

El tratamiento físico-químico en la depuración de aguas residuales urbanas^(*)

Por JUAN DE DIOS TRILLO MONTSORIU

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Se presenta una breve descripción de las características más relevantes de los tratamientos físico-químicos del agua residual, comentándose las ventajas de su utilización en lugar de los tratamientos biológicos convencionales, especialmente en aquellos casos en que por razón de la estacionalidad y consiguiente variabilidad de los caudales a tratar, los segundos carecen de capacidad para cumplir con los objetivos de calidad para los que han sido proyectados. Se incluye un estudio comparativo de costes que demuestra que los costes de implantación de las plantas físico-químicas son notablemente inferiores que los de las plantas convencionales, mientras que los de explotación y mantenimiento son del mismo orden.

1. INTRODUCCION

Tradicionalmente, las soluciones aplicadas para la depuración de las aguas residuales de origen urbano, han sido a base de tratamientos biológicos, precedidos o no de decantación primaria, según el tamaño de la instalación, o bien, simplemente tratamientos primarios cuando la necesidad de obtener un efluente de calidad no es evidente y puede demorarse su ampliación a un tratamiento completo (construcción por etapas).

Las características y capacidad de tratamiento de estos sistemas son bien conocidas y no van a ser repetidas aquí. Sin embargo, conviene destacar algunos aspectos de los mismos, que tienen relación con el tema que nos ocupa.

En efecto, los tratamientos biológicos, en cualquiera de sus variedades, han demostrado ampliamente su capacidad y fiabilidad para producir en continuo efluentes de calidad. Sin embargo, tienen algunos puntos débiles, entre los que enumeramos:

1. Posibilidad de afección e incluso de paro total por la acción inhibidora producida por vertidos de origen industrial.
2. Baja flexibilidad para adaptación a condiciones de sobrecargas bruscas o tran-

sitorias, reflejándose en disminuciones más o menos importantes de la calidad del efluente tratado.

3. Aún en el caso de que por razón de su diseño exista la posibilidad de adaptación, poseen una velocidad de respuesta muy baja, la cual debe expresarse en días o incluso en semanas, condición ésta que las puede hacer totalmente inadecuadas para cumplir con su objetivo.

En definitiva, no se puede olvidar que un tratamiento biológico se basa en la actividad de cultivos bacterianos, los cuales tienen unas pautas de comportamiento influenciadas por las condiciones de contorno, de manera que la capacidad de modificar su funcionamiento es relativamente limitada, y ello, con una velocidad de respuesta bastante pequeña.

El objeto de este trabajo es comentar las características y el potencial de utilización de una solución alternativa a los sistemas biológicos convencionales, basada en el empleo exclusivo de procesos físico-químicos, solución que ya está empezando a aplicarse en algunos casos, pero cuyo ámbito de utilización podría ampliarse considerablemente a la vista de las características ventajosas de la misma.

En lo que sigue, los análisis y comentarios se centran, exclusivamente, en tratamientos físico-químicos a base de procesos de coagulación, floculación y clarificación posterior del agua residual.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1985.

2. GENERALIDADES SOBRE EL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

La finalidad del tratamiento es la eliminación de las materias finas en suspensión no decantables, y de las materias coloidales.

Básicamente, el tratamiento físico-químico consta de dos etapas (precedidas de una tercera, de pretratamiento, que es imprescindible en cualquier tipo de tratamiento):

2.1. Coagulación-Floculación

Consiste en la adición de reactivos para promover la formación de aglomerados de partículas (flocs), a partir de la fracción coloidal de la contaminación. En realidad, esta etapa se compone, a su vez, de dos, la de coagulación, en la que se persigue romper la estabilidad de los coloides, y la de floculación, en la que se trata de favorecer la formación de los agregados de partículas.

Los reactivos más comúnmente utilizados son sales metálicas (generalmente de hierro o aluminio), cal y polielectrolitos (aniónicos o catiónicos), solos o en combinaciones binarias o ternarias, según los rendimientos que se persigan y las características del agua a tratar.

La configuración física de esta etapa consiste, generalmente, en una cuba de mezcla rápida (tiempos de retención de 1 a 2 minutos), seguida de una o varias cubas de mezcla lenta, que precisan tiempos de retención del orden de 15 minutos. La adición de los reactivos en ambas cubas se realiza de forma escalonada, generalmente el coagulante en la cámara de mezcla rápida y del otro u otros reactivos en la de floculación.

2.2. Clarificación

Es el proceso de separación de la fase sólida preformada de la fase líquida.

Los sistemas utilizados para efectuar la clarificación suelen ser de los tres tipos siguientes, para los cuales se indican los órdenes de magnitud de las cargas de trabajo normalmente utilizadas.

- Decantación simple: 1 a 2 m³/h/m².
- Decantación lamelar: 1 a 12 m³/h/m².
- Flotación: 6 a 12 m³/h/m².

