

ADMINISTRACIÓN DE LAS OBRAS SANITARIAS DEL ESTADO

GERENCIA DE SANEAMIENTO - CAPACITACIÓN Y DESARROLLO GERENCIAL

Operación de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados

Setiembre de 2012

ADMINISTRACIÓN DE LAS OBRAS SANITARIAS DEL ESTADO

Operación de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados

OPERACIÓN LODOS ACTIVADOS

CAPÍTULO	1.....	4
Procesos biológicos que se dan en la naturaleza 4		
CAPÍTULO	2.....	7
¿Para qué se necesita una planta de tratamiento? 7		
CAPÍTULO	3.....	9
¿Qué es la DBO? 9		
CAPÍTULO	4.....	11
Descripción del ciclo de una Planta de Tratamiento 11		
CAPÍTULO	5.....	17
Unidades en que se divide la planta. 17		
<i>1 - Pretratamiento 17</i>		
1.1 Reja..... 17		
1.2 Desarenador 18		
<i>2 - Tratamiento de la fase líquida 19</i>		
2.1 Reactor Aerobio o Tanque de Aireación 19		
2.1.1 Relación Alimento – Microorganismos 20		
2.1.2 Tiempo de Retención Hidráulico 21		
2.1.3 Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)..... 22		
2.1.4 Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Fijos (SSF). 23		
2.1.5 Edad del Lodo (EL) 23		
2.2 Sedimentadores Secundarios 25		
2.3 Desinfección 26		
<i>3 - Tratamiento de la fase sólida 26</i>		
3.1 Deshidratación de lodos..... 27		
3.1.1 Lechos de secado 27		
3.1.2 Filtros de banda 28		
3.1.3 Centrífugas..... 28		
3.2 Higienización de lodos 29		
3.2.1 Mezcla con Cal 29		
3.2.2 Compostaje 29		
3.2.3 Vermicompostaje..... 30		
3.2.4 Landfarming 30		
<i>4 - Resumen de Parámetros para Lodos Activados..... 30</i>		
Parámetros para Aireación Extendida..... 30		
Parámetros para Aireación Convencional..... 30		

CAPÍTULO	6.....	32
Aireación y tipos de aireadores 32		
CAPÍTULO	7.....	34
Problemas que pueden surgir en una planta de este tipo y sus soluciones..... 34		
<i>1 Problemas en el tanque de aireación 35</i>		
1.1 Deficiencia de oxígeno 35		
1.2 Pérdida de aire 36		
1.3 Mezcla inadecuada 36		
1.4 Turbulencia elevada..... 37		
1.5 Olas..... 37		
1.6 Espuma 38		
1.6.1 Espuma blanca 38		
1.6.2 Espuma color café..... 40		
1.6.3 Espuma negra..... 41		
<i>2 Problemas en el sedimentador 42</i>		
2.1 Pérdida de sólidos..... 42		
2.2 BULKING 43		
2.2.1 Microorganismos filamentosos presentes 44		
2.2.2 Microorganismos filamentosos ausentes..... 45		
2.3 Desnitrificación 45		
2.4 Efluente final turbio..... 47		
2.4.1 Protozoarios Presentes, pero Inactivos 47		
2.4.2 Protozoarios Presentes, Activos..... 47		
2.4.3 Protozoarios Ausentes..... 47		
2.5 Cenizas 48		
2.6 Escape de Flóculos 49		
<i>3 Problemas de olores 50</i>		
3.1 Identificación de las fuentes de generación de olor 51		
3.2 Medidas de control 51		
3.2.1 En cámara de rejás..... 51		
3.2.2 En estaciones de bombeo..... 51		
3.2.3 En tanques de aireación 51		
CAPÍTULO	8.....	53
Procedimientos de parada..... 53		
<i>Vaciado del estanque de aireación..... 53</i>		
<i>Paradas programadas de energía eléctrica 54</i>		
CAPÍTULO	9.....	55
Disposición de residuos que se producen en una planta..... 55		

Procesos biológicos que se dan en la naturaleza

En la naturaleza se dan ciertos procesos de transformación de la materia orgánica en elementos minerales. Existen microorganismos que se alimentan de la materia orgánica asimilando en sus cuerpos las sustancias que la componen. Ellos asimismo pueden ser alimento de otros seres vivos o mueren al cumplir su ciclo vital y no poder competir con seres más jóvenes y dinámicos por la comida.

