



# Optimización de la filtración en una estación de tratamiento de agua potable convencional

El objetivo de este estudio es presentar los resultados de los procesos de optimización llevados a cabo en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) convencional. En una época en que las mejoras en los procesos de potabilización suponen grandes desembolsos económicos para los gestores, es importante destacar la posibilidad de optimizar las distintas etapas de tratamiento sin necesidad de modificar la estructura de las instalaciones. Cambiando la granulometría de la arena de los filtros y el diseño de los lavados y optando por una regulación neumática se consigue mejorar la calidad del agua tratada sin la necesidad de realizar grandes inversiones.

## Palabras clave

Agua potable, optimización, filtración, arena, turbidez, partículas, filtración directa.

## OPTIMIZATION PROCESSES CARRIED OUT IN A CONVENTIONAL DRINKING WATER TREATMENT PLANT

*The objective of this study is to present the results of the optimization processes carried out in a conventional Drinking Water Treatment Plant (DWTP). At a time when improvements in the water treatment processes involve large economic disbursements for managers, it is important to highlight the possibility of optimize the different treatment stages without the need to modify the structure of the facilities. Modifying the granulometry of the filters sand and the washes timing, and opting for a pneumatic regulation, it is possible to improve the quality of the treated water without big investments.*

## Keywords

*Drinking water, optimization, filtration, sand, turbidity, particles, direct filtration.*

### Rocío Salinas Serrano

ingeniera química, UTE AVSA-Seasa, ETAP Sagunto

### Laura Andrés Peñarrubia

ingeniera química, UTE AVSA-Seasa, ETAP Sagunto

### Pura Almenar Llorens

ingeniera química, Emivasa-ETAP

### V. Javier Macián Cervera

doctor en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Emivasa-ETAP y Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia

### Raquel Ribera Orts

ingeniera química, Emivasa, ETAP El Realón

### Carlos Domínguez Domínguez

técnico del Departamento de Proyectos, Obras y Explotaciones de EPSAR



## 1. INTRODUCCIÓN

Los importantes avances conseguidos en el sector de la potabilización del agua han permitido mejorar considerablemente la calidad del agua tratada en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP). Sin embargo, estas mejoras suponen grandes inversiones que los gestores no siempre son capaces de asumir. En estos casos, se debe optar por optimizar las distintas etapas de tratamiento, de manera que se obtenga la mejor calidad final de agua sin necesidad de grandes desembolsos económicos. En este estudio se presentan los resultados de los procesos de optimización realizados en una ETAP convencional para mejorar la calidad del agua tratada.

El agua es un recurso indispensable para el ser humano y el ecosistema. Sin embargo, únicamente el 3% del agua del planeta es dulce y menos del 1% de ésta se encuentra en estado líquido, por lo que cada vez es más necesario recurrir a sistemas que faciliten el acceso al agua potable. Precisamente ese es el papel de una planta potabilizadora de agua: captar el agua de ríos, lagos o cualquier otra fuente de abastecimiento para procesarla y garantizar la calidad del agua para el consumo humano.

La ETAP de Sagunto (Valencia) es propiedad de la Generalitat Valenciana, gestionada por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR) y explotada por Global Omnium. Tiene una capacidad de 0,4 m<sup>3</sup>/s y fue puesta en servicio en el año 2000 para abastecer a la población de Sagunto y el Camp de Morvedre. Capta el agua del Canal Júcar-Turia en el punto kilométrico 63 y es conducida hasta un depósi-

to de cabecera adyacente a la ETAP a través de una conducción cerrada de 27,8 km de longitud, donde tiene lugar el desbaste inicial.

Las partículas que contiene el agua bruta no son solo materia inerte, sino que pueden ser, entre otros patógenos, protozoos. Por su tamaño y resistencia a los desinfectantes, estos solo pueden ser eliminados por retención física en la etapa de filtración. Para ello se hace imprescindible la previa adicción de coagulante que permitirá la desestabilización de las partículas, su aumento de tamaño y la posibilidad de retenerlas en los medios granulares que componen los filtros, habitualmente con valores en cuanto a tamaño efectivo entre 0,7-0,9 mm.

En la ETAP de Sagunto, cuya línea de tratamiento convencional sigue el esquema mostrado en la **Figura 1**, la filtración es la última etapa de potabilización. En esta etapa, el objetivo principal es eliminar todas aquellas partículas que no han sido posible eliminar por decantación, consiguiendo reducir la turbidez y mejorar las características del agua.

De esta manera, se consigue crear una barrera contra microorganismos tales como los protozoos *Giardia Lamblia* o *Cryptosporidium Parvum*, patógenos emergentes, presentes en el agua bruta superficial, que, por su resistencia a los desinfectantes convencionales, como el cloro, deben ser eliminados por retención física en las etapas de decantación y filtración.

Según la bibliografía consultada, en diversos estudios publicados por la Environmental Protection Agency se observó que, así como la *Giardia* es inactivada por las dosis de cloro generalmente empleadas en el tratamiento del agua, el *Cryptosporidium* no es inactivado por la cloración convencional y, al ser de menor tamaño, puede atravesar más fácilmente los filtros, requiriendo unas operaciones más cuidadosas en las estaciones de tratamiento.

