

La nueva EDAR de Lagares (Vigo). Aspectos novedosos incorporados al diseño de la instalación.

Fernández, C.^a

Sociedad Mercantil Estatal Aguas de las Cuencas de España, S.A. (ACUAES), Calle Colón, 21- 3ª planta. 36203 Vigo.
E-mail: carlos.fernandez@acuaes.com.

Línea temática C | Agua y ciudad

RESUMEN

La nueva EDAR de Lagares, integrada dentro de la actuación "Saneamiento de Vigo", materializa la respuesta articulada por las tres administraciones implicadas, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la sociedad estatal Acuaes, Xunta de Galicia y Concello de Vigo, para dar solución a los graves problemas de contaminación que presentaba la ría de Vigo y que habían derivado en que la Unión Europea propusiera en el año 2005 la imposición de una elevada sanción económica al Reino de España por el incumplimiento de la Directiva 79/923/CEE relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos.

Las bases de diseño del proyecto exigieron, además de solucionar los problemas de contaminación fecal detectados en la ría, el cumplimiento de los requisitos establecidos por la Directiva 91/271/CEE para zonas sensibles de más de 100.000 h-e., admitir caudales de hasta 12 m³/s y dotar a la nueva planta de una capacidad de tratamiento en términos de contaminación de hasta 800.000 h-e (año horizonte 2042), lo que la convierte en la mayor EDAR de Galicia.

Los altos niveles de calidad requeridos al efluente y los exigentes requisitos medioambientales y de diseño de la nueva EDAR, justificaron una apuesta por alternativas de proceso innovadoras y la incorporación de algunas de las últimas tecnologías de diseño de estaciones de tratamiento de aguas residuales. El objetivo de la presente comunicación es, además de la presentación de las características principales de la nueva instalación, exponer con mayor detalle algunas de las novedades incorporadas y compartir el conocimiento adquirido durante el diseño y utilización de las mismas.

La inversión prevista para el conjunto de la actuación Saneamiento de Vigo superará los 170 millones de euros, que serán cofinanciados por el Ministerio, a través de Acuaes y el Fondo de Cohesión de la Unión Europea, la Xunta de Galicia y el Concello de Vigo.

INTRODUCCIÓN

La ría de Vigo recibe los efluentes de depuración de unos 420000 habitantes, de los que aproximadamente 300000 utilizan el sistema de saneamiento de la ciudad de Vigo. A estos vertidos se suman, tanto los procedentes de una intensa actividad industrial, como los derivados de los incrementos de población que se producen durante la época estival. Además, la ría alberga una importante actividad marisquera y está rodeada por un gran número de zonas de baño, siendo estas actividades fuertemente dependientes de la calidad de las aguas, especialmente, en lo relativo al control de la contaminación fecal.

La elevada presión sobre el medio receptor, unida al deficiente funcionamiento del conjunto de sistemas de saneamiento vertientes a la ría de Vigo, derivó en que la Unión Europea propusiese en el año 2005 la imposición de una elevada sanción económica al Reino de España por el incumplimiento de los parámetros de calidad exigidos a las aguas para cría de moluscos, al no haber adoptado un programa de reducción de la contaminación para la Ría de Vigo.

En respuesta a esta situación, el 2 de agosto de 2010 la Xunta de Galicia, el Organismo Autónomo Augas de Galicia, el Concello de Vigo y acuaNorte (actual Acuaes) suscribieron el *Convenio para la construcción de las infraestructuras hidráulicas de la actuación Saneamiento de Vigo*, hecho que posibilitó la licitación del *Contrato conjunto para la redacción del*

proyecto constructivo, ejecución de las obras y puesta en marcha de la ampliación y modernización de la EDAR de Lagares (Vigo) y que fue adjudicado el 28 de septiembre de 2011 a la UTE EDAR Lagares.

REQUISITOS DE DISEÑO DE LA NUEVA INSTALACIÓN

A la hora de afrontar el diseño de la nueva EDAR de Lagares fueron muchos, y de muy diversa naturaleza, los requisitos que hubieron de tenerse en cuenta para que la instalación cumpliera tanto con los criterios técnicos prescritos como con las expectativas más generales del conjunto de interesados del proyecto. Así, se pueden enumerar por una parte las bases de diseño de los procesos (caudales, rendimientos de eliminación de cargas contaminantes, estrategia de gestión de aguas pluviales...) pero no se pueden dejar al margen otros criterios igualmente importantes y de cuyo cumplimiento depende el éxito final de la actuación. Integración en el entorno, ubicación de las instalaciones, criterios de durabilidad, niveles de tolerancia a ruidos y olores, requisitos de explotación y eficiencia energética son ejemplos de esos otros condicionantes que forman parte del contexto del proyecto y sin cuya valoración no podría concebirse el diseño final de la instalación.

Bases de diseño de los procesos

De acuerdo con las bases técnicas de la licitación, la instalación se ha diseñado para el tratamiento de los siguientes escenarios de caudal y cargas contaminantes:

Parámetro	Situación actual		Situación futura	
	P 50	P 90	P 50	P 90
Q Medio diario (m ³ /s)	1.40	1.70	2.20	2.67
Q Máximo tiempo seco (m ³ /s)	2.00	2.40	3.40	4.12
Q Mínimo (m ³ /s)	0.90	0.90	1.18	1.18
Q Máximo en lluvia (m ³ /s)	8.00	8.00	12.00	12.00
D.Q.O. (mg/l)	506	542	506	502
D.B.O.5 (mg/l)	253	271	253	251
S.S.T. (mg/l)	171	211	171	185
S.S.V. (mg/l) (74% S.S.T)	127	156	127	137
N-NH ₄ (mg/l)	25	31	25	26,8
N.T.K. (mg/l)	37	48	37	41,2
P-PO ₄ (mg/l)	7	7	7	6,8
P-P Total (mg/l)	11.63	11.63	11.63	11.63
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	1.0·10 ⁷	1.0·10 ⁷	1.0·10 ⁷	1.0·10 ⁷
Pob. equivalente (hab.)	510048	663408	801504	965045

Tabla 1 | Caudales y características del agua bruta. (P50 y P90, percentiles 50 y 90, respectivamente)

Requisitos del agua tratada y los lodos generados

El agua tratada debe cumplir con los criterios de calidad exigidos en la Directiva 91/271/CEE para el vertido a zonas sensibles de poblaciones de más 10.000 habitantes, expresados como las concentraciones máximas y los rendimientos mínimos siguientes, obtenidos como muestras diarias compuestas:

Parámetro	% mínimo de reducción	Concentración
DBO ₅	90	< 25 mg/l
DQO	75	< 125 mg/l
Sólidos en suspensión	90	< 35 mg/l
Nitrógeno total	80	< 10 mg/l
Fósforo total	85	< 1 mg/l
Coliformes locales	-	1x10 ⁴ (UFC/100 ml)

Tabla 2 | Objetivos de calidad del agua tratada biológicamente.