Al proceso de consumo de la materia orgánica por parte de los microorganismos se llama asimilación. Algunos microorganismos, para cumplir sus funciones vitales, necesitan respirar oxígeno. Dichos microorganismos se llaman aerobios pues solo pueden vivir en presencia de dicho gas. Esto se da también en el agua y el oxígeno que respiran los microorganismos aerobios se encuentra en forma libre y disuelta. Cuando se produce el consumo de la materia orgánica por microorganismos que respiran el oxígeno disuelto en el agua, se puede llamar a este proceso digestión aerobia u oxidación de la materia orgánica. En ese proceso de digestión se van liberando ciertos gases y residuos del proceso vital.

**Los
microorganismos
aerobios respiran
el oxígeno libre
disuelto en el agua**

El oxígeno presente en el agua se encuentra en forma disuelta, de la misma forma que el bicarbonato se encuentra disuelto en una bebida gaseosa. Al abrir una gaseosa y verterla en un vaso vemos que se forman burbujas, las cuales están formadas por el gas que se encontraba disuelto en el líquido y que escapa al aire.

Otro elemento a tener en cuenta es que para la alimentación de los microorganismos solo sirve la materia orgánica que se encuentra también disuelta en el agua.

La mayor parte de los microorganismos son bacterias las cuales tienen una sola célula. Ellas, para consumir la materia orgánica deben hacer pasar esa materia orgánica disuelta a través de su membrana celular, cosa que se hace muy difícil si no fuera porque la misma bacteria produce unas ciertas sustancias llamadas enzimas que preparan la comida y la bacteria puede digerirla sin problemas.

Para que los microorganismos puedan desarrollarse necesitan además ciertos nutrientes como ser Nitrógeno y Fósforo, los cuales se encuentran normalmente en las proporciones adecuadas en los líquidos residuales domésticos

Existen otros microorganismos llamados anaerobios, para los cuales el oxígeno disuelto es un veneno, por lo cual solo aparecen cuando el oxígeno no se encuentra disuelto en el agua. También hay microorganismos llamados facultativos que pueden vivir tanto en presencia de oxígeno libre como en ausencia de él.

Al morir un microorganismo cumplido su ciclo vital, las sustancias que lo formaban pasan al estado mineral.

Todos los microorganismos compiten por el mismo alimento y siempre van a prevalecer los que se adaptan mejor al ambiente en que viven. Si este ambiente es hostil para la vida no se podrán desarrollar los microorganismos y la materia orgánica no sufrirá ningún proceso.

Vemos que:

- si tenemos materia orgánica, ella es consumida por microorganismos,
- si estamos en presencia de oxígeno disuelto esos microorganismos son aerobios,

OPERACIÓN Lodos Activados

La materia orgánica original se transforma en minerales a través del proceso biológico.

- si el ambiente no es hostil con ellos se podrán desarrollar y habrá un aumento enorme de la población de microorganismos aerobios,
- como prevalecen enormemente una clase de microorganismos compiten seres de la misma especie por el alimento; los más dinámicos sobrevivirán y los más viejos morirán
- al morir se desprenden sus sustancias en forma de minerales

Como resultado, la materia orgánica original se transformó en elementos minerales y ciertos gases, con contaminación nula o con poca contaminación. Al acabarse el alimento las bacterias mueren y se desprenden más minerales, los minerales que formaban el cuerpo del microorganismo. Al final el agua queda depurada. A este proceso se le llama autodepuración o estabilización de la materia orgánica.

¿Para qué se necesita una planta de tratamiento?

Los procesos anteriormente citados se van a dar naturalmente. Si tenemos un líquido residual el cual lo vertemos a un curso de agua, en ese curso se van a producir dichos procesos.

Se desarrollarán primariamente los microorganismos aerobios que se alimentarán de la materia orgánica disuelta en el agua. Además, para su metabolismo y poder vivir, consumirán el oxígeno disuelto en el agua. Si ese consumo de oxígeno es muy elevado se llega a que en el agua no se tenga más oxígeno disuelto, apareciendo por lo tanto los microorganismos anaerobios. Al aparecer éstos se producirán procesos que tienen como resultado la formación de gases malolientes, barros flotantes y se oscurecerá el agua, dando un aspecto desagradable. Por otro lado las algas mueren porque no les llega adecuadamente la luz solar y los peces y otros animales mueren de asfixia al acabarse el oxígeno disuelto.