3. DISTRIBUCIÓN DE LAS DIVERSAS FRACCIONES CONSTITUYENTES DE LA CONTAMINACIÓN

A partir de la clasificación de las materias contaminantes normalmente utilizada, es decir, en materias en suspensión decantables y no decantables, coloidales y solubles, es posible llegar a una estimación bastante aproximada de los rendimientos de eliminación de aquéllas mediante utilización de tratamientos físico-químicos del tipo aquí considerado.

En el cuadro adjunto se señala la distribución porcentual de las fracciones contaminantes según datos obtenidos de las fuentes indicadas.

Las discrepancias que se observan entre las tres primeras columnas y las siguientes, se deben a las siguientes causas:

Los datos de Imhoff se basan en una división de las materias en solubles o en suspensión, según el criterio de filtrabilidad en un filtro de porcelana, perforado, recubierto con amianto, con lo que la fracción coloidal, según se entiende hoy en día, queda incluida junto con la soluble propiamente dicha. La utilización de un filtro de

	Distribución en %					
Fracción contaminante	Imhoff	Hunter and Heukelelian	Metcalf and Eddy	Acheres	Poissy	Camping
	1	2	3	4	5	6
En suspensión decantable	36	30	33	40	30	72
En suspensión no decantable	22	} 32	12	39	} 44	
Coloidal	} 58		11			
Soluble		38	44	21	26	28

NOTA: Todos los valores están referidos a DBO₅ excepto 2 y 3, que se refieren a materia orgánica.

membrana de $0,45 \mu$ reduciría notablemente la última cifra.

Los datos de Hunter y Heukelelian se refieren a la distribución por contenido en materia orgánica y no en DBO_5 .

Los datos de Metcalf y Eddy, se refieren, asimismo, a materia orgánica y no a DBO_5 . Por otra parte, la diferenciación de las materias solubles la hace a partir de la utilización de un filtro de 1μ .

4. EFICACIA POTENCIAL DEL TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO

La homogeneización de los sistemas físicos de diferenciación del tamaño de los componentes conduce a una correspondiente homogeneización de los resultados, pudiéndose aceptar la conclusión de que mediante la utilización de procesos de tratamientos a base de coagulación, floculación, clarificación es posible conseguir la eliminación de la contaminación orgánica presente en el agua residual hasta un límite superior que puede cifrarse en el 75 por 100.

Esta cifra se aproxima bastante a la apreciación de Eckenfelder de que es posible eliminar hasta un 85 por 100 de las materias en suspensión y coloidales por acción puramente física sobre un floc biológico o un floc artificial de origen químico.

Hasta aquí se ha hablado exclusivamente de

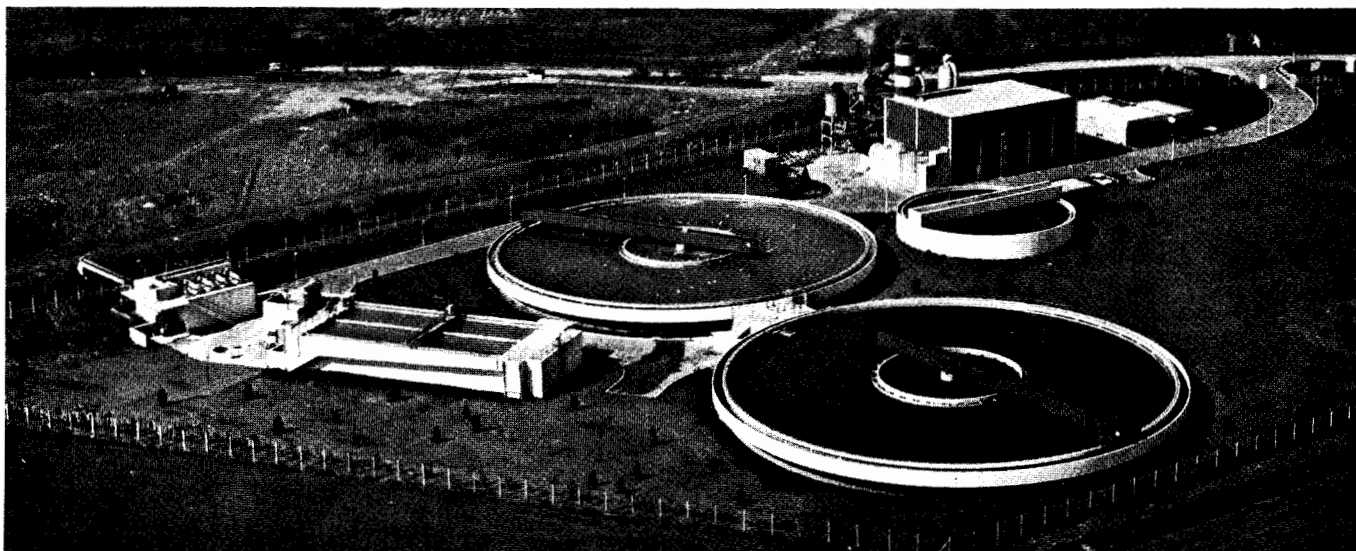
la eliminación de la fracción orgánica de la contaminación. Centrándose en el otro parámetro típico del agua residual, la materia en suspensión (orgánica + mineral), la posibilidad real de eliminación de la misma es, consecuentemente, mucho más elevada, pudiéndose alcanzar fácilmente valores superiores al 90 por 100.