Además, en el diseño de la instalación en medios receptores con uso de baño y de cultivos de moluscos, es muy relevante la estrategia de tratamiento de las aguas de lluvia que adopta cada sistema de saneamiento. En el caso de la ciudad de Vigo, que cuenta con una extensa red unitaria de colectores pero que tiene una escasa capacidad de regulación, cobra especial importancia el hecho de que la EDAR no sea limitante a la hora de admitir los caudales de aguas pluviales circulantes por los colectores. Tal y como se pudo comprobar durante los trabajos de modelización del sistema de saneamiento de la ciudad, un hipotético alivio por incapacidad hidráulica en cabecera de la planta, generaba graves efectos sobre el medio receptor dada su proximidad a las zonas de baño.

Este hecho condicionó, tal y como se verá en apartados sucesivos, el diseño de las instalaciones de la nueva EDAR que hubieron de asumir hidráulicamente de la totalidad de caudales circulantes en tiempo de lluvias e implementar los procesos necesarios para garantizar unas determinadas condiciones de tratamiento de los mismos:

Parámetro	% mínimo de reducción
Reducción de S.S.T. en tiempo de lluvias ($Q > 4.12 \text{ m}^3/\text{s}$)	75

Tabla 3 | Objetivos de calidad de los excedentes tratados en tiempo de lluvias.

Requisitos asociados al tratamiento de olores y ruidos

La singular ubicación de la EDAR de Lagares, marcada por el entorno habitado que la rodea, hizo que cobrase especial importancia el diseño de los sistemas de tratamiento, control y gestión de las emisiones de ruidos y olores, de modo que fuese posible, tanto alcanzar los niveles de emisión de parámetros contaminantes establecidos en el diseño de los procesos como establecer estrategias de operación destinadas a minimizar el impacto acústico y odorífero de la nueva depuradora. Para el diseño de estas instalaciones se partió de los siguientes requisitos generales:

- Evitar la emisión de aire no desodorizado al exterior de la instalación (confinamiento de todos los procesos y condiciones de depresión en recintos confinados).
- Conseguir un ambiente adecuado en las zonas de trabajo, lo más aislado posible de los focos emisores de olores (superficie de agua y lodos).
- No superar los límites requeridos de inmisión en límite de parcela: percentil 98 de las medias horarias en un año C98, 1 hora = $2.5 \text{ UOe}/\text{m}^3$.
- Cumplimiento de los valores acústicos marcados por el R.D. 1367/2007 en los límites de parcela.

Requisitos derivados de la ubicación de las instalaciones

Los terrenos disponibles para la ejecución de la nueva EDAR se asentaban en parte sobre los ocupados por la antigua depuradora de la ciudad. Este hecho obligó a ejecutar una EDAR provisional que permitiese mantener en todo momento el sistema de depuración y liberar progresivamente los terrenos necesarios para la ejecución de la nueva infraestructura.



Figura 1 | Esquema de interferencia entre la antigua y la nueva EDAR de Lagares

Esta interferencia derivó en dos requisitos de diseño importantes:

- La necesidad de ejecutar en una primera fase una nueva línea de agua provisional que permitiese liberar parte de los terrenos de la depuradora antigua.
- La ubicación de la línea de lodos de la nueva EDAR fuera de la zona de afección para poder priorizar su ejecución y permitir el desmantelamiento de la línea de lodos anterior y la completa liberación de los terrenos de interferencia.

Requisitos derivados de la integración en el entorno y la recuperación del Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT).

La necesidad de adaptarse tanto al entorno natural como a la cercanía de núcleos habitados precisó la concepción de una depuradora en la que todos los procesos de tratamiento se realizan en recintos confinados a fin de lograr un adecuado control de las emisiones de ruidos y olores y que, al mismo tiempo, facilitase la integración paisajística de las instalaciones.

Además, la ubicación de la depuradora está fuertemente marcada por la presencia de la marisma del río Lagares lo que contribuyó de modo significativo a la decisión de ubicar en un recinto subterráneo las instalaciones de pretratamiento y decantación primaria. Por ello, su cubierta forma parte del área ajardinada del recinto de la EDAR situada en la parte más cercana a la marisma del río Lagares y propicia una transición suave entre la zona edificada y el entorno natural de la planta.

Igualmente, se convirtieron en requisitos del nuevo proyecto tanto la demolición de las instalaciones de la antigua EDAR como la recuperación de la línea de deslinde del DPMT que ocupaban éstas para su devolución al hábitat natural de la marisma.

LA SOLUCIÓN ADOPTADA: LA NUEVA EDAR DE LAGARES

A continuación se describe brevemente la solución adoptada para dar respuesta al conjunto de requisitos anteriormente mencionados y que constituyen las líneas maestras del diseño de la nueva EDAR de Lagares.

Línea de agua

La **línea de agua** de la nueva EDAR del Lagares, incluye los elementos que se describen a continuación:

a) Pretratamiento y tratamiento primario:

Se realiza un desbaste, pretratamiento y tratamiento primario de todo el caudal aportado por los colectores: 8 m³/s (28800 m³/h), en la actualidad, y 12 m³/s (43200 m³/h), en el año horizonte.

- Obra de llegada: Pozos de Gruesos (3 unidades), Desbaste automático de gruesos (3 unidades), Elevación de agua bruta (7 + 1 unidades), Tamizado de sólidos finos (7 + 1 unidades), Transporte y compactación de residuos (2 unidades), Desarenado y desengrasado en canal aireado (5+1 unidades), lavadores de arenas (2+1 unidades).

En respuesta a las limitaciones de espacio, capacidad de tratamiento y necesidades de integración paisajística de la planta, la decantación primaria se ha resuelto mediante decantadores lamelares que, durante los episodios de lluvia se ven reforzados por un proceso físico-químico que incrementará sus rendimientos de eliminación de sólidos (>75%) y que disponen de su propio bombeo de excedentes al emisario submarino (3 unidades).

- Decantación primaria (F-Q en lluvias) (6 unidades), Medida de caudal, Tratamiento físico-químico de aguas de lavado de filtros y lodos del terciario (1 unidad).

b) Tratamiento secundario:

El proceso elegido en este caso es el de un tratamiento biológico mediante biofiltración por su buena adaptación a los requerimientos de compactidad de la planta y a las altas calidades de tratamiento exigidas, incorporando procesos de eliminación de nitrógeno por vía biológica y de fósforo por vía química, y precedido por un bombeo intermedio (4+1 unidades).

