

## **CAPÍTULO 3. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.**

Una vez estudiada la problemática de la depuración biológica de aguas residuales, los problemas asociados al crecimiento de los microorganismos filamentosos y las soluciones a dichos problemas, se está en condiciones de exponer el objeto y el alcance del proyecto.

En este capítulo se expondrán en primer lugar las razones por las que se diseñará la planta piloto, al mismo tiempo se justificará en líneas generales los distintos componentes de los que constará la misma.

Por otra parte, se definirá el alcance del proyecto, es decir, se definirán aquellos ensayos para los que la planta va a ser diseñada, así como las condiciones de operación y configuración del sistema que pueden ser estudiados en la planta piloto.

### **III.1. Objeto del proyecto.**

Como se ha expuesto en los capítulos anteriores, los problemas asociados al crecimiento de microorganismos filamentosos provocan un mal funcionamiento del tratamiento biológico.

Este mal funcionamiento es más crítico cuando se trata de un problema de esponjamiento, puesto que hasta la fecha, los problemas relacionados con las espumas se han conseguido solucionar mediante el empleo de métodos físicos de extracción y posteriores tratamientos de las espumas. Sin embargo, el problema del esponjamiento tiene como consecuencia una fuga de biomasa en el efluente depurado que en muchas ocasiones genera un contenido en materia orgánica inadmisibles desde el punto de vista legislativo.

Los problemas asociados al crecimiento de filamentosas se producen en un número importante de estaciones depuradoras, bien de una forma puntual o sistemática; cuando esto ocurre comienza un largo período de pruebas, cambios en las condiciones de operación o nuevas inversiones en la instalación que en muchas ocasiones no consiguen eliminar el problema.

Dentro de la variedad de soluciones al problema del crecimiento de dichos microorganismos, parece que el empleo de selectores y regeneradores de fango tienen una serie de ventajas respecto a las demás. Respecto a la adición de sustancias químicas, estas soluciones tienen la ventaja de un menor coste de tratamiento, aunque el empleo de hipoclorito sódico para erradicar crecimientos puntuales puede ser una solución complementaria a las anteriores. Respecto a los tratamientos mecánicos, los sistemas con selector o regenerador son más económicos, tanto en lo que a inversión inicial se refiere como al posterior coste de tratamiento. Por último, la ventaja que dichos sistemas tienen frente a la solución basada en la tipología del reactor, es su mayor facilidad de implantación cuando se trata de plantas ya construidas.

La principal dificultad del empleo de selectores para la eliminación de los problemas de esponjamiento y espumas es la falta de criterios generales de diseño. Sí existen criterios de carácter cualitativo en cuanto a qué tipo de bacterias filamentosas ven inhibido su crecimiento en determinados ambientes; sin embargo, son numerosos los parámetros que afectan al comportamiento de dichos microorganismos en los distintos ambientes, siendo el

tipo de materia orgánica, los contenidos en oxígeno disuelto y en nitratos o el tiempo de residencia los más importantes.

La enorme variedad de aguas residuales, en cuanto al tipo y clasificación de materia orgánica presente se refiere, indica que quizás sea preciso un estudio concreto de cada caso particular para establecer las condiciones de operación óptimas que impidan la aparición de los problemas asociados al crecimiento de filamentosas.

La necesidad de conseguir optimizar el empleo de sistemas selectores, así como la de conocer en mayor medida los procesos biológicos que se producen en dichos ambientes, son el punto de partida de la planta piloto que se diseña en este Proyecto.

Las aplicaciones que tendría una planta piloto como la que se diseña son múltiples. Por una parte, permite la experimentación bajo condiciones de operación similares a plantas reales concretas con el objetivo de establecer qué cambios deben realizarse en la planta para optimizar su tratamiento. Existen numerosas experiencias de implantación de zonas selectoras en plantas ya construidas que han tenido buenos resultados. La implantación de una zona selectora en un reactor biológico suele basarse en la construcción de una pantalla de hormigón que separa la zona inicial del resto del reactor. La experimentación previa en la planta piloto, permitiría establecer el ambiente óptimo para eliminar el problema concreto, así como otros parámetros como volumen de selector o contenido en oxígeno disuelto.

Por otra, pueden realizarse ensayos con un agua residual concreta para establecer los criterios de diseño de cara a construir plantas nuevas. Hasta la fecha, las plantas de tratamiento biológico suelen diseñarse bajo unos criterios muy generales. Estos criterios no contemplan parámetros importantes como el tipo de microorganismos que van a desarrollarse o el tipo de agua residual que se va a depurar. La experimentación en la planta piloto con el agua a depurar, permitiría optimizar algunos parámetros de diseño.

Finalmente, la planta piloto permite la realización de ensayos con aguas sintéticas, a través de los cuales pueden estudiarse parámetros como las tasas de eliminación de diversos sustratos en ambientes de competencia entre sustratos.

La experimentación continuada con plantas de este tipo, permite la recopilación de multitud de datos que podrían terminar en la determinación de criterios de diseño generales.

## **III.2. Alcance del proyecto.**

### **III.2.1. Procesos de estudio.**

En este apartado se establecerá el alcance del proyecto en cuanto a los distintos tipos de configuraciones que pueden adoptarse con la planta piloto. Al mismo tiempo, para cada configuración se determinará la instrumentación necesaria para realizar un estudio completo de la misma, no se incluirá en esta instrumentación los mecanismos de impulsión ni las válvulas para simplificar los esquemas.

### III.2.1.1. Reactores biológicos simples.

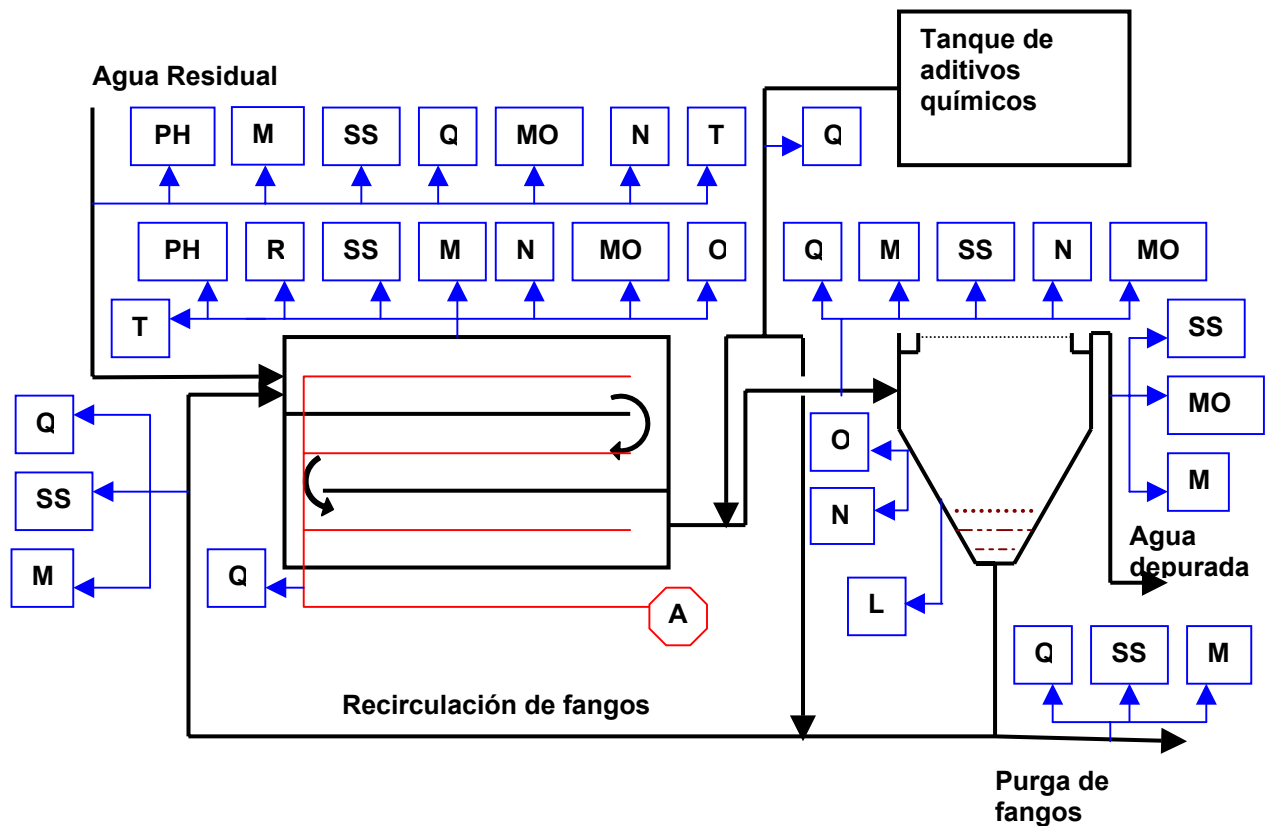
Como se ha visto anteriormente, uno de los objetivos de esta planta piloto es el estudio de procesos con una configuración simple Tanque de aireación-Decantador.

