



Medición de tamaño y distribución de partículas en tratamientos terciarios de varias EDAR de la Región de Murcia

La normativa actual en vigor en España para la reutilización de aguas (RD 1620/2007) y la nueva normativa europea aprobada recientemente (Reglamento UE 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua), imponen estrictas normas de calidad para el agua reutilizada. Es por ello que son necesarias herramientas que permitan la detección rápida de problemas en el proceso que pudieran dar lugar a incumplimientos en cuanto a la calidad del agua a reutilizar. Si bien la medición del tamaño y distribución de partículas es una técnica utilizada fundamentalmente en el tratamiento de agua potable, en este trabajo se investiga el empleo de esta técnica como una herramienta de monitorización del funcionamiento de los tratamientos terciarios de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), que permita la detección temprana de problemas de proceso u operación.

Palabras clave

EDAR, tratamiento terciario, reutilización de agua, partículas, medición del tamaño, distribución de partículas.

PARTICLE COUNTING IN SEVERAL WWTP TERTIARY TREATMENTS IN THE MURCIA REGION (SPAIN)

The current regulations in force in Spain for the reuse of water (RD 1620/2007) and the new recently approved European regulation (Regulation EU 2020/741 of the European Parliament and of the Council of May 25, 2020 on minimum requirements for water reuse), impose strict quality standards for reused water. That is why tools are necessary that allow the rapid detection of problems in the process, which may lead to non-compliance in terms of the quality of the water to be reused. Particle counting is a technique used primarily in the treatment of drinking water. The use of this technique is investigated in this work as a tool for monitoring the operation of tertiary treatment systems in wastewater treatment plant (WWTP), allowing early detection of process or operational problems.

Keywords

WWTP, tertiary treatment, water reuse, particles, particle counting.

J. Marcos Pérez García licenciado en Ciencias Químicas, jefe de Equipo de Control de EDAR en Técnica y Proyectos, S.A. (Tyspa)

Pedro Simón Andreu ingeniero industrial, director técnico de la Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (Esamur)

Manuel Abellán Soler ingeniero agrónomo, técnico de explotación Zona I de la Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (Esamur)



1. INTRODUCCIÓN

La normativa actual en vigor para la reutilización de aguas (RD 1620/2007) y la nueva normativa europea aprobada recientemente (Reglamento UE 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua) imponen estrictas normas de calidad para el agua reutilizada.

En la Región de Murcia se reutilizan para uso agrícola, de forma directa o indirecta, casi el 100% de las aguas residuales urbanas tratadas. El control en línea de la calidad del agua es importante para la detección temprana de problemas en el agua a reutilizar.

Se investiga en este trabajo el uso de la medición del tamaño y distribución de partículas como una herramienta de monitorización y control del funcionamiento de los tratamientos terciarios de las EDAR. Esta herramienta se utiliza en el tratamiento del agua potable, aunque no es común su uso en el tratamiento de aguas residuales.

2. OBJETO

El objeto de este trabajo es explorar las posibilidades de empleo de la

medición del tamaño y distribución de partículas para la monitorización, control y mejor conocimiento del funcionamiento de los tratamientos terciarios en varias EDAR de la Región de Murcia.

» En este trabajo se investiga el uso de la medición del tamaño y distribución de partículas como una herramienta de monitorización y control del funcionamiento de los tratamientos terciarios de las EDAR

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se han seleccionado cuatro EDAR para realizar mediciones de tamaño y distribución de partículas en sus tratamientos terciarios. Una de las EDAR seleccionadas es un MBR, mientras las otras tres plantas poseen tratamientos terciarios con diferentes tipos de filtros (que se detallan en el punto 5):

- Filtros de discos.
- Filtros de arena abiertos.
- Filtros de anillas.

Dependiendo de la EDAR, se han analizado todas o alguna de las siguientes muestras:

- Entrada a decantación lamelar.
- Entrada a filtros.
- Salida de filtros.

Se han recogido muestras puntuales para la medición inmediata de tamaño y distribución de partículas mediante medidor de partículas instalado en el laboratorio de la planta o en una zona adecuada. También en algunos casos se ha hecho medición de partículas en línea. Se han medido transmitancia y turbidez de las muestras mediante medidores portátiles.

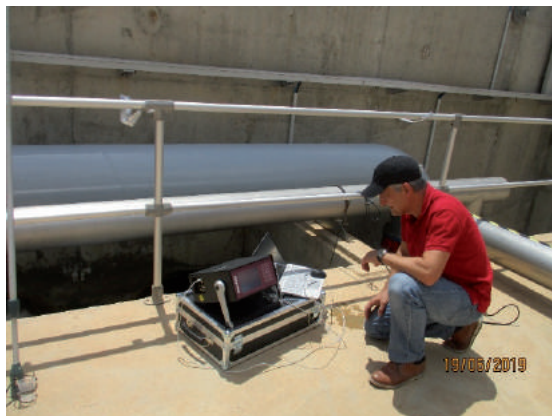
4. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

Se ha utilizado un medidor PAMAS S403. Se trata de un medidor de tamaño y distribución de partículas portátil, que utiliza el método de extinción del haz de luz, con capacidad para analizar muestras puntuales o bien instalarse en línea (Figuras 1 y 2).

FIGURA 1. Medición en laboratorio.



FIGURA 2. Medición en línea, a la salida de un filtro.



5. MEDICIONES, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En primer lugar se seleccionaron 4 EDAR (nombradas como EDAR 1, EDAR 2, EDAR 3 y EDAR 4). La EDAR 3 es un MBR y todas las demás poseen tratamiento terciario. Las características principales de esta depuradoras son:

- EDAR 1. Tratamiento secundario de fangos activos con eliminación biológica de N. Tratamiento terciario con decantación lamelar, filtro de discos de 10 µm y desinfección ultravioleta (UV, lámparas de baja presión) en tubería. Caudal de diseño: 4.000 m³/día.

- EDAR 2. Tratamiento secundario de fangos activos con eliminación biológica de N. Tratamiento terciario con decantación lamelar, filtros abiertos de arena y desinfección UV (lámparas de baja presión) en canal. Caudal de diseño: 22.500 m³/día.