- Tratamiento Biológico formado por: Biofiltración de 1ª etapa para desnitrificación con filtros Biostyr Pre DN (10 ud). Biofiltración de 2ª etapa para nitrificación con filtros Biostyr N-DN (18 ud).

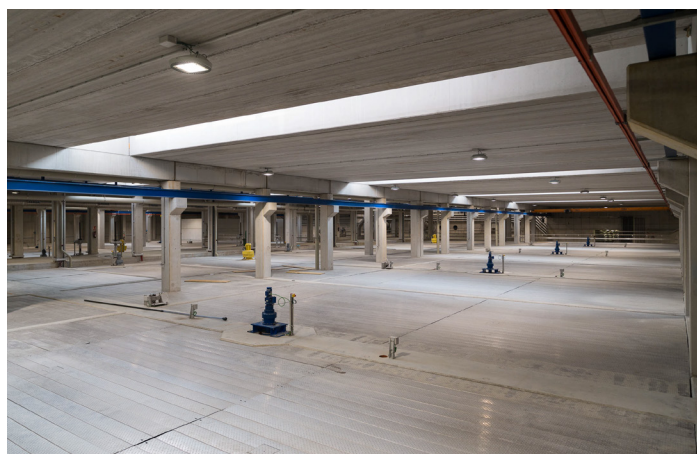


Figura 2 | Vista general del recinto de decantación primaria de la nueva EDAR de Lagares.



Figura 3 | Vista general de la segunda etapa del proceso de biofiltración

El máximo caudal de diseño del tratamiento secundario es de 4.12 m³/s (14832 m³/h), siendo su capacidad hidráulica máxima de 5.24 m³/s (incluyendo el caudal tratado del tratamiento físico-químico de lavado de los biofiltros).

c) Tratamiento terciario:

Se realizará una desinfección del efluente mediante radiación ultravioleta (UV). El proyecto incluye el equipamiento necesario para la desinfección de un caudal de 4.00 m³/s (14400 m³/h), y la obra civil necesaria para tratar un caudal futuro de hasta 8.00 m³/s (28800 m³/h).

- Tratamiento terciario físico-químico para eliminación de fósforo (Actiflo). (2 unidades). Desinfección del agua tratada compuesta por: Lámparas UV (1152 unidades en línea de agua provisional y 576 en la EDAR definitiva).

Línea de Lodos

La línea de lodos se calculó para dar respuesta a las necesidades de tratamiento del escenario futuro en su percentil 90 y alberga procesos de tamizado e hidrociclado de lodos, digestión anaerobia, precedida de un pretratamiento de hidrólisis térmica, un proceso de deshidratación mecánica de fangos y un secado térmico de baja temperatura que reduce sustancialmente el volumen de residuos generado.

a) Tamizado y acondicionamiento de lodos:

Tamizado de lodos (3+1 unidades), Hidrociclado de lodos, Depósito de almacenamiento de lodos en época de lluvias (2 unidades) y bombeo de lodos a espesamiento mecánico (2+1 unidades).

b) Tratamiento de lodos:

Espesamiento mecánico de lodos primarios (2+1 unidades), Hidrólisis térmica (1 unidad + (1+1) caldera vapor), Bombeo a digestión (2 unidades), Digestión anaerobia (2 unidades), Depósito tampón de lodos digeridos (1 unidad), Deshidratación y almacenamiento de lodos (1+1 unidades), Secado térmico en túnel de secado con aire caliente (1 unidad + 1 unidad caldera aceite térmico), Sistemas de transporte de fango seco (1 unidad), Silos de almacenamiento de lodos espesados, deshidratados y secos (1 +1+1 unidades).

c) Generación y recuperación de energía:

Línea de gas compuesta por: 2 Gasómetros, Antorcha y Sistema de recuperación de energía: Motogeneradores de energía eléctrica (2 unidades/800 Kwe).

d) Tratamiento de residuos externos:

A fin de minimizar la entrada de arenas a los procesos de tratamiento de la nueva planta, se ha instalado un sistema de tratamiento de los residuos externos a la planta (limpieza de fosas sépticas y colectores) que permite realzar un adecuado tratamiento de este tipo de residuos. El sistema consta de: tolva de almacenamiento de residuos (1 unidad),

tromel de lavado (1 unidad), tornillo de transporte de sólidos gruesos (1 unidad), cinta transportadora de reparto de residuos (1 unidad) y bombeo de arenas a lavadores (1+1 unidades)

Debido a los requerimientos exigidos por su singular ubicación, tanto los edificios que albergan la línea de tratamiento de aguas como los de la línea de tratamiento de lodos, se han dotado con los sistemas de ventilación y desodorización necesarios para minimizar el impacto odorífero de las instalaciones. El aspecto general de la planta busca la integración paisajística de las instalaciones dentro de su entorno, y a este hecho contribuye de modo significativo la decisión de ubicar en un recinto subterráneo las instalaciones de pretratamiento y decantación primaria, de modo que su cubierta forme parte del área ajardinada del recinto de la EDAR situada en la parte más cercana a la marisma del río Lagares.

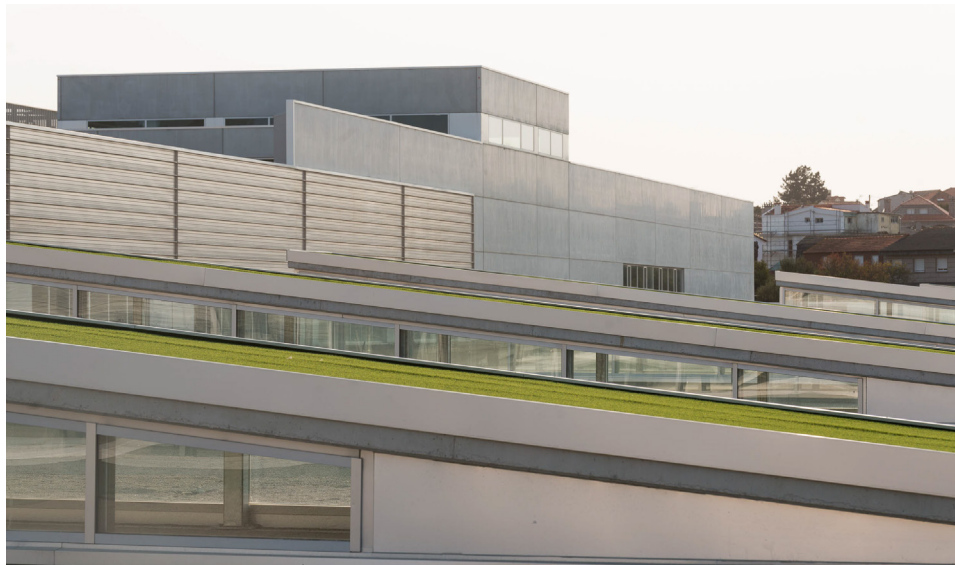


Figura 4 | Vista general de la cubierta y lucernarios de la zona de decantación primaria.