En 1993, un brote de *Cryptosporidiosis* afectó a 400.000 personas en Milwaukee, Wisconsin (Estados Unidos). El brote se asoció con el deterioro de la calidad del agua de salida de la estación de tratamiento y, a su vez, una disminución en efectividad del proceso de coagulación y filtración (Kramer *et al.*, 1996; MacKenzie *et al.*, 1994).

Por otra parte, mediante el seguimiento de partículas totales en el proceso de filtración se consiguen establecer las directrices a seguir que permitan minimizar el conteo de partículas, especialmente en el rango que se encuentran los protozoos *Cryptosporidium parvum*: 4-6 µm y *Giardia lamblia*: 8-14 µm, garantizando que el agua tratada esté exenta de dichos patógenos.

### 1.1. ANTECEDENTES

Todo gestor de una ETAP debe apostar por ofrecer a los consumidores un agua con la mayor calidad posible. A pesar de que el agua producida en la ETAP de Sagunto cumplía

**FIGURA 1.** Esquema de la ETAP convencional de Sagunto (Valencia).



con creces con los parámetros exigidos en el RD 140/2003 en el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se consideró que era posible optimizar el tratamiento, de manera que se mejoraran todos los aspectos que fuera posible con la menor inversión.

La oxidación/desinfección y las primeras etapas del tratamiento (coagulación-floculación y decantación), se optimizaron de manera directa ajustando la dosificación de reactivos. La dosis óptima de coagulante y floculante favorece la desestabilización y aglomeración de las partículas presentes en el agua bruta, garantizando su posterior eliminación durante la etapa de decantación.

La etapa de filtración sobre arena fue la que centró el objeto principal del estudio, ya que es en esta donde se pueden conseguir resultados muy satisfactorios actuando sobre tres factores fundamentales: las características del medio filtrante, el modo de operación y el proceso de lavado de los filtros.

## 2. EVALUACIÓN Y DISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA FILTRACIÓN

En primer lugar, se llevó a cabo un estudio (iniciado en 2013) sobre el estado de los filtros de la ETAP y la calidad del agua filtrada, basado en la determinación del tamaño efectivo de la arena, el control de la carrera de los filtros, la turbidez y el número de partículas, etc.

La conclusión obtenida en ese momento fue que se recomendaba la sustitución de la arena para reducir la turbidez y el número de partículas presentes en el agua tratada. La falta de estabilidad durante las carreras de los filtros, evidenciada con las continuas variaciones en la altu-

ra de la lámina de agua y el caudal de salida, pusieron de manifiesto la necesidad de modificar el modo de operación de los filtros.

Por tanto, se apostó por un cambio en la granulometría de la arena empleada y un cambio de operación de los filtros pasando a regulación neumática para garantizar la mayor calidad posible durante toda la carrera de filtración y por lo tanto del agua tratada a la salida de la ETAP.

### 2.1. LECHO FILTRANTE

Para la elección del material filtrante se realizaron diversos análisis de la granulometría de la arena, determinando el tamaño medio, tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad, de cada uno de los filtros, comprobando que los parámetros característicos obtenidos eran más elevados que los requeridos. Así se decidió sustituir la arena por otra que se adaptara mejor a las características del agua a tratar en la ETAP, con un tamaño efectivo y un coeficiente de uniformidad menores (**Tabla 1**).

El tamaño efectivo es un indicador para la caída de presión y el rendimiento de filtración. Un mayor tamaño efectivo de arena implica un mayor espaciado entre los granos, lo que permite el paso de la materia sólida en suspensión más fácilmente. Así mismo, cuando la arena es más fina existen menos huecos entre sus granos y la retención de las partículas por el lecho es mayor. Por

lo tanto, cuanto menor sea su valor menor será el tamaño de partículas que retendrá, pero esto puede generar mayor pérdida de carga y tener que aumentar la frecuencia de lavado.

El tamaño medio indica el diámetro medio de las partículas del lecho y el coeficiente de uniformidad indica la regularidad de los granos de arena, por lo que proporciona información acerca de la homogeneidad entre los granos. Cuanto más próximo a la unidad se encuentre el coeficiente mayor será la uniformidad del lecho.

### 2.2. REGULACIÓN NEUMÁTICA

Otro factor a tener en cuenta es el comportamiento hidráulico de los filtros. La eficacia de un filtro está directamente relacionada con el sistema de regulación del caudal. Su regulación individual y la regulación del conjunto de la instalación deben estar al abrigo de cualquier fluctuación, tanto en los periodos de cambio de caudal general como durante las fases de lavado. En caso contrario, la materia en suspensión retenida, contenida en el lecho filtrante, atravesará prematuramente el filtro produciendo un aumento de la turbidez del agua filtrada.

En el caso de estudio, se partía de un control manual de la etapa de filtración, donde resultaba complicado mantener la altura y el caudal de todos los filtros constante a lo largo de las carreras.

