

Colectores generales del Miño en Lugo: un sistema integral de saneamiento en medio fluvial (Premio San Telmo 2009)

José Piñeiro¹, Javier González², Ignacio Maestro³, Joaquín Suárez⁴, Jerónimo Puertas⁵ y Jose Anta⁶

(1) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; Director de Obra, Confederación Hidrográfica del Miño-Sil

dt.saneamiento.lugo@chminosil.es

(2) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; Jefe de Área, Confederación Hidrográfica del Cantábrico

(3) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; Jefe de Área de Gabinete y Obras, Confederación Hidrográfica del Miño-Sil

(4) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; Profesor Titular, Universidade da Coruña

(5) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; Catedrático, Universidade da Coruña

(6) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; Profesor Ayudante, Universidade da Coruña

Lugo es una ciudad cuya ubicación, sobre el promontorio natural que domina la confluencia de los ríos Miño y Fervedoira, le ha permitido disfrutar de un entorno de gran riqueza natural desde sus orígenes.

No obstante, el fuerte desarrollo industrial que experimentó la ciudad en la segunda mitad del siglo XX, ligado al florecimiento del sector alimenticio, y acompañado por el consiguiente crecimiento urbano, provocó que, a comienzos de la década de los noventa, Lugo viviese una delicada situación medioambiental, marcada por la fuerte degradación de su entorno fluvial.

La causa principal de esta realidad radicaba en las deficiencias que presentaba la red de infraestructuras de saneamiento construida durante los años ochenta, entre las que cabe citar:

- El pésimo estado de conservación de toda la red general existente, con multitud de puntos de vertido incontrolado a los cauces fluviales.
- La evidente falta de capacidad hidráulica de los colectores en servicio, carentes de cualquier tipo de dispositivos de regulación de los caudales en tiempo de lluvia.
- El inadecuado diseño de algunos elementos de la red, con multitud de puntos negros en su trazado.
- La manifiesta incapacidad hidráulica y de tratamiento de la depuradora actual.

Todas estas carencias, unidas al incipiente crecimiento urbano de la ciudad, y a la aparición de unos objetivos de calidad cada vez más rigurosos en la legislación vigente (Directiva 91/271/CEE), motivaron la declaración como obra de interés general del Estado de la Mejora de Saneamiento de Lugo (Ley 22/1997).

Como resultado de esta declaración, y con el fin de disponer las bases para la financiación y desarrollo de este plan de actuación, en diciembre de 1999 se suscribió un Protocolo General de colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente, la Xunta de Galicia y la Confederación Hidrográfica del Norte (actual Confederación Hidrográfica del Miño-Sil), en virtud del cual se acordó que la financiación correría en un 85 % a cargo de la Confederación Hidrográfica del Norte, a través del Fondo de Cohesión de la Unión Europea, mientras que el 15% restante sería aportado por Xunta de Galicia.

A partir de la firma de este Protocolo se desarrolló un estudio detallado de la situación existente que se tradujo en una inspección minuciosa de las infraestructuras de saneamiento existentes en la ciudad y en un análisis riguroso de las posibles soluciones a adoptar. Todo ello desembocó en la definición de los proyectos de cinco actuaciones con-cretas, cuya ejecución supondría la renovación integral del sistema general de saneamiento de la ciudad, tras una inversión total de 103 millones de euros:

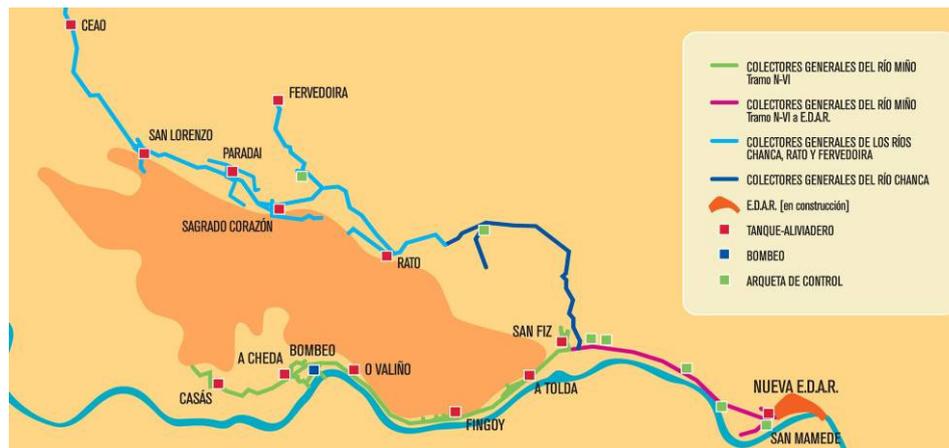


Figura 1 Esquema general de las obras del Saneamiento de Lugo

- Acondicionamiento y ampliación de los colectores de las cuencas de los ríos Rato, Chanca y Fervedoira (finalizada en Julio de 2004)
- Acondicionamiento de los colectores generales del río Chanca (finalizada en Julio de 2004)
- Colector general del río Miño en Lugo. Tramo N-VI. (Abril 2008)
- Colector general del río Miño en Lugo. Tramo N-VI – E.D.A.R. (Mayo 2008)
- Nueva Estación Depuradora de Aguas Residuales de Lugo (actualmente en fase de construcción)

Tabla 1 Datos técnicos generales de las obras de Mejora de Saneamiento de Lugo

Características técnicas	Colectores generales de los ríos Rato-Fervedoira	Colectores generales del río Miño		Total
		Tramo N-VI	Tramo N-VI / E.D.A.R.	
Caudal de diseño del interceptor	1.900 l/s	1.980 l/s	3.400 l/s	3.400 l/s
Colectores de nueva construcción:				
- en zanja	10.600	6.440	1.863	18.903 ml
- en microtúnel con hinca	469	581	1.475	2.524 ml
Rehabilitación de antiguos colectores	4.039	866	0	4.905 ml
Impulsiones	0	81	0	81 ml
Longitud total colectores	15.107	7.968	3.338	26.414 ml
Pozos de registro	200	147	26	373 ud
Arquetas de control	8	0	5	13 ud
Bombeos	0	1	0	1 ud
Aliviaderos	8	7	1	16 ud
Capacidad de retención de los aliviaderos	2.053	11.118	450	13.621 m ³

Estas actuaciones representan una evolución de las últimas tendencias surgidas a finales de los años 80 del siglo XX dentro de la ingeniería del saneamiento urbano como consecuencia de la mayor responsabilidad ambiental que reclamaba la sociedad a los ingenieros. Este cambio de concepción acabó con una idea errónea que entendía el concepto de colector como una especie de sumidero infinito que conseguía ocultar, y sobre todo alejar, las aguas residuales de las zonas más densamente pobladas, sin mirar al río.

A la hora de plantearse la filosofía que debía inspirar el diseño de la nueva red de saneamiento, fue necesario hacer un ejercicio de autocritica, viendo qué aspectos eran mejorables en las obras de este tipo, incluso en aquellas que habían sido ejecutadas hasta la fecha por la propia Confederación Hidrográfica. Este hecho implicaba aunar dentro de un mismo objetivo todos nuestros conocimientos de hidráulica, de ingeniería sanitaria y de dinámica del medio fluvial, con el fin de lograr un sistema de saneamiento que nos permitiese recoger las aguas residuales, canalizarlas a través de una red estanca y correctamente dimensionada e interponer elementos reguladores de caudal que nos permitiesen absorber aquellas demandas puntuales de almacenamiento que no pudiese retener la red. Todo ello conseguiría que tuviésemos un control exhaustivo de los caudales circulantes por nuestros colectores y, de este modo, tener perfectamente acotadas las necesidades de depuración de la ciudad. El cambio de concepto radica en que ya no pretendemos “olvidarnos” del agua residual en el momento en que desaparece de nuestra vista dentro del colector, sino que pretendemos conocer cuánta y cómo circula en cada momento y en qué punto se incorpora a la red para poder gestionar de un modo eficaz su depuración y su vuelta al medio receptor.

Fruto de la aplicación de esta nueva filosofía, y debido al amplio desarrollo que la planificación, proyecto y ejecución que estas actuaciones han tenido en el tiempo, que ha abarcado algo más de una década desde que se iniciaron en 1998 las primeras definiciones del esquema general de saneamiento, las obras de Mejora de Saneamiento de Lugo, se han convertido en un fiel reflejo de la aplicación práctica de las tendencias más novedosas que han ido surgiendo en los últimos años dentro de la ingeniería de saneamiento urbano en medios fluviales.