ASPECTOS NOVEDOSOS INCORPORADOS AL DISEÑO DE LA NUEVA EDAR DE LAGARES

Tanto por su reciente ejecución como por la propia envergadura del proyecto, la nueva EDAR de Lagares incorpora en sus procesos e instalaciones algunas de las últimas tecnologías asociadas al diseño de estaciones de tratamiento de aguas residuales. A continuación se exponen algunos aspectos novedosos con el objetivo de compartir el conocimiento adquirido durante su estudio y posterior implementación.

Estudio piloto y diseño de un sistema de hidrociclizado de lodos

Según se pudo constatar durante el desarrollo del proyecto de la nueva EDAR, la entrada de arenas al sistema de tratamiento de lodos representaba un problema grave que se venía manifestando en la explotación de la antigua depuradora de Lagares y que derivaba en la necesidad recurrente de vaciar los puntos de acumulación de estas arenas dentro de la línea de tratamiento de lodos.



Figura 5 | Labores de retirada de arenas del interior de los digestores anaerobios de la EDAR actual

Ante la singularidad del problema y con el fin de alcanzar un mayor grado de conocimiento sobre la naturaleza del proceso de acumulación de arenas que permitiese el posterior diseño de una solución óptima para abordarlo, se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Firma de un convenio específico entre la UTE EDAR Lagares y la Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia para el desarrollo de los trabajos de “*Caracterización de los flujos de arenas en la EDAR de Lagares (Vigo) y análisis de los rendimientos del desarenador actual*”. (Suárez et al. 2013)
2. Colaboración con la Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia para el desarrollo de los trabajos de “*Caracterización del rendimiento de eliminación de arenas del fango primario de la EDAR de Lagares-(Vigo) mediante un dispositivo ciclónico*”. (Suárez et al. 2014)
3. Realización del estudio de optimización del diseño de los canales de desarenado mediante simulación fluidodinámica. Para realizar estudio se contó con la colaboración de la empresa alemana Hydrograv GmbH.

Es decir, se planificó a través de los sucesivos estudios un avance progresivo en el conocimiento del problema que permitiese diagnosticar qué estaba sucediendo con los flujos de arena, cómo podía abordarse su control en el corto plazo y de qué manera podía mejorarse el diseño de los desarenadores de la nueva planta para optimizar su rendimiento.

Identificación del problema

El trabajo de “*Caracterización de los flujos de arenas en la EDAR de Lagares (Vigo) y análisis de los rendimientos del desarenador actual*”, que incluyó caracterizaciones granulométricas mediante difractómetros láser, puso de manifiesto fenómenos que se producen en los tamaños de partículas entre 100 y 1000 μm , que no habrían sido detectados con tanta claridad con las determinaciones granulométricas mediante columnas de tamices.

En particular, la distribución granulométrica de las arenas permite definir dos perfiles tipo extremos: el perfil granulométrico bimodal, que corresponde al funcionamiento durante tiempo seco o en régimen ordinario del desarenador; y el perfil granulométrico unimodal, que se obtiene durante el funcionamiento en estrés hidráulico, del desarenador. Entre estos dos perfiles extremos cabe un conjunto de perfiles transicionales.

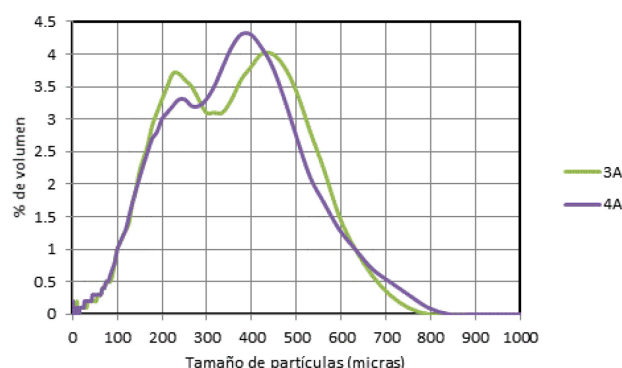


Figura 6.- Perfiles granulométricos característicos de la fracción inerte de muestras de arenas en tiempo seco

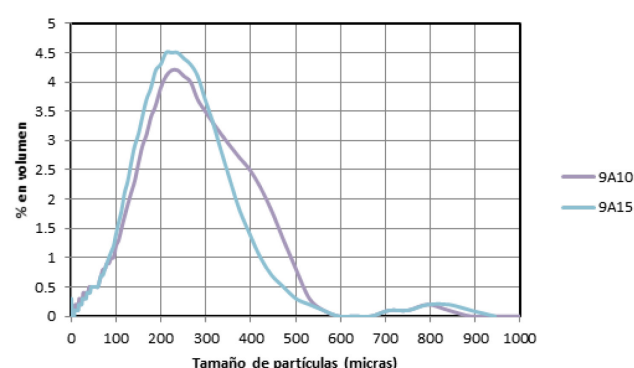


Figura 7.- Granulometrías de muestras de arenas extraídas en régimen de estrés hidráulico

La diferencia entre el perfil granulométrico bimodal característico de tiempo seco y el perfil unimodal en caso de estrés hidráulico representa la potencial fuga de fracciones superiores a 0.2 mm. En un fenómeno que se puede denominar de “ventana abierta” (Álvarez-Campana et al. 2014) por cuanto se asume que aquellas fracciones de arenas superiores a 0.2 mm que el desarenador está extrayendo en régimen ordinario, no es capaz de retenerlas en episodios de estrés hidráulico, por lo que franquearán esa ventana. Durante episodios de lluvia el desarenador entra en estrés hidráulico al disminuir su tiempo de retención hidráulica (TRH) y, por el efecto mencionado anteriormente, se hace permeable a fracciones de arena de diámetro superior a 200 μm . Estas fracciones, que de acuerdo con las granulometrías en tiempo seco se encuentran predominantemente entre 0.3 y 0.6 mm, “desaparecían” del contenedor de arenas de la antigua EDAR durante la fase de estrés hidráulico del desarenador, franqueando el dispositivo de desarenado y pasando a los decantadores primarios.