Arena	Antigua	Actual
Tamaño Efectivo ( $T_e$ )	1,0 mm	0,8 mm
Tamaño Medio ( $T_M$ )	1,5 mm	1,0 mm
Coficiente de uniformidad ( $C_U$ )	1,66	1,30



Con el cambio de granulometría este problema se vio agravado, por lo que se consideró conveniente la instalación en cada filtro de los medios necesarios para poder realizar una regulación automática. Instalando sistemas de regulación neumática se consiguió amortiguar las variaciones entre los filtros, lo que aporta una mayor estabilidad y, por tanto, mayor calidad del agua tratada.

### 2.3. ETAPA DE LAVADO

El objetivo principal del lavado de los filtros es restituir sus características originales. Cuando el ensuciamiento del filtro alcanza un valor excesivo o la calidad del agua filtrada no es aceptable, se debe proceder a su lavado.

Normalmente, este proceso se lleva a cabo en tres etapas, alternando el lavado con aire y agua a contracorriente, todas ellas igualmente importantes para garantizar la calidad del agua tratada. La homogeneidad del aire y el agua en toda la superficie del medio filtrante es un factor determinante para un correcto lavado de los filtros. Por ello es imprescindible revisar todos los elementos que intervienen en el lavado: estado de las soplantes, crepinas, falso fondo...

Antes de la optimización del proceso de lavado, la inyección de aire en el falso fondo se realizaba a través de unos difusores microperforados de distinto tamaño a ambos lados del falso fondo, orientados a 45° de la horizontal para evitar grandes variaciones de caudal en la superficie de los filtros. Con el paso del tiempo, algunos de los orificios llegan a obstruirse lo que conlleva a mayores pérdidas de carga y menor poder de arrastre en las etapas de lavado a causa de la mala distribución del aire.

» El objetivo principal del lavado de los filtros es restituir sus características originales. Cuando el ensuciamiento del filtro alcanza un valor excesivo o la calidad del agua filtrada no es aceptable, se debe proceder a su lavado

Como consecuencia de esta falta de uniformidad en el lavado, se favorece la formación de caminos preferenciales durante las carreras de los filtros en las zonas en que el lavado ha sido menos eficiente, permitiendo el paso de un mayor número de partículas de mayor tamaño, como ocurría antes del cambio de arena.

#### 2.3.1. Inyección de aire

Para la optimización de la etapa de lavado, se modificó el diseño de la inyección de aire. Se eliminaron los difusores para crear el colchón de aire a través de la salida libre en el falso fondo. De esta forma, la distribución del aire es uniforme en toda la superficie del filtro y las partículas retenidas en la arena se eliminan más rápidamente, lo que se traduce en una menor turbidez en el agua sobrenadante tras el lavado del filtro.

#### 2.3.2. Tiempos de lavado

Tras el cambio de arena de los filtros, por tratarse de una arena de distinta granulometría, y al haber rediseñado el sistema de lavado, mejorando la distribución del aire y el agua en toda la superficie, se tuvieron que ajustar los tiempos de lavado para obtener la mejor calidad final optimizando el consumo de agua.

El tiempo de lavado con aire se mantuvo en 10 minutos, tiempo necesario para separar los sólidos retenidos en la arena, tanto por la inyección de aire a contracorriente como por la fricción entre las partículas de arena.

El tiempo de lavado simultáneo con aire y agua se redujo hasta 1 minuto. De esta forma se consigue que las partículas separadas se acumulen en la zona superior de la lámina de agua, pero evitando que el nivel alcance el canal de rebose, lo que supondría una pérdida de arena considerable sin ningún efecto beneficioso sobre la turbidez final del sobrenadante.

El tiempo de aclarado, lavado únicamente con agua a contracorriente, se ajustó a 9 minutos, tiempo más que suficiente para alcanzar una turbidez del sobrenadante apropiada, sobre 0,3-0,4 NTU.

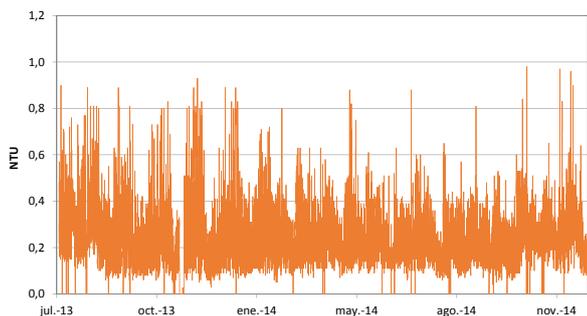
### 2.4. FILTRACIÓN DIRECTA

Gracias al cambio de arena y a todas las mejoras realizadas sobre la etapa de filtración de la planta potabilizadora, fue posible realizar la prueba de llevar a cabo el proceso de potabilización de agua mediante filtración directa. De esta forma se garantiza que, en caso de necesidad, la planta sería capaz de seguir produciendo agua.

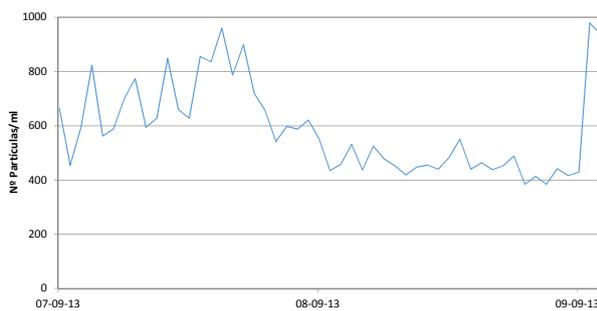
Se modificó el punto de dosificación del coagulante y el desinfectante y el agua se condujo directamente a los filtros. Una vez filtrada se realizaba una dosificación final de desinfectante para garantizar un nivel de cloro residual apropiado en toda la red de distribución.

