas compuertas, clapetas, válvulas, etc.)

- Comprobar que las salidas no estén obstruidas.
- Registrar los sedimentos acumulados en el tanque y eliminarlos a ser posible.
- Inspeccionar el sistema de distribución de agua.
- Examinar el correcto funcionamiento de los sensores.
- Buscar zonas con una condensación excesiva.
- Buscar deterioros por corrosión.
- Buscar otras señales de deterioro.

### 7.2.5 Limpieza

En los tanques de cualquier tamaño la limpieza del mismo es una prioridad. Las cargas de contaminación que arrastra el agua en estos tanques son muy importantes y aunque no es habitual encontrar gruesos de gran tamaño, el carácter cohesivo de los materiales en suspensión que decantan en los tanques puede llegar a formar depósitos importantes y difíciles de remover. En este sentido una limpieza periódica y enérgica es la única forma de mantener limpios los depósitos.

Debe señalarse que la movilización puntual y brusca de los depósitos acumulados durante largos periodos supone una sobrecarga importante de las EDAR, es pues conveniente no permitir que los niveles de sedimentos acumulados en los tanques sean relevantes, de manera que es necesario hacer limpiezas periódicas.

Esta limpieza puede automatizarse mediante diversos sistemas sin embargo, normalmente hay que acompañar esta limpieza automática con una limpieza manual y enérgica.

### 7.2.6 Mantenimiento de los bombeos

Los bombeos de los tanques son de las instalaciones que mayor mantenimiento necesitan debido a las sedimentaciones que se suelen dar en los pozos de bombeo. Las bombas deberán inspeccionarse de forma periódica y cumpliendo con las recomendaciones del fabricante, se realizará un seguimiento de su funcionamiento inspeccionando los cuadros eléctricos, funcionamiento del bombeo por reguladores y de forma manual, estado físico de la bomba y de su pozo, comprobación de los sistemas mecánicos, electrónicos, y de comunicaciones, velando no solo por el funcionamiento de las instalaciones, sino por la seguridad de las mismas cumpliendo todas las normativas establecidas.

Se ha de tener en cuenta que al limpiar el pozo de bombas, el nivel de agua del pozo puede bajar tanto que las bombas queden sin nivel, pudiendo entrar aire en las bombas, quedándose estas sin cebar, de manera que cuando vuelva a llenarse el pozo, estas bombas no funcionen. Esto puede implicar que el pozo se llene de manera que todas las bombas queden cubiertas y no se pueda sacar ninguna con el polipasto.

Por ello es importante establecer procedimientos para que al menos una bomba pueda ser cebada y pueda ser utilizada para vaciar el pozo, y de esta manera poder acceder al resto de bombas.

Otros puntos a tener en cuenta durante el mantenimiento son:

- Magnetotérmicos de motor
- Sondas térmicas del motor
- Boyas
- Relés
- Motores
- Anomalías mecánicas

### **7.2.7 Mantenimiento de compuertas**

Para el caso de las compuertas, periódicamente y según un plan anual preestablecido, se deberá realizar un seguimiento de su funcionamiento, inspeccionando los cuadros eléctricos, grupos oleohidráulicos, funcionamiento de los reguladores, etc. Se deberá comprobar también el estado físico de la compuerta y de todas las instalaciones asociadas.

En particular los puntos críticos a tener en cuenta son:

- Posicionadores de la compuerta
- Finales de carrera
- Presostado
- Válvula de seguridad
- Transmisor de presión
- Electroválvulas
- Motores
- Válvulas
- Anomalías mecánicas
- Magnetotérmicos de motor
- Boyas
- Relés

### **7.2.8 Mantenimiento de sensores**

El mantenimiento de los sensores y actuadores viene influido por el medio en el que se encuentran instalados. Los sensores pueden estar ubicados a la intemperie, en el

alcantarillado o dentro de un recinto. El peor medio es el alcantarillado, en el cual podemos encontrarnos con tres tipos de casos.

- Equipos no sumergibles
- Equipos sumergibles ocasionalmente
- Equipos permanentemente sumergibles

En el mantenimiento de los equipos no sumergibles, se recomienda comprobar todas las partes móviles y eléctricas con una frecuencia que dependerá de las condiciones ambientales (humedad, etc.). En algunos de estos lugares las corrosiones pueden ser bastante elevadas.