Es decir, se identificó el fenómeno por el cual se estaba produciendo una fuga importante de sólidos hacia la línea de lodos y que se veía agravado en los momentos de estrés hidráulico de los desarenadores.

Planteamiento de soluciones

En tanto que las fases de construcción de la nueva EDAR de Lagares obligaban a tratar en las nuevas instalaciones, y durante un largo periodo de tiempo (aproximadamente 3 años) los lodos generados en una línea de agua provisional que aprovechaba los desarenadores de la antigua depuradora, se hizo necesario diseñar un sistema para eliminar la mayor fracción posible de arenas contenidas en el lodo primario antes de su paso a los digestores de la nueva línea y así evitar los problemas de decantación y abrasión previamente identificados. Se trataba, por tanto, de enfocar el problema desde una doble vertiente: abordar en el corto plazo la eliminación de arenas de los lodos primarios en tanto fuese imperativo funcionar con los desarenadores antiguos; y, a la vista del conocimiento adquirido en la primera parte del estudio, revisar los criterios de diseño habituales de los desarenadores. Esto permitiría posibles optimizaciones de los canales de desarenado de la nueva planta para minimizar los episodios de estrés hidráulico en que se producen las fugas de sólidos hacia la línea de lodos.

Diseño de un sistema de eliminación de arenas

Para la eliminación de las arenas presentes en los lodos de decantación primaria, y ante la escasez de referencias válidas sobre equipos específicamente diseñados para estos procesos, se planteó un ensayo de planta piloto para evaluar la eficiencia de un sistema de hidrociclizado de los lodos. Los objetivos básicos de la campaña fueron:

- Evaluar la eficiencia en la separación de arenas de la corriente de fango primario con un tamaño de partícula a partir de 100 micras.
- Comprobación del contenido de sólidos volátiles en el rechazo para evitar una excesiva pérdida de materia orgánica que pudiese afectar negativamente a fases posteriores del tratamiento de lodos.

La campaña analítica se realizó en colaboración con las empresas AMP “Advanced Mineral Processing”, empresa encargada de suministrar y operar la planta piloto, así como de la toma de muestras, y del GEAMA “Grupo de Enxeñaría da Agua e do Medio Ambiente” de la Universidade da Coruña “UdC”, responsables del transporte y analíticas en laboratorio de las muestras. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.- Resumen de rendimientos alcanzados en la fase de planta piloto (promedios conjuntos SSF y STF)

Parámetro	Muestreo I	Muestreo II	Global
Rend. Eliminación >150 a 200	89.0	91.0	90.1
Rend. Eliminación 100 a <150	80.5	77.5	78.1
Rend. Eliminación >100	84.9	84.5	84.3
Rend. Eliminación >150	91.0	93.9	92.7
Rend. Eliminación >200	98.2	98.5	98.3

Los rendimientos alcanzados se consideraron satisfactorios, siempre por encima del 75 % en el intervalo de 100 a 150 micras, que es el intervalo en el cuál se estimaba que se encontraba el mayor porcentaje de arenas que no era capaz de retener el desarenador y logrando disminuir en hasta 6 veces la acumulación de arenas en el proceso posterior de digestión anaerobia. Este hecho, unido a la constatación de la escasa pérdida de materia volátil durante el proceso de hidrociclado, propició la validación de la solución y dio pie al diseño de la planta de hidrociclado finalmente instalada en la nueva EDAR de Lagares.

Desde su entrada en funcionamiento, el sistema de hidrociclado de lodos instalado en la nueva EDAR de Lagares trató $1.25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de lodos provenientes de la EDAR provisional de los que consiguió retirar 1300 T de arena, evitando así su decantación en tratamientos posteriores de la línea de lodos (digestión anaerobia y depósitos de regulación).

Optimización del diseño de los desarenadores de la nueva EDAR

Con el objetivo de mejorar los rendimientos de eliminación de arenas en los canales de desarenado de la nueva EDAR, se planteó un estudio de optimización del proceso de desarenado mediante simulación fluidodinámica (Oller, M, 2014) utilizando la metodología CFD (Mecánica de Fluidos Computacional) y que fue desarrollado por la empresa Hydrograv GmbH.

Toda vez que no era posible modificar las dimensiones principales de los canales de desarenado, tanto por la falta de espacio disponible como por sus implicaciones en el diseño del conjunto de la instalación, se simularon hasta 11 alternativas de diseño (en tiempo seco y en tiempo de lluvias) en las que se analizaron distintas combinaciones de los siguientes parámetros:

- Sección transversal (Geometría exterior). Partiendo de la base del proyecto constructivo se analizaron cambios tanto en el ángulo del fondo como en la profundidad de la poceta-canal de acumulación de arenas.
- Ratios de aireación.
- Efecto de un deflector en la entrada con lado inferior cerrado y abertura centrada de 0.2 m en este lado inferior.
- Efecto de aumentar la sección de la entrada de 1.5 a 2m de ancho en todas las simulaciones.

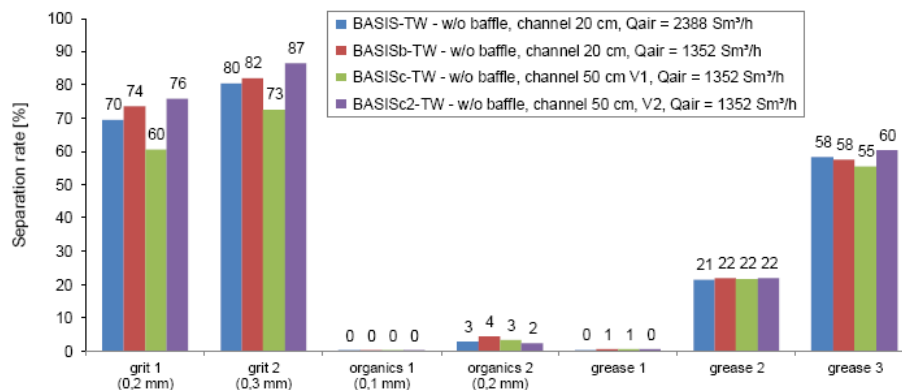


Figura 8. Rendimientos de eliminación de arenas y grasas calculados para 4 simulaciones realizadas en tiempo seco.(II Fase).

Del abanico de variantes analizado en las dos fases en que se desarrolló el estudio, se concluyó que era posible incrementar los rendimientos de separación de arenas alcanzados en el diseño base inicial (ver simulaciones BASISb y BASISc2 vs. BASIS) resultando especialmente relevantes las recomendaciones del estudio en cuanto a las ratios de aireación a emplear en el proceso.