Al prever una mayor carga en los filtros, por no decantar parte de los sólidos suspendidos en una etapa de decantación, se redujeron las ca-

**FIGURA 2.** Turbidez antes del cambio de arena.



**FIGURA 3.** Partículas del agua filtrada antes del cambio de arena.



rreras de los filtros. De esta forma se protege el paso de partículas a la galería de agua filtrada, pues se reduce la posibilidad de romper el lecho filtrante por el exceso de pérdida de carga, y se asegura un lavado eficiente, al no cargar en exceso los filtros.

### 3. MATERIAL

El material empleado para el control de los cambios realizados fue:

- Tamices para ensayos granulométricos (de acuerdo con la Norma UNE 12902) de 2,38 a 0,25 mm.
- Fotómetro de turbidez HI98703 (USEPA y Standard Methods). Basado en un sistema óptico consistente en una lámpara con filamento de tungsteno, un detector de luz dispersada (90°) y otro de luz transmitida (180°).
- Equipo de conteo partículas Pacific Scientifics Instruments, mo-

delo WGS267. Puede medir partículas desde 2 µm hasta mayores a 20 µm.

- Medición de pérdida de carga manual mediante columnas de agua.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. TURBIDEZ Y PARTÍCULAS

La USEPA estableció en su *Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule*, que los sistemas de abastecimiento a poblaciones de más de 10.000 habitantes no deben exceder nunca en el agua tratada el valor de 1 NTU y no sobrepasar 0,3 NTU al menos en el 95% de las muestras diarias de cada mes.

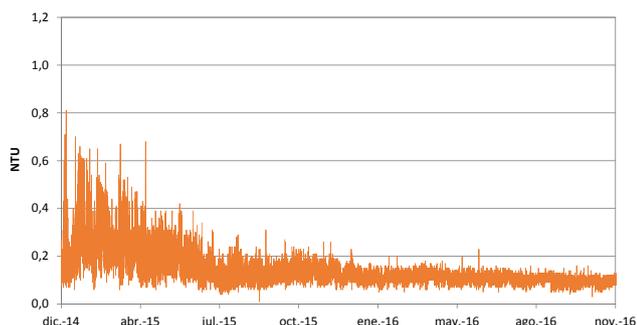
Antes del cambio de arena, tanto la turbidez como las partículas a la salida de la ETAP presentaban valores muy inestables y más altos de lo deseado, como se observa en las **Figuras 2 y 3**.

Los resultados de turbidez eran inferiores al máximo exigido por el RD 140/2003, que establece un valor paramétrico de 1 NTU a la salida de la ETAP, pero, aunque el valor medio se encontraba por debajo del límite, en ocasiones se producían picos próximos al máximo permitido.

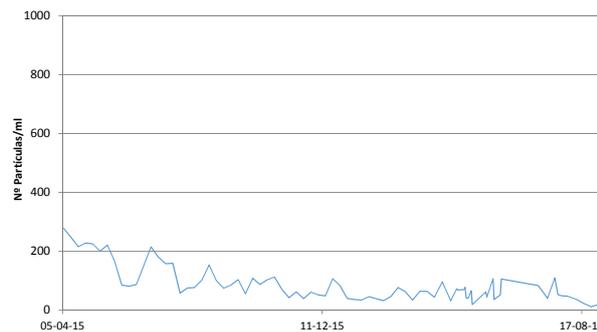
La legislación no establece ningún límite con respecto a las partículas presentes en el agua de salida, sin embargo, dados los valores de turbidez, la concentración de partículas también era elevada en todas las fases de la carrera de los filtros.

Como se puede comprobar en las **Figuras 4 y 5**, un medio filtrante más fino tiene una mayor capacidad de eliminación de partículas, especialmente las de menor tamaño, con lo que el cambio de arena mejoró notablemente la calidad del agua en lo referente a turbidez y partículas a la salida de planta.

**FIGURA 4.** Turbidez tras el cambio de arena.



**FIGURA 5.** Partículas del agua filtrada tras el cambio de arena.





## 4.2. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

En la **Figura 6** se evidencia la falta de estabilidad en la carrera de los filtros con un control manual y en la **Figura 7**, los problemas asociados a dicho modo de operación tras el cambio de arena.

Las modificaciones en alguno de los filtros o las variaciones del caudal de entrada a la ETAP tenían un efecto negativo, desde el punto de vista hidráulico, sobre el resto. Las maniobras sobre las válvulas de salida de cada uno de los filtros para intentar mantener la lámina de agua a un nivel determinado eran prácticamente constantes.