- EDAR 3. MBR con membranas sumergidas de ultrafiltración (UF). Proceso de fangos activos para eliminación biológica de N. UV de media presión en tubería, después de la UF. Caudal de diseño: 20.000 m³/día.

- EDAR 4. Tratamiento secundario de fangos activos con eliminación biológica de N. Tratamiento terciario con decantación lamelar, filtros de anillas de 20 µm y desinfección UV (lámparas de baja presión) en tubería. Caudal de diseño: 4.500 m³/día.

En todas las plantas se tomaron muestras de efluente secundario, influente al terciario, efluente de decantación lamelar y efluente de filtración. Se realizaron analíticas de turbidez y transmitancia en los diferentes puntos de tomas de muestra. También Se realizaron los ensayos de partículas para cada una de las muestras. Finalmente, se graficaron los resultados de tamaño y distribución de partículas, así como los rendimientos de eliminación.

5.2. EDAR 1

Se realizaron dos ensayos de partículas los días 20/06/2019 y 08/07/2019. En el primer caso se estaba dosificando sulfato de alúmina a la entrada de decantación secundaria para favorecer la decantación de los fangos.

TABLA 1

TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS ANTES Y DESPUÉS DE LOS FILTROS DE DISCOS. EDAR 1. FECHA: 20/06/2019.

Tamaño (µm)	Influente filtro (partículas/mL)	Efluente filtro (partículas/mL)
1-2	35.636,2	9.761,7
2-3	1.756,3	867,0
3-5	1.753,3	740,6
5-7	290,9	121,1
7-10	147,7	66,4
10-15	63,6	26,9
15-20	22,5	6,5
20-25	11,7	1,4
25-30	6,7	0,8
30-40	5,9	0,6
40-50	3,9	0,3
50-70	4,0	0,5
70-100	3,0	0,2
100-150	2,5	0,2
150-200	0,5	0,1
>200	0,1	0,3
Total partículas	39.708,8	11.594,6

TABLA 2

TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS ANTES Y DESPUÉS DEL DECANTADOR LAMELAR Y FILTROS DE DISCOS. EDAR 1. FECHA: 08/07/2019.

Tamaño (µm)	Influente lamelar (partículas/mL)	Influente filtro (partículas/mL)	Efluente filtro (partículas/mL)
1-2	37.073,6	40.336,3	38.098,9
2-3	6.669,3	5.731,0	5.905,1
3-5	7.716,2	5.924,1	5.651,7
5-7	1.651,6	1.085,4	1.104,0
7-10	1.083,3	594,8	626,0
10-15	386,7	186,5	111,1
15-20	135,5	63,8	28,3
20-25	70,7	32,0	10,4
25-30	47,6	20,6	2,7
30-40	49,4	19,8	0,7
40-50	20,7	7,9	0,2
50-70	14,3	7,7	0,2
70-100	7,4	4,0	0,0
100-150	4,1	2,1	0,0
150-200	0,7	0,4	0,0
>200	0,0	0,1	0,0
Total partículas	54.931,1	54.016,5	51.543,3



5.2.1. Resultados

En las **Tablas 1 y 2** se muestran los resultados de las mediciones de tamaño y distribución de partículas realizadas. Además, en las **Tablas 3 y 4** se incluyen los porcentajes de cada tamaño de partículas sobre el total. El día 20-06-2019 solo se tomaron muestras de entrada y salida al filtro de discos. Se realizaron, además, mediciones de turbidez y transmitancia, que se incluyen en las **Tablas 5 y 6**.

De las dos primeras tablas se obtuvo el rendimiento de eliminación de partículas, que se tabuló en las **Tablas 7 y 8**. Después se representaron gráficamente los resultados de tamaño y distribución de partículas y de rendimiento de eliminación (**Figuras 3, 4, 5 y 6**). No se han representado los rendimientos negativos en las gráficas, ya que son todos de escasa entidad, y pueden considerarse dentro del error experimental.

5.2.2. Discusión

La mayor parte de las partículas se encuentran en el rango de 1 a 5 μm (**Tablas 1 y 2**). Las de 1 a 2 μm son las más abundantes, oscilando su número entre 67,5% y 89,7% en las diferentes muestras tanto de influentes como efluentes (**Tablas 3 y 4**).

Las mediciones realizadas el 20-06-2019 indican unos rendimientos de eliminación de partículas muy importantes. Así, en filtración se obtie-

TABLA 3		
PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 1. FECHA: 20/06/2019.		
Tamaño (μm)	Influente filtro (% del total)	Efluente filtro (% del total)
1-2	89,7	84,2
2-3	4,4	7,5
3-5	4,4	6,4
5-7	0,7	1,0
7-10	0,4	0,6
10-15	0,2	0,2
15-20	0,1	0,1
20-25	0,0	0,0
25-30	0,0	0,0
30-40	0,0	0,0
40-50	0,0	0,0
50-70	0,0	0,0
70-100	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0
>200	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0

TABLA 4			
PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 1. FECHA: 08/07/2019.			
Tamaño (μm)	Influente lamelar (% del total)	Influente filtro (% del total)	Efluente filtro (% del total)
1-2	67,5	74,7	73,9
2-3	12,1	10,6	11,5
3-5	14,0	11,0	11,0
5-7	3,0	2,0	2,1
7-10	2,0	1,1	1,2
10-15	0,7	0,3	0,2
15-20	0,2	0,1	0,1
20-25	0,1	0,1	0,0
25-30	0,1	0,0	0,0
30-40	0,1	0,0	0,0
40-50	0,0	0,0	0,0
50-70	0,0	0,0	0,0
70-100	0,0	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0	100,0

TABLA 5		
MEDICIONES DE TRANSMITANCIA Y TURBIDEZ. EDAR 1. FECHA: 20/06/2019.		
Muestra	Transmitancia (%)	Turbidez (FNU)
Influente filtro	67,0	2,7
Efluente filtro	68,7	0,0

TABLA 6		
MEDICIONES DE TRANSMITANCIA Y TURBIDEZ. EDAR 1. FECHA: 08/07/2019.		
Muestra	Transmitancia (%)	Turbidez (FNU)
Influente lamelar	52,8	8,6
Influente filtro	55,0	8,1
Efluente filtro	58,4	1,9

FIGURA 3. Tamaño y distribución de partículas a la entrada y salida del filtro. EDAR 1. Fecha: 20/06/2019.