La reducción de gérmenes patógenos va íntimamente ligada al tipo de reactivo empleado. El empleo de sales de hierro o aluminio conduce a eliminaciones de 10^2 a 10^3 unidades por 100 ml., es decir, del mismo orden que en un tratamiento biológico. Por contra, el empleo de cal a pH superior a 10,5 asegura una reducción de 10^5 unidades por 100 ml.

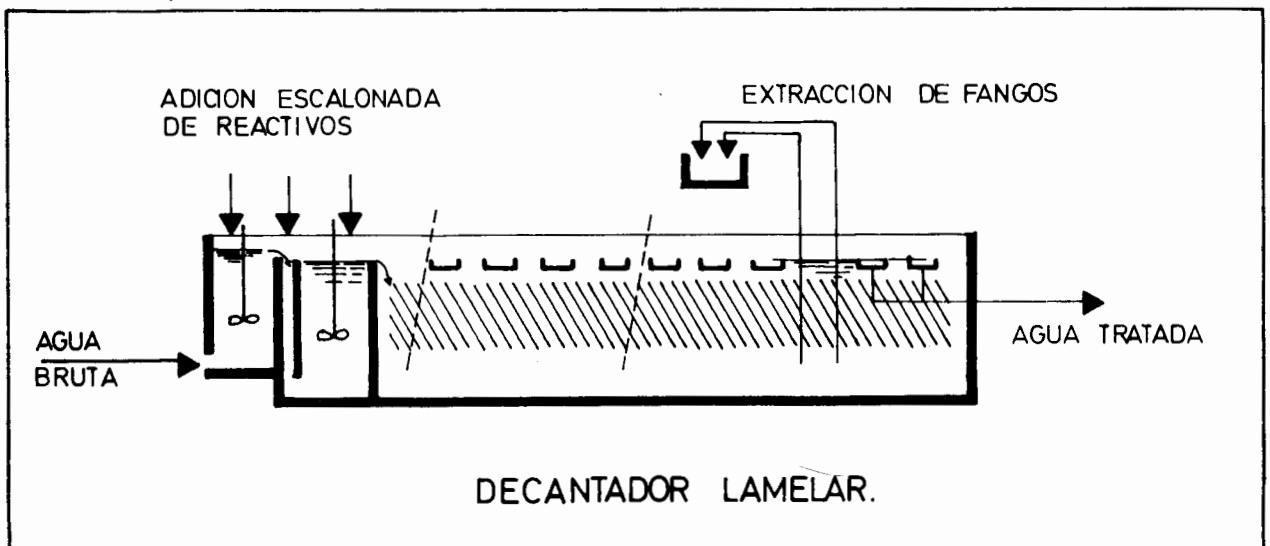
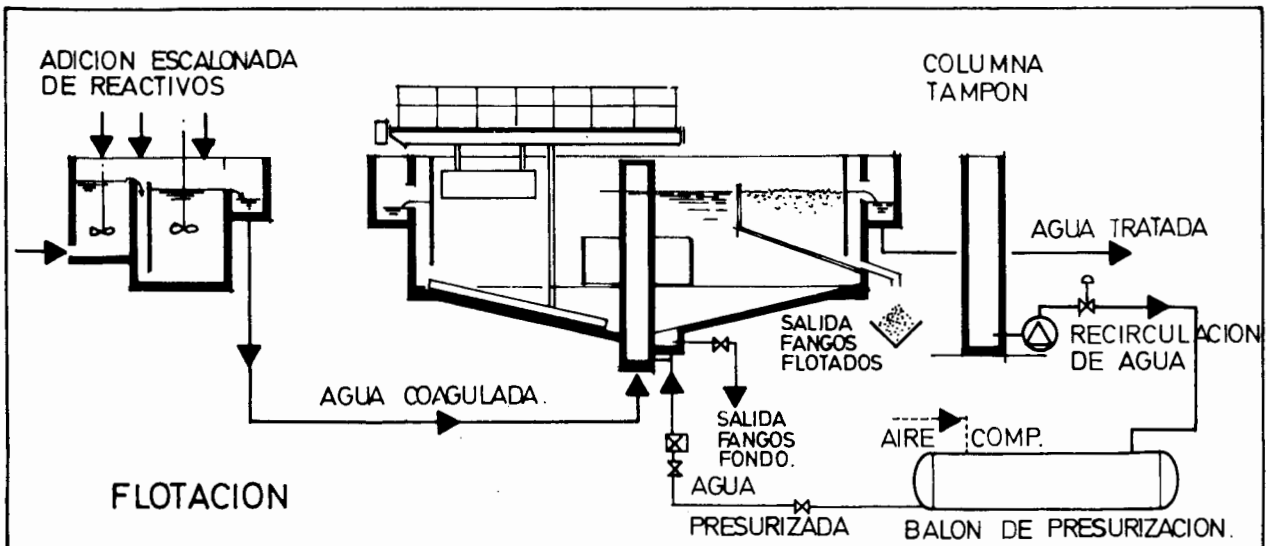
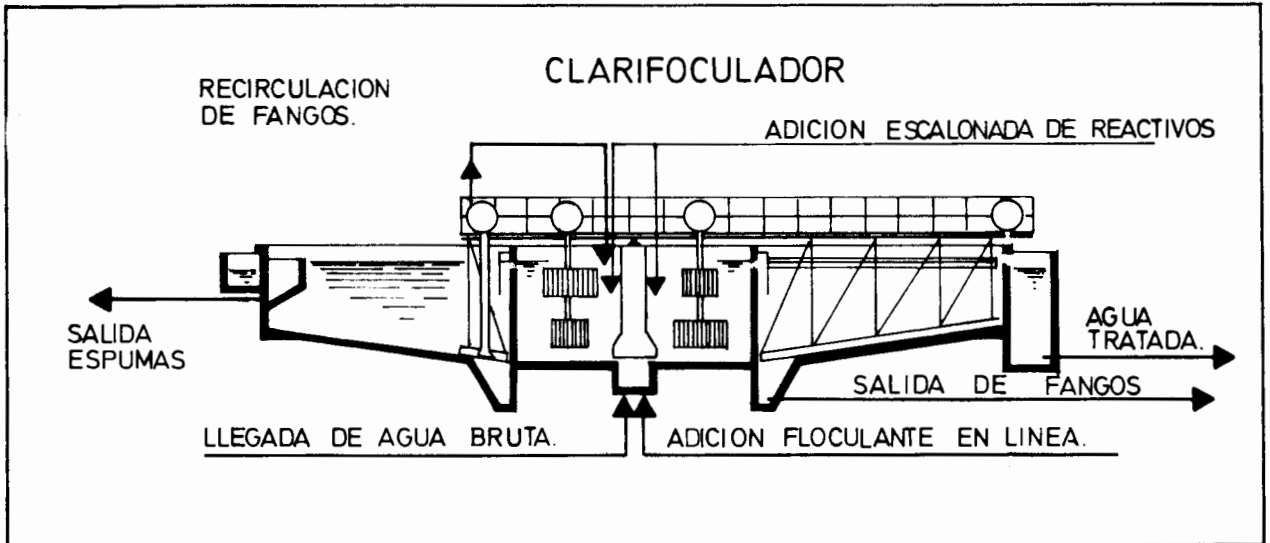
5. CARACTERISTICAS MAS RELEVANTES DEL TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO

Las características más relevantes de los tratamientos físico-químicos que hacen que los mismos constituyan soluciones muy interesantes en muchas circunstancias son las siguientes:

1. Obtención de un buen grado de eliminación de contaminantes que, en lo que hace a las MES, es similar al de un biológico y que para la DBO_5 puede llegar al doble de un tratamiento primario, con lo que el efluente puede calificarse de parcialmente tratado, aunque próximo al de un tratamiento completo.



Estación depuradora de Cannes. Clarifloculadores de 43,0 m. de diámetro.



2. Ausencia de problemas de afección por razón de la presencia de vertidos industriales incontrolados, lo cual, en definitiva, se traduce en una fiabilidad total, no sujeta a discontinuidades de funcionamiento.
3. Velocidad de respuesta inmediata a los cambios del agua a tratar, tanto en lo que se refiere a caudales, como al grado de contaminación.

Según el sistema de clarificación que se adopte, la velocidad de respuesta puede llegar a ser de tan solamente una hora, y en cualquier caso, inferior a las tres horas. Por la misma razón, la puesta en marcha de la instalación o la entrada en servicio escalonada de módulos de tratamiento, requiere únicamente unas horas.

4. Gran facilidad de control de explotación, permitiendo la automatización total de la instalación, con el consiguiente ahorro de personal.
5. Consumo eléctrico reducido. No obstante, la utilización de clarificación por flotación conduce a consumos superiores que la decantación simple o lamelar.
6. Posibilidad de conseguir precios ajustados de los reactivos utilizados, buscando un compromiso entre adquisición de los mismos y sus resultados. La no dependencia de un único suministrador (caso de la energía eléctrica), permite el afino de los costes de los reactivos.
7. Menor utilización de superficie, lo cual, en el caso de poblaciones turísticas, es de gran importancia.
8. El aspecto anterior permite la construcción económica de instalaciones totalmente cubiertas, adaptadas al contorno, al tiempo que se posibilita el control total de olores.
9. Menor coste de primera implantación que las soluciones convencionales.