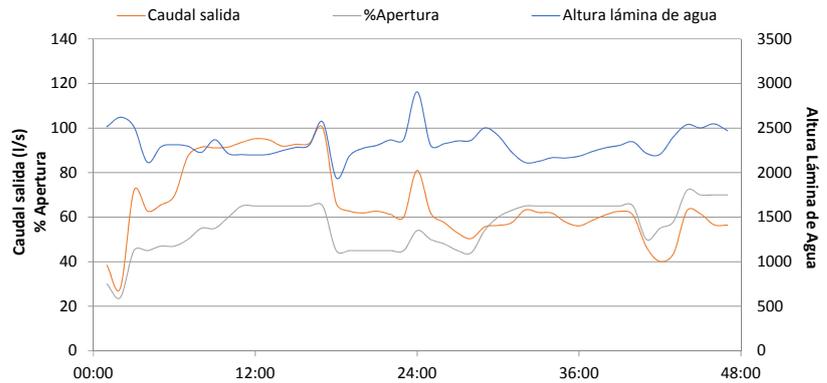
Además, en las últimas horas de carrera, el estado del lecho era tal que impedía abrir más la válvula de salida sin un empeoramiento de la calidad del agua haciendo que el caudal de salida fuera cada vez menor.

Tras el cambio de granulometría, al ser menor el tamaño de las partículas de arena, los filtros se colmatan más rápidamente y se requiere un mayor control sobre la válvula de salida, como se observa en la **Figura 7**. La mayor capacidad de retención de la arena nueva permitía una apertura mayor de la válvula de salida, pero seguía resultando complicado mantener una lámina de agua constante.

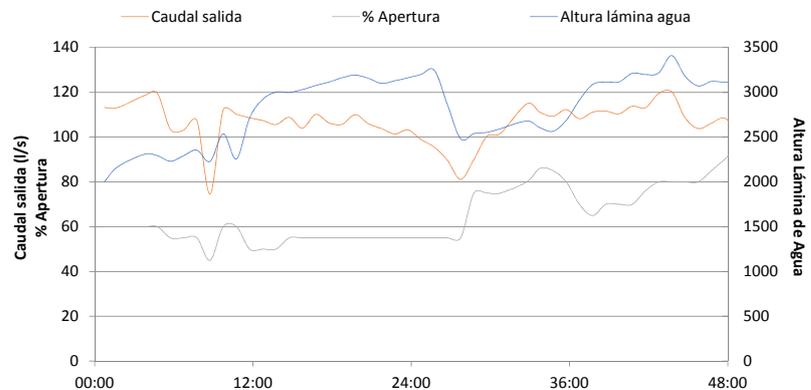
Al cambiar a una regulación neumática, **Figura 8**, la lámina de agua se mantuvo a un nivel constante durante toda la carrera de los filtros, lo que favorece su estabilidad. Este hecho, añadido a las mejores características de la nueva granulometría permitió que el caudal de salida también fuera constante en todos los filtros, garantizando la calidad del agua tratada en todo momento.

Para comprobar el efecto de los cambios realizados, se instalaron

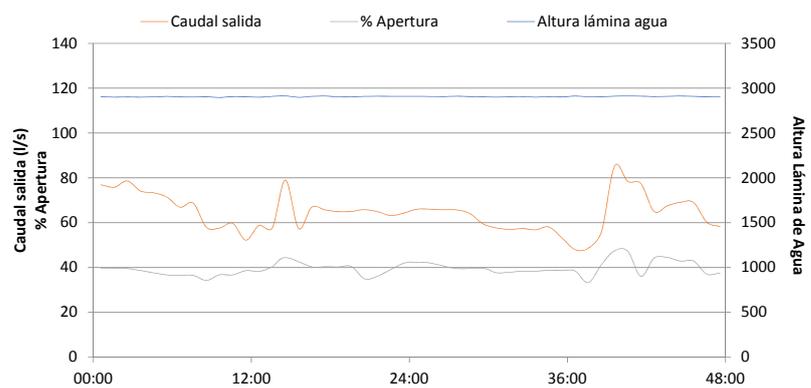
**FIGURA 6.** Lámina de agua, % apertura y caudal salida antes del cambio de arena.



**FIGURA 7.** Lámina de agua, % apertura y caudal salida tras el cambio de arena.



**FIGURA 8.** Lámina de agua, % apertura y caudal salida con regulación neumática.



unas columnas de agua a diferente altura en los filtros (bajo el lecho de arena y sobre el mismo) que permitieran observar la evolución de la pérdida de carga. La variación en la diferencia de altura de las columnas proporciona información acerca de la resistencia que ofrecen los sólidos

retenidos al paso del agua a través de los filtros, es decir, de la pérdida de carga.

A medida que se avanza en la carrera de los filtros, la pérdida de carga va aumentando a causa del ensuciamiento. Las partículas que han sido retenidas se quedan en la

superficie del lecho de arena provocando su colmatación y la formación de caminos preferenciales.

Este hecho se debe evitar ya que, de lo contrario, el agua filtrada puede sufrir un empeoramiento en su calidad al producirse la rotura del filtro. Existe una pérdida de carga máxima permitida, la cual depende del tipo de filtro, que suele oscilar entre 0,9-1,2 m.c.a.

No se tienen datos previos al cambio, pues la instalación de las columnas fue posterior, pero las variaciones en la altura de la lámina de agua y el caudal de salida hacen suponer que la tendencia mostrada no sería

lineal, desconociendo la pérdida de carga máxima al final de la carrera.