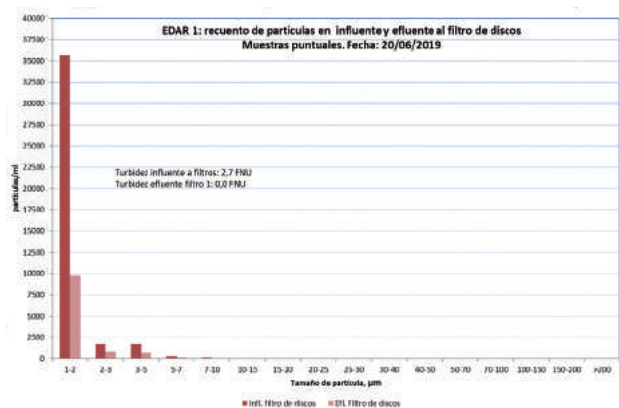


FIGURA 4. Rendimiento de eliminación de partículas. EDAR 1. Fecha: 20/06/2019.

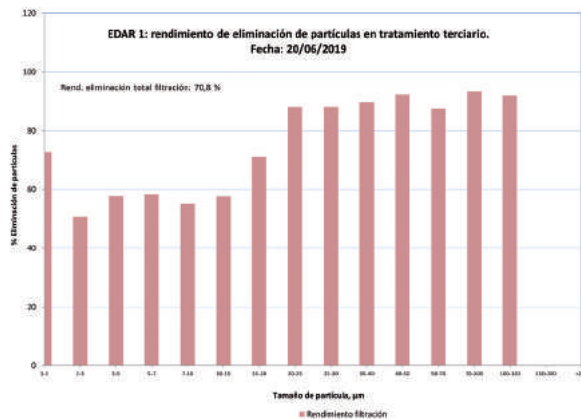


FIGURA 5. Tamaño y distribución de partículas. EDAR 1. Fecha: 08/07/2019.

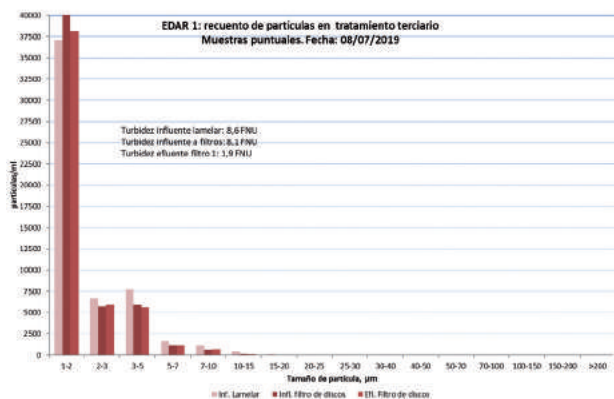
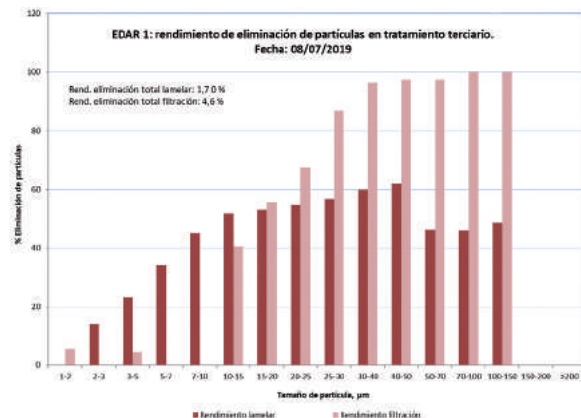


FIGURA 6. Rendimiento de eliminación de partículas. EDAR 1. Fecha: 08/07/2019.



ne un rendimiento total de eliminación de partículas del 70,8% (Tabla 7 y Figura 4).

La medición del 08-07-2019 muestra un rendimiento total de eliminación de partículas del 1,7% y el 4,6% en lamelar y filtración respectivamente (Tabla 8 y Figura 6).

Los mayores rendimientos de eliminación de partículas del 20-06-2019 se deberían a la dosificación de sulfato de aluminio, aunque fuera realizada en la salida del reactor biológico.

Se observa un incremento de la transmitancia y una disminución de turbidez al pasar de una etapa a otra en el terciario (Tablas 5 y 6).

5.3. EDAR 2

Se realizaron dos ensayos de partí-

culas los días 24-07-2019 y 19-02-2020. En esta EDAR se dosifica, de forma automática, sulfato de aluminio a la entrada del tratamiento terciario, según la concentración de fósforo medida en línea. De los datos de funcionamiento de la planta, se conoce que el 24/07/2019 se dosificaron 465 kg de sulfato de aluminio, mientras que el 19-02-2020 no se dosificó nada.

5.3.1. Resultados

En las Tablas 9 y 10 se muestran los resultados de las mediciones de tamaño y distribución de partículas realizadas, mientras que en las Tablas 11 y 12 se incluyen los porcentajes de cada tamaño de partículas sobre el total.

Se realizaron, además, mediciones

de turbidez y transmitancia que se incluyen en las Tablas 13 y 14. En las Tablas 15 y 16 se incluyen los rendimientos de eliminación de partículas. En las Figuras 7, 8, 9 y 10 se presentan los resultados de tamaño y distribución de partículas y de rendimiento de eliminación.

5.3.2. Discusión

La mayor parte de las partículas se encuentran en el rango de 1 a 5 µm (Tablas 9 y 10 y Figuras 7 y 9) Las de 1 a 2 µm son las más abundantes, oscilando aproximadamente entre el 70% y el 80% del total en las diferentes muestras, tanto de influentes como efluentes (Tablas 11 y 12).

Los rendimientos de eliminación de partículas son elevados en ambas fechas (24-07-19 y 19-02-20).