En este sentido, el hecho de que las obras de colectores generales se hayan desarrollado agrupadas en dos fases, ha motivado que reflejen una evolución en su diseño y dimensionamiento. Así, mientras las dos obras de los colectores de la cuenca del río Fervedoira y sus afluentes, proyectadas y ejecutadas entre febrero de 2000 de y Julio de 2004, son un ejemplo de la forma “clásica” que la Confederación Hidrográfica del Norte había aplicado en el resto del norte peninsular; las nuevas obras de los colectores del río Miño, proyectadas y ejecutadas entre diciembre de 2002 y mayo de 2008, suponen una “vuelta de tuerca” a estas soluciones.

Desde sus inicios, para la definición del plan de Mejora de Saneamiento de Lugo se gestó una evolución del esquema general de saneamiento que la Confederación Hidrográfica del Norte había desarrollado con éxito en el resto del norte de España. Este sistema consistía en la construcción de una nueva red general unitaria formada por una serie de colectores secundarios, que interceptasen los caudales de aguas residuales y pluviales canalizadas por la red municipal en las diferentes subcuencas de la ciudad, para incorporarlos posteriormente a una serie de interceptores generales que trasladarían estos caudales a la nueva E.D.A.R. En la conexión a estos colectores generales se limitaría el caudal incorporado mediante dispositivos de control, pudiendo incluirse tanques de retención para las aguas más contaminadas, asumiendo como admisible el alivio de estas cuando su dilución fuese suficiente para ser vertidas al medio receptor.

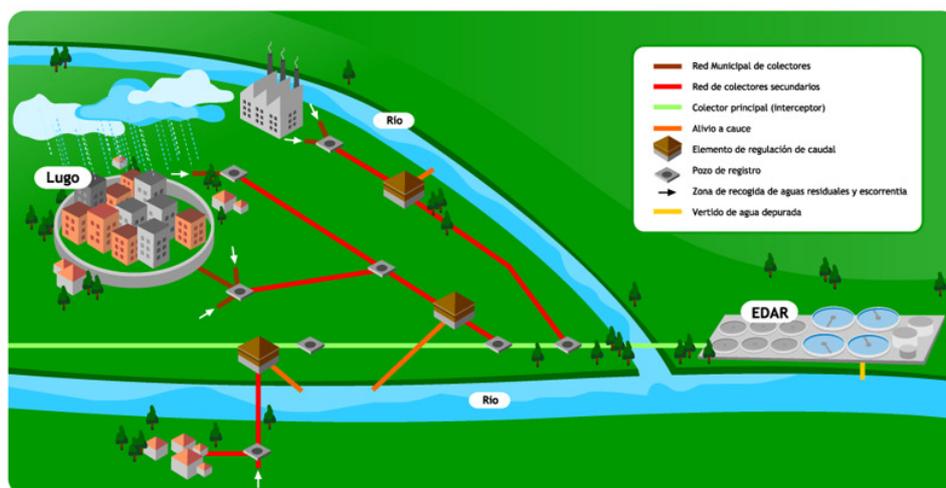


Figura 2 Esquema formal del sistema de saneamiento implantado

Para la evolución de este sistema fue necesaria la colaboración de diversas entidades y de profesionales especialistas en el sector de la ingeniería sanitaria que, dirigidos por el equipo técnico de la Confederación Hidrográfica del Norte en la idea dar una “vuelta de tuerca” a las soluciones clásicas, aportaron las múltiples alternativas que nos han permitido llegar a la configuración finalmente adoptada.

El primer paso, dado durante la fase de proyecto fue la modelización informática tanto de las redes municipales existentes como de los nuevos colectores generales a construir, para poder realizar de este modo un dimensionamiento eficaz de todos los elementos que forman parte del sistema (colectores, pozos y tanques o aliviaderos). Este hecho permitió dar un salto cualitativo en el diseño de los tanques-aliviadero puesto que mientras hasta la fecha su volumen se fijaba en función de una tasa fija, m^3/Ha neta de la cuenca a recoger, el estudio pormenorizado realizado en la obra de los Colectores generales del río Miño introducía nuevas variables de cálculo de tal modo que se implantaba una nueva metodología de diseño, que tenía en cuenta aspectos como la capacidad de retención hidráulica de la propia red de colectores o el hecho de fijar un número máximo de aliviados al medio receptor, veinticinco (25) al año en nuestro caso, para un año de lluvias medias, que eran obviados en los métodos de cálculo universalmente aceptados hasta la fecha.

