

# Actiflo® para tratamiento de aguas de tormenta

Juan Carlos Rodrigo, Luis Gómez, Joan Sanz

*Veolia Water Solutions & Technologies*

*Pol.Ind. "Santa Ana" C/ El Electrodo, 52 28522 Rivas-Vaciamadrid (Madrid)*

## 1. Introducción

La prevención de la contaminación debida a las aguas de tormentas es actualmente un reto al que hay que hacer frente. Una de las formas habituales de paliar el efecto negativo de estas aguas contaminadas ha sido tradicionalmente el empleo de grandes tanques de tormenta o dicho de otra forma, el empleo de grandes depósitos capaces de amortiguar tan alta variación de caudal en períodos húmedos. A tal efecto Veolia desarrolló hace ya unos años un tratamiento muy compacto y simple, utilizable en esta aplicación, denominado [proceso Actiflo®](#). Este proceso es capaz de trabajar a velocidades de decantación especular elevadas (> 120 m/h), lo cual significa el empleo de un área total de tan sólo 0,03 m<sup>2</sup> por m<sup>3</sup>/h de influente tratado. Esto es posible gracias el empleo de un proceso físico-químico de decantación lamelar lastrada con microarena. Frente a otros procesos de decantación, Actiflo® presenta a su vez la ventaja de una elevada rapidez de puesta en marcha: en menos de 15 minutos el proceso está en régimen.

## 2. Estado del arte

El incremento de urbanización de grandes áreas ha causado grandes trastornos a los cauces receptores. De hecho durante tiempo húmedo se lavan carreteras, techos y pavimentos y lamentablemente es raro encontrar redes separativas de estas corrientes, dándose en la mayor parte de los casos redes unitarias y en consecuencia la llegada al cauce de caudales de agua contaminada altamente cargada en sólidos en suspensión así como algunos otros contaminantes disueltos. Para evitar estos problemas, en general, se proponen dos actuaciones distintas, las cuales pueden combinarse también:

- Construir un gran tanque para almacenamiento del agua en la propia red de alcantarillado urbana. Esta solución además de ser costosa presenta a menudo problemas de decantación, siendo necesaria la limpieza periódica de los residuos allí depositados (arenas y fango) causando en general trastornos medioambientales a la ciudadanía. Así por ejemplo, se estima una necesidad entre 100 y 200 m<sup>3</sup> de tanque por hectárea para eliminaciones de SS del orden del 80%.

- La segunda actuación habitual es hacer frente a este caudal en las mismas instalaciones de tratamiento de agua residual (Estaciones de Tratamiento de Agua Residual, EDAR). Aquí la construcción de grandes tanques puede ser más económica que en las propias ciudades pero aun así considerando los factores punta sigue siendo una obra importante. La solución ideal sería tratar en línea el caudal punta como si se tratara de caudal de agua residual normal. Es aquí donde Veolia ha elegido desarrollar un proceso altamente contrastado por su alta eficacia en otros campos. El proceso combina las ventajas de la decantación lamelar y la floculación lastrada tal y como se describe más abajo. En el caso de situarlo en la propia red de alcantarillado lejos de la correspondiente EDAR, permite aliviar el caudal al alcantarillado devolviendo al mismo la contaminación retenida (decantada) para su procesamiento en la EDAR final.

Una de las opciones tecnológicas empleadas donde la eliminación de SS así como de materia orgánica particulada ( $DBO_5$ ) resulta no ser suficiente mediante el [proceso Actiflo®](#), es la adición en un EDAR con fangos activos, de un tanque de contacto que se incorpora en el tratamiento con el fin de mejorar la eliminación de la DBO soluble del sistema. Este proceso, denominado por Veolia como BioActiflo® (véase figura 1), utiliza parte del fango recirculado desde los decantadores en un tanque de contacto donde también recibe parte del caudal excedente que el biológico de fangos activos no es capaz de tratar. El tanque de contacto con una concentración determinada de MLSS (800-1.000 mg/l) permite la toma de materia orgánica soluble. A continuación el proceso Actiflo® se ocupa de conseguir este excepcional efluente: SS < 10 ppm, con eliminaciones de  $DBO_5$  TOTAL del 70 al 85%, y de  $DBO_5$  SOLUBLE del 60-70%.