En la **Figura 9** se demuestra que, a pesar de haber reducido el espesor de la capa filtrante, el cambio de granulometría garantiza la estabilidad del proceso y que las pérdidas de carga máximas no se aproximen al valor máximo permitido para evitar la rotura del lecho.

### 4.3. EFICACIA DEL LAVADO

Al mejorar la distribución de aire y agua en toda la superficie del filtro, se comprobó que la reducción de la turbidez sobrenadante era mucho mayor en menor tiempo, lo

que permitió reducir los tiempos de aclarado con el consiguiente ahorro tanto de agua de lavado como energético.

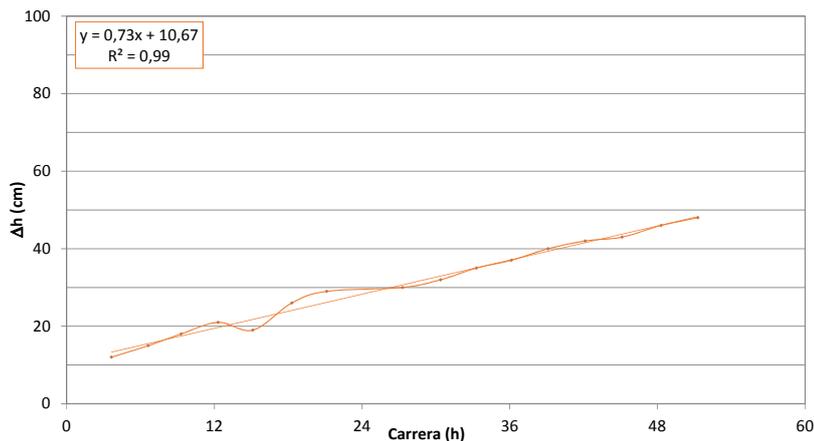
En la **Figura 10** se muestra la evolución de la turbidez sobrenadante durante la fase de aclarado e instantes después del lavado, antes y después de la optimización.

### 4.4. CARRERAS DE LOS FILTROS

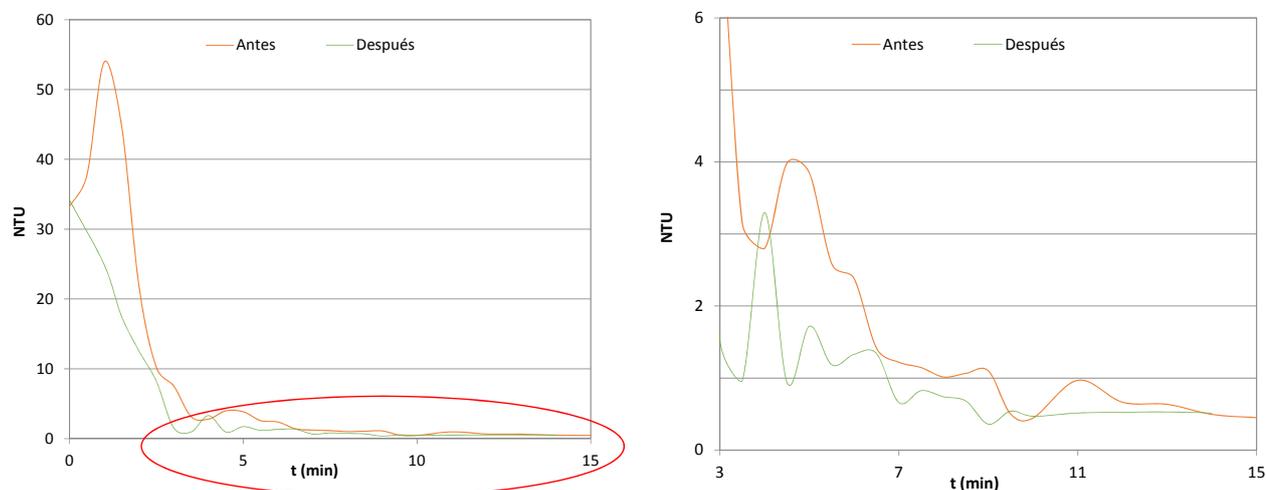
Los cambios realizados permitieron alargar la carrera de los filtros, lo que lleva asociado otro ahorro energético, al reducir el número de lavados necesarios a lo largo del año y, por tanto, las horas de uso de las soplantes y bombas de lavado. En la **Figura 11** se puede comprobar que el hecho de prolongar las carreras no tiene ningún efecto sobre la calidad del agua, ni en la turbidez ni en el número de partículas.

Aunque en algún momento se producen ligeros picos, la turbidez del agua filtrada se mantiene muy por debajo de 0,20 NTU. La variación de las partículas es mayor, pero salvo algún valor puntual, prácticamente en todo momento se encuentran por debajo de las 70 partículas totales por mL.

**FIGURA 9.** Pérdidas de carga tras el cambio de arena.



**FIGURA 10.** Evolución de la turbidez durante el lavado de los filtros. En el lado derecho se muestra una ampliación de los instantes finales del lavado.