Como consecuencia de ello, se obtuvo un volumen de retención total de ocho tanques-aliviaderos dispuestos en la cuenca del río Miño de $11.118 m^3$, siendo el de mayores dimensiones el de Casás, con una capacidad de $3.696 m^3$; llegando en algunos de ellos a tasas de hasta $60 m^3/Ha_{neta}$.

Tabla 2 Resumen comparativo de los volúmenes de retención de los tanques-aliviaderos construidos

Cuenca de los ríos Rato y Fervedoira		Cuenca del río Miño	
O Ceao	400	San Fiz	1.354
San Lorenzo	470	A Tolda	2.654
Paradai	470	Fingoi	617
Sagrado Corazón	250	O Valiño	559
Rato	305	Bombeo Puente Romano	784
Fervedoira	80	A Cheda	1.454
O Portiño	60	Casás	3.696
		San Mamede	450
VOL. TOTALES (m^3)	2.035		11.118

Otro de los aspectos pioneros en el diseño de estos tanques tiene su origen en el “Análisis de la influencia de la configuración de los volúmenes de almacenamiento en los depósitos de detención-aliviadero de los colectores generales del Miño en Lugo”, fruto de la estrecha colaboración mantenida entre la Dirección Técnica de las obras y el GEAMA (Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente) de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade de A Coruña.

Este estudio, realizado durante la fase de ejecución de la obra, en base a la aplicación de hidrogramas y de novedosos polutogramas sintéticos, permitió optimizar la configuración de las cámaras de retención dentro del tanque de tormentas (una vez fijado el volumen de retención en el dimensionamiento anteriormente descrito), para aumentar los rendimientos obtenidos en la retención de contaminación y lograr una mayor operatividad en la gestión y mantenimiento de los mismos.

El estudio realizado por el GEAMA consistió en crear un modelo hidráulico y de contaminación de la red de colectores generales del río Miño, que pudiese ser aplicado a distintas configuraciones de las cámaras del tanque de tormentas, para evaluar cuál de ellas ofrecía unas mejores tasas de retención de la contaminación. Para ello, lo primero fue crear un modelo de las cuencas de aportación y la nueva red de saneamiento, sobre le que poder aplicar diferentes lluvias de diseño (entre las que se escogieron la correspondiente al periodo de retorno $T=2$ años, la lluvia máxima del año 1993 y una lluvia intermedia), y con ello lograr transfórmalas en escorrentía mediante el SWMM; obteniendo los hidrogramas de entrada a cada uno de los tanques.

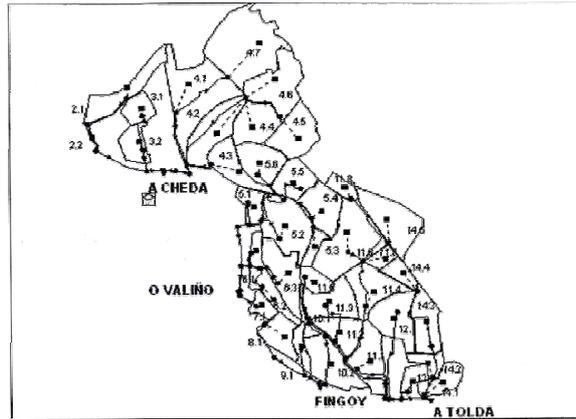


Figura 3 Modelo hidráulico de cuencas empleado en el estudio

A continuación, se crearon unos polutogramas sintéticos, a partir de los datos extraídos de las mediciones realizadas por el PROMEDSU (programa de medición de descargas de saneamientos unitarios), definiendo dos posibles casos en función de la relación hidrograma-polutograma: que se produjese un efecto de primer lavado en las cuencas (poluto-grama adelantado al caudal), o bien, que este efecto no tuviese lugar (polutograma acompañando al hidrograma).