Evidentemente, tales características hacen del tratamiento físico-químico una opción altamente ventajosa en los siguientes casos:

A) Tratamiento de aguas residuales de poblaciones sujetas a cambios estacionales bruscos importantes

Efectivamente, en aquellos casos sujetos a esta circunstancia, como son las poblaciones costeras o de montaña, de marcada actividad turística, la utilización de sistemas de tratamiento biológico no es satisfactoria debido a la ya comentada inercia de los mismos, lo que se traduce en la producción de efluentes de baja calidad durante buena parte del comienzo de la temporada. La circunstancia viene agravada por el hecho de que el aumento de población no suele seguir una evolución gradual, sino que, debido a los hábitos vacacionales de la gente, se producen incrementos súbitos en fechas determinadas.

El problema es aún mucho mayor cuando consideramos el caso de urbanizaciones de fin de semana o de las propias poblaciones turísticas en fines de semana, puentes largos, o períodos de vacaciones cortas (Navidad o Semana Santa) en las que no hay oportunidad real de que el sistema biológico llegue a establecerse, ya que la alimentación al mismo se detiene cuando el sistema está en período de adaptación.

En todos estos casos, un tratamiento físico-químico constituye una solución que, a pesar de su carácter parcial, conduce a resultados reales muy superiores a los conseguidos con tratamientos completos.

En particular, la solución a base de un tratamiento convencional para la población permanente y uno físico-químico complementario para las puntas estacionales, constituye una respuesta muy atractiva, eficaz y de coste de implantación netamente inferior a un tratamiento biológico para la totalidad de los vertidos.

B) Tratamiento permanente de aguas residuales de zonas costeras

Aunque la opinión del autor es que el vertido al mar en el litoral mediterráneo, en cualquiera de las condiciones en que se realice, es un dispendio de un recurso del que desgraciadamente no se dispone, si la solución eventualmente escogida implica el vertido al mar, el



Estación depuradora de Agde. Decantador lamelar RPS.

efluente de un tratamiento físico-químico tiene características de calidad y de fiabilidad más que suficientes para que tal vertido se realice en condiciones idóneas.

C) Primera fase de tratamiento de aguas residuales de poblaciones con fuerte incidencia de vertidos industriales incontrolados

En aquellos casos en que la proporción de vertidos industriales es importante y no se cuenta con un control adecuado de los mismos — caso desgraciadamente aplicable a la mayoría de poblaciones con implantación industrial —, la construcción directa de un tratamiento biológico puede conducir a la imposibilidad de mantener un funcionamiento satisfactorio de la instalación.

Por contra, un tratamiento físico-químico puede producir resultados mucho mejores mientras se ponga en marcha una política de control de vertidos que permita acometer en una segunda fase la ampliación de la instalación con un tratamiento biológico.

D) Mejora o ampliación de capacidad de una planta existente

La utilización de un tratamiento físico-químico previo a un sistema biológico sobrecargado, puede permitir reducir, de forma económica, la carga contaminante afluente a la planta, de manera que el sistema biológico existente pueda trabajar sin sobrecarga.

Sin embargo, es importante señalar que esta solución que, en principio, puede parecer como muy sugestiva, debe ser contemplada con mucho cuidado, ya que si se utiliza un tratamiento físico-químico hasta el límite de sus posibilidades, el efluente del mismo contiene, casi exclusivamente, contaminación en estado disuelto, dando lugar a la formación de un fango biológico de muy alto contenido orgánico, muy ligero y difícil de sedimentar, entrando en una situación similar a la del tratamiento de algunas aguas industriales en que la carga orgánica es prácticamente soluble en su totalidad (lecherías, industrias cerveceras, etc.), y en las que hay que tomar precauciones especiales, a nivel de la clarificación final, a fin de conseguir rendimientos de depuración satisfactorios.

6. PRODUCCION Y CARACTERISTICAS DE LOS FANGOS

6.1. Producción neta de fango

La utilización de reactivos minerales se traduce en un aumento de las materias separadas en la clarificación.

En efecto, los fangos producidos en el curso de un tratamiento físico-químico están constituidos, no sólo por las materias decantables, no decantables y coloides eliminadas del agua residual, sino que contienen, adicionalmente, una serie de compuestos formados por combinación del catión de la sal mineral, productos de hidrólisis debidas a la floculación y otros compuestos variables, según el contenido de aniones del agua, principalmente fosfatos y sulfuros.

La producción de fangos es función de la calidad del agua a tratar, del tipo de reactivos y dosis utilizados y del rendimiento de la clarificación.

La relación entre producción neta de fangos y materias en suspensión eliminadas (normalmente 80-95 por 100 de las MES presentes en el agua residual), puede variar entre 1,3 para los acondicionamientos binarios y 3,5 para el caso de acondicionamientos ternarios de gran eficacia de eliminación y desfosfatación elevada.

Como ejemplo ilustrativo, un tratamiento convencional de fangos activados suele producir

entre 80 y 90 gramos de sólidos por habitante y día, lo cual para una dotación de 250 l/hab., supone una producción neta de fangos del orden de 320 a 360 mg/l. de agua tratada.

En un tratamiento físico-químico la producción de fangos suele situarse normalmente entre 400 y 600 mg/l.