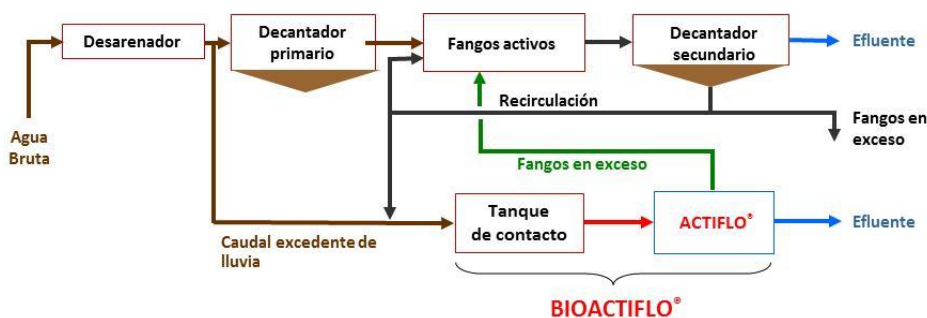


Figura 1. Esquema del proceso BioActiflo® Turbo

### 3. Descripción de proceso

El agua residual previamente desbastada es conducida a un primer paso de coagulación donde los coloides son desestabilizados gracias a la sal metálica trivalente empleada. El agua coagulada entra a un segundo tanque donde la floculación es iniciada al adicionar un polielectrolito aniónico. En este paso también se adiciona la microarena que actúa como lastre. Los sólidos en suspensión coagulados son entonces adheridos a la microarena gracias a los puentes formados por la acción del polímero. Las particulares condiciones de mezcla de este último tanque donde puede encontrarse el dispositivo denominado como Turbomix® permite un crecimiento óptimo del flóculo. El dimensionamiento de tanques (tamaño y forma), el diseño de los agitadores, el diseño de los pasos, las velocidades así como los tiempos de retención hidráulicos han sido optimizados con el objeto de obtener una gran cantidad de flóculos de elevado peso específico gracias a la microarena presente. De acuerdo a la ley de Stokes estas partículas decantan muy rápidamente en la superficie proyectada de una decantación lamelar, donde tiene lugar una decantación de flujo laminar en contracorriente. El éxito de esta decantación lastrada puede explicarse más científicamente recordando el modelo de floculación de Argaman (1970):

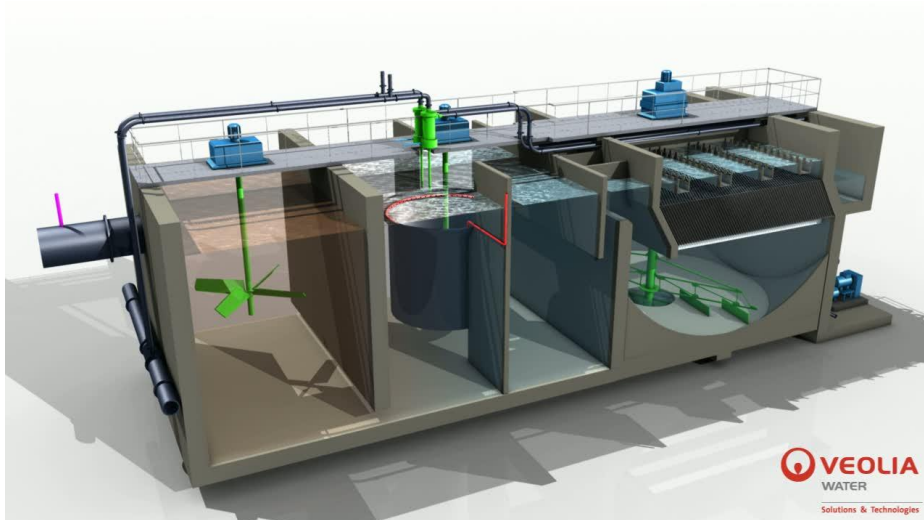
$$-\frac{dN}{dt} = K_A GN - K_B G^2$$

Donde: N es el número de partículas generado por unidad de volumen (ud./m<sup>3</sup>)  
K<sub>A</sub> es la constante de agregación  
K<sub>B</sub> es la constante de ruptura  
G es el gradiente de velocidad medio (s<sup>-1</sup>)

Una tecnología de floculación lastrada tiene tres ventajas principalmente:

- La iniciación de la reacción es mejorada por la presencia del lastre (microarena), lo cual incrementa el número de partículas libres (N).
- La constante de ruptura (K<sub>B</sub>) es menor, lo cual redundaría en menores tiempos de residencia en los tanques de floculación.
- El flóculo resultante es más pesado y por tanto decanta más fácilmente, lo cual redundaría en mayor carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h) en decantación.

El agua decantada es obtenida a través de canales vertedero para su vertido final. Los flóculos decantados, mezcla de fango-arena, son conducidos a los hidrociclones para su separación. En este dispositivo la microarena es retornada al sistema. El fango es extraído del sistema para su posterior espesamiento. La cantidad retornada de mezcla fango-arena es del orden del 6%.



*Figura 2. Esquema del proceso Actiflo® Turbo*

La microarena empleada presenta un micraje de 100 a 150  $\mu\text{m}$ . El uso de microarena no es un concepto nuevo, habiendo sido empleado en Europa durante muchos años atrás, consiguiendo manejar los caudales punta durante periodos de lluvia.