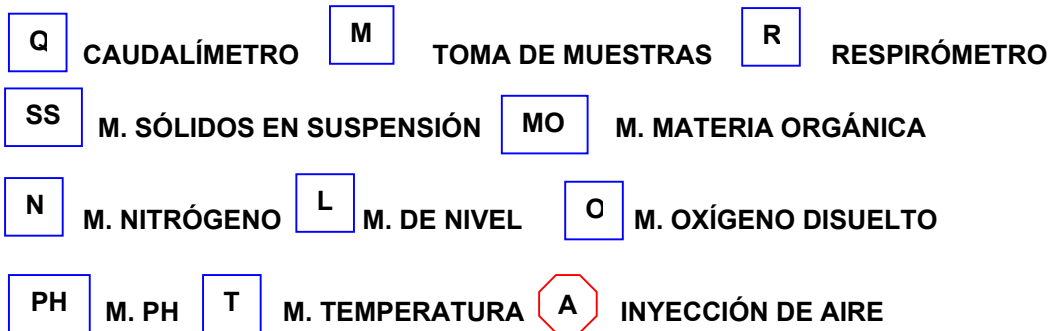
Un estudio de estos sistemas puede llegar a dar solución a los problemas de bulking y foaming mediante el cambio de algunos parámetros de operación como la cantidad de oxígeno aportada, la modificación de la recirculación, etc; o mediante la adición de determinados productos químicos.

#### A) Reactor biológico en flujo de pistón.

Este tipo de disposición es ampliamente utilizado en las plantas reales. Se caracteriza por la existencia de un gradiente de carga a lo largo del reactor biológico, que puede dotar a la planta de un efecto selector.

A la configuración típica de este tipo de reactor, se añadirá la posibilidad de utilizar aditivos químicos como agentes coagulantes, floculantes o bactericidas.



**LEYENDA:****Figura III.1. Reactor biológico en flujo de pistón.**

En la Figura III.1 se observa el esquema básico para el estudio del reactor de flujo de pistón, a continuación se justificará la adopción de los instrumentos de medida en cada una de las corrientes y elementos de la planta:

- **Agua residual.**

Para un estudio detallado, será fundamental caracterizar el agua en cuanto a su composición, para ello hay que dotar a la planta de una toma de muestras para la realización de los análisis necesarios. Los análisis detallados del agua serán necesarios, aunque los elementos del agua a los que se debe realizar un mayor seguimiento serán:

- La materia orgánica: como se sabe, la materia orgánica contenida en el agua residual es uno de los parámetros fundamentales del proceso de depuración con fangos activos, será necesario por lo tanto realizar medidas continuas (DQO, COT, DBO<sub>5</sub>) de este parámetro para determinar en cada momento la cantidad de materia orgánica que se está introduciendo en el sistema.

- El nitrógeno: otro de los parámetros fundamentales es el nitrógeno, el contenido de nitrógeno y las formas en las que está presente dan información sobre los posibles procesos metabólicos que pueden darse en el reactor biológico, de ahí la necesidad de conocer en cada momento la cantidad de nitrógeno que se aporta al sistema. Se determinarán los contenidos en NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> o NTK.

- Sólidos en suspensión: una de las características del agua que se alimenta al tratamiento biológico, es la cantidad de sólidos en suspensión que escapan de los tratamientos previos. Dicha materia particulada sufre distintas fases de degradación a lo largo del reactor biológico, tanto en el seno del licor mezcla como en el interior de los flóculos en el caso de que éstos puedan absorberlos. Será por lo tanto, un parámetro a tener en cuenta cuando se realicen análisis sobre los resultados obtenidos en un estudio concreto.

Además de la caracterización del agua residual, en la que se incluirá el pH y la temperatura como factores que condicionan el proceso, será necesario conocer el caudal que se introduce en el sistema, para ello se dota a la planta de un caudalímetro.

### • Reactor biológico.

En el reactor biológico será tan importante la medida de algunos parámetros como la posibilidad de estudiar su evolución a lo largo del reactor, por ello se debe dotar al reactor de distintos puntos de medida. La optimización de las posiciones de los distintos puntos de medida será estudiada en capítulos posteriores.

La caracterización del licor mezcla que evoluciona a lo largo del reactor será fundamental a la hora de realizar un estudio sobre lo que está ocurriendo en el mismo.

Se debe, por lo tanto, dotar al reactor de varias tomas de muestra para determinar la composición del licor mezcla y su evolución; al mismo tiempo que para realizar medidas típicas de los sistemas de fangos activados como son el I.V.F. y el  $V_{30}$  que determinarán las características sedimentables del fango, o para la realización de análisis microscópicos para determinar los tipos de microorganismos que se desarrollan en el reactor.

Además, se debe realizar un seguimiento continuo a los siguientes parámetros de operación:

- Materia orgánica, la evolución del contenido en materia orgánica en el licor mezcla aportará datos sobre el proceso como cuales son las zonas donde se produce una mayor degradación.
- Nitrógeno, el estudio de la evolución del contenido en nitrógeno permitirá conocer si existen zonas donde se produce desnitrificación o nitrificación.
- Sólidos en suspensión, será una medida importante ya que en todo momento se debe conocer la cantidad de microorganismos que hay en el reactor.
- De la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor y de la proporción en que este es utilizado en la actividad metabólica de los microorganismos pueden deducirse multitud de datos para el conocimiento del proceso. Para ello se dotará al reactor de sistemas de medida de oxígeno disuelto y de respirómetros.
- Temperatura y pH, son factores que afectan a la actividad metabólica de los microorganismos.

### • Corriente del reactor al decantador secundario.

La caracterización de esta corriente permitirá conocer la eficiencia del reactor al mismo tiempo que aportará datos sobre la sedimentación de los flóculos en el decantador. La toma de muestras se empleará fundamentalmente para la determinación de los parámetros de sedimentabilidad del fango (I.V.F. y  $V_{30}$ ) y para la posible determinación del contenido en agentes químicos añadidos para mejorar las características sedimentables del fango, en el caso de problemas puntuales

- **Decantador secundario.**

En el decantador secundario se medirán tres parámetros:

- Oxígeno disuelto, para determinar la posibilidad de que se produzcan ambientes anóxicos con liberación de  $N_2$ , pudiendo provocar la elevación de fangos en el decantador.
- Nivel del manto de fangos, para controlar el desarrollo de la sedimentación.

- **Efluente.**

La caracterización de esta corriente permitirá conocer la eficiencia del sistema de depuración, en cuanto a materia orgánica (DQO, COT,  $DBO_5$ ), sólidos en suspensión, nitrógeno ( $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  o NTK) o fósforo ( $PO_4^{3-}$ ).