El contenido en materias volátiles de los fangos físico-químico es netamente inferior al de los fangos convencionales, como consecuencia de la adición de reactivos minerales.

6.2. Concentración

La concentración de extracción de los fangos es función del tipo de reactivo y dosis utilizados, y del sistema de clarificación y su forma de explotación.

El empleo de cal conduce a la formación de flocs más densos y fangos concentrados, mientras que los hidróxidos de hierro y aluminio constituyen flocs poco compactos, que contienen mucha agua, decantan mal y se concentran muy poco.

Las concentraciones promedio típicas esperables en los fangos, según el tipo de clarificador, son las siguientes:

- Decantador clásico: 15 a 25 g/l.
- Decantador lamelar: 10 a 20 g/l.
- Flotación: 30 a 60 g/l.

6.3. Espesado

El espesado de los fangos físico-químicos no presenta problemas especiales, siempre que se utilicen cargas de trabajo adecuadas al tipo de fango a manejar.

Sin embargo, conviene destacar que, así como la utilización de decantadores simples o lamelares necesita de un espesado posterior del fango, el producido en instalaciones de flotación no lo precisa, por extraerse directamente a concentración elevada, lo cual constituye un elemento a favor de este tipo de solución.

6.4. Estabilización

El sistema de estabilización más adecuado es por vía química, principalmente por adición de



Estación depuradora de Briancos, tanque de flotación de 12,0 m. de diámetro.

cal. La estabilización puede conseguirse manteniendo el fango a un pH por encima de 12,5 durante un tiempo superior a 30 minutos.

En cualquier caso, la utilización de cal como reactivo en la línea de agua conduce a menor demanda para la estabilización del fango, lo cual se traduce en abaratamiento del coste de la operación.

6.5. Deshidratación

En general, las características de deshidratación de los fangos físico-químicos son buenas, ya que se ven favorecidas por el aporte previo de reactivos (una fracción de los mismos incorporándose a los fangos), jugando un papel importante el tipo de reactivo utilizado.

Las concentraciones de materia seca que pueden conseguirse según el tipo de sistema de deshidratación empleado, son del orden siguiente:

- Centrífugas: 20 a 25 por 100
- Filtros banda: 20 a 25 por 100
- Filtros prensa: 35 a 45 por 100

7. ELECCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Lógicamente, la elección del sistema de tratamiento viene condicionada por un conjunto de variables, tales como: 1) Características del agua a tratar; 2) Condiciones exigidas al efluente; 3) Disponibilidad de reactivos; 4) Disponibilidad de superficie; 5) Situación de la zona de

ubicación de la depuradora; 6) Coste de implantación; 7) Costes de explotación y mantenimiento; 8) Destino final de los fangos.

Sin embargo, es importante resaltar que la elección del sistema no debe basarse exclusivamente en la línea de agua, sino que es preciso buscar un compromiso entre ésta y la de fangos, de manera que el conjunto dé lugar a la solución más idónea, tanto técnica como económica.

En efecto, la elección de los reactivos y del clarificador influyen, no sólo en la calidad del efluente, sino también en la facilidad y economía del manejo de los fangos, por las siguientes razones, que ya se han apuntado en los apartados precedentes:

- En la elección de los reactivos, deben de tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

CONTRIBUCION A LA PRODUCCION DE FANGOS.

Ya se ha indicado que una fracción elevada de las materias añadidas en forma de sales minerales, van a formar parte del fango, complicando y encareciendo el manejo de los mismos.

CARACTERISTICAS DE ESPESADO.

La mayor o menor facilidad de espesado es función del tipo de reactivos (las sales metálicas dan lugar a fangos más voluminosos que la cal, o cal y sal metálica).

ESTABILIDAD DE LOS FANGOS.

La utilización de la cal como reactivo contribuye a disminuir las necesidades posteriores para la estabilización de los fangos.

APTITUD PARA LA DESHIDRATACION.

Según sea el tipo de reactivos, se obtendrán fangos con mayor o menor aptitud para la deshidratación de los mismos, pudiéndose obtener economías importantes en el consumo de agentes acondicionantes para la deshidratación.

- La elección del tipo de clarificador juega un papel importante en el espesado del fango. Como se ha señalado previamente, la flotación exime del espesado posterior.

- Las soluciones con flotación son mucho más compactas que las que emplean decantación, tanto por lo que hace a la menor superficie ocupada por el propio clarificador, como por la circunstancia de no precisar espesado de los fangos.

8. COSTES

Evidentemente, no parece lógico concluir la exposición sin hacer un comentario sobre el capítulo de los costes de estos tipos de tratamiento, y su comparación con los convencionales.