Este problema se verá acentuado si el curso de agua que recibe el líquido residual no tiene un caudal suficiente como para lograr una dilución de la contaminación.

Los sólidos presentes en el agua residual, además de contribuir a la acumulación de lodo en los cursos de agua, pueden obstruir las vías respiratorias de los peces, causándoles asfixia.

Las bacterias que se desarrollan son en su mayoría nocivas para la salud. Por otro lado el agua residual contiene otros elementos patógenos como virus, protozoarios, gusanos y otros seres que degradan sanitariamente el curso de agua, provocando enfermedades de diverso tipo.

La cantidad de microorganismos y por lo tanto la cantidad de oxígeno que van a requerir, dependerá de la cantidad de alimento que dispongan.

Los cursos de agua, en contrapartida, van absorbiendo oxígeno principalmente del aire y de las algas, lo que hace que si el curso de agua es suficientemente largo y caudaloso, y la autodepuración se completa se tendrá un agua depurada. El problema que existe es que en el trecho de curso de agua comprendido entre la descarga del agua residual y el lugar donde se completa la autodepuración no se tendrán condiciones aceptables del punto de vista ambiental, ocasionando perjuicios en esta parte del curso, principalmente en la zona de descarga.

Para solucionar esto es que se plantea construir una planta de tratamiento de líquidos residuales. La sigla que la identifica es **PTAR**.

En ella lo que se trata de hacer es que los procesos naturales se produzcan lo mejor posible bajo condiciones controladas, de manera de reproducirlos y de esa manera a la salida de la planta se tengan condiciones aceptables. En la planta se facilitan los desarrollos de microorganismos, dándoles el oxígeno que necesitan mediante aireadores, y poniéndolos en contacto con el alimento que viene en el agua residual.

El agua que sale de la planta, además de contar con pocos elementos flotantes y en suspensión, queda con una cantidad reducida de alimentos disueltos, lo cual evita un desarrollo importante de microorganismos en el curso de agua.

De lo anterior se deduce que para eliminar cualquier agresión al curso de agua que recibe el agua residual debemos oxidar la materia orgánica antes del lanzamiento.

¿Qué es la DBO?

La Demanda Biológica de Oxígeno es un test estandarizado que mide la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos puedan alimentarse de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Pero por más que lo que mide es oxígeno, lo que expresa realmente es la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua.

Como hay un consumo de oxígeno, a ese proceso de alimentación se le llama oxidación biológica. Se expresa en mg/l, miligramos de oxígeno consumido por los microorganismos por cada litro de agua residual. De esa manera podemos determinar qué cantidad de materia orgánica tenemos en el agua residual, por el procedimiento indirecto de la medición del oxígeno consumido por los microorganismos para alimentarse de esa materia orgánica.

Medir materia orgánica directamente es un proceso muy difícil. Sin embargo es muy fácil la medición del oxígeno. Si se puede asociar una cosa con la otra, se podría entonces expresar la orgánica a partir de la medida directa del oxígeno disuelto.

Si una determinada agua posee por ejemplo 300 mg/l de DBO significa que posee una determinada cantidad de materia orgánica tal que para que sea consumida por los microorganismos, en determinado tiempo, ellos deben consumir en su respiración 300 mg de oxígeno por cada litro de agua residual. En definitiva es una medición de la materia orgánica indirectamente a través del consumo de oxígeno para oxidarla.

Si a un río se lanzan aguas residuales conteniendo material orgánico, los microorganismos presentes en la naturaleza, y por consiguiente también en el río, se desarrollarán muy rápidamente pues tienen muchísimo alimento. Estos microorganismos, para crecer y desplazarse necesitan

La DBO es una medición de la materia orgánica indirectamente a través del consumo de oxígeno para oxidarla.

energía, la cual la obtienen del alimento. Ellos, al igual que nosotros, necesitan respirar oxígeno para vivir, y al haber un crecimiento acelerado del número de microorganismos, también crecerá aceleradamente el consumo de oxígeno disuelto presente en el agua.