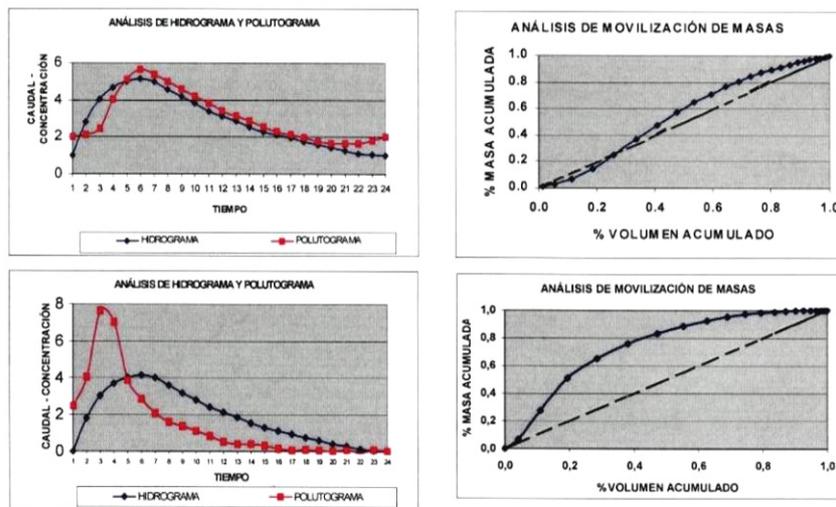


Figura 4 Diferentes situaciones Hidrograma-Polutogrogra aplicadas en el estudio

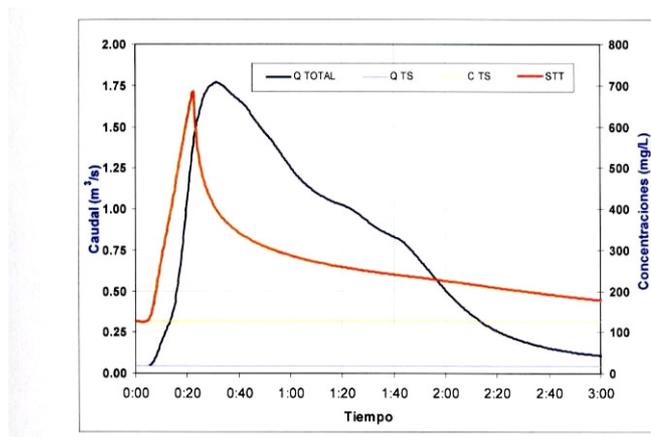


Figura 5 Ejemplo de hidrograma y polutograma de diseño para una lluvia de periodo de retorno de 2 años y punta adelantada un 70%

Estos hidrogramas y polutogramas se aplicaron a tres modelos diferentes de configuración de las cámaras de los aliviaderos: el tanque tradicional que había estado empleado la Confederación Hidrográfica del Norte, un tanque con cámara única y un tanque con deflector:



Figura 6 Modelización 3D de los tres disposiciones de cámaras analizadas en los tanques-aliviaderos

De los resultados obtenidos en el estudio, se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Los mejores rendimientos de retención de masa de contaminación se conseguían con los tanques con unos volúmenes específicos mayores, en torno a 60 m³/Ha neta.
- La tipología que lograba mejores rendimientos de retención de contaminación era el tanque con deflector, si bien la diferencia entre esta tipología y la demás disminuía al aumentar el volumen de tanque, entre un 5% y un 2%.
- En resumen, se concluía que para grandes tanques la configuración óptima era la de cámara única, ya que el incremento de rendimiento no justificaba su mayor coste económico, y para tanques más pequeños la de dos cámaras con deflector.

Tal y como anteriormente, y fruto de las justificaciones del estudio realizado por el GEAMA, las obras de los colectores generales del río Miño en Lugo incluyeron dos nuevas tipologías de tanque de tormenta, que respondían a una evolución respecto a las tradicionalmente aplicadas en el norte peninsular.