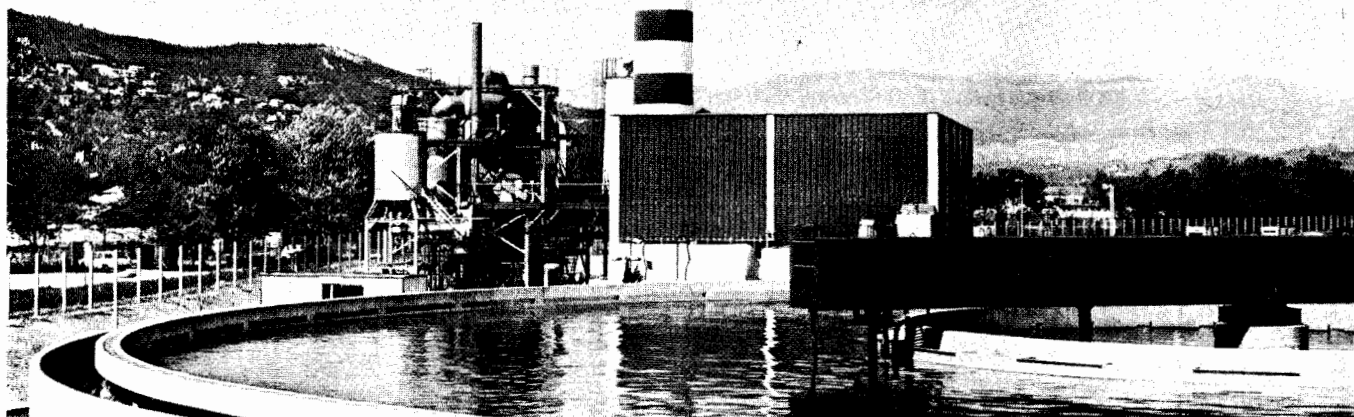
Sin embargo, nos encontramos con el problema de que las plantas de tratamiento físico-químico son prácticamente inexistentes en España, ya que, fuera de la Planta Besós de Barcelona, en funcionamiento desde 1979, pero cuyo tamaño singular (460.000 m³/día) no sirve como ejemplo comparativo, y de la Planta de Las Llamas (Santander) (50.000 habitantes equivalentes), que todavía se halla en construcción, no tenemos noticia de otras instalaciones de este tipo.

No obstante, en lo que sigue se presenta un ejercicio comparativo sobre los costes de implantación, explotación y mantenimiento de una planta recientemente concursada por la Administración, y que puede arrojar suficiente luz sobre el tema. El estudio de costes se realiza para un período de funcionamiento anual de únicamente tres meses.

Los datos básicos de diseño son los siguientes:

Población	75.000
Carácter de estacionalidad	Muy acusado (2-3 meses)
Dotación de cálculo	175 l/hab./día
Caudal diario	13.125 m ³ /d
Caudal medio	547 m ³ /h
Caudal punta	920 m ³ /h
Concentración media DBO ₅	300 mg/l
Carga diaria de DBO ₅	3.937 kg/d
Concentración media de MES	350 mg/l
Carga diaria MES	4.594 kg/d
Características requeridas al efluente:	
DBO ₅	≤81 mg/l
MES	≤27 mg/l
Sequedad del fango	≥20 %

Estación depuradora de Cannes.



SOLUCIONES CONTEMPLADAS

1. Tratamiento físico-químico con los siguientes elementos:

Línea de agua (2 líneas independientes):

- Pretratamiento
- Coagulación - Floculación (acondicionamiento ternario).
- Clarificación con decantador simple en aparato combinado (Clarifloculador).
- Cloración.

Línea de fangos (2 líneas independientes)

- Espesado.
- Estabilización por vía química.
- Acondicionamiento con polielectrolito.
- Secado mecánico con filtros banda.

2. Tratamiento físico-químico con idénticos elementos que la solución 1, excepto el empleo de flotación en lugar de clarifloculadores.

3. Tratamientos biológico convencional con los siguientes elementos:

Línea de agua (2 líneas independientes).

- Pretratamiento.
- Decantación primaria.
- Fangos activados a media carga.
- Clarificación secundaria.
- Cloración.

Línea de fangos (2 líneas independientes).

- Digestión aerobia.
- Espesado.
- Acondicionamiento con polielectrolito.
- Secado mecánico con filtro banda.

8.1. Costes de implantación

Se resumen en el cuadro adjunto, expresados en millones de pesetas:

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3
Obra civil	52.000.000	45.000.000	140.000.000
Equipos	107.000.000	110.000.000	120.000.000
Total	159.000.000	155.000.000	260.000.000

8.2. Costes de operación y mantenimiento

El cálculo de estos costes se hace en base a las siguientes premisas:

A) Reactivos de acondicionamiento.

- Dosis promedio del acondicionamiento ternario:
 - Cloruro férrico 75 mg/l.
 - Cal (hidróxido) 100 mg/l.
 - Polielectrolito 0,5 mg/l.

- Dosis de cloro para desinfección 6 mg/l.
- Dosis de cal para estabilización de fangos químicos 10 % de MS en los fangos
- Dosis de polielectrolito para secado de fangos químicos 3 Kg/Tm de MS
- Dosis de polielectrolito para secado de fangos biológicos 5 Kg/Tm de MS

B) Costes de reactivos y energía eléctrica.