En los equipos sumergibles ocasionalmente nos encontramos con unas condiciones todavía más duras, debido a que la influencia de los productos de ácidos o básicos que circulan por las alcantarillas es más directa. Estos equipos se recomienda que sean de un grado de protección elevado para resistir inmersiones temporales (juntas adecuadas) y por recibir golpes. Después de cada inmersión es recomendable hacer una revisión del equipo.

Los equipos constantemente sumergidos se recomienda que tengan el índice más grande de protección y, además de disponer de una adecuada instalación, que cuenten con una protección mecánica especial. Con estos equipos se recomienda considerar una revisión y una limpieza con una frecuencia muy alta.

El disponer del sistema de telecontrol permite la mejora del servicio y la disminución del coste de mantenimiento, al permitir supervisar en tiempo real los resultados y condiciones de funcionamiento de los equipos lejanos, señalizando mediante alarmas los efectos producidos por las averías importantes, permite realizar algunas tareas de mantenimiento preventivo, sin desplazarse, poderlas automatizar, y llevar a cabo el mantenimiento correctivo con un conocimiento previo del problema. El único inconveniente es añadir a las tareas de mantenimiento los equipos de comunicación desde la estación al centro de control.

A continuación se enumeran algunos puntos críticos de los sensores y actuadores a tener en cuenta a la hora de hacer el mantenimiento.

- En general para todos los sensores
  - Comprobación de la medida de los sensores mediante ajuste o calibración del mismo. Para comprobar el correcto funcionamiento de un sensor, se ha de conseguir en condiciones preparadas de antemano una medida conocida, para comprobar que el sensor la reproduce con la exactitud exigida en los requerimientos del sistema. En el caso de un limnómetro por ejemplo, se simula una altura o presión a medir, y se comprueba que coincida con el valor que entrega el sensor. En el caso de que alguno de

los valores esperados no coincidan con lo recibido se actúa según el protocolo preestablecido para calibrar el sensor y según indique el fabricante.

- Comprobación del conjunto de la instalación del sensor. Se ha de comprobar tanto el estado de funcionamiento como el estado de seguridad de los aspectos mecánicos, eléctricos, electrónicos, de comunicaciones y de conservación del conjunto de la instalación.
- Pluviómetro de cazoleta
  - Problema en el giro de las cazoletas
  - Relé de la red en mal estado
  - Colector del pluviómetro embozado
  - Cable de conexión
  - Descalibración
  - Protecciones de sobretensiones
- Limnómetro de presión
  - Desperfectos en la membrana
  - Suciedad en la membrana
  - Cable de conexión
  - Descalibración
  - Desplazamiento del sensor
- Limnómetro de ultrasonidos
  - Avería de la medida debida a la parte electrónica
  - Avería electrónica en la comunicación entre sensor y estación remota
  - Suciedad en la mira del sensor
  - Desplazamiento del sensor
  - Corte del cable de conexión
  - Descalibraje
  - Junta de estanqueidad en mal estado

## 7.3 Otros aspectos relacionados con el mantenimiento

### 7.3.1 Control de plagas

Puede ocurrir que, bajo determinadas circunstancias ambientales, se produzcan plagas en los tanques, siendo las más frecuentes las de ratas, cucarachas o mosquitos. La forma de actuar en estos casos es reactiva, no siendo aconsejable emprender campañas preventivas generalizadas por el riesgo de contaminación ambiental, de intoxicación por parte de los operarios, y de creación de resistencia en estos animales.

Una vez constatado el hecho a partir de las propias inspecciones de mantenimiento, de otros servicios municipales o de quejas de los vecinos, y evaluada su extensión, sólo si se considera verdaderamente una plaga se procede a actuar, de manera coordinada con los servicios de higiene pública municipales, que son los responsables de las plagas.