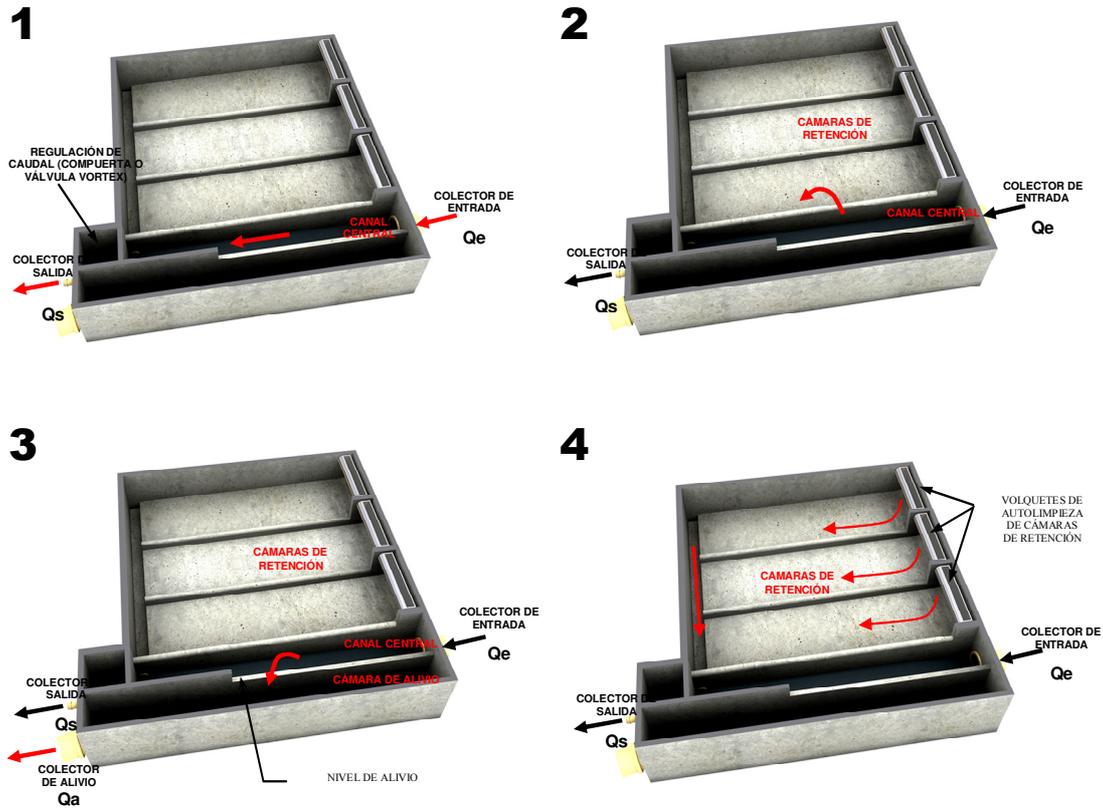


Figura 7 Fases de funcionamiento de un tanque de disposición tradicional

Tal y como se muestra en la figura 7, el funcionamiento de un aliviadero tradicional se representa en las siguientes fases:

1. Tiempo seco: Todo el caudal que entra en el tanque circula por el canal central y sale por el colector de salida hacia la E.D.A.R.
2. Tiempo de lluvia: El caudal de entrada es superior al de salida, controlado por un elemento regulador de caudal (compuerta o válvula vortex), por lo que el nivel en el canal central aumenta hasta alcanzar el nivel del muro de separación entre canal central y cámaras de retención, momento en el cual se produce en ellas la acumulación exceso de caudal de entrada.
3. Tiempo de lluvia: Una vez que el tanque está al máximo de capacidad de retención, si sigue subiendo el nivel debido a la abundante entrada de caudal, el tanque de tormentas comienza a verter al canal de alivio a través de un tamiz que retiene los flotantes, saliendo directamente hacia el cauce receptor.
4. Tiempo de lluvia: Una vez que el caudal de entrada disminuye y se hace inferior al de salida, el nivel del agua en el interior de las cámaras desciende paulatinamente hasta que se vacían. Una vez sucedido esto, mediante unas electroválvulas, se llenan de agua los limpiadores basculantes, que al descargar producen una ola que arrastra todo el sedimento que queda en las cámaras de retención a un canal que los conduce hacia el canal central y de ahí por el colector de salida se dirigen hacia la E.D.A.R.

Frente a esta configuración, la nueva disposición de las cámaras, aparte de mejorar las tasas de retención de contaminación tal y como reflejan las conclusiones del estudio realizado, permitía situar los canales de los limpiadores basculantes en perpendicular al canal central, facilitando la limpieza de toda la superficie del tanque con las consiguientes ventajas de cara al mantenimiento y a la futura explotación de la instalación (minimización de olores, reducción de las resuspensiones de sedimentos...).