- Cloruro Férrico 13,0 ptas./Kg.
- Cal 8,5 ptas./Kg.
- Polielectrolito (línea agua) 575,0 ptas./Kg.
- Polielectrolito (línea fangos) 675,0 ptas./Kg.
- Energía eléctrica:
 - Fuerza 7,5 ptas./Kg.
 - Alumbrado 15,5 ptas./Kg.
- Cloro 35,0 ptas./Kg.

C) Coste de mantenimiento de obra civil y equipos.

Se suponen los siguientes conceptos:

- Obra civil: 0,125 por 100 anual del coste de la obra civil.
- Equipos: 0,625 por 100 anual del coste de los equipos.

D) Otros costes.

A efectos de simplificación del ejercicio, se suponen idénticos costes para todas las soluciones en los capítulos correspondientes a:

- Personal.
- Gastos de administración y otros varios (agua, material laboratorio, oficina, teléfono, artículos limpieza, vestuario, etcétera).

Para el transporte de fangos a vertedero, se adopta un coste de 360 ptas./Tm.

8.3. Desglose de costes

COSTES VARIABLES

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3
1. Energía eléctrica.			
1.1. Fuerza		195.000	
Potencia consumida (kwh/temporada)	112.500		500.000
Coste	843.750	1.462.500	3.750.000
1.2. Alumbrado.			
Potencia consumida (kwh/temporada)	5.250	5.250	5.250
Coste	81.375	81.375	81.375
Total energía eléctrica	925.125	1.543.875	3.831.375
2. Reactivos.			
2.1. Línea de agua.			
Cloruro férrico ..	1.167.715	1.167.715	—
Cal	1.018.007	1.018.007	—
Polielectrolito ...	344.326	344.326	—
Cloro	251.507	251.507	251.507
Total	2.781.555	2.781.555	251.507
2.2. Línea de fangos.			
Cal	204.365	204.365	—
Polielectrolito ...	1.467.278	1.467.278	1.616.625
Total	1.671.643	1.671.643	1.616.625
Total reactivos	4.453.198	4.453.198	1.868.132
3. Transporte de fangos a vertedero.			
Toneladas de MS producidas (Tm/temporada)	724	724	479
Toneladas a transportar (Tm/tonelada)	3.620	3.620	2.935
Coste transporte ...	1.303.200	1.303.200	862.200
Total costos variables	6.681.523	7.300.273	6.561.707

COSTES FIJOS

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3
1. Personal	3.750.000	3.750.000	3.750.000
2. Administración y varios	75.000	75.000	75.000
3. Mantenimiento y conservación.			
3.1. Obra civil ..	65.000	56.250	175.000
3.2. Equipos ...	668.750	687.500	750.000
Total	733.750	743.750	925.000
Total costes fijos ..	4.558.750	4.568.750	4.750.000

8.4. Resumen de costos

	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3
Costos fijos	4.558.750	4.568.750	4.750.000
Costos variables ...	6.681.523	7.300.273	6.561.707
Total	11.240.273	11.869.023	11.311.707
Coste del m ³ (ptas./m ³)	9,51	10.04	9,57

En definitiva, a la vista de estas cifras, puede concluirse con que los costes de explotación y mantenimiento son sensiblemente iguales en las tres soluciones estudiadas. Evidentemente, la razón de esta igualdad de costos por metro cúbico estriba en el gran consumo de energía que supone la digestión aerobia de los fangos, ya que si fuera posible una digestión anaerobia de los mismos, el coste correspondiente se situaría alrededor de 8,00 ptas/m³. Desgraciada-

mente, un funcionamiento estacional de la planta impide la utilización de la digestión anaerobia.

CONCLUSIONES

Las evidentes ventajas que, en muchas circunstancias, presentan los tratamientos físico-químicos frente a otros convencionales, hacen de estos procesos un instrumento de gran utilidad y fiabilidad en la búsqueda de soluciones a los problemas de contaminación de origen urbano.

La reciente adopción por parte de la Administración de una solución de este tipo, puede ser el inicio de una proliferación de estas instalaciones, especialmente en las zonas litorales del país.

Juan de Dios Trillo Montsoriu



Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, promoción 1968. Toda su trayectoria profesional se ha desarrollado en el campo de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, habiendo trabajado sucesivamente en la Subunidad de Saneamiento y Alcantarillado del Ayuntamiento de Barcelona (1966-1975), AQUA/PLAN, S. A. consulting especializado en la ingeniería del agua (1976-1982), S.A.E. Degremont (1983-1984), y en la actualidad en la Sociedad de Explotación de Aguas Residuales, S. A. (SEAR, S. A.). Ha publicado diversos artículos en dicho campo, presentando numerosas ponencias en congresos y coloquios. Es traductor al castellano de las publicaciones «Estanques de Estabilización» (OMS), «Abastecimiento de Aguas y Alcantarillado» (E. Steel) y «Tratamiento y depuración de aguas residuales» (Metcalf and Eddy).