Además de las ligerísimas modificaciones de la sección transversal recomendadas por el estudio, se determinó un caudal de aireación medio óptimo de 1.352 Sm³/h (contra los 2.388 Sm³/h previstos en proyecto) por lo que, si bien se recomendaba mantener la capacidad máxima de aireación inicialmente prevista a fin de permitir una óptima limpieza de fondo en episodios de caudal punta, se aumentó el número y características de los equipos de aireación a fin de tener la capacidad de suministrar caudales más bajos y que se adaptasen mejor a las conclusiones de este trabajo.

Instalación de un proceso de pretratamiento de lodos mediante hidrólisis térmica.

La necesidad de un diseño compacto de la planta ante las importantes restricciones de espacio que presentaba el proyecto y la búsqueda de una infraestructura más eficiente energéticamente (premio WEX 2016 en la categoría Water&Energy), propiciaron la inclusión de un sistema de pretratamiento de lodos que pudiese aportar ventajas en ambos sentidos. El proceso escogido para este fin fue el de hidrólisis térmica, y se integra dentro de la línea de lodos de la EDAR de Lagares como un pre-tratamiento previo a la digestión anaerobia. Este proceso consiste, de forma simple, en disolver la materia orgánica de los lodos utilizando para ello presión y temperatura a través de vapor saturado.

Al solubilizar la materia orgánica, se consigue una mayor velocidad, estabilización de sólidos volátiles y mejorar el rendimiento de la digestión anaerobia. La desintegración las estructuras celulares de las bacterias, mejoran las propiedades del lodo para ser digerido, y después deshidratado. Al reducir la viscosidad del lodo, se pueden alimentar los digestores a una carga del 10-12% de materia seca, necesitando un volumen de digestión del orden de 2 a 3 veces menor que en una digestión convencional.

Las ventajas de la aplicación de la hidrólisis térmica, en este caso de la patente Cambi®, se pueden resumir de modo general en la tabla mostrada a continuación:

Tabla 5. Tabla comparativa de parámetros de funcionamiento entre digestión convencional c/ y s/ hidrólisis térmica como pretratamiento.

Parámetro	Digestión anaerobia c/ Hidrólisis Térmica	Digestión anaerobia s/ pretratamiento
Tiempo de retención	12-15 días	20-21 días
Concentración DS	10-12 %	4-6 %
Volumen	< 1/3 Convencional	1
Carga VS	> 5 Kg/m3/día	2 -3 Kg/m3/día
pH	7.5 – 8	6.8 – 7.5
Temperatura	38 – 42°C	35 – 37°C
VFA/ Alcalinidad total	0.1 – 0.5	0.1 – 0.5
Amonio	2500-3000 mg/l	600-1000 mg/l
Calidad Biogás	65-68% CH ₄ , H ₂ S ↓↓	60-65% CH ₄ , H ₂ S ↑↑
Foaming	No	Nocardia, Microthrix
Clasificación Biosólido	Clase A	No Clase A
Sequedad LODOS Deshidratados	30 - 35%	20-25%
Destrucción % VS	> 55 - 60%	40-45 %

Etapas del tratamiento

Los lodos son enviados a un primer depósito denominado Pulper donde son calentados mediante la recirculación y la utilización de vapor flash procedente del propio proceso de hidrólisis alcanzando temperaturas cercanas a los 100°C a presión atmosférica. A continuación pasan a un segundo depósito, denominado reactor, donde se les aplica vapor saturado directo, subiendo la presión dentro del reactor hasta 6-7 bares para hacer “hervir” los lodos y mantenerlos a una temperatura de 165°C aproximadamente durante 20 minutos. Posteriormente, se despresuriza rápidamente el reactor pasando de 6-7 bar a aproximadamente 0 bar, y conduciendo el lodo al tercer depósito denominado *flash tank* mediante la propia energía de la despresurización del reactor. Este proceso, denominado *steam explosion* desintegra la estructura celular y la materia orgánica. La alta temperatura disuelve (desnaturaliza) los polímeros celulares existentes (sustancias exopoliméricas - EPS), de formulación proteica, en un sustrato fácilmente digerible mediante digestión anaerobia.

El proceso recibe de forma continua lodos, pero trabaja de forma discontinua (“batch”), al introducir el lodo de forma correlativa en cada uno de los depósitos reactores que lo componen. También suministra continuamente lodos tratados a la digestión. Las claves del proceso de hidrólisis Cambi® son: la alimentación a altas concentraciones de materia seca con lo que se optimiza el consumo de vapor (se optimiza el vapor necesario para calentar el agua que acompaña al lodo). La inyección directa del vapor vivo en los reactores y el aprovechamiento del vapor flash, evitan la utilización de intercambiadores de calor y su mantenimiento asociado.

El aprovechamiento del vapor en el pulper reduce el salto térmico necesario final, dando adicionalmente más estabilidad a la operación y facilitando la puesta en marcha del proceso. El lodo a la salida del Pulper, es bombeado mediante (1+1) bombas de 25 m³/h a una presión de 2 bares de forma secuencial (“batch”) a cada uno de los 3 reactores (de 6,5 m³ de capacidad cada uno) que componen la configuración adoptada para la EDAR.

El lodo ya hidrolizado a la salida del flash tank y a una temperatura cercana a los 100°C es diluido con agua de proceso para rebajar su temperatura hasta los 79°C y rebajar también su concentración hasta un 10% en materia seca aproximadamente antes de ser bombeado hacia los digestores



Figura 9. Hidrólisis Térmica instalada en la nueva EDAR de Lagares

Se dispone de un sistema de retorno de los gases generados durante el proceso (contenido en sulfhídrico de un 6%) que salen del Pulper y que son enviados a los digestores, donde se descomponen biológicamente, de forma completamente estanca y con ausencia de olores. El conjunto de depósitos, y tuberías de conexión está completamente aislado mediante calorifugado y

chapa de recubrimiento exterior, sin fuga de olores, y sin pérdidas de energía al operar en ciclo cerrado. Los depósitos a presión (reactores) están realizados en acero DUPLEX, y van timbrados a 12,5 bares relativos.

Los resultados obtenidos hasta la fecha durante la explotación del sistema de hidrólisis térmica instalado en la EDAR de Lagares, confirman los valores de diseño inicialmente previstos obteniéndose unos rendimientos de reducción de volátiles próximos al 60% y una sequedad media del lodo deshidratado del 32%.