Es importante destacar la alta eficiencia del proceso produciendo un efluente clarificado de alta calidad en términos de turbidez y sólidos en suspensión. Existen múltiples plantas que han demostrado conseguir rendimientos del 80 al 98% de eliminación de sólidos en suspensión y eliminaciones de materia orgánica (DQO) del 65 al 90% (eliminación de  $\text{DBO}_5 > 60\%$ ), siendo también efectivo para eliminación de metales pesados si los hubiere. Estudios publicados han mostrado eliminaciones también del 80 al 90% de fósforo y 15 a 25% de nitrógeno total.

El [proceso Actiflo®](#) como alternativa eficaz al tratamiento de agua de tormentas ofrece además algunas ventajas adicionales:

- El [proceso Actiflo®](#) es muy compacto y emplea menos del 10% del volumen requerido por tanques de tormenta convencionales.
- El proceso por su compacidad es en general más económico de instalar.
- Se evita una sobrecarga de la planta de agua residual durante los eventos de lluvia.
- Se consigue incrementar el caudal de agua influente al tanque de tormentas si lo hubiere.

En cualquier caso es obvio que el proceso [Actiflo®](#) requiere más atención de supervisión, operación y mantenimiento que un tanque de tormentas convencional, especialmente si el fango no pudiera ser conducido a cabecera de planta (o entrada a decantación primaria), al alcantarillado o bien a la línea de fangos de la correspondiente EDAR.

Sin embargo su compacidad así como las enormes ventajas operativas del mismo (rapidez de respuesta) y su capacidad de hacer frente a fuertes variaciones de caudal y carga manteniendo la calidad del efluente, lo hacen sin lugar a dudas una alternativa muy atractiva para la aplicación de la que se está comentando.

Una de las posibilidades de implementación habituales del [proceso Actiflo®](#) es ser capaz de tratar el agua de tormentas (*CSOs, Combined Sewer Overflows*) durante el tiempo húmedo y eliminar por ejemplo algas y fósforo en tiempo seco. Este uso dual dota a la instalación de tal flexibilidad que permite cumplir dos funciones dentro de una EDAR al mismo tiempo.

### **3.1 Descripción general de control**

Se registran como mínimo los siguientes parámetros: Caudal por unidad, presión en entrada a hidrociclones, turbidez de entrada y salida.

Respecto a la dosificación química, la dosis de polímero se fija en *ppm* mientras que la dosis de coagulante se determina de dos modos distintos, bien usando instrumentación (ej: turbidímetro) para establecimiento del lazo de control, o bien fijando una dosis, ej: 20 mg/l como hierro o 10 mg/l como aluminio.

Por último la dosificación de microarena consiste de un big-bag situado encima del sistema Actiflo® desde donde se dosifica bien de forma temporizada o bien en base a *ppm* (previa calibración).

A su vez la planta Actiflo® se diseña con nivel de automatización suficiente para permitir una operación continua en caso de eventos de tormenta, con mínima intervención del operador.

## **4. Referencias a estudio**

### **4.1 EDAR de Crispijana (Vitoria-Gasteiz)**

A continuación se presenta a modo de ejemplo los datos de diseño así como algunos resultados obtenidos en el [sistema Actiflo®](#) instalado en la EDAR de Crispijana para tratamiento de agua de tormentas (véase el escaso área ocupacional del sistema en la figura 3).

En la tabla 1 se recogen los datos de partida y resultados mínimos a obtener en la EDAR de Crispijana, así como los datos analíticos obtenidos durante la puesta en marcha y durante episodios de tormentas acontecidos con posterioridad observándose una mejora sustancial respecto a los resultados garantizados.



**Figura 3.** Fotografía aérea del sistema Actiflo® Turbo para tormentas en la EDAR de Crispijana

Cliente final	AMVISA					
Q tratamiento	100.000 m <sup>3</sup> /d					
Parámetro	Valores de proyecto		Agua Bruta (valores máximos)		Agua Tratada (reducción)	
	Agua bruta	Rdto.	Puesta en marcha	Episodios húmedos 2013	Puesta en marcha	Episodios húmedos 2013
	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	% <sup>1</sup>
SS	< 450	> 80	115-214	12-194	93-96	6-98
DBO <sub>5</sub>	< 420	> 60	133-370		60-75	
DQO	< 645	> 60	57-146	26-428	50-80	4-86
Fósforo	< 5,8	> 60	2,3-4,3	0,4-2,6	65-90	19-92

**Tabla 1.** Datos de diseño y reales de operación obtenidos

<sup>1</sup> Valores bajos motivados por un influente sin carga contaminante (muestras analizadas: 57 días de tiempo húmedo hasta Junio). Valores medios de SS = 81 ppm, DQO = 119 ppm, PT = 1,4 ppm. Valor medio de eliminación: 69% SS, 46% DQO, 67% PT.