- **Caudales de recirculación y purga de fangos.**

Estas dos corrientes son en principio iguales en composición, en principio la caracterización de una de las dos corrientes puede ser suficiente para determinar la otra; en el caso del empleo de agentes bactericidas inyectados en el caudal de recirculación, la comparación de los parámetros medidos en ambas corrientes, permite estudiar la respuesta inicial de los microorganismos a estos aditivos.

- **Sistemas de inyección de aire.**

Básicamente se determinará el caudal de aire inyectado en el sistema. Esta medida junto a las medidas aportadas por el medidor de oxígeno disuelto y el respirómetro del reactor, permitirán realizar estudios sobre los distintos dispositivos de inyección de aire que se ensayarán en la planta.

- **Corriente de aditivos químicos.**

En el caso de estar ensayando cualquier tipo de aditivo químico, será necesario conocer en cada momento la cantidad de aditivo que inyectamos en el sistema.

## **B) Reactor biológico continuo de mezcla completa.**

Este tipo de reactor también es muy utilizado en las plantas de depuración reales, la aparición de bulking y foaming suele ser más frecuente que en los reactores de flujo de pistón, debido a que en estos reactores no hay un gradiente de carga orgánica que permita un cierto efecto selector. La única diferencia con el sistema anterior, es la continua alimentación de agua residual a lo largo del reactor.

A continuación se muestra el esquema básico de este proceso junto a la instrumentación requerida, puede observarse la total equivalencia con el esquema de flujo de pistón, de ahí que la justificación del esquema anterior sea válida para este caso.

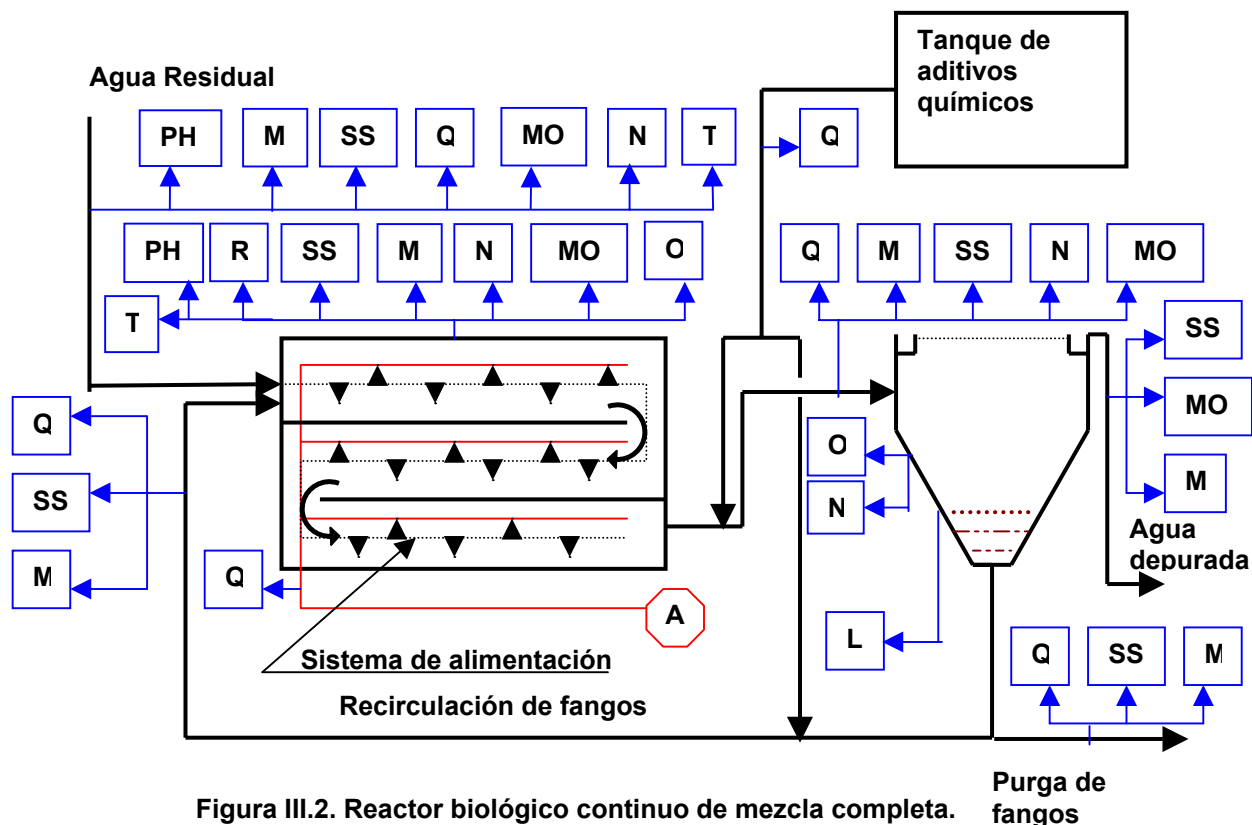


Figura III.2. Reactor biológico continuo de mezcla completa.

**C) Reactor biológico discontinuo.**

Los procesos discontinuos con fangos activados sí tienen efecto selector, ya que se produce un gradiente de carga a lo largo del tiempo de proceso. Las medidas e instrumentación necesarios para el estudio y control del proceso son equivalentes al sistema de flujo de pistón, aunque habrá que tener en cuenta la discontinuidad del proceso.

El esquema básico de este proceso, se muestra en la Figura III.3:

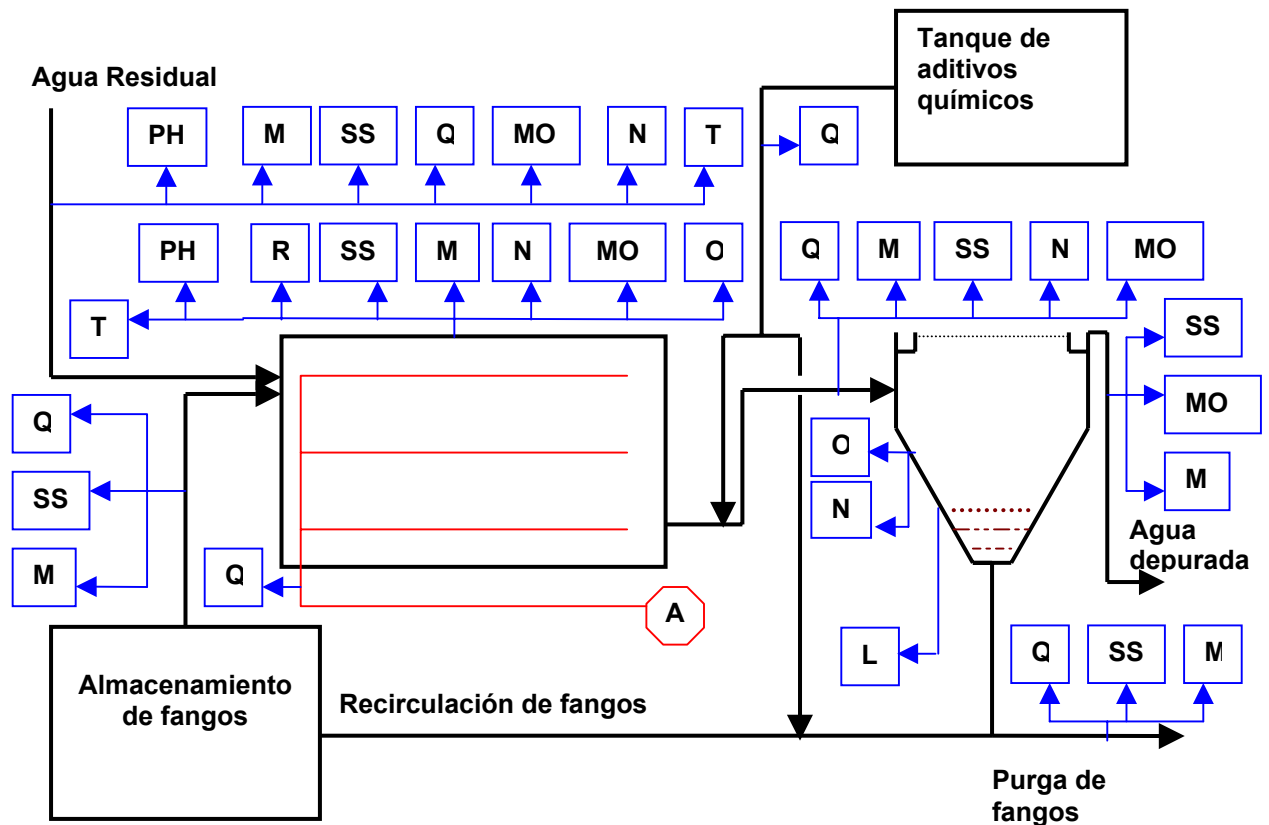


Figura III.3. Reactor biológico discontinuo.