En el caso de cucarachas, se aplican productos de tipo gel que no requieren un período de seguridad posterior a su aplicación en el que no se deba entrar en el tanque. En casos muy extraordinarios, se llegan a emplear pulverizadores en cuyo caso el tiempo de seguridad posterior es de 24-48 horas. En los 15 días posteriores, se deben programar visitas para comprobar la efectividad del tratamiento.

En el caso de ratas, se aplican raticidas sólidos y también se realiza el seguimiento posterior.

Finalmente el control de las plagas de mosquitos es más complicado y aquí siempre se recomienda la prevención mucho antes que los tratamientos químicos de fumigación.

### 7.3.2 Gestión de residuos

Lógicamente los residuos que se encuentran en los tanques son los mismos que encontramos en la red de alcantarillado.

Las principales vías de aportación de residuos son los imbornales y los albañales:

- El agua que llega a la red a través de los imbornales suele arrastrar con ella polvo, arena, hojas de árboles y cualquier otro residuo ligero y relativamente pequeño que se encuentre en la vía pública.
- En cambio, por los albañales llega el agua residual de las viviendas y la de lluvia recogida en el propio edificio. Esta agua tiene una gran concentración de materia orgánica y una presencia considerable de detergentes y jabones.

Visualmente el residuo recogido en los tanques tiene semejanza a una arena de playa sucia, con impregnación de residuo orgánico. Los detergentes y jabones no dejan

residuo, ya que son transportados con el agua. Químicamente, este residuo se puede calificar como residuo inerte.

Es importante hacer notar que este residuo no es un producto orgánico como los fangos de depuradora y no se puede asociar a éstos ni aplicar el mismo tratamiento. Estos residuos deben gestionarse según la legislación ambiental, lo que obliga a transportarlos dentro de los propios camiones de limpieza hasta un punto de tratamiento, donde se decantan, se les somete a algún proceso de secado (por ejemplo, mediante volteo y aireado mediante pala mecánica), con el objetivo de reducir su humedad hasta menos del 5%. Alcanzado este punto, el residuo se carga en camiones y se lleva a vertedero autorizado.

De cara a un sistema de gestión que busque minimizar los residuos llevados a planta y así reducir su impacto ambiental, cabe la posibilidad de implantar un modelo que permita regenerar las arenas residuo para utilizarlas en cualquier aplicación (por ejemplo construcción). Este sistema comenzaría con una selección manual al inicio de la planta. Después podría instalarse un tamizado para eliminar las partículas gruesas (mayores a 50 mm). Estas se gestionarían como residuos inertes. El resto, mezclado con agua, se metería en un trómel o similar con el objetivo de que, mediante autofricción de las propias arenas, el residuo orgánico que las impregna se disuelva en el agua, de forma que las arenas queden limpias. Posteriormente y mediante un decantador, se separarían las arenas del agua, obteniendo arenas aptas para su uso. El agua producto del sistema debería ser sometida a un proceso de depuración para que pudiera volver a utilizarse en el proceso.

Los residuos obtenidos de las limpiezas de los tanques deben transportarse dentro de camiones de limpieza hasta un punto de tratamiento donde se decantan, se les somete a algún proceso de secado (por ejemplo mediante volteo y aireado con pala mecánica), con el objetivo de reducir su humedad hasta menos del 5%. Alcanzado este punto, el residuo se carga en camiones y se lleva a vertedero.

# 08.

## SEGURIDAD Y SALUD



## 8 SEGURIDAD Y SALUD

### 8.1 Introducción

Las redes de alcantarillado y drenaje, así como sus instalaciones asociadas, presentan unos riesgos que son inherentes a su condición y que, por tanto, están presentes habitualmente en el entorno de trabajo. Así, el alcantarillado, por su condición de infraestructura subterránea encargada de la evacuación de las aguas residuales, es un entorno con constante riesgo biológico y con gran número de operaciones desarrolladas en espacios confinados, en los que es habitual la presencia de gases tóxicos o la posibilidad de inundación.

Estos riesgos deben ser detectados y controlados debidamente para permitir una operación segura de dichas instalaciones.