Así, en este ejemplo, el nivel de oxígeno disuelto (OD) en el río disminuirá, pudiendo llegar a valores cercanos a cero, con los perjuicios antes indicados.

Se dijo que la determinación de la DBO era un test estandarizado. Se realiza durante un período de 5 días a 20 ° C. Se determina de esa forma la cantidad de materia orgánica biodegradable, es decir que puede ser depurada biológicamente.

Cuando nosotros al agua residual le colocamos un producto químico que reacciona con la materia orgánica, se obtiene no una oxidación biológica de la materia orgánica, sino que se tiene una oxidación química. Si expresamos la cantidad de oxidante consumido en su equivalente en oxígeno se tiene la DQO expresada en mg/l. De esa manera no se va a tener idea de la materia orgánica biodegradable, sino que lo que mide es la materia orgánica en total, sea biodegradable o no. Para ello existe otro test llamado DQO o demanda química de oxígeno que es el consumo de oxígeno para oxidar químicamente la materia orgánica presente en el agua residual. Este proceso es mucho más rápido que la DBO, haciéndose en cuestión de horas.

En un líquido residual doméstico se cumple que la DBO es aproximadamente la mitad de la DQO. Es decir que la materia orgánica biodegradable es aproximadamente la mitad de la materia orgánica total. Si ello no se cumple significa que el líquido residual no es puramente doméstico, existiendo el vertido de otras sustancias. Debido a la rapidez en la determinación de la DQO y a la relación que existe con la DBO, es práctico estudiar la DQO y de vez en cuando medir la DBO para confirmar la relación entre ambas.

Descripción del ciclo de una Planta de Tratamiento

Distintos procesos se pueden realizar para el tratamiento del agua residual, en función de la exigencia requerida para ese tratamiento. Como clasificación general, se plantean 3 tipos de tratamiento:

- Tratamiento Primario
- Tratamiento Secundario
- Tratamiento Terciario

En Tratamiento Primario, lo que se busca es la reducción de sólidos, cuando esos sólidos no son resultado de procesos biológicos. Ejemplos de ello son los sedimentadores primarios, los tanques Imhoff, los desarenadores, etc. Estos tratamientos primarios pueden incluir el agregado de elementos químicos como ayudante a la remoción de estos sólidos.

El Tratamiento Secundario comprende todos los procesos en que lo que se busca es la reducción de materia orgánica del agua residual. Esta reducción de materia orgánica se realiza en forma biológica por medio de bacterias.

En referencia al Tratamiento Terciario, su finalidad es la reducción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, del agua residual. Esa reducción puede ser realizada por procesos biológicos o por procesos químicos. Nitrificación con Desnitrificación en el primer caso, coagulación química en el segundo.

Anteriormente se llamaban procesos primarios a los procesos físicos, procesos secundarios a los biológicos, y terciarios a los químicos. Como se ha visto, pueden haber elementos químicos o no en reducción de sólidos, como también procesos biológicos o químicos en reducción de nutrientes. Por ello, desde hace muchos años la clasificación se ha cambiado a la forma en que se mostró, para clasificar los procesos en relación al objetivo a alcanzar y no en relación a con qué tipo de procesos se logran dichos objetivos, quedando entonces:

Primarios = reducción de sólidos del agua residual

Secundarios = reducción de materia orgánica del agua residual

Terciarios = reducción de nutrientes del agua residual

Donde más clara es la clasificación es en los procesos secundarios, donde por tratamientos biológicos se pretende lograr la depuración del agua residual. Este tratamiento biológico se realiza por medio de microorganismos (bacterias). En general, según las características de las condiciones de trabajo de estos microorganismos se tendrán procesos aerobios, anóxicos y anaerobios.

La ausencia de oxígeno en el proceso, o la presencia de él en sus diferentes variantes, determinan qué tipo de tratamiento biológico es el actuante.

- Cuando en el proceso se cuenta con oxígeno libre disuelto en el agua, las bacterias lo respiran y a ese proceso se le llama proceso aerobio.
- Cuando el oxígeno libre no se encuentra presente pero sí hay oxígeno combinado con otros elementos, como por ejemplo junto al nitrógeno formando nitratos, y hay bacterias que pueden respirar esos nitratos, el proceso se llama proceso anóxico.
- Cuando no se cuenta con oxígeno libre ni oxígeno combinado en el agua, se desarrollarán bacterias anaerobias, para las cuales el oxígeno es un veneno. El proceso de depuración se llamará proceso anaerobio.