#### D) Otros sistemas.

La planta piloto podrá operar con otras disposiciones como:

- Alimentación escalonada.
- Aireación escalonada.
- Recirculación escalonada.
- Contacto-estabilización.

#### **III.2.1.2. Reactores biológicos con regeneración.**

La regeneración del fango consiste en una aireación del fango, previa a la mezcla entre el fango recirculado y el agua residual. Con esta aireación se pretende que las bacterias formadoras de flóculo consuman las sustancias reserva, para conseguir que al entrar al reactor éstas bacterias tengan su capacidad de almacenamiento completa. La inclusión de un sistema de regeneración en los reactores simples es sencilla, basta con añadir al proceso un tanque de aireación en la corriente de recirculación del fango.

Solamente se mostrará el esquema del reactor de flujo de pistón con regeneración. Como puede observarse, el esquema es prácticamente el mismo que sin regeneración, solamente se incluye una medida del aire añadido y consumido en el tanque de regeneración, simplemente con estas dos medidas adicionales se puede determinar cual es la cantidad de sustancia reserva almacenadas por los microorganismos



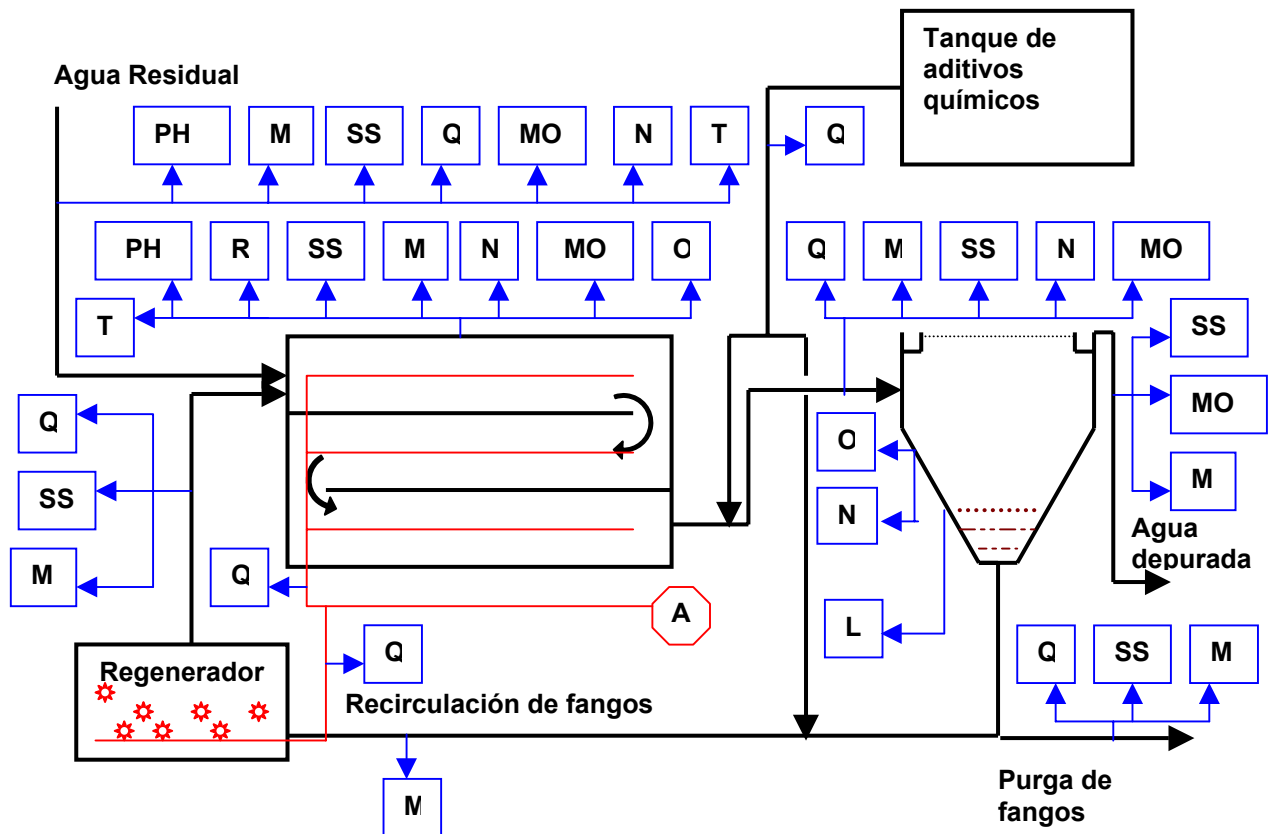


Figura III.4. Reactor con regeneración.

### III.2.1.3. Reactores biológicos con selectores.

Como ya se ha comentado con anterioridad, la adopción de un sistema selector en las plantas reales, puede ser uno de los métodos más eficientes y baratos a medio o largo plazo. La planta piloto debe ofrecer la posibilidad de ensayar distintas alternativas de recipientes selectores para dar solución a casos concretos. Al mismo tiempo, la planta debe disponer de los elementos de medida necesarios para establecer unos criterios de diseño universales.

Este último objetivo requiere un extenso estudio bajo condiciones de operación muy diversas, dado que los parámetros que intervienen en un proceso de fangos activados son numerosos. Los factores que condicionan la elección del tipo de ambiente selector más apropiado en cada caso y el diseño concreto del sistema son fundamentalmente:

· Materia orgánica aportada al sistema; la cantidad total añadida es un factor importante, pero quizás lo sea aún más la clasificación de esta materia orgánica debido a que los distintos tipos de sustrato orgánico siguen vías de degradación distintas y son mejor o peor asimilados por los distintos tipos de microorganismos.

Por lo tanto, con relación a la materia orgánica, la planta piloto deberá disponer de la instrumentación necesaria para:

- Conocer la cantidad de materia orgánica aportada al sistema.
- Determinar la clasificación de la misma.

- Conocer los rangos de salida de los selectores que aseguren unas características de sedimentabilidad apropiadas.
- Seguir la evolución de la materia orgánica en cantidad y en forma a lo largo de todo el sistema.

: Oxígeno: las cantidades de oxígeno disuelto, la cantidad de oxígeno asimilado y la escasez o abundancia de este elemento, condicionan el funcionamiento del sistema y el desarrollo de los distintos tipos de microorganismos. La planta piloto deberá establecer:

- Rangos de oxígeno necesarios.
- Tipos de sistemas de inyección de oxígeno más apropiados en cada caso.

: Nitrógeno: la presencia de nitrógeno es necesaria para la actividad metabólica de todos los microorganismos. La escasez o abundancia de este nutriente y la forma en la que se encuentra es uno de los parámetros que condicionan el crecimiento de los microorganismos y por lo tanto es una medida necesaria para el estudio del proceso.

: Tipología del fango: el conocimiento de las cantidades relativas y tipos de microorganismos que constituyen el fango activo, es fundamental para el buen entendimiento de los procesos que se producen en las distintas fases del sistema. Al mismo tiempo, los estados de agregación de los flóculos medidos a través de los parámetros  $V_{30}$  e I.V.F. deben ser conocidos en cada momento.