El documento se organiza en tres capítulos principales, aparte de la introducción y la recopilación de normativa aplicable:

- Organización de la seguridad: en el que se describen los diversos elementos y procedimientos que integran una buena organización de la prevención de riesgos laborales (PRL) en las empresas.
- Accesibilidad a las instalaciones: la peligrosidad de la mayor parte de las operaciones en el alcantarillado se da en las condiciones de accesibilidad de las instalaciones y la seguridad del entorno de trabajo. Este capítulo presenta las buenas prácticas que pueden emplearse para controlar adecuadamente dichos riesgos.
- Criterios para el diseño de instalaciones y equipos: la “mantenibilidad” – y, por tanto, la seguridad en el mantenimiento – de una instalación o infraestructura comienza en su diseño. Es decir, la concepción de una determinada instalación o infraestructura no debe centrarse exclusivamente en su dimensionamiento o en sus condiciones de servicio, sino también en permitir, e incluso facilitar, su mantenimiento en condiciones de seguridad y salud. Se presenta, pues, este capítulo con la intención de recordar determinadas problemáticas asociadas a los tanques y de aportar al diseñador posibles soluciones.

**Ninguna de las recomendaciones expresadas en este manual, más allá de las que sean mero reflejo de condicionantes legales, puede ni debe considerarse como una prescripción. Por otra parte, el seguimiento de las recomendaciones que contenga este Manual no exime en absoluto de la total responsabilidad**

**sobre la seguridad y la salud del personal, que corresponde a la dirección y al departamento de PRL de cada empresa y organismo gestor del servicio.**

## **8.2 Organización de la seguridad**

### **8.2.1 Introducción**

En este punto se explica de forma breve como debería organizarse la seguridad en una empresa, o en una unidad operativa de explotación y mantenimiento.

### **8.2.2 Plan de prevención.**

El Plan de Prevención de Riesgos Laborales es el instrumento necesario que establece la normativa legal para cumplir la integración de la actividad preventiva en la empresa. Muestra cómo debe implantarse la actividad preventiva en cada empresa específicamente.

El Plan de Prevención de Riesgos Laborales habrá de reflejarse en un documento que se conservará a disposición de la autoridad laboral, de las autoridades sanitarias y de los representantes de los trabajadores, e incluirá, según la dimensión y características de la empresa, los siguientes elementos:

- Identificación de la empresa, de su actividad productiva, el número y características de los centros de trabajo y el número de trabajadores y sus características con relevancia en la prevención de riesgos laborales
- Estructura organizativa de la empresa, identificando las funciones y responsabilidades que asume cada uno de sus niveles jerárquicos y los respectivos cauces de comunicación entre ellos, en relación con la prevención de riesgos laborales.
- Organización de la producción en cuanto a la identificación de los distintos procesos técnicos y las prácticas y los procedimientos organizativos existentes en la empresa, en relación con la prevención de riesgos laborales.
- La organización de la prevención en la empresa, indicando la modalidad preventiva elegida y los órganos de representación existentes.
- La política, los objetivos y metas que en materia preventiva pretende alcanzar la empresa, así como los recursos humanos, técnicos, materiales y económicos de los que va a disponer al efecto.

El Plan de Prevención debe ser aprobado por la dirección de la empresa, asumido por toda su estructura organizativa, en particular, por todos sus niveles jerárquicos y conocido por todos sus trabajadores

En la normativa no se especifica el tiempo máximo para la revisión, pero se determina que el Plan de Prevención debe adaptarse si se modifica o cambia algunos de los

contenidos del mismo. Lo que implica que debe ir elaborando permanentemente en un proceso de mejora continua.

Los instrumentos esenciales para la gestión y aplicación del Plan de Prevención de Riesgos Laborales son la evaluación de riesgos y la planificación de la actividad preventiva.

### **Evaluación de riesgos**

La evaluación de riesgos se considera una herramienta de gestión preventiva básica para la gestión de la prevención en la organización. Esta debe ser actualizada cuando se den circunstancias como:

- Modificación de las condiciones de trabajo.
- Adopción de medidas correctoras.
- Resultados de las investigaciones de accidentes y enfermedades profesionales.
- Resultados de los controles ambientales periódicos.
- Modificación de los criterios de evaluación.
- Periodicidad establecida entre la empresa y los representantes de los trabajadores.
- Disposiciones específicas.