TABLA 7	
RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 1. FECHA: 20/06/2019.	
Tamaño (µm)	Filtración (%)
1-2	72,6
2-3	50,6
3-5	57,8
5-7	58,4
7-10	55,0
10-15	57,7
15-20	71,1
20-25	88,0
25-30	88,1
30-40	89,8
40-50	92,3
50-70	87,5
70-100	93,3
100-150	92,0
150-200	
>200	
Total partículas	70,8

TABLA 9			
TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 2. FECHA: 24/07/2019.			
Tamaño (µm)	Influente terciario (partículas/mL)	Influente filtro (partículas/mL)	Efluente terciario (partículas/mL)
1-2	25.654,8	24.031,4	10.883,8
2-3	4.298,6	3.919,4	1.806,5
3-5	3.748,6	2.859,2	941,1
5-7	949,7	602,0	173,3
7-10	924,0	520,9	317,9
10-15	488,8	218,8	238,2
15-20	154,1	51,5	33,7
20-25	80,6	24,9	14,1
25-30	39,7	13,9	6,2
30-40	42,4	10,7	4,7
40-50	15,0	3,3	1,6
50-70	13,4	2,1	2,0
70-100	9,2	0,4	0,5
100-150	0,5	0,1	0,2
150-200	0,1	0,0	0,0
>200	0,1	0,0	0,0
Total partículas	36.419,6	32.258,6	14.424,1

TABLA 8		
RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 1. FECHA: 08/07/2019.		
Tamaño (µm)	Lamelar (%)	Filtración (%)
1-2	-8,8	5,5
2-3	14,1	-3,0
3-5	23,2	4,5
5-7	34,3	-1,7
7-10	45,1	-5,2
10-15	51,8	40,4
15-20	52,9	55,6
20-25	54,7	67,5
25-30	56,7	86,6
30-40	59,9	96,5
40-50	61,8	97,5
50-70	46,2	97,4
70-100	45,9	100,0
100-150	48,8	100,0
150-200	-	-
>200	-	-
Total partículas	1,7	4,6

TABLA 10			
TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 2. FECHA: 19/02/2019.			
Tamaño (µm)	Influente terciario (partículas/mL)	Influente filtro (partículas/mL)	Efluente filtro (partículas/mL)
1-2	32.601,4	19.589,4	15.793,3
2-3	5.962,8	3.888,1	1.144,9
3-5	5.124,2	3.023,5	647,3
5-7	970,4	499,9	119,9
7-10	616,0	270,4	113,2
10-15	222,2	64,5	39,0
15-20	84,4	13,8	18,8
20-25	50,4	5,0	5,3
25-30	27,6	1,3	2,8
30-40	23,7	0,8	2,0
40-50	9,2	0,1	0,9
50-70	5,8	0,0	0,5
70-100	1,5	0,0	0,2
100-150	0,3	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	45.699,9	27.356,8	17.888,0

TABLA 11			
PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 2. FECHA: 24/07/2019.			
Tamaño (µm)	Influente terciario (% del total)	Influente filtro (% del total)	Efluente terciario (% del total)
1-2	70,4	74,5	75,5
2-3	11,8	12,1	12,5
3-5	10,3	8,9	6,5
5-7	2,6	1,9	1,2
7-10	2,5	1,6	2,2
10-15	1,3	0,7	1,7
15-20	0,4	0,2	0,2
20-25	0,2	0,1	0,1
25-30	0,1	0,0	0,0
30-40	0,1	0,0	0,0
40-50	0,0	0,0	0,0
50-70	0,0	0,0	0,0
70-100	0,0	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0	100,0

TABLA 12			
PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 2. FECHA: 12/02/2019.			
Tamaño (µm)	Influente terciario (% del total)	Influente filtro (% del total)	Efluente filtro (% del total)
1-2	71,3	71,6	88,3
2-3	13,0	14,2	6,4
3-5	11,2	11,1	3,6
5-7	2,1	1,8	0,7
7-10	1,3	1,0	0,6
10-15	0,5	0,2	0,2
15-20	0,2	0,1	0,1
20-25	0,1	0,0	0,0
25-30	0,1	0,0	0,0
30-40	0,1	0,0	0,0
40-50	0,0	0,0	0,0
50-70	0,0	0,0	0,0
70-100	0,0	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0	100,0

El menor número de partículas de entrada del día 24-07-2019, que puede ser debido a la dosificación de coagulante, posibilita que en esa fecha el número de partículas en el efluente sea más bajo que en el ensayo del 09-02-2020.

Otra diferencia entre ambos ensayos es que, en el del 24 de julio, el mayor rendimiento total de eliminación de partículas se produce en la filtración, mientras que en el del 19 de febrero se reparte entre decantación lamelar y filtración. Esta diferencia podría explicarse por una mala decantación de los flóculos formados por la adición de coagulante el 24-07-2019, que pasarían directamente a los filtros donde sí serían eliminados. En general, ello dependerá de las condiciones de funcionamiento en el momento de la realización del ensayo.

En general, puede decirse que la turbidez y transmitancia se reducen al pasar por las diferentes etapas del terciario (**Tablas 13 y 14**). No se analizó turbidez en el ensayo del día 19-02-2020.

5.4. EDAR 3

El día 25/06/2019 se realizaron tres mediciones tomando las muestras en la arqueta de salida del MBR. Precisamente, por tratarse de un MBR, solo se tomaron muestras del efluente, ya que el influente es fango activo y no puede medirse con este instrumento.

5.4.1. Resultados

En la **Tabla 17** se muestran los resultados de las mediciones realizadas. Tal y como se indica en esa tabla la muestra nº1 fue tomada de la arqueta de salida directamente por el aparato, mientras que las otras dos fueron tomadas manualmente y analizadas inmediatamente después.



TABLA 13
MEDICIONES DE TRANSMITANCIA Y TURBIDEZ. EDAR 2. FECHA: 24/07/2019.

Muestra	Transmitancia (%)	Turbidez (FNU)
Influyente terciario	60,8	5,6
Efluente filtros	62,9	2,4
Efluente terciarios	64,6	1,5

TABLA 14
MEDICIONES DE TRANSMITANCIA. EDAR 2. FECHA: 19/02/2019.

Muestra	Transmitancia (%)
Influyente terciario	71,2
Influyente filtros	75,6
Efluente filtro	75,8

TABLA 15
RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 2. FECHA: 24/07/2019.