## 4.2 Otras experiencias

Adicionalmente a los resultados de esta planta, Veolia tiene referencias a escala real que merecen reseñarse también en este artículo. Así por ejemplo en la tabla 2 aparecen los rendimientos habituales encontrados en diferentes instalaciones.

Actiflo® para tormentas		Parámetro	Valor
Parámetro	Rendimientos medios	Velocidad ascensional	Hasta 135 m/h
SS	80 - 95 %	TRH en Coagulación, Inyección – Maduración	< 10 minutos
DBO <sub>5</sub>	55 - 75 %	Consumo coagulante en base a Fe	50 a 100 g FeCl <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> (habitual 60 g/m <sup>3</sup> )
DQO	55 - 80 %	Consumo de polímero	0,5 a 1 g/m <sup>3</sup> (habitual 0,8 g/m <sup>3</sup> )
NTK	15 - 20 %	Consumo de microarena	Aprox. 3 kg/m <sup>3</sup>
Fósforo	60 - 80 %	Consumo de energía	< 30 Wh/m <sup>3</sup>

**Tabla 2.** Rendimientos principales y condiciones de operación

Adicionalmente a los resultados generales mostrados, a modo de ejemplo en la tabla 3 aparecen referencias donde el proceso Actiflo ha sido instalado para tratamiento de agua de tormentas.

Nombre de planta	Duración horas	Velocidad m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	Dosis coagulante mg FeCl <sub>3</sub> /l	Rendimiento	
				% (NTU) o SS	% (DQO) o DBO
Lawrence, KS <sup>2</sup>	28	68	65	89	(74)
	30	66	75	88	(65)
	23	103	85	89	(73)
	44	64	100	91	(64)
Bremerton, WA <sup>2</sup>	13	122	50	90	74
	12	86	16	73	63
	5,5	73	20	92	71
Fort Smith, AR <sup>2</sup>	28,5	76	14	(95)	
	15,3	51	12	(91)	
	9	59	43	93	83

<sup>2</sup> Diseño a velocidad máxima de 150 m/h

	Duración	Velocidad	Dosis coagulante	Rendimiento	
Nombre de planta	horas	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	mg FeCl <sub>3</sub> /l	% (NTU) o SS	% (DQO) o DBO
	Media 4 eventos			97	89
Fort Smith, AR (BioActiflo)	Planta Piloto	75 a 120		82-93	70-75
Knoxville, TN (BioActiflo)	Planta piloto	75 a 100	80	88-98	84-90

**Tabla 3.** Rendimientos particulares

## 5. Conclusiones

A la vista de lo mostrado el [sistema Actiflo®](#) es una de las mejores opciones de implementación para tratamiento de agua de tormentas no sólo por su gran compacidad sino por sus buenos resultados y fiabilidad frente a los picos de caudal y carga existentes a los que se ve sometido, típico de aguas de tormenta.

El uso de microarena modifica las constantes cinéticas permitiendo tiempos de retención hidráulicos (TRH) inferiores a los habituales tratamientos físico-químicos, así como elevadas velocidades de decantación (~ 120 m/h). Todo ello con rendimientos en experiencias propias en tiempos húmedos de hasta el 98% en SS (valor medio del 69%) y 86% en DQO (valor medio del 46%), y eliminación de PT de hasta el 92% (valor medio del 67%).

Como opción interesante existe la posibilidad del proceso BioActiflo®, combinación de tanque de contacto y [Actiflo®](#), capaz de conseguir eliminaciones finales del 70 al 85% en DBO<sub>5</sub> TOTAL y del 60-70% de DBO<sub>5</sub> SOLUBLE con un efluente de gran calidad en cuanto a SS (< 10 ppm).

## Referencias

Guibelin E., Delsalle F., y Binot P. (1994). "The Actiflo process: A highly compact and efficient process to prevent water pollution by stormwater flows" Water Sci. Tech. Vol. 30. Nº 1, pp 87-96.

Argaman Y.A., Kaufman W.J. (1970). "Turbulennce and flocculation" J. Div. Sanit. Eng., Proc. Am. Soc. Civil Eng., 96 (SA2) pp 223-241.

Bourdon F., Jarosz J., Ottavioli J., Mallen A. (1990). "Optimizing operation and control of physico-chemical lamella settling" IAWPRC – IWSA Specialised Conference – Coagulation, Flocculation, Filtration, Sedimentation and Flotation in Water and Wastewater Treatment – Jönköping, Sweden, April 24-26.