En la **Figura 12** se muestran las pérdidas de carga a lo largo de la carrera anterior. Como se puede observar, la pérdida de carga máxima, al final de la carrera, no alcanza los 100 cm y la tendencia de la curva no llega a hacerse exponencial, lo que supondría la proximidad de la rotura del lecho.

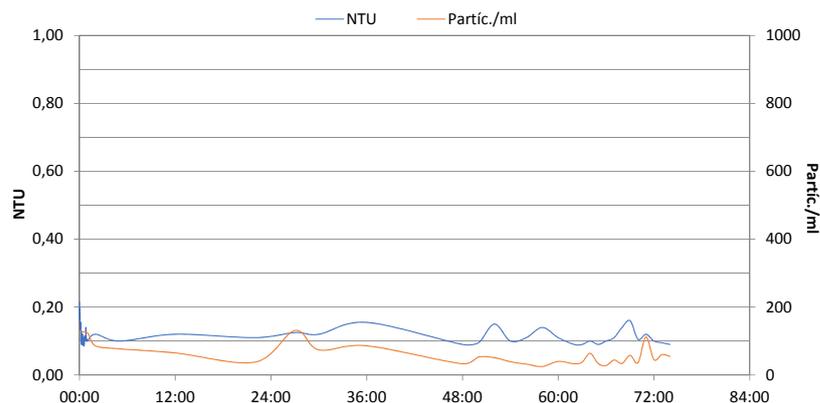
#### 4.5. FILTRACIÓN DIRECTA

La respuesta de los filtros con la nueva arena a este modo de funcionamiento fue más que satisfactoria. Como se observa en la **Figura 13**, la variación de las pérdidas de carga de los filtros con el tiempo aumentó ligeramente, como era de esperar en ausencia de decantación. Sin embargo, no se alcanzaron valores en los instantes finales de las carreras que pudieran suponer la rotura del lecho filtrante antes del lavado de los mismos.

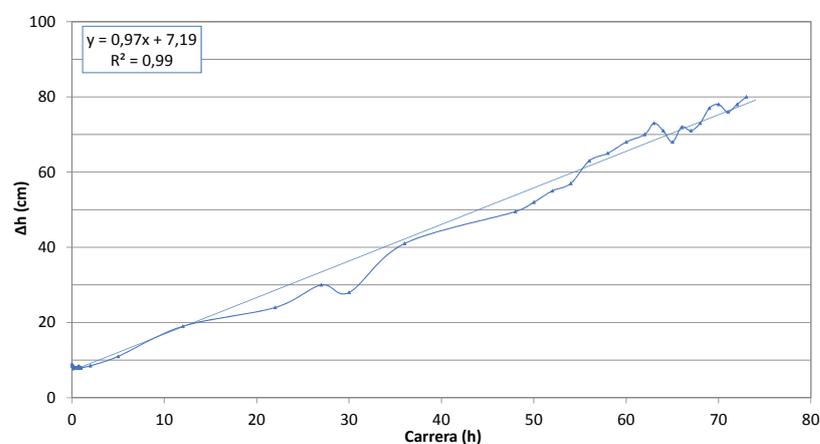
Las pérdidas de carga al final de las carreras fueron similares a las obtenidos para esas mismas horas con funcionamiento normal de la planta. No obstante, las pendientes de las rectas eran superiores, con lo que se esperaban valores finales mayores. Este hecho supondría una mayor carga de sólidos a limpiar y un mayor riesgo de rotura del lecho.

La calidad del agua tratada tampoco se vio modificada, con valores de turbidez y partículas muy similares a los obtenidos durante el funcionamiento normal de la ETAP, tal y como se observa en la **Figura 14**.

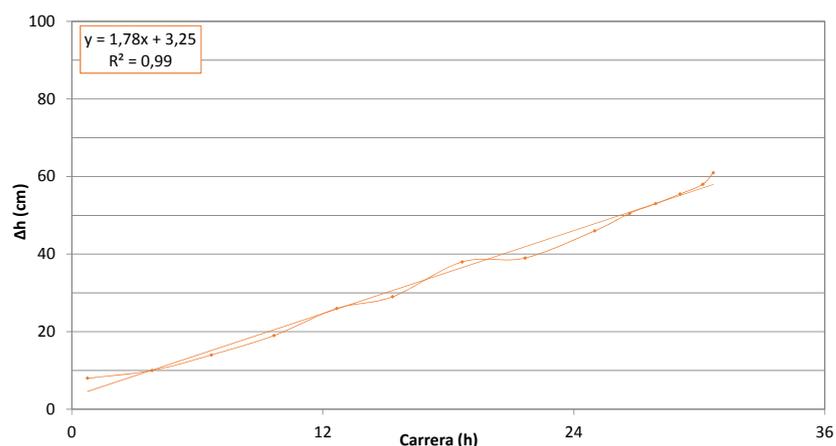
**FIGURA 11.** Evolución de la turbidez carrera 72h.