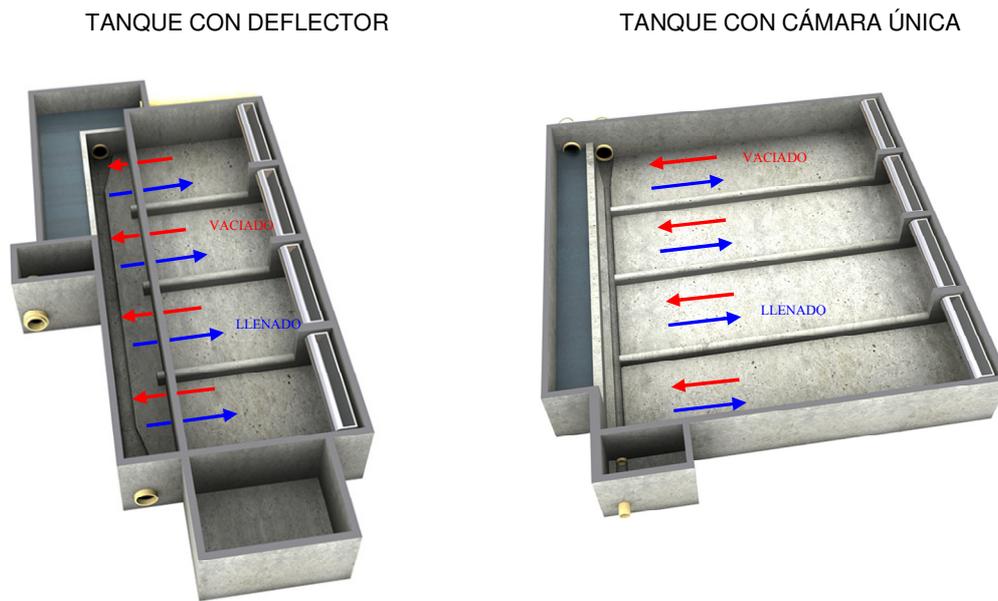


Figura 8 Sistema de limpieza de las nuevas configuraciones de tanque

Todos estos tanques han sido equipados con todas las instalaciones necesarias para su adecuado mantenimiento y gestión: carpintería de acero inoxidable AISI316, acometidas de electricidad y agua, dispositivos de control de caudal (válvulas vórtex o compuertas motorizadas), equipos de tamizado de flotantes en los aliviós (tamices HSW de Huber Technology, rejas autolimpiables PAS de CSO Technik Biogest, o los tamices rotativos de UFT-Clean Water), limpiadores basculantes, sistemas de ventilación y desodorización mediante carbón activo, sistema de alarma, todo ello controlado, automatizado y gestionado a través de un sistema de telemando vía tecnología 3G.

Todo ello, se ha complementado al mismo tiempo con la aplicación de otros factores innovadores como el empleo de tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) en la construcción de conducciones en zanja, y de tubería de hormigón polímero (Polycrete) en la ejecución de alguna perforaciones mediante microtuneladora y empuje simultáneo de tubería; junto con la aplicación de unos elevados estándares de calidad constructiva y de control de ejecución, que ha permitido lograr un fiel traslado a la realidad física de lo proyectado.

Por último, cabe señalar que debido a que en este tipo de actuaciones la mayor parte de las obras suele discurrir bajo tierra, resulta más importante si cabe el aspecto de todos aquellos elementos que afloran en superficie. En el caso de la obra de los Colectores Generales del río Miño, esta responsabilidad recayó sobre los edificios de explotación de los aliviaderos o tanques de tormenta, y para su diseño se potenciaron los aspectos, como integración paisajística en el medio que los rodea mediante la adopción de volúmenes y formas acordes a la topografía de la zona en que se ubican, y mediante el empleo de materiales propios del entorno que armonizasen en colores y texturas con el medio que les rodea.