Tamaño (µm)	Lamelar (%)	Filtración (%)
1-2	6,3	54,7
2-3	8,8	53,9
3-5	23,7	67,1
5-7	36,6	71,2
7-10	43,6	39,0
10-15	55,2	-8,9
15-20	66,6	34,6
20-25	69,1	43,4
25-30	65,0	55,4
30-40	74,8	56,1
40-50	78,0	51,5
50-70	84,3	4,8
70-100	95,7	-
100-150	-	-
150-200	-	-
>200	-	-
Total partículas	11,4	55,3

TABLA 16
RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 2. FECHA: 19/02/2019.

Tamaño (µm)	Lamelar (%)	Filtración (%)
1-2	39,9	19,4
2-3	34,8	70,6
3-5	41,0	78,6
5-7	48,5	76,0
7-10	56,1	58,1
10-15	71,0	39,5
15-20	83,6	-
20-25	90,1	-
25-30	95,3	-
30-40	96,6	-
40-50	98,9	-
50-70	100,0	-
70-100	-	-
100-150	-	-
150-200	-	-
>200	-	-
Total partículas	40,1	34,6

FIGURA 7. Tamaño y distribución de partículas. EDAR 2. Fecha: 24/07/2019.

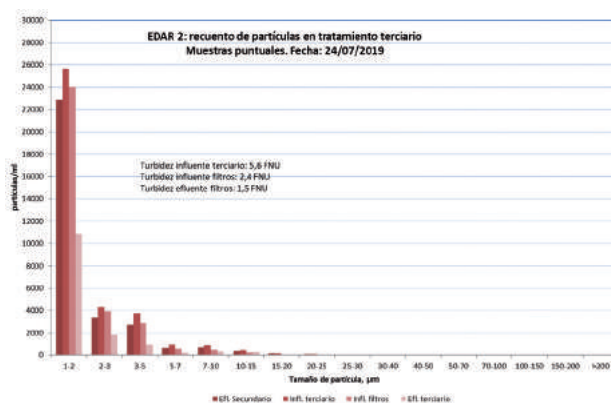


FIGURA 8. Rendimiento de eliminación de partículas. EDAR 2. Fecha: 24/07/2019.

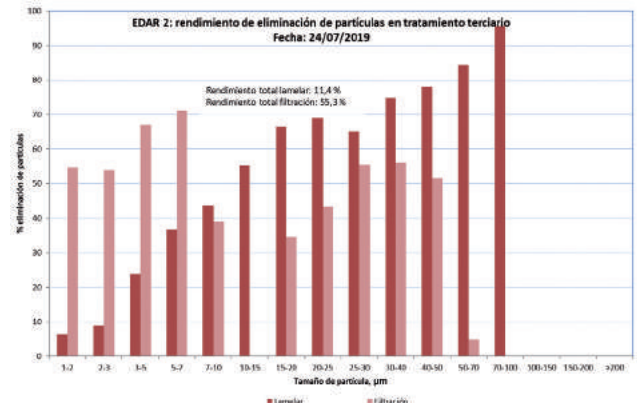


FIGURA 9. Tamaño y distribución de partículas. EDAR 2. Fecha: 19/02/2019.

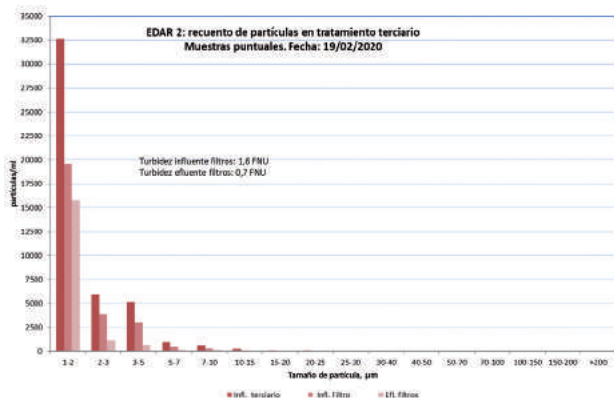
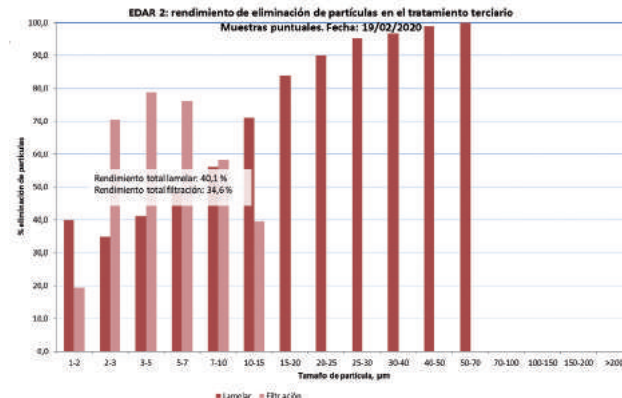


FIGURA 10. Rendimiento de eliminación de partículas. EDAR 2. Fecha: 19/02/2019.



Se realizaron, además, mediciones de turbidez y transmitancia, que se incluyen en la **Tabla 18**. En la **Figura 11** se presentan los resultados de tamaño y distribución de partículas, mientras que en la **Tabla 19** se muestran los porcentajes de cada tamaño de partículas sobre el total.

5.4.2. Discusión

En este caso también la mayor parte de las partículas se encuentran en el rango de 1 a 5 μm (**Tabla 17** y **Figura 11**). Las de 1 a 2 μm son las más abundantes, oscilando entre el 57% y el 61,7% del total en las muestras de efluente del MBR (**Tabla 19**).

Por tratarse de una ultrafiltración, las concentraciones de partículas son muy bajas, comparadas con los resultados de las EDAR 1, 2 y 4. Al menos una parte de las partículas detectadas puede deberse a la interferencia de burbujas de aire, que con concentraciones tan bajas de partículas tienen una influencia importante, de ahí las variaciones de unas medidas a otras. Tampoco quiere decir que todas estas partículas provengan directamente de las membranas, ya que pueden tener su origen en las paredes de tuberías y arquetas, e incluso del aire ambiente.