**FIGURA 12.** Pérdida de carga carrera de 72 horas.

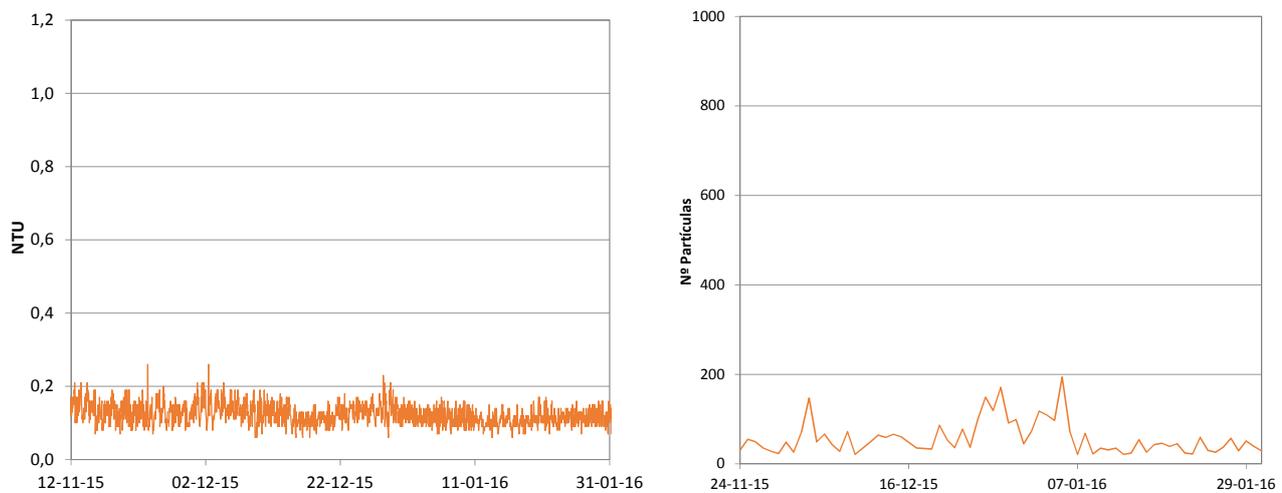


**FIGURA 13.** Pérdidas de carga con filtración directa.



» Las mejoras introducidas han permitido reducir el consumo energético de la planta al reducir las horas de uso de las soplantes y las bombas de lavado, así como el consumo de agua de lavado. Además, escogiendo la granulometría que mejor se adapta a las características del agua a tratar, es posible trabajar en modo filtración directa en caso de necesidad

FIGURA 14. Turbidez y partículas con filtración directa.



## 5. CONCLUSIONES

Gracias a todas las mejoras realizadas en el proceso de filtración de la ETAP de Sagunto se ha conseguido una mejora sustancial en la calidad final del agua tratada:

- El cambio de arena ha permitido retener una mayor cantidad de partículas y patógenos presentes en el agua.

- La regulación neumática ha aportado una mayor estabilidad a los filtros, lo que también contribuye a la calidad final del agua.

- Con la modificación del diseño de la inyección de aire se ha conseguido un lavado más exhaustivo de los filtros, lo que aumenta la capacidad de retención de partículas a lo largo de la carrera.

- Las mejoras introducidas han permitido reducir el consumo energético de la planta al reducir las

horas de uso de las soplantes y las bombas de lavado, así como el consumo de agua de lavado.

- Escogiendo la granulometría que mejor se adapta a las características del agua a tratar, es posible trabajar en modo filtración directa en caso de necesidad, ya sea por mantenimiento o reparación de las etapas anteriores, lo que abre una vía a nuevos estudios en profundidad.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más sincero agradecimiento al equipo de mantenimiento de la ETAP Sagunto por la dedicación prestada.

### Bibliografía

[1] American Water Works Association (2002). Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria. McGraw-Hill Profesional, Madrid.

[2] American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and the Water Environment Federation (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

[3] Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Editorial McGraw-Hill.

[4] Barraque, C. (1979). Manual Técnico del Agua. Degremont.

[5] EPA Drinking Water Advice (2011). Note nº9: *Cryptosporidium* sampling & monitoring. Version 1, núm. 26.

[6] Kramer, M.H. et al. (1996). Surveillance of waterborne-disease outbreaks - United States, 1993-1994. MMWR, núm. 45(1), págs. 1-33.

[7] Mac Kenzie, W.R. et al. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. 331:161-167.

[8] Ramírez Quirós, F. (1997). El *Cryptosporidium* y su eliminación en las ETAP. Tecnología del Agua, núm. 168.

[9] Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

[10] Ribera Orts, R.; Monforte Monleón, L.; Macián Cervera, V.J.; Pérez Casans, G. (2012). Retención de partículas con riesgo de contener patógenos emergentes. Aplicación en la ETAP La Presa (Valencia). Tecnología del Agua.

[11] Richard P. Beberly, P.E., W.R.E., W.T.III (2005). Filter troubleshooting and design handbook. American Water Works Association.

[12] World Health Organisation (2009). Risk assessment of *Cryptosporidium* in drinking water. WHO/HSE/WSH, Geneva.

[13] USEPA (2002). The Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment Rule. [Online] <http://www.epa.gov/safewater/ndbp/lt1eswtr.html>. pt.

» El cambio de arena ha permitido retener una mayor cantidad de partículas y patógenos presentes en el agua, mientras que la regulación neumática ha aportado una mayor estabilidad a los filtros, lo que también contribuye a la calidad final del agua