Será por lo tanto necesario, realizar análisis microscópicos que determinen el tipo de microorganismos existentes, así como las estructuras de agregación de flóculos.

Además, los ensayos para determinar las características sedimentables del fango deben ser frecuentes para poder seguir la respuesta del sistema ante cambios en el valor de alguno de los parámetros de operación.

: Sólidos en suspensión: se trata de una medida fundamental en el conocimiento de las cantidades relativas de materia orgánica y microorganismos, del seguimiento de este parámetro se pueden establecer criterios de concentración de sólidos en el reactor y de cargas máxicas apropiados para dar solución a casos concretos.

: Temperatura: es un parámetro que condiciona la cinética de los procesos metabólicos, si bien es un parámetro que suele venir impuesto y sobre el que no se suele intervenir, cualquier estudio sobre el proceso debe incluir la temperatura en la que se desarrollaron los ensayos.

: pH: la actividad metabólica de los microorganismos se desarrolla en determinados rangos de pH, será necesario tener un control sobre este parámetro y proceder a su corrección en caso de que se alcancen valores fuera del rango apropiado para el desarrollo de los microorganismos.

: Especies químicas: existe además un número elevado de compuestos y elementos químicos que afectan en mayor o menor medida el desarrollo de la actividad de los microorganismos. A la necesidad de materia orgánica, oxígeno y nitrógeno, hay que añadir otro nutriente fundamental como es el fósforo, y otros nutrientes necesarios en cantidades muy pequeñas denominados oligoelementos como el cinc o el potasio.

La presencia de sustancias nocivas para el desarrollo del proceso, bien porque bloqueen las vías metabólicas o porque favorezcan el crecimiento de los microorganismos filamentosos frente a los formadores de flóculos, también deberá ser tenida en cuenta.

Por lo tanto, se establece la necesidad de realizar análisis completos de las aguas y mezclas que intervienen en el proceso.

Una vez establecidas las bases del estudio de los selectores, se expondrá que tipos de sistemas pueden estudiarse en la planta piloto. Para cada tipo se explicarán los procesos de selección que se producen y se hará especial hincapié en la instrumentación necesaria para el control y estudio de dichos procesos.

### **A) Sistemas con selector simple.**

Los sistemas con selector simple se basan en mezclar la recirculación del fango y el agua residual en un recipiente previo al tanque de aireación. El tipo de ambiente al que se someta a las bacterias en dicho recipiente, condiciona la forma en la que se va a promover la selección de los microorganismos.

#### **• Selectores aerobios y óxicos.**

Ambos tipos de selectores basan su efecto selector en el mismo fenómeno, la diferencia entre ellos es la cantidad de oxígeno disuelto con la que operan.

Los selectores aerobios y óxicos operan con cargas másicas relativamente elevadas y con el oxígeno disuelto suficiente como para que no exista escasez de dicho elemento; en estas condiciones, no existe competencia por el sustrato y por el oxígeno entre los microorganismos filamentosos y los formadores de flóculos, de manera que ambos tipos se desarrollan sin limitaciones.

Como las bacterias formadoras de flóculos tienen tasas de crecimiento mayores a partir de una concentración de sustrato determinada, serán estos microorganismos los que predominen en el fango activo.

Por lo tanto, será fundamental realizar un seguimiento a la cantidad de oxígeno aportada y consumida y a la materia orgánica, a lo largo de todo el selector. Al mismo tiempo que se observa la evolución de las cantidades relativas de los distintos tipos de microorganismos, para ello se dota a los selectores de medidores de oxígeno disuelto, de materia orgánica, de respirómetros y de tomas de muestra para realizar los análisis oportunos al fango. Además se incluyen las medidas de otros parámetros como la temperatura, el pH o los sólidos en suspensión.

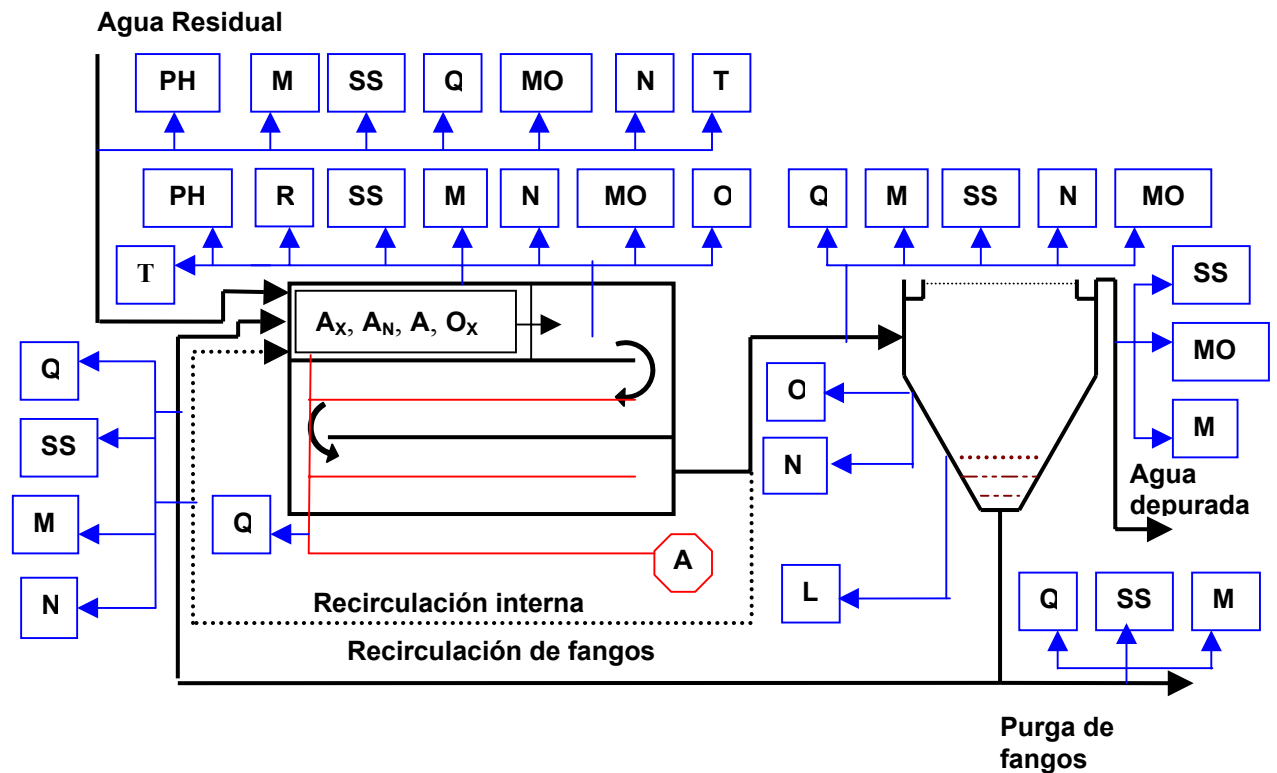


Figura III.5. Reactor biológico con selector simple.

#### • Selector anóxico.

El selector anóxico basa su efecto en la capacidad de las bacterias formadoras de flóculos para oxidar el sustrato orgánico mediante la utilización de los nitritos y los nitratos como aceptores de electrones, dicha capacidad no existe o existe en menor medida en los microorganismos filamentosos.

La necesidad de nitratos y nitritos en la cabeza del sistema se satisface mediante el uso de un agua residual que contenga dichos compuestos y mediante el empleo de una recirculación interna desde la salida del tanque de aireación hasta la cabeza del sistema, esta recirculación sólo podrá emplearse cuando en el tanque de aireación se produzca la nitrificación, es decir, la transformación de compuestos nitrogenados como el amoníaco a nitritos y nitratos.