Las evaluaciones de riesgos deben ser realizadas por un Técnico de Prevención de nivel medio o superior, que debe estar integrado dentro de la empresa o de un Servicio de Prevención (ajeno, propio o mancomunado).

La evaluación de riesgos debe tener en cuenta todas las actividades realizadas en los centros de trabajo, tanto si son habituales como esporádicas, y una vez finalizadas deberán presentarse a la Dirección.

Los trabajadores deben recibir información sobre los resultados de la evaluación de riesgos laborales correspondientes a los trabajos que realice, instalaciones que visite... así como de las medidas de prevención y protección aplicables, mediante los canales de comunicación acordados con el Comité de Seguridad y Salud o con los Delegados de Prevención para hacerles llegar dicha información.

De forma adicional, los resultados de la evaluación y las medidas de prevención y protección aplicables deberían mantenerse a disposición de los trabajadores en los centros de trabajo, a fin de que puedan ser consultadas cuantas veces sea necesario.

### **Planificación de la actividad preventiva.**

Cuando el resultado de la Evaluación indicada en el punto anterior ponga de manifiesto situaciones de riesgo, se deberán planificar las medidas preventivas que procedan con objeto de eliminar o controlar y reducir dichos riesgos, conforme a un orden de prioridades en función de su magnitud y número de trabajadores expuestos a los mismos.

En la definición y planificación de las medidas preventivas se deberá tener en cuenta la existencia, en su caso, de disposiciones legales relativas a riesgos específicos, así como los principios de acción preventiva señalados en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

La planificación de la actividad preventiva debe incluir los medios humanos y materiales necesarios, así como la asignación de los recursos económicos precisos para la consecución de los objetivos propuestos.

Igualmente deberán integrarse en la planificación de la actividad preventiva las medidas de emergencia y la vigilancia de la salud, así como la información y la formación de los trabajadores en materia preventiva y la coordinación de todos estos aspectos.

La actividad preventiva deberá planificarse para un período determinado, estableciendo las fases y prioridades de su desarrollo en función de la magnitud de los riesgos y del número de trabajadores expuestos a los mismos, así como su seguimiento y control periódico. En el caso de que el período en que se desarrolle la actividad preventiva sea superior a un año, deberá establecerse un programa anual de actividades

### 8.3 Espacios confinados

Se define como espacio confinado cualquier espacio con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que puedan acumularse contaminantes tóxicos (sulfhídrico, monóxido de carbono, etc...) o inflamables (principalmente metano), así como escasez de oxígeno, no estando concebido para una ocupación continuada del trabajador.

Son considerados como espacios confinados:

- Pozos de bombeo de aguas residuales
- Fosas sépticas
- Tanques de almacenamiento
- Depósitos

Las especiales características de los trabajos desarrollados en espacios confinados y la gravedad de los accidentes tanto de la/s persona/s que ejecutan el trabajo como de aquellas que auxilian en un primer momento sin las medidas de seguridad necesarias, lleva a la necesidad de adoptar unas medidas de prevención y protección especiales.

## 8.4 Tanques de tormentas

### 8.4.1 Introducción

En el caso de los tanques de tormenta y dado su régimen de funcionamiento discontinuo, por lo que se refiere a la evaluación de los riesgos que conllevan las operaciones de explotación y mantenimiento de los mismos, se pueden diferenciar tres situaciones distintas:

- Situación del tanque en estado latente, es decir el tanque está vacío y limpio sin una previsión de entrada en servicio.
- Situación del tanque en servicio. En este caso pueden darse tres situaciones distintas:
  - Existe una previsión de entrada de agua en el tanque proveniente de la red de alcantarillado, generalmente debido a un episodio de lluvia.
  - El tanque está recibiendo agua desde la red de alcantarillado
  - El tanque está lleno de agua una vez pasado el episodio de lluvias y se está vaciando.
- Situación de tanque de tormentas vacío de agua pero con restos de sedimentos que deben ser limpiados.

### 8.4.2 Tanque en estado latente

Se dice que el tanque de tormentas está en estado latente o de reposo, cuando el tanque se encuentra vacío de agua y limpio de sedimentos y no existe previsión a corto plazo de que pueda derivarse agua a su interior.