Tratamiento de los retornos de deshidratación mediante un proceso de desamonificación

Como ya se ha comentado anteriormente, la implantación de la hidrólisis térmica tiene como uno de sus objetivos incrementar la reducción de sólidos volátiles en el digestor y por consiguiente la producción de biogás. Una de las consecuencias de dicho aumento en el rendimiento de la digestión anaerobia es el incremento de la carga de amonio en los retornos de la deshidratación de fangos, estimado en alrededor del 30% respecto a una digestión convencional sin hidrólisis como pretratamiento, y llegando a suponer entre un 15 y un 20% del nitrógeno amoniacal en el agua bruta.

Por este motivo, se incluyó dentro del diseño de la nueva EDAR de Lagares el tratamiento mediante la tecnología Demon® de estos retornos, con el objetivo de reducir su carga de nitrógeno amoniacal (NH_4^+) y, por lo tanto, disminuir el requerimiento de oxígeno en la segunda etapa de la biofiltración, prevista para la nitrificación del amonio, así como el requerimiento de materia orgánica biodegradable necesaria para la desnitrificación de la carga adicional de nitrato formado. Precisamente este proceso, la eliminación de nitrógeno, es la etapa limitante del tratamiento biológico de la planta, y por tanto, reducir la carga de nitrógeno a tratar en otro proceso independiente, garantiza una mayor robustez y fiabilidad del proceso.

La eliminación del nitrógeno amoniacal se realiza en dos etapas:

- Oxidación aerobia parcial del amonio (NH_4^+) a nitritos (NO_2^-), mediante bacterias aerobias autótrofas B.A.O. (bacterias oxidativas del amonio).
- Oxidación anaerobia del amonio, mediante bacterias anaerobias autótrofas Anammox, a partir de los nitritos antes formados y del amonio restante.

Aproximadamente una mitad del amonio tratado es oxidado en el proceso de nitritación y la otra mitad en el proceso anaerobio ANNAMOX. Globalmente se consigue tratar el nitrógeno amoniacal con un rendimiento mínimo garantizado de eliminación del 90% en la corriente de retornos con un consumo de oxígeno menor del que se requeriría en un proceso de nitrificación-desnitrificación convencional.

Dentro del proceso Demon® la separación de biomasa Anammox necesaria para el adecuado control del proceso se realiza mediante un sistema de hidrociclizado situado en la cubierta del reactor.



Figura 10. Sistema de separación de biomasa instalado en el reactor Demon® de la EDAR de Lagares

Bases de diseño del proceso

El proceso Demon® se dimensiona para el escenario de Percentil 50, ya que es para el que se exige cumplir garantías de eliminación de nutrientes en el efluente de la EDAR, sin embargo, el proceso se concibe con una capacidad hidráulica correspondiente al caudal de retornos estimado para el Percentil 90. De esta premisa de diseño deriva la necesidad de tratar una carga máxima de N-NH₄⁺ de 735 Kg/día.

Ante una posible toxicidad de los lixiviados que pudiese inhibir el crecimiento de las bacterias Anammox se previó la posibilidad de una dilución de hasta 1:1 del influente al proceso Demon®. Esta dilución se realizaría con agua de servicios caliente proveniente de los circuitos de refrigeración en la recuperación de energía y de la salida de la hidrólisis térmica y se obtendría, en condiciones normales, a una temperatura de entre 35-40°C, dentro del rango de operación del proceso Demon®.

Debido a que se alimenta de forma intermitente al reactor, se prevén las necesidades de acumulación de los retornos para lo que se construyó un depósito de 150 m³ de volumen útil donde se ubican 1+1 bombas centrífugas sumergibles de 100 m³/h de alimentación al reactor. Para la acumulación del agua de dilución, se diseñó un depósito de acumulación de 100 m³ de volumen útil donde se ubican 1+1 bombas centrífugas sumergibles de 100 m³/h de alimentación de agua de dilución al reactor.

La regulación de la alimentación al proceso se realiza mediante variadores de frecuencia en los bombeos de alimentación de retornos y agua de dilución, y sendos caudalímetros instalados en las conducciones de impulsión, de forma que se garantice mantener la proporción de dilución fijada como consigna.

Demanda de aire

Como una de las etapas del tratamiento biológico del proceso Demon® es llevada a cabo por bacterias aeróbicas, es necesaria una aireación intermitente del reactor. El requerimiento de aire de proceso se calcula (para la situación de percentil 50 futuro) a partir del consumo teórico de oxígeno y de ahí deriva una demanda total de oxígeno de 1.588 KgO₂/día que se cubren mediante la instalación de tres soplantes de desplazamiento (770 Sm³/h) y que dotan a la instalación de la posibilidad de realizar un ajuste muy preciso del caudal de aireación necesario por KgNH₄ tratado.

La implantación de este proceso genera un ahorro energético estimado de un 21% respecto a un proceso convencional de nitrificación/desnitrificación al tiempo que elimina la necesidad de una fuente de carbono externa y reduce en un 80% la producción de biomasa. En estos momentos se encuentra en fase de puesta en marcha dentro de la línea de tratamiento de la nueva EDAR, previéndose que en un corto plazo se alcancen los valores de consigna para los que fue diseñado.

Evaluación y optimización mediante técnicas computacionales de dinámica de fluidos (CFD) de la ventilación en los recintos cerrados de la nueva EDAR

La singular ubicación de la nueva EDAR de Lagares, marcada por el entorno habitado que las rodea, hizo que cobrase especial importancia el diseño de los sistemas de tratamiento, control y gestión de las emisiones de olor. Por ello, se ha previsto el confinamiento de todos los procesos, con extracciones localizadas y renovaciones del aire interior de todos los edificios.

Existen tres líneas de ventilación / desodorización, que corresponden a:

- Edificios de pretratamiento y tratamiento primario. Desodorización mixta (Biotrickling y/o vía química).
- Edificios de tratamiento biológico y de tratamiento terciario. Desodorización mixta (Biotrickling y/o vía química).
- Los edificios de tratamiento de lodos y secado térmico- Desodorización por vía química.

En cada una de las tres instalaciones de desodorización se han instalado, en la red de aspiración de aire, una serie de reguladores de caudal cuya finalidad es la de gestionar los volúmenes aspirados en cada una de las salas y/o zonas a desodorizar, en función de las necesidades de tratamiento que puedan demandarse en cada momento.