El control y medida de la evolución y contenido de nitritos y nitratos en el selector, en el agua residual, en la recirculación interna y en el tanque de aireación será uno de los pilares del estudio de este tipo de selectores.

Al mismo tiempo, la presencia de oxígeno en el selector, bloquea el efecto selectivo del mismo, será necesario medir el oxígeno disuelto en el selector y comprobar su práctica inexistencia.

### • **Selector anaerobio.**

Los selectores anaerobios, basan su efecto en la mayor capacidad de las bacterias formadoras de flóculos para almacenar sustrato orgánico, durante el tiempo en el que los microorganismos atraviesan el selector sufren una etapa de inanición, si en este tiempo las bacterias formadoras de flóculos son capaces de acumular la mayor parte del sustrato orgánico existente, al llegar al tanque de aireación los microorganismos filamentosos carecerán de sustrato suficiente para desarrollarse, mientras que los formadores de flóculo consumirán el sustrato almacenado en su interior.

Dos son las medidas fundamentales para saber si este fenómeno se está produciendo, la inexistencia de oxígeno y nitratos.

### **B) Reactores con baterías de selectores.**

Además de los selectores simples, también puede utilizarse un sistema con varios selectores en serie, de manera que se sumarán los fenómenos de selección.

A continuación se expondrán los sistemas habituales que emplean varios selectores en serie.

### • **Selector Anóxico-Anaerobio.**

Este tipo de sistemas basa su efecto en dos etapas:

- Una primera etapa anóxica, en la que los formadores de flóculos consumen sustrato mediante el empleo de los nitratos; mientras que las filamentosas sufren una etapa de inanición por no poder emplear los nitratos para la oxidación del sustrato o a lo sumo una etapa de poco desarrollo para aquellas que si pueden emplearlo aunque con tasas de utilización muy inferiores a las de las formadoras de flóculo.

- La segunda etapa se caracteriza por una inanición general, en la que las formadoras de flóculo almacenarán el sustrato que no haya sido consumido en la etapa anterior, esta segunda etapa de inanición puede ser excesiva para algunos tipos de filamentosas que serán incapaces de desarrollarse.

Por último, en el tanque de aireación, las bacterias formadoras de flóculos consumirán las sustancias almacenadas, mientras que las filamentosas encontrarán poco sustrato en el licor mezcla de manera que su desarrollo será muy inferior al de las anteriores.

El esquema básico de este sistema se muestra en la Figura III.6:

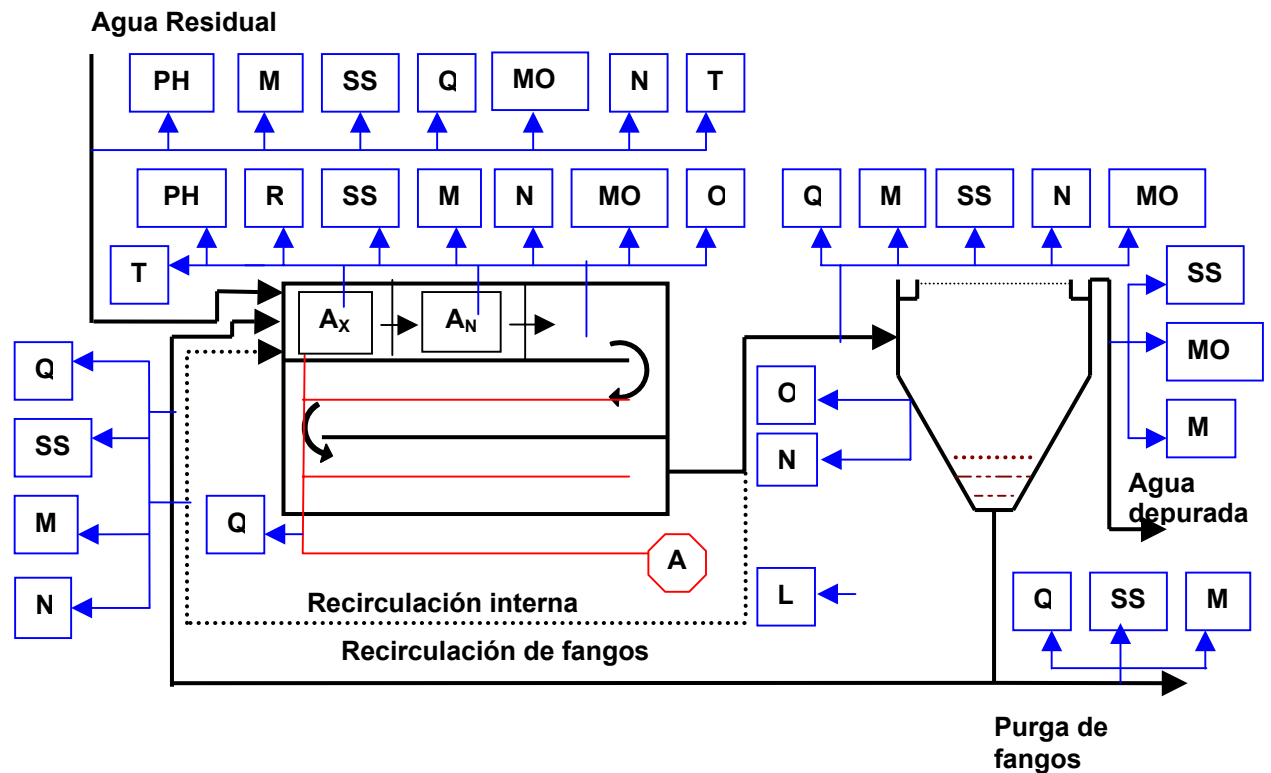


Figura III.6. Selector Anóxico-Anaerobio.

Las medidas necesarias para el estudio de este sistema son equivalentes a las comentadas en casos anteriores, se deberá estudiar la materia orgánica consumida en la primera etapa y almacenada en la segunda, para optimizar la selección en este tipo de sistemas. Además, habrá que controlar las cantidades de oxígeno disuelto en ambos selectores, y sobre todo las de nitratos para establecer en que momento se pasa del ambiente anóxico al anaerobio.

#### • Selector Anóxico-Óxico/Aerobio.

Este sistema emplea dos etapas previas al tanque de aireación para eliminar los problemas asociados al desarrollo de los microorganismos filamentosos:

- La primera etapa es la operación bajo condiciones anóxicas, el efecto selector de dicho ambiente ya ha sido suficientemente explicado.
- En la segunda etapa se aporta el oxígeno suficiente para que no haya escasez de este elemento, situación que como se ha estudiado favorece la competencia de las filamentosas respecto a las formadoras de flóculos.

El esquema básico de estudio se muestra en la Figura III.7:

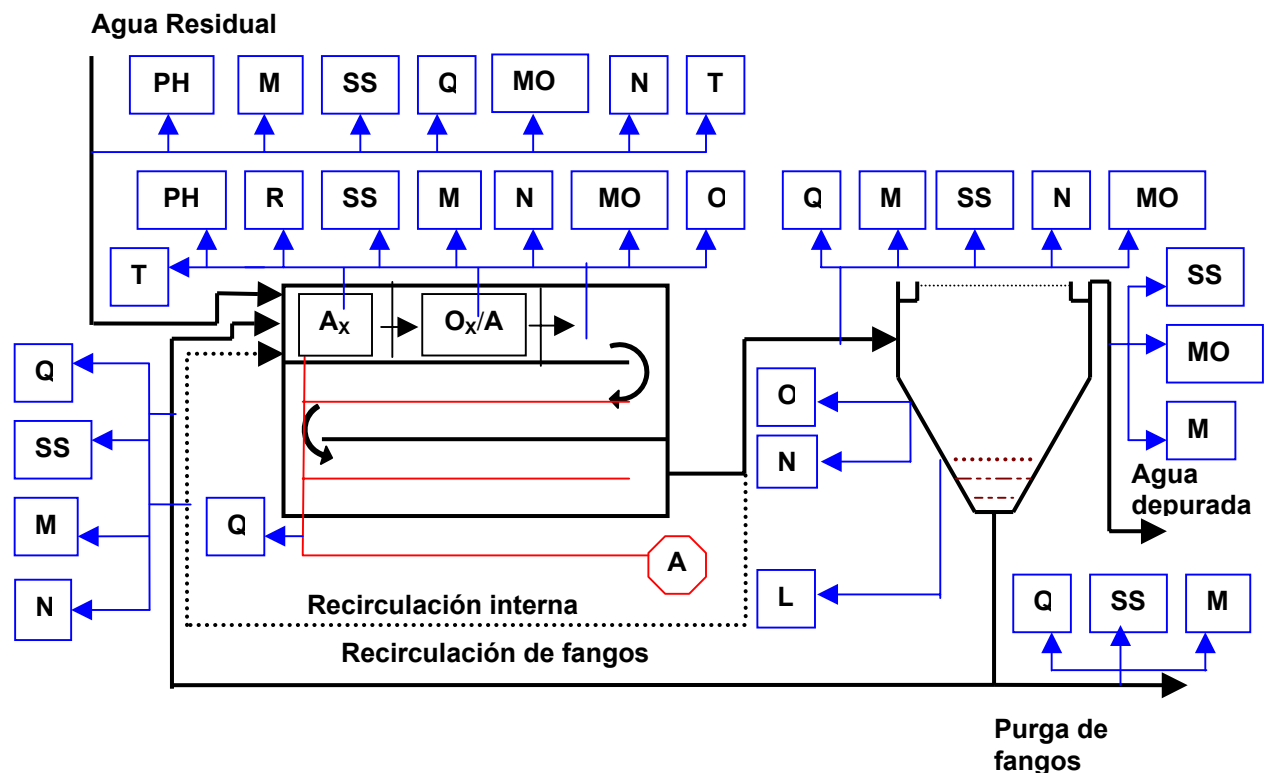


Figura III.7. Reactor anóxico-óxico/aerobio.

La cantidad de materia orgánica que sale del selector anóxico condicionará las necesidades de oxígeno en el selector siguiente.

#### • Selector Anaerobio-Óxico/Aerobio.

Este sistema se basa en el empleo de dos ambientes totalmente extremos para las bacterias:

- En un primer paso, todos los microorganismos son sometidos a una etapa de inanición, los formadores de flóculos acumularán sustratos en su interior.
- En la segunda etapa, se aportará el oxígeno suficiente para consumir toda la materia orgánica que no ha sido almacenada, así como parte del sustrato almacenado y las sustancias de reserva contenidas en el interior de los flóculos.

En este proceso es fundamental el control de la materia orgánica que no es almacenada durante la etapa anaerobia, ya que si una parte importante de materia orgánica queda libre en el licor mezcla, las filamentosas que superen la inanición se desarrollarán sin problemas ya que la capacidad de almacenamiento de las formadoras de flóculos estará limitada. Lo ideal sería que toda la materia orgánica fuese almacenada en la etapa anaerobia, de manera que durante las etapas siguientes solamente se consumieran sustancias reserva.

#### • Selector Óxico-Anaerobio.

Otro de los sistemas empleados en la selección de microorganismos es el empleo en serie de un ambiente óxico con uno anaerobio:

- En la etapa óxica, se emplean cargas másicas y contenidos en oxígeno disuelto elevados, de manera que todos los microorganismos se desarrollan sin limitaciones.

Se opera bajo unas concentraciones de sustrato en las que la tasa de crecimiento de las bacterias formadoras de flóculo es superior, de forma que el fango de salida de esta primera etapa se caracteriza por una población de bacterias formadoras de flóculo mayor a la de las filamentosas.

- En la segunda etapa, se somete a ambos tipos de microorganismos a un período de inanición, que debe servir para que las bacterias formadoras de flóculos almacenen la mayor cantidad de materia orgánica posible.

Tras las etapas selectoras, el licor mezcla se introduce en el tanque de aireación y las bacterias formadoras de flóculos consumen el sustrato almacenado. Si la materia orgánica libre es lo suficientemente pequeña, las filamentosas no tendrán sustrato suficiente para desarrollarse y aquellas que hayan superado el período de inanición sufrirán una nueva etapa de escasez de sustrato en la que la población de filamentosas disminuirá considerablemente mientras que las formadoras de flóculos se desarrollarán sin problemas.

El estudio de este sistema debe hacer especial hincapié en la cantidad de materia orgánica que sale del subsistema selector, para ello será necesario encontrar los consumos de materia orgánica necesarios en la primera etapa, así como la capacidad de almacenamiento necesaria para la etapa de inanición.

#### · **Selector Anóxico-Anaerobio-Óxico.**

Estos selectores basan su efecto en el empleo de tres tipos de ambiente:

- La primera etapa es anóxica, como se sabe, bajo estas condiciones la capacidad para consumir sustrato de las filamentosas es muy limitada, y las bacterias formadoras de flóculo se desarrollan en mayor medida. Se obtiene así una población de filamentosas inferior.

- La segunda etapa de inanición se caracterizará por el almacenamiento masivo de sustrato por parte de las formadoras de flóculo, las cantidades de materia orgánica que quedarán libres deben ser pequeñas.

- En la tercera etapa se consumirá toda la materia orgánica libre, probablemente las filamentosas serán más competitivas en la asimilación de este sustrato libre, debido a la situación de escasez y a que las formadoras de flóculo contendrán cantidades elevadas de sustrato almacenado, sustrato que será consumido parcialmente debido a las altas cantidades de oxígeno disuelto.

Tras el sistema selector se introducirá la mezcla en el tanque de aireación, el sustrato almacenado por las formadoras de flóculo, les permitirá su desarrollo y crecimiento bajo estas condiciones; mientras que los bajos contenidos de materia orgánica libre, dificultarán el desarrollo de las mismas ya que parte de la población de filamentosas sufrirá una nueva etapa de inanición.



De la explicación anterior se deduce que el seguimiento de la evolución de la materia orgánica es fundamental, la materia orgánica consumida en la etapa anóxica, la almacenada en la anaerobia y las condiciones óxicas necesarias para eliminar toda la materia orgánica libre serán los parámetros fundamentales para la optimización de este sistema. Dichos parámetros deberán determinarse mediante el establecimiento de los contenidos en nitrato apropiados en la etapa anóxica, y de los contenidos en oxígeno disuelto necesarios para la etapa óxica.

#### · **Selector Anaerobio-Anóxico-Óxico.**

Este sistema basa su efecto selector en tres etapas:

- La primera etapa somete a los microorganismos a un período de inanición en el que las bacterias formadoras de flóculos almacenarán parte del sustrato orgánico.
- En la segunda etapa las bacterias formadoras de flóculo podrán consumir parte del sustrato almacenado al mismo tiempo que consumirán sustrato libre.
- La tercera etapa se caracteriza por la inyección de grandes cantidades de oxígeno que permitan eliminar la práctica totalidad del sustrato libre en el licor mezcla.

Las cantidades de materia orgánica a la entrada y a la salida de cada dispositivo selector, serán los parámetros fundamentales en la optimización de este sistema.

#### · **Otros sistemas selectores.**

Como puede observarse de las explicaciones anteriores, el número de configuraciones selectoras es teóricamente ilimitado, sin embargo, en la práctica no se emplean baterías selectoras con más de cinco ambientes en serie. Se tomará este dato como número máximo de ambientes, de aquí se deduce que el número máximo de repeticiones de un mismo ambiente será tres.

#### **III.2.1.4. Sumario y conclusiones.**

Como se ha descrito a lo largo de este apartado, el número de configuraciones de estudio posibles es elevado; el estudio de cada sistema exigirá el entendimiento de los procesos que pudieran producirse, a partir de dicho entendimiento, se deben establecer los parámetros fundamentales para la optimización del sistema y realizar un seguimiento de su evolución a lo largo del mismo.