Como ejemplos de procesos anaerobios que tenemos en nuestro país se pueden nombrar: lagunas anaerobias y reactores UASB como el de Pando.

Como procesos aerobios se tienen las lagunas facultativas, las lagunas aireadas, los lechos percoladores y los procesos de lodos activados.

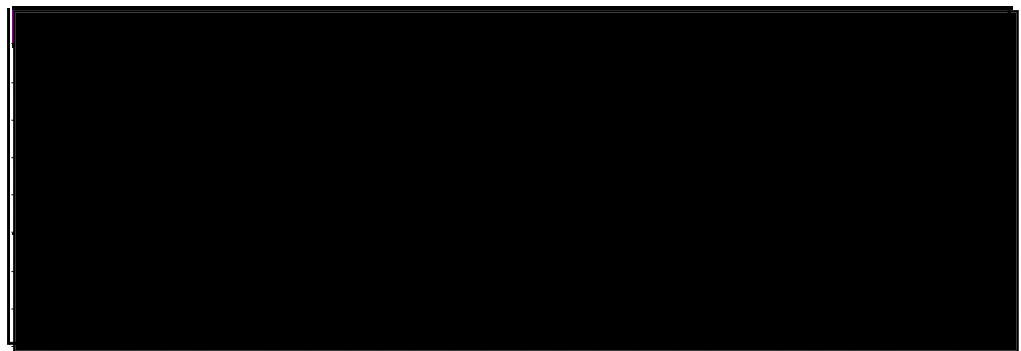
Procesos anóxicos se encuentran en plantas de lodos activados.

En todo proceso biológico, en la cual intervienen bacterias, va a haber un crecimiento del número de estas bacterias como consecuencia que se están alimentando. Ellas se desarrollan y reproducen y en conjunto se forma lo que se llama lodo de una planta de tratamiento. El lodo es el conjunto de sólidos dentro de una planta de tratamiento, entre los cuales se encuentra la masa de bacterias que realizan el proceso de depuración.

Para que haya un proceso anóxico, se tienen que cumplir condiciones aerobias en alguna otra etapa y el proceso anóxico es entonces consecuencia del aerobio, por lo cual vamos a comparar directamente procesos aerobios y anaerobios.

En líneas generales ellos tienen puntos a favor y en contra. Podemos citar como los más importantes los siguientes:

Al proceso de adaptar las enzimas al tipo de alimento específico se llama aclimatación.



En general las bacterias aerobias se adaptan mejor a climas como el nuestro, que las anaerobias, las cuales tienen ventaja en climas más cálidos.

Un reactor es un lugar donde se producen reacciones o procesos.

En un reactor biológico se producen procesos biológicos.

Un elemento que no es menor es el arranque del proceso, es decir el poner a punto una planta de tratamiento para que el proceso biológico se establezca y funcione con un mínimo de mantenimiento. Como la velocidad del proceso anaerobio es mucho más baja que la del proceso aerobio, ello complica en gran medida a esta etapa de arranque, la cual puede demorar meses en los procesos anaerobios y semanas en uno aerobio. Como se ha visto antes, las bacterias producen enzimas para poder comer la materia orgánica. Al proceso de adaptar las enzimas al tipo de alimento específico se llama aclimatación. Ella se produce mucho más lentamente en los procesos anaerobios que en los aerobios.

También en las redes de saneamiento nuestras se observa un alto componente de agua de infiltración, el cual puede producir un lavado de los microorganismos hacia el efluente de la planta, es decir la salida, en momentos de lluvia. Si las lluvias son prolongadas, durante varios días por ejemplo, la materia orgánica llega bastante diluida, es decir que el alimento de las bacterias va a escasear, lo que puede acarrear la muerte masiva de bacterias y recuperar un reactor anaerobio es bastante más complicado que uno aerobio debido a la velocidad del proceso.