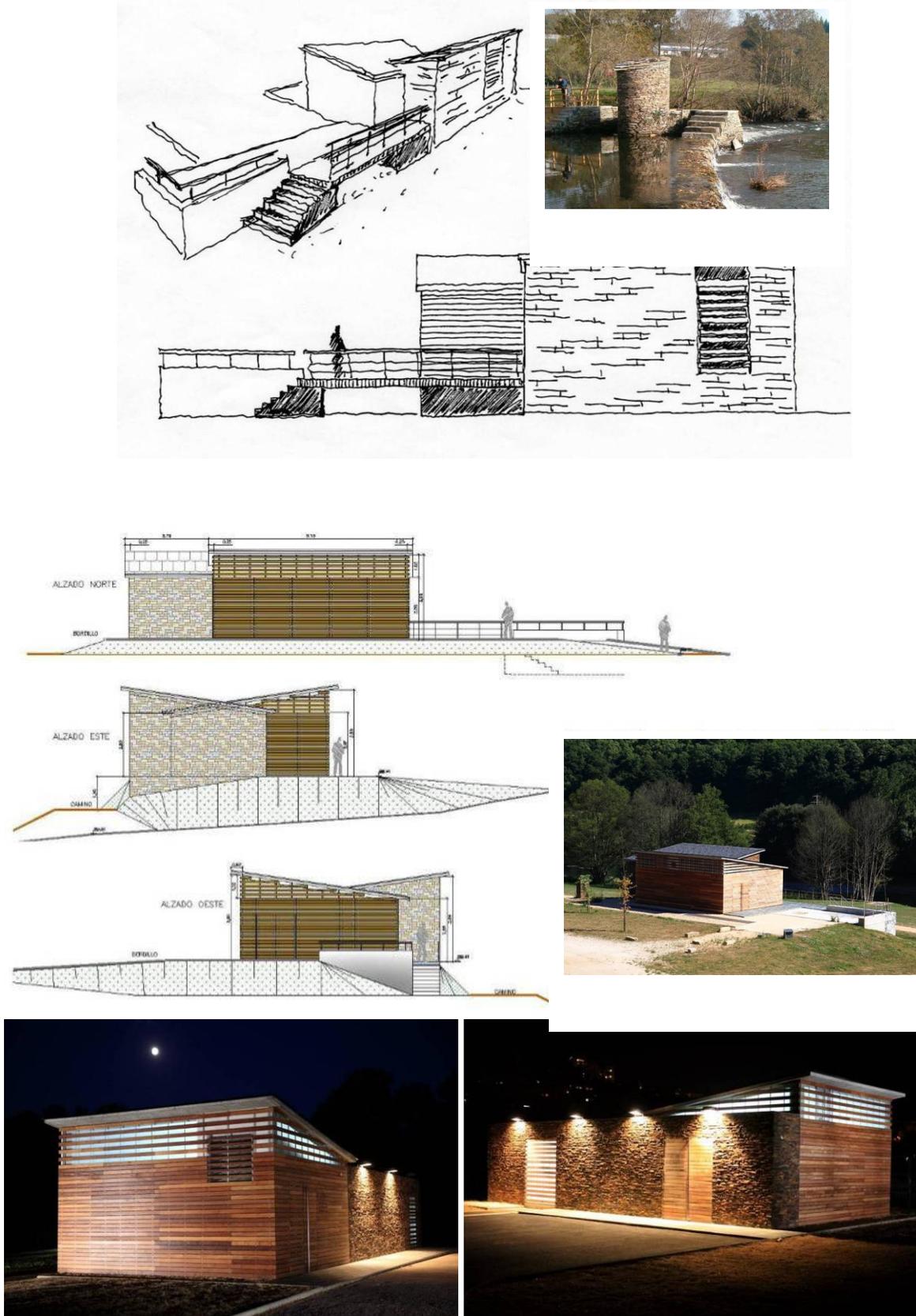


Figura 9 Diseño y aspecto definitivo de los edificios de explotación de los tanques-aliviaderos

En definitiva, se puede decir que el carácter innovador de todos estos procedimientos empleados en el dimensionamiento y diseño de esta actuación, junto con la calidad constructiva, de equipamiento y técnica de la misma, unido, a un esmerado tratamiento ambiental de las obras a través de un cuidado diseño de los elementos más visibles para el ciudadano, como son los edificios de explotación, ha conseguido transmitir una sensación de pulcritud y modernidad que invita al ciudadano a hacerse partícipe de una mayor conciencia ecológica y a ver el proceso de depuración de residuos como una responsabilidad colectiva, poniendo en valor uno de los atractivos socioeconómicos más importantes de la ciudad de Lugo como es el entorno del río Miño.

Como consecuencia de todo ello, estas obras, convertidas en un ejemplo práctico de la aplicación de las tendencias más modernas de ingeniería de saneamiento urbano en un medio fluvial, han sido galardonadas con el premio San Telmo 2009, otorgado por la Demarcación de Galicia del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos a la mejor obra de ingeniería civil realizada en Galicia en los dos últimos años (2007-2008).