En este estado la mejor recomendación es proyectar el tanque de manera que se evite el hecho de que pueda ser considerado como un espacio confinado. Para ello se deberán tomar las siguientes precauciones:

- Accesibilidad
  - Es acceso a las diferentes instalaciones se proyectará en función de los medios necesarios para realizar las labores de mantenimiento.
  - Todos los accesos al tanque, desde los locales técnicos o cámaras seca dispondrán de un detector de gases que informaran acerca de la seguridad en el interior.



Figura 93 Detector de gases a la entrada de un tanque

- En los tanques con dimensiones importantes se colocaran salidas de emergencia conectando la solera con las pasarelas de manera que los recorridos de evacuación no superen los 50 m.
- Las salidas de emergencia al exterior se realizaran mediante edículo, evitando los pozos enrasados con tapa.
- En el interior de tanques con volúmenes importantes se colocaran sensores de gases conectados a un sistema de alarma acústico y/o luminoso que informe de concentraciones superiores a las admitidas.
- En escaleras verticales (Figura 94), si la altura es superior a 2,5 metros, deberá disponerse de un mecanismo guardacuerpos o quitamiedos consistentes en aros circulares tangentes a la escalera y que permiten apoyar la espalda en caso de pérdida de pie.



Figura 94 Escalera vertical con quitamiedos

- Las pasarelas deben equiparse en toda su longitud con una barandilla de seguridad que cumpla con la normativa vigente.
- Ventilación
  - Se proyectará una ventilación adecuada de manera que se consiga un mínimo de una renovación a la hora en el interior de tanque
  - Hay que evitar en todo momento la creación de zonas muertas.
- Instalaciones de corriente eléctrica y agua potable en instalaciones donde se requiera labores de mantenimiento periódico. Todos los equipos instalados dentro de una cámara húmeda de bombeo con posibilidad de contacto con el agua residual deberán ser IP68 y ser alimentados en la medida de lo posible con 24 voltios. Especialmente las bombas de vaciado del tanque
- Instalación de los medios auxiliares necesarios en las instalaciones para facilitar las labores de mantenimiento. La instalación de polipastos o puentes grúa para realizar la extracción de los equipos de bombeo incrementa el rendimiento del personal y reduce los riesgos de accidente.



Figura 95. Sala de bombeo con polipasto para extracción de bombas

- Se evitaren en la medida que sea posible diseños con:
  - Espacios reducidos
  - Posibilidad de caídas
  - Iluminación deficiente

### 8.4.3 Tanque en estado de servicio

En estado de servicio, mientras exista agua en el interior del tanque o exista una previsión de entrada de agua debe estar prohibido el acceso al interior bajo ningún concepto, con excepción de situaciones muy esporádicas. En estos casos deberá diseñarse un plan específico con los diferentes protocolos a seguir.

En estas situaciones los riesgos más importantes que pueden detectarse son:

- Ahogo por la subida de nivel de agua en el interior del tanque
- Caídas y arrastre por la circulación de agua por el interior del tanque
- Asfixia por la entrada de gases

### 8.4.4 Situación de limpieza del tanque

Pasado el episodio de lluvia. El tanque ha vaciado el volumen de agua almacenado pero debe efectuarse su limpieza. En este caso los riesgos más habituales son:

- Riesgos biológicos: Causados por microorganismos generados en la descomposición de la materia orgánica o vertidos directamente a la red y que llegan al tanque. Para evitar enfermedades e infecciones se debe tener un especial cuidado en la higiene de los trabajadores y sus equipos, lavar y descontaminar la ropa de trabajo, utilizar taquillas separadas para vestuario de calle y laboral, así como otras medidas como usar jabones antisépticos. También es conveniente realizar campañas de vacunación contra la hepatitis (Ay B) y el tétanos.
- Cortes, heridas y proyecciones: Estos riesgos son propios de muchas actividades, pero se agravan en el caso de los trabajos relacionados con las aguas residuales por el riesgo de contaminación de las heridas. Es conveniente utilizar, además de los equipos habituales para el trabajo, guantes y ropa de manga larga, así como limpiar y desinfectar las heridas y cubrirlas con apósitos impermeables.
- Asfixia y contaminantes químicos: Cuando la materia orgánica se descompone puede producir gases tóxicos, como el ácido sulfhídrico (ver apartado 6.7.2.2), el monóxido de carbono o el amoníaco; en algunos casos la descomposición consume el oxígeno del aire provocando una atmósfera asfixiante. Antes de realizar los trabajos hay que ventilar el área de trabajo de forma natural o forzada, y verificar que el aire es respirable. Dado que no se puede confiar en los sentidos para detectar la presencia de contaminantes, se debe utilizar sistemas de medición continua de la calidad del aire, como los detectores portátiles multigás.
- Inundación: Antes de acceder al tanque, hay que asegurarse de que un aumento en los niveles de agua no suponga un peligro para los trabajadores. Cuando exista riesgo de inundación del espacio de trabajo o de arrastre de estos por la fuerza del agua, se deben poner los medios para detectar la situación con tiempo suficiente para realizar una evacuación.

- Explosión: Si bien es ya un riesgo menor, es cierto que uno de los gases que se desprenden de la descomposición de la materia orgánica es el metano, que es inflamable y en condiciones de confinamiento explosivo. Conviene detectar su presencia como si fuera un gas tóxico, y utilizar equipos certificados para atmósferas explosivas cuando haya riesgo de ambiente inflamable.

## 8.5 Recopilación de normativa aplicable

Se indica a continuación un compendio de normativa de referencia a la hora de definir las medidas de seguridad de los trabajos que se desarrollan en el alcantarillado. Sin ánimo de exhaustividad, pero con la intención de disponer en este apartado de una referencia suficiente para el planteamiento de la seguridad en cualquiera de nuestras organizaciones.

- REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/1994 por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de la Seguridad Social.
- REAL DECRETO 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- REAL DECRETO 1244/1979, de 4 de Abril de 1979, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos a Presión. Modificado posteriormente por el RD 507/1982, RD 1504/1990 i RD 2060/2008,
- REAL DECRETO 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. Modificado por el RD 330/2009
- REAL DECRETO 1314/1997, de 1 de agosto por el que se modifica el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención, aprobado por REAL DECRETO 2291/1985, de 8 noviembre.
- REAL DECRETO 1561/1995, de 21 de septiembre, sobre jornadas especiales de trabajo
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, modificado por el RD 604/2006.
- REAL DECRETO 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.

- REAL DECRETO 216/1999, de 5 de febrero, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo de los trabajadores en el ámbito de las empresas de trabajo temporal.
- REAL DECRETO 2177/1996, de 4 de Octubre de 1996, por el que se aprueba la Norma Básica de Edificación "NBE-CPI/96".
- REAL DECRETO 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.
- REAL DECRETO 2291/1985, de 8 noviembre, que aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención.
- REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- LEY 31/1995, de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales. Modificada por la Ley 39/1999 para promover la conciliación de la vida familiar y laboral de las personas trabajadoras, y por la Ley 54/2003 de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales
- LEY 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.
- REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias
- REAL DECRETO 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, modificado por el RD 780/1998, el RD 604/2006 y el RD 298/2009.
- ORDEN TIN/2504/2010, de 20 de septiembre, por la que se desarrolla el Real Decreto 39/1997 - Reglamento de Servicios de Prevención, en lo referido a entidades especializadas como servicios de prevención, memoria de actividades preventivas y autorización para realizar la actividad de auditoría del sistema de prevención de las empresas.
- REAL DECRETO 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.

- REAL DECRETO 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo
- REAL DECRETO 486/1997 de 14 de abril, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo
- REAL DECRETO 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- REAL DECRETO 488/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo que incluye pantallas de visualización
- REAL DECRETO 551/2006, de 5 de mayo, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carreteras en territorio español."
- REAL DECRETO 2291/1985, de 8 noviembre, que aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención, y su correspondiente Instrucción técnica MIE-AEM 1. Modificado por el RD 1314/1997 de 8 noviembre
- REAL DECRETO 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico
- REAL DECRETO 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores que por su trabajo están o puedan estar expuestos a agentes biológicos
- REAL DECRETO 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. Modificado por el RD 349/03
- REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo
- REAL DECRETO 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión
- REAL DECRETO 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

- RESOLUCIÓN de 11 de abril de 2006, de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social, sobre el Libro de Visitas de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social.