TABLA 17
TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS EN EL EFLUENTE. EDAR 3. FECHA: 25/06/2019.

Tamaño (μm)	Nº 1 efluente MBR <i>in situ</i> (partículas/mL)	Nº 2 efluente MBR (partículas/mL)	Nº 3 efluente MBR (partículas/mL)
1-2	150,9	190,2	279,2
2-3	25,8	40,5	76,8
3-5	25,7	34,5	68,2
5-7	9,9	11,6	18,7
7-10	14,3	16,3	22,8
10-15	9,5	9,0	13,6
15-20	3,9	3,9	5,5
20-25	1,6	1,6	2,2
25-30	1,0	0,7	0,9
30-40	0,7	0,6	1,1
40-50	0,3	0,2	0,0
50-70	0,2	0,1	0,3
70-100	0,1	0,1	0,1
100-150	0,1	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,4	0,0	0,0
Total partículas	244,4	309,3	489,4

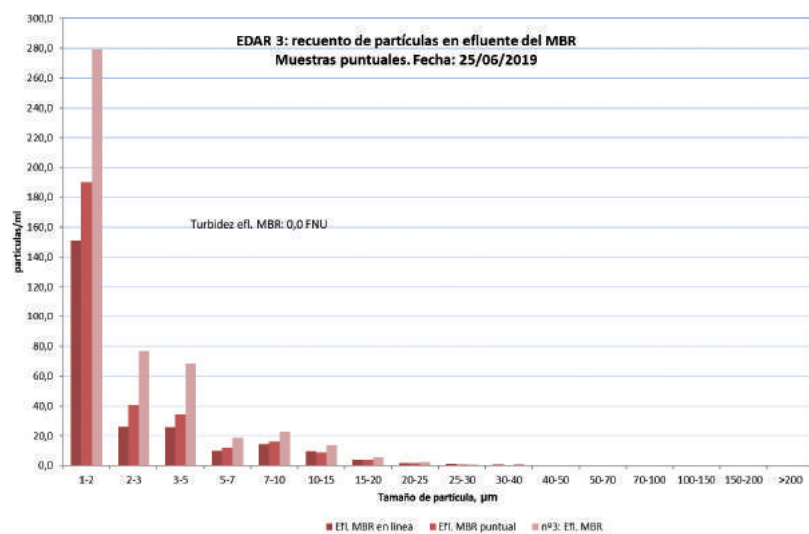
Nota: La muestra nº 1 fue toma en línea, aspirando directamente de la arqueta de salida del permeado. Las muestras nº 2 y nº 3 fueron tomadas con duquesita y analizadas.

TABLA 18
TRANSMITANCIA Y TURBIDEZ EN EL EFLUENTE. EDAR 3. FECHA: 25/06/2019.

Muestra	Transmitancia (%)	Turbidez (FNU)
Efluente	74,4	0,0



FIGURA 11. Tamaño y distribución de partículas. EDAR 3. Fecha: 25/06/2019.



» La EDAR 3, que dispone de un tratamiento MBR con membranas sumergidas de UF, es la planta que obtiene un efluente de mejor calidad en cuanto a partículas, turbidez y transmitancia

TABLA 19			
PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 3. FECHA: 25/06/2019.			
Tamaño (µm)	Nº 1 efluente MBR <i>in situ</i> (% del total)	Nº 2 efluente MBR (% del total)	Nº 3 efluente MBR (% del total)
1-2	61,7	61,5	57,0
2-3	10,6	13,1	15,7
3-5	10,5	11,2	13,9
5-7	4,1	3,8	3,8
7-10	5,9	5,3	4,7
10-15	3,9	2,9	2,8
15-20	1,6	1,3	1,1
20-25	0,7	0,5	0,4
25-30	0,4	0,2	0,2
30-40	0,3	0,2	0,2
40-50	0,1	0,1	0,0
50-70	0,1	0,0	0,1
70-100	0,0	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,2	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0	100,0

5.5. EDAR 4

Se realizaron dos ensayos de partículas los días 21/06/2019 y 30/07/2019. En esas fechas se dosificaba sulfato de alúmina a la salida del reactor biológico, para la precipitación de fósforo.

Conviene indicar que en la zona de la EDAR existe una fábrica de conservas de frutas con un impacto importante en el proceso en las épocas de producción.

5.5.1. Resultados

En las **Tablas 20 y 21** se muestran los resultados de las mediciones de tamaño y distribución de partículas realizadas, mientras que en las **Tablas 22 y 23** se incluyen los porcentajes de cada tamaño de partículas sobre el total.

Se realizaron, además, mediciones de turbidez y transmitancia que se incluyen en las **Tablas 24 y 25**. En las **Tablas 26 y 27** se incluyen los rendimientos de eliminación de partículas. En las **Figuras 12, 13, 14 y 15** se presentan los resultados de tamaño y distribución de partículas y de rendimiento de eliminación.

5.5.2. Discusión

En la muestra del 21-06-2019 se ve una distribución de partículas más amplia de lo habitual, encontrándose la mayor parte entre 1 y 10 µm (tablas 20 y 21, figs. 12 y 14). Las partículas más abundantes siguen siendo las de 1 a 2 µm en todos los casos, con unos porcentajes sobre el total de 50,8% al 62% (**Tablas 22 y 23**).