En todas las plantas de tratamiento, sean aeróbicas o anaeróbicas, vimos que se produce un aumento de la masa de bacterias al alimentarse, un aumento de la masa de lodos. Para mantener la planta en equilibrio, es decir que mantenga el contenido de lodos entre valores fijos, hay que descartar parte del lodo periódicamente. Por lo tanto las plantas de tratamiento producen un residuo llamado lodo de descarte, que hay que tratarlo, digerirlo con bacterias.

En un proceso anaerobio, el tratamiento del lodo se realiza en la misma unidad de tratamiento del agua residual. No necesitan unidades ni procesos auxiliares. En un Tanque Imhoff, en el cual el agua residual sufre un proceso solo de sedimentación, por lo cual es un proceso primario, los sólidos decantan al fondo y en ese fondo se producen procesos biológicos anaerobios de tratamiento del lodo. No deja por ello, el Tanque Imhoff, de ser un proceso primario.

En los procesos aerobios, para el lodo hay ciertas diferencias respecto a los procesos anaerobios. El lodo que se extrae, ese lodo de descarte, necesita de un tratamiento para que no sea contaminante. Se conduce ese lodo a unas unidades en que se digiere biológicamente, por procesos

similares a los que producen el tratamiento del agua residual. Esa digestión, ese tratamiento del lodo descartado, se hace en tanques anaeróbicos o aeróbicos.

El proceso de lodos activados es un proceso bastante moderno de tratamiento del agua residual. El concepto original consiste en que el agua residual pasa por tanques aerobios donde se produce la digestión aeróbica de la materia orgánica que posee el agua residual. Las bacterias que componen el lodo de estas plantas se encargan de dicho tratamiento. Pero como dijimos, esa masa de bacterias va a crecer con el tiempo y debe extraerse una parte de ese lodo periódicamente para mantener el equilibrio de sólidos de la planta. Los primeros sistemas desarrollados de lodos activados extraían dicho lodo de descarte y lo trataban en unidades separadas.

Posteriormente, con el desarrollo de la técnica, se encontró que si al lodo se lo deja más tiempo dentro de los tanques de tratamiento del agua residual, también se producía la digestión del lodo más viejo dentro de dichos tanques. De esa forma no sería necesaria la digestión por separado del lodo de descarte, simplificando entonces el proceso. Cuando se extrae el exceso de lodos, éste se encuentra entonces ya digerido y no crudo como en los procesos más antiguos.

La gran ventaja de la aireación extendida es que el lodo se digiere dentro de los mismos tanques aerobios y el lodo que se descarta ya tiene un grado de digestión y tratamiento elevado.

Entonces se separaron los conceptos de lodos activados. Al proceso original, por ser el primero en surgir, se le llamó “convencional” y al segundo, por extender el tiempo de aireación de la planta para también tratar el lodo, se le llamó “aireación extendida”. De ahí surgen las dos ramas principales de lodos activados:

1. Lodos Activados Convencional
2. Lodos Activados por Aireación Extendida

En relación a las eficiencias de estos procesos, se indica:

- En aireación extendida, la eficiencia total del proceso puede ser mayor al 95%, es decir que de cada 300 mg/l de DBO a la entrada de la planta se pueden llegar a 15 mg/l o menos a la salida.
- En aireación convencional, la eficiencia en remoción de DBO puede llegar como máximo a un 90%, por lo que de cada 300 mg/l de DBO a la entrada, 30 mg/l o más se obtendrán a la salida.

Unidades en que se divide la planta.

En las plantas de tratamiento de lodos activados tendremos dos divisiones, una llamada pretratamiento y otra que constituye el tratamiento en sí. Cada una de estas etapas está compuesta por diferentes instalaciones que llamaremos unidades.

1 - Pretratamiento

El pretratamiento consiste en procesos físicos de acondicionamiento del líquido residual para que no afecte y facilite los demás procesos de depuración.

1.1 Reja

La primer unidad que encontraremos es una reja formada por barras metálicas, cuya función es la de retener elementos mayores a la separación entre las barras de la reja. Al correr del tiempo se van depositando materiales en el lado aguas arriba de la reja, lo que tiende a obstruirla. Como consecuencia de ello el nivel de agua irá elevándose paulatinamente, por lo cual hay que realizar la limpieza diaria de la reja.