# 09.

---

## BIBLIOGRAFÍA

## 9 BIBLIOGRAFÍA

Azzout, Y.; Barraud, S.; Cres, F.N. y Alfakih, E. (1994): *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien*. Lavoisier-Tec. Et Doc. Paris.

Balairón, L., et al. (2008). *Guía Técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano*. 2ª edición. Manuales y recomendaciones. CEDEX

Bergue, J.M.; Rupert, R. (1994). *Guide Technique des bassins de retenue d'eaux pluviales*. Ed: Ted&Doc Lavoisier.

Blumensaat, F., P. Staufer, S. Heusch, F. Reußner, M. Schütze, S. Seiffert, G. Gruber, M. Zawilski and J. Rieckermann (2012). *Water quality-based assessment of urban drainage impacts in Europe – where do we stand today?* Water Science & Technology Vol 66 No 2 pp 304–313

Chebbo et al (1991). *Les bassins d'orage et la lutte contre la pollution des eaux pluviales*. Journée d'étude des eaux pluviales. Agen

Danish Engineering Union Wastewater Committee (1985). *Forurening af vandløb fra overflowsbygvaerker*. (Pollution by wastewater from overflow structures) (in Danish). Skrift nr. 22, IDA Spildevandskomiteen, Dansk Ingeniørforening spildevandskomiteen, Denmark.

Engelhard, C. (2006). *Assessing the impact of urban drainage measures with regard to the water framework directive*. PhD Dissertation, Universidad de Innsbruck.

F.W.R. (2012): *Urban Pollution Management Manual (UPM). 3<sup>rd</sup> : A planning guide for the management of urban wastewater discharges during wet weather*. 3rd edition. Foundation for Water Research, Marlow.

Larrañaga, B.F., et al. (2013). *Manual de drenaje Urbano*. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

Lijklema, L., Tyson, J.M. y Lesouef, A. (1993). «*Interactions between sewers, treatment plants and receiving waters in urban areas: A summary of the Interurba '92', Workshop conclusions*». Water Science & Technology. Vol. 27, No 12, págs 1-29.

Malgrat, P.; Verdejo, J.M.; Castillo, F.; Vilalta, A.; (2003). *Los depósitos de retención de aguas pluviales de Barcelona: un nuevo enfoque en la lucha contra las inundaciones y la protección medioambiental*. IV Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. Madrid.

Marchans, A.; Badot, R.; De Belly, B.; Romain, M. (1995). *Les Bassins de retention des eaux pluviales. Mode d'emploi*. NANCIE. Centre International de l'Eau.

Puertas J, Suárez J, Anta J (2008). *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. Monografías CEDEX M-98.

Rauch W, Krejci V, Gujer W (2002). *"REBEKA – a software tool for planning urban drainage on the basis of predicted impacts on receiving waters"*. Urban Water 4: 355-361.

Rossi L, Chèvre N, Fankhauser R, Krejci V (2009). Probabilistic environmental risk assessment of urban wet-weather discharges: an approach developed in Switzerland. Urban Water Journal 6(5): 355-367.

Stahre, P.; Urbonas, B. (1990). *Storm-Water Detention*. Ed: Prentice Hall.

U.S.-E.P.A. (2002): *Considerations in the design of Treatment BMP to improve water quality*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati. US-EPA/600/R-03/103 185 págs.

U.S.-E.P.A. (2004a): *Storm Best Management Practices Design Guide. Volume 1: General Considerations*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati. US-EPA/600/R-04/121. 194 págs.

Valbon, G.; Maurin, G.; Boursier, A.; Chocat, B.; Teniere-Buchot, P.F.; Mongeau, D. (1992). *Hydrotechnologie Urbaine: les bassins nouvelle vague. Coloque sur les bassins de retenue*. Pantin/Seine Saint –Denis.