Al mismo tiempo deben realizarse una serie de medidas para ubicar los resultados en unas condiciones de operación determinadas:

- Temperatura.
- pH.
- Clasificación de la materia orgánica.

- Análisis completo del agua residual tratada.

Por último debe establecerse la eficiencia del sistema mediante:

- La determinación de la eficiencia de sedimentación, a través de la medida del I.V.F., del  $V_{30}$  y de los sólidos en suspensión que escapan con el agua depurada.
- La determinación de la eficiencia de separación de la materia orgánica, a través de la medida del contenido en materia orgánica del agua depurada y de los microorganismos que escapan al sistema de depuración.

### **III.2.2. Decantador secundario.**

El decantador secundario cumple una función fundamental en el sistema de fangos activados, el esfuerzo en la optimización del sistema biológico para conseguir flóculos con características sedimentables apropiadas sería baldío si no se consigue diseñar adecuadamente el sistema de separación de sólidos.

#### **III.2.2.1. La sedimentación de los flóculos biológicos.**

Las características de los sólidos en suspensión condicionan el mecanismo de sedimentación, las tres clases de sedimentación clasificadas son las siguientes:

- Sedimentación de partículas discretas: se trata de un proceso de sedimentación en el que no se produce la coalescencia entre partículas.
- Sedimentación floculenta: en este proceso se observa una agregación de las partículas a lo largo de la sedimentación, de manera que los flóculos varían su tamaño, densidad y velocidad a lo largo del proceso.
- Sedimentación interferida o de flujo de pistón: se trata de un proceso en el que puede observarse la decantación de una masa de partículas, la velocidad de sedimentación de un flóculo determinado estará condicionada por la de los flóculos más próximos. La sedimentación que puede observarse en un decantador secundario es del último tipo y suele darse cuando la concentración de partículas supera el valor de 500 mg/L.

Existen métodos experimentales para el diseño del decantador secundario.

El método más utilizado es el desarrollado por Taldmage y Fitch<sup>(1)</sup>, que se basa en una serie de cálculos realizados a partir de datos experimentales obtenidos de un ensayo discontinuo.

A partir de estos cálculos se obtienen dos secciones mínimas para la decantación; por una parte, el área mínima para que se produzca el espesamiento de los fangos, y por otra, el área mínima para que se produzca la clarificación del licor mezcla.

Una vez calculadas dichas áreas se escoge la mayor de las dos como sección del decantador secundario que se está diseñando.

Las ecuaciones que emplea dicho método son las siguientes:

$$\text{Ecuación 1: } A = \frac{Q t_u}{H_0}$$

$$\text{Ecuación 2: } H_u = \frac{C_0 H_0}{C_u}$$

$$\text{Ecuación 3: } A_C = \frac{Q_e}{v_s}$$

donde,

$A \equiv$  Área requerida para el espesado de fangos ( $m^2$ ).

$A_C \equiv$  Área mínima requerida para la clarificación ( $m^2$ ).

$Q \equiv$  Caudal de entrada al decantador ( $m^3/s$ ).

$t_u \equiv$  Tiempo para lograr la concentración de fangos deseada en el fango (s).

$H_0 \equiv$  Altura inicial de la interfase en la columna (m).

$H_u \equiv$  Altura final del fango sedimentado en la columna (m).

$Q_e \equiv$  Caudal del efluente del decantador ( $m^3/h$ ).

$v_s \equiv$  Velocidad de sedimentación libre de los flóculos (m/h).

Existen otros métodos<sup>(3)</sup> basados en correlaciones que determinan la carga hidráulica al decantador con la sección, el porcentaje de recirculación externa y el contenido en sólidos en suspensión de la recirculación. En el capítulo 4 se empleará una de estas correlaciones para la determinación de la sección del decantador secundario de la planta piloto.

### III.2.2.2. Ensayos en el decantador secundario.

Como se ha visto en el apartado anterior, el ensayo discontinuo de la sedimentación de los flóculos biológicos puede aportar una serie de parámetros de interés para el diseño de un decantador secundario óptimo.

Sin embargo, las características generales de la planta implican el diseño de un decantador secundario lo suficientemente versátil para que puedan observarse las características sedimentables de los flóculos tras la aplicación de las distintas medidas ensayadas para la eliminación del problema del esponjamiento de fangos.

Habitualmente, los decantadores secundarios de las plantas reales se diseñan empleando fundamentalmente dos parámetros: carga hidráulica o de superficie y tiempo de residencia.

La determinación de los valores de estos parámetros que optimizan la sedimentación del fango biológico, junto al estudio de las características de los flóculos que resultan de un ensayo bajo unas condiciones determinadas, son el objetivo fundamental que debe cumplir el decantador secundario de la planta piloto.

De una forma más esquemática, se muestran las condiciones que debe cumplir el diseño final del decantador:

- Determinación de la velocidad de sedimentación de los flóculos y el manto de fangos.

- Determinación de la concentración final del fango biológico compactado.
- Determinación de la carga hidráulica que optimiza la sedimentación.
- Determinación del tiempo de residencia óptimo, en este parámetro intervendrán factores como las necesidades de compactación, o la posibilidad de que se produzca desnitrificación en el fondo del decantador, con la consiguiente elevación del fango debida al desprendimiento de  $N_2$ .
- Determinación de la altura de compactación.

### III.2.3. Control de la planta piloto.

Si bien, en la actualidad existe una tendencia a mejorar o implementar el control de determinados parámetros en los tratamientos biológicos de las EDAR, estos sistemas de control no son objeto de estudio en este proyecto aunque el diseño de la planta permite la implantación y ensayo de distintos sistemas.

La extensión de los resultados obtenidos, en un ensayo de un sistema de control en la planta piloto, a la planta real es cuanto menos cuestionable ya que gran parte de los sistemas de control que se están desarrollando en los últimos años se basan en controles de tipo “fuzzy”<sup>(34)</sup> que necesitan de la creación de tablas con el valor de multitud de parámetros en condiciones de operación concretas, las características del sistema de difusión de la planta piloto y las diferencias de eficiencia de transferencia debido a parámetros geométricos de la misma, pueden hacer que los ensayos de estos tipos de sistemas de control tengan una validez relativa en su extensión a las plantas reales, si bien sería necesario un estudio en este sentido una vez comiencen los ensayos en la planta piloto.

Sin embargo, esto no implica que la planta piloto no sea útil para el desarrollo de los sistemas de control de los procesos de fangos activados, pues existen sistemas de control basados en modelos de parámetros distribuidos<sup>(34)</sup>, que necesitan del conocimiento de distintos coeficientes cuya determinación sí es posible realizar en la planta piloto que se diseña.

La validez y determinación de los modelos matemáticos<sup>(34, 35, 36 y 37)</sup> que se están desarrollando en los últimos años, forman parte de los objetivos que trata de cubrir la planta piloto en cuanto a un mayor conocimiento de los procesos biológicos de estudio. La determinación de dichos modelos es la base del control futuro de los tratamientos biológicos de depuración de aguas residuales.

Estos objetivos, crean la necesidad de dotar a la planta con una serie de dispositivos de medida, y de elementos para el control de determinados parámetros, fundamentalmente válvulas para el control de caudales de agua residual, de recirculación interna y externa, y de caudales de aire aportado al reactor.

Con relación al sistema de difusión de aire de la planta piloto, se propone el diseño de un modelo matemático que permita su control y por tanto un conocimiento más profundo de la cantidad de aire suministrada por cada uno de los difusores. Dado el número de difusores,

la implantación de un caudalímetro en cada uno de ellos, no parece una solución viable. Se propone un sistema basado en la generación de una tabla de valores en distintas condiciones de operación, es decir, la elaboración de un sistema “fuzzy” para el control y conocimiento del sistema de difusión.