Para la limpieza pueden haber dispositivos automáticos o manuales. Entre los últimos tendremos una especie de rastrillo en el cual la separación entre sus dientes coincide con la separación entre las barras de la reja. El operario recoge el material depositado en la reja, el cual se llama material de reja, mediante el rastrillo, y lo coloca en una losa. En dicha losa el material escurre le agua durante un rato, pasado el cual hay que

colocar el material de reja ya escurrido en carretillas para llevarlo a su lugar de destino.

Un elemento a tener en cuenta es que nunca se debe forzar el material de reja a pasar por entre las barras de la reja, con lo cual se anula en parte su efectividad.

1.2 Desarenador

La función de la unidad desarenador es recolectar toda la arena y materiales de las mismas características. Ese proceso se realiza por sedimentación. Si la arena no sedimentase en esta unidad va a sedimentar en las unidades siguientes, lo cual complica enormemente el mantenimiento. Las arenas comunes tienen la particularidad que sedimentan cuando el líquido que las contiene tiene una velocidad que como máximo sea de 30 cm/s aproximadamente. Esta unidad se dimensiona entonces para que la velocidad del agua sea menor a 30 cm/s.

Pero sucede que cuando la velocidad es demasiado baja, además de sedimentar la arena, sedimentan otros elementos más livianos como ser partículas de materia orgánica. Al sedimentar la materia orgánica, se forma una película grasosa y maloliente en las paredes del desarenador, la cual hay que quitar cuando se forme.

Siempre debe disponerse de dos desarenadores como mínimo, para las tareas de mantenimiento, cuando es de accionamiento manual. El mantenimiento del desarenador es, además de observar si se forma costra de materia orgánica en las paredes, recolectar en forma periódica la arena depositada en el fondo. Para tal fin se cierra la compuerta de entrada a uno de los desarenadores, con lo cual sale el agua por el fondo y deja al descubierto la arena depositada. Dicha arena se recolecta mediante recipientes adecuados y se la vierte en carretillas o en baldes altos para llevarla a su lugar de destino. Una vez limpio un desarenador se abre la compuerta de entrada del mismo y se repite el proceso de limpieza con el otro desarenador.

También existen desarenadores mecanizados, para las plantas más grandes. Ellos tienen una forma cuadrada, donde en realidad el fondo es circular. Sedimenta la arena pero para extraerla un barredor la mueve hacia afuera, donde cae en un sobre fondo, del cual un tornillo mecanizado la levanta y conduce hacia una tolva. De ella la arena cae a un recipiente.

2 - Tratamiento de la fase líquida

El tratamiento en sí está formado por distintas unidades, a saber:

- Reactor Aerobio o Tanque de Aireación
- Sedimentadores secundarios
- Desinfección del efluente

2.1 Reactor Aerobio o Tanque de Aireación

Los reactores aerobios también se llaman tanques de aireación. Pueden ser tanques con aireadores flotantes superiores, con aireadores fijos superiores, con suministro de aire por debajo o ser zanjas de oxidación.

Los tanques de aireación son el corazón del proceso. En ellos se tendrán que crear las condiciones controladas para que el proceso biológico sea lo más eficiente posible.

Una de las condiciones para que la eficiencia se produzca es que cuando se tiene más de un reactor aerobio el líquido de entrada se reparta en forma equitativa entre ellos. El caudal, es decir la cantidad de agua que ingresa en un tiempo determinado, debe ser el mismo para todos los tanques, o bastante similar.

Para conseguir esto es que se construyen cámaras de alojamiento de vertederos. En general estos vertederos son triangulares pues son los que más fácilmente cumplen el cometido de división de caudales. La punta

inferior del triángulo se le llama vértice. Pero para que este reparto de caudales sea igualitario, debe cuidarse no solo la forma en que el flujo ingresa a la cámara, sino también que los vértices de los vertederos estén exactamente a la misma altura.

Para los procesos de tratamiento se analizan diferentes parámetros con los que se controlan.

2.1.1 Relación Alimento – Microorganismos

Se habló anteriormente que había una clasificación general que dividía los procesos de lodos activados en dos grupos: de Aireación Extendida y de Aireación convencional

El que sea aireación extendida o convencional lo va a determinar en realidad la relación que existe entre el alimento ingresado al tratamiento y la población de microorganismos para digerirlo