Hay que destacar la buena calidad en cuanto a número de partículas del influente a lamelar del 21/06/2019. Ello se debería a la dosificación de sulfato de alúmina a la salida de los reactores biológicos en esa fecha y a la no existencia de vertidos de la

TABLA 20

TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 4. FECHA: 21/06/2019.			
Tamaño (µm)	Influente lamelar (partículas/mL)	Influente filtro (partículas/mL)	Efluente filtro (partículas/mL)
1-2	11.288,2	12.572,9	12.812,3
2-3	1.973,1	2.375,8	2.651,8
3-5	1.900,2	2.430,3	2.951,4
5-7	758,5	964,4	1.285,6
7-10	2.474,3	2.806,7	3.490,7
10-15	1.846,1	1.801,2	1.760,6
15-20	304,0	331,4	221,0
20-25	130,7	135,2	51,5
25-30	29,7	29,4	9,8
30-40	14,7	13,5	3,9
40-50	5,0	4,9	1,2
50-70	3,3	3,3	0,6
70-100	0,7	0,5	0,0
100-150	0,1	0,0	0,0
150-200	0,0	0,1	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	20.728,6	23.469,6	25.240,4

TABLA 21

TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 4. FECHA: 30/07/2019.			
Tamaño (µm)	Influente lamelar (partículas/mL)	Influente filtro (partículas/mL)	Efluente filtro (partículas/mL)
1-2	28.677,6	24.034,0	25.377,2
2-3	6.565,1	5.745,7	6.129,0
3-5	9.089,8	8.049,1	8.656,2
5-7	2.185,3	1.748,0	1.940,9
7-10	1.898,3	1.226,1	1.404,2
10-15	861,1	350,8	414,8
15-20	747,6	197,7	221,9
20-25	90,9	33,7	38,1
25-30	33,4	12,9	12,2
30-40	27,8	11,3	7,9
40-50	10,6	4,2	2,4
50-70	8,0	2,9	1,6
70-100	1,8	1,1	0,2
100-150	1,0	0,1	0,0
150-200	0,2	0,0	0,1
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	50.198,5	41.417,6	44.206,7

TABLA 22

PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 4. FECHA: 21/06/2019.			
Tamaño (µm)	Influente lamelar (% del total)	Influente filtro (% del total)	Efluente filtro (% del total)
1-2	54,5	53,6	50,8
2-3	9,5	10,1	10,5
3-5	9,2	10,4	11,7
5-7	3,7	4,1	5,1
7-10	11,9	12,0	13,8
10-15	8,9	7,7	7,0
15-20	1,5	1,4	0,9
20-25	0,6	0,6	0,2
25-30	0,1	0,1	0,0
30-40	0,1	0,1	0,0
40-50	0,0	0,0	0,0
50-70	0,0	0,0	0,0
70-100	0,0	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0	100,0

TABLA 23

PORCENTAJES DE PARTÍCULAS SOBRE EL TOTAL. EDAR 4. FECHA: 30/07/2019.			
Tamaño (µm)	Influente lamelar (% del total)	Influente filtro (% del total)	Efluente filtro (% del total)
1-2	57,1	58,0	57,4
2-3	13,1	13,9	13,9
3-5	18,1	19,4	19,6
5-7	4,4	4,2	4,4
7-10	3,8	3,0	3,2
10-15	1,7	0,8	0,9
15-20	1,5	0,5	0,5
20-25	0,2	0,1	0,1
25-30	0,1	0,0	0,0
30-40	0,1	0,0	0,0
40-50	0,0	0,0	0,0
50-70	0,0	0,0	0,0
70-100	0,0	0,0	0,0
100-150	0,0	0,0	0,0
150-200	0,0	0,0	0,0
>200	0,0	0,0	0,0
Total partículas	100,0	100,0	100,0



TABLA 24		
TRANSMITANCIA Y TURBIDEZ. EDAR 4. FECHA: 21/06/2019.		
Muestra	Transmitancia (%)	Turbidez (FNU)
Influyente terciario	73,2	1,0
Efluente filtros	73,2	1,4
Efluente terciarios	73,3	1,1

TABLA 26		
RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 4. FECHA: 21/06/2019.		
Tamaño (µm)	Lamelar (%)	Filtración (%)
1-2	-11,4	-1,9
2-3	-20,4	-11,6
3-5	-27,9	-21,4
5-7	-27,1	-33,3
7-10	-13,4	-24,4
10-15	2,4	2,3
15-20	-9,0	33,3
20-25	-3,4	61,9
25-30	1,0	66,7
30-40	8,2	71,1
40-50	2,0	75,5
50-70	-	-
70-100	-	-
100-150	-	-
150-200	-	-
>200	-	-
Total partículas	-13,2	-7,5

TABLA 25		
TRANSMITANCIA Y TURBIDEZ. EDAR 4. FECHA: 30/07/2019.		
Muestra	Transmitancia (%)	Turbidez (FNU)
Influyente terciario	53,0	1,1
Efluente filtros	53,7	1,4
Efluente terciarios	54,7	1,0

TABLA 27		
RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS. EDAR 4. FECHA: 30/07/2019.		
Tamaño (µm)	Lamelar (%)	Filtración (%)
1-2	16,2	-5,6
2-3	12,5	-6,7
3-5	11,4	-7,5
5-7	20,0	-11,0
7-10	35,4	-14,5
10-15	59,3	-18,2
15-20	73,6	-12,2
20-25	62,9	-13,1
25-30	61,4	5,4
30-40	59,4	30,1
40-50	60,4	42,9
50-70	63,8	44,8
70-100	38,9	81,8
100-150	-	-
150-200	-	-
>200	-	-
Total partículas	6,3	-6,7

fábrica conservera de la zona. La calidad del agua es peor el 30/07/2019 en cuanto a partículas y transmitancias debido a los vertidos de la industria de la conserva en julio.

Según los resultados, este tratamiento terciario no contribuye a mejorar la calidad del efluente secundario, con rendimientos totales negativos en casi todos los casos, por lo que se podría:

- Dejar fuera de servicio el terciario.
- Mejorar su rendimiento median-

te la dosificación de coagulante-floculante.

- Estudiar si es posible la mejora del funcionamiento del decantador lamelar y filtros.

- Considerar el cambio de alguna de las unidades, los filtros, por ejemplo.

No existe incremento de transmitancia y se observa una reducción poco significativa de turbidez (**Tablas 24 y 25**), aunque la turbidez del efluente secundario era ya muy baja (1,0 a 1,1 FNU).

6. CONCLUSIONES

En todos los tratamientos terciarios estudiados, la inmensa mayoría de las partículas tanto en el influente al terciario como en el efluente se encuentran en el rango de 1 a 5 µm. Las partículas de 1 a 2 µm contribuyen aproximadamente entre un 50% y 90% del total de partículas, las de 2 a 3 µm de un 4% a un 14% y las de 3 a 5 µm de un 4 a un 19 % aproximadamente.