Sin embargo, y a pesar de la adopción de criterios de diseño robustos, resulta frecuente que la atmósfera en el interior de edificios de las EDARs, presente importantes deficiencias en calidad y en el nivel de renovación del aire. Las razones pueden ser diversas: limitaciones presupuestarias, utilización de diseños estándar (p.ej, no contemplar impedimentos internos de la nave), o basar el diseño en criterios no suficientemente amplios (como renovaciones/hora únicamente);

Para verificar que el diseño de las instalaciones de la nueva EDAR de Lagares no llevaba implícitos este tipo de errores y, en su caso, para corregir u optimizar su diseño base, se realizaron, con la colaboración experta de Labaqua S.A., simulaciones mediante modelos de Dinámica de Fluidos Computacional (del inglés, CFD), que son capaces de predecir el comportamiento de los fluidos/partículas, tanto en el exterior como en el interior de edificios, permitiendo evaluar y cuantificar aspectos tan importantes como: renovación de aire en el interior de la instalación, edad del aire, eficacia del sistema de ventilación, patrones de flujo de aire, dispersión de contaminantes, perfiles de temperaturas, etc.

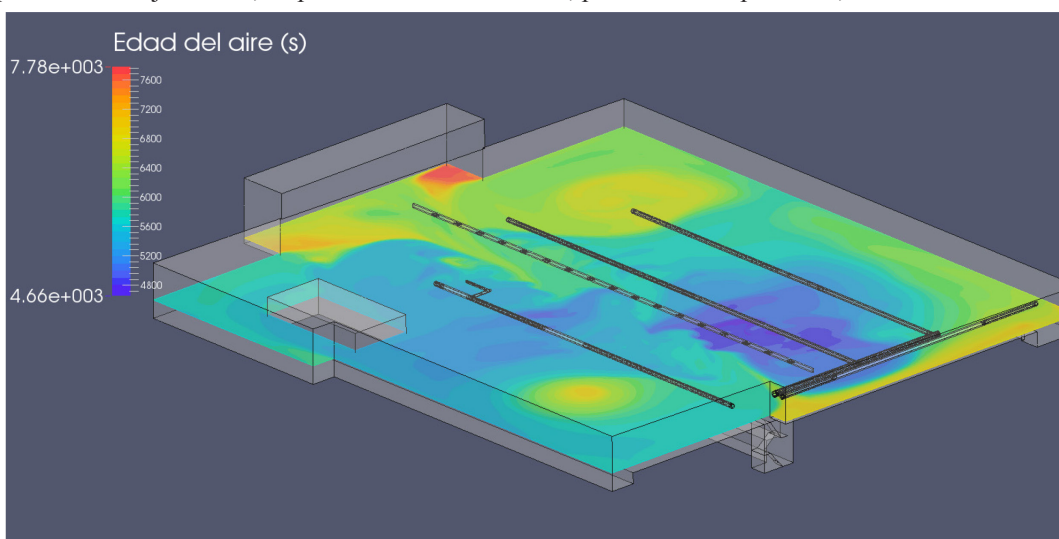


Figura 11. Simulación del parámetro *edad del aire* en el recinto de decantación primaria. (Cerdá y Torrecillas 2016)

Los resultados de los estudios realizados permitieron obtener un conocimiento mucho más detallado sobre el comportamiento del sistema de ventilación/aspiración e introducir los cambios necesarios para lograr:

- Mejora de la calidad de aire en el interior del recinto, implicando un mayor confort de los trabajadores/as, y un aumento de la vida útil de los equipos y materiales existentes.
- Disminución del coste económico asociado al consumo energético del sistema al poder ajustarse, en relación directa con la capacidad de regulación de las aspiraciones, el número de renovaciones/hora óptimo para cada situación.

CONCLUSIONES

Las EDAR's son instalaciones complejas cuyo diseño debe satisfacer los requisitos y expectativas de un gran número de interesados. En ocasiones, el cumplimiento de estos requisitos dentro de las restricciones propias de la gestión de un proyecto es una tarea compleja y con múltiples implicaciones no exentas de riesgos, por lo que resulta fundamental tanto el asesoramiento de profesionales altamente cualificados como el conocimiento de las herramientas de diseño disponibles en el mercado para abordar los distintos problemas con realismo y fiabilidad.

Entre los principales condicionantes para el diseño y construcción de esta instalación se pueden señalar, además de los relacionados con la calidad del vertido y la necesidad de gestionar caudales importantes en situación de lluvia (hasta 12 m³/s), otros criterios igualmente relevantes y de cuyo cumplimiento depende el éxito final de la actuación: integración en el entorno,

ubicación de las instalaciones en un ámbito urbano y con valor ecológico, niveles de tolerancia a ruidos y olores, y requisitos eficiencia energética.

El proyecto de la EDAR de Lagares ha representado, por lo tanto, una apuesta por la innovación tanto a la hora de incorporar procesos de tratamiento de baja implantación hasta la fecha en España (hidrólisis térmica, hidrociclizado de lodos primarios, tratamiento de corrientes de retornos) como a la hora de introducir herramientas de diseño que facilitan la toma de decisiones en procesos complejos (optimización de canales de desarenado, diseño de sistemas de ventilación).

La experiencia en el diseño, ejecución y operación de elementos o procesos singulares resulta altamente satisfactoria, tanto por la ocasión única para aunar esfuerzos y objetivos con técnicos de primer nivel dentro del sector como por la posterior oportunidad de comprobar, y debatir, los resultados a escala real de los diseños realizados.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis compañeros de Acuaes, contratistas (UTE EDAR Lagares), asistencias técnicas (UTE Fulcrum-GOC), miembros del comité de dirección de obra, integrantes del Geama y, en general, a todo aquel que ha dedicado esfuerzo y compromiso para intentar lograr el éxito del proyecto de la *EDAR de Lagares*.

REFERENCIAS

Suárez et al. (2013). *Caracterización de los flujos de arenas en la EDAR de Lagares (Vigo) y análisis de los rendimientos del desarenador actual*. Grupo de Enxeñaría da Auga e do medio ambiente. Universidade de A Coruña. España.

Suárez et al. (2014) *Caracterización del rendimiento de eliminación de arenas del fango primario de la EDAR de Lagares (Vigo) mediante un dispositivo ciclónico*. Grupo de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente. Universidade de A Coruña. España.

Suárez et al. (2014) *Caracterización de situaciones de sobrecarga hidráulica en desarenadores mediante ensayos de medida de tiempos de retención hidráulica*. XXXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambienta. Monterrey. México.

Álvarez-Campana et al. (2014) *Caracterización del flujo de arenas en los desarenadores de una EDAR urbana litoral bajo estrés hidráulico*. XXXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambienta. Monterrey. México.

Oller, M, (2014). *Estudio de optimización del proceso de desarenado mediante simulación fluidodinámica*. UTE EDAR Lagares. España.

Cerdá R, Torrecillas M.A. (2016). *Evaluación y optimización mediante técnicas CFD de la ventilación en recintos de la EDAR de Lagares*. Labaqua S.A., UTE EDAR Lagares. España.