Cuando se dosifica coagulante (y polielectrolito si es el caso), aunque

FIGURA 12. Tamaño y distribución de partículas. EDAR 4. Fecha: 21/06/2019.

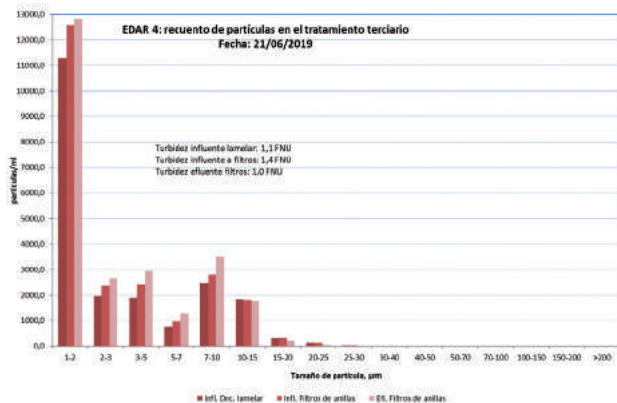


FIGURA 14. Tamaño y distribución de partículas. EDAR 4. Fecha: 30/07/2019.

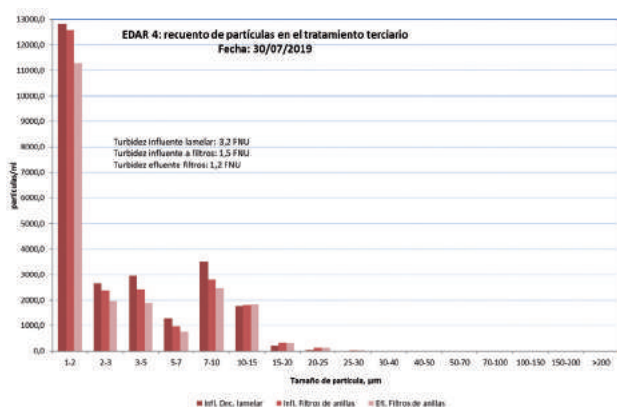


FIGURA 13. Rendimiento de eliminación de partículas. EDAR 4. Fecha: 21/06/2019.

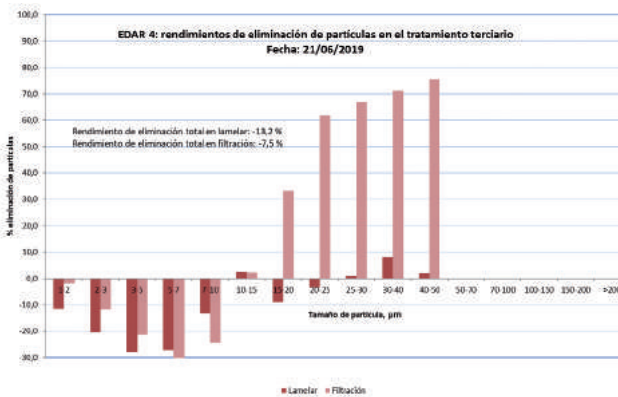
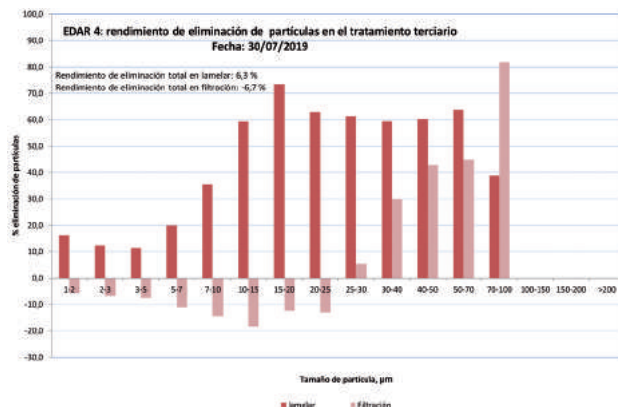


FIGURA 15. Rendimiento de eliminación de partículas. EDAR 4. Fecha: 30/07/2019.



solo sea a la salida del biológico, se produce una mejora en el rendimiento de eliminación de partículas. Se tienen los siguientes casos:

- EDAR 1: durante las mediciones del 20-06-2019 se estaba dosificando sulfato de Al a la salida de biológicos. Esto se cree que tiene que ver con los excelentes resultados obtenidos en esa fecha respecto a los obtenidos el 08-07-2019.
- EDAR 2: se estaba dosificando Sulfato de alúmina el día 24-07-2019 en la entrada al terciario. Podría ser que ello tenga que ver con la menor entrada de partículas en el terciario y la menor concentración de partículas en el efluente.

Como cabía esperar, el MBR (EDAR 3) es el que obtiene un efluente de

mejor calidad en cuanto a partículas, turbidez y transmitancia.

El tratamiento terciario de la EDAR 4 no contribuye a mejorar la calidad del efluente secundario, por lo que sería necesario estudiar cambios en el sistema para mejorar el funcionamiento.

Como se ha visto en este trabajo, el análisis del tamaño y distribución de partículas ofrece información importante acerca del funcionamiento de los procesos del tratamiento terciario. Por ello, la instalación de un buen sistema de medición de tamaño y distribución de partículas en línea permitiría:

- Monitorizar el funcionamiento de los diferentes procesos del tratamiento terciario.
- Servir como alerta temprana en

caso de funcionamiento fuera de los parámetros establecidos para cada proceso.

- Introducir cambios operativos en el tratamiento terciario y mejorar su funcionamiento.
- Comparar el funcionamiento de diferentes sistemas o diferentes condiciones de trabajo, por ejemplo: diferentes tipos de filtros, dosificación o no de reactivos, etc.

Bibliografía

[1] Bridgeman, J. *et al.* (2002). The use and application of particle-count data in water treatment. J. CIWEM.

[2] Eisnor J.D. *et al.* (2001). Evaluation of particle removal water treatment plants in Nova Scotia. Water Quality Research Journal of Canada.

[3] Metcalf; Eddy (2014). Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery. 5th Ed.

[4] Templeton M.R. *et al.* (2007). Removal of particle-associated bacteriophages by dual media filtration at different filter cycle stages and impacts on subsequent UV disinfection. Water Research, págs. 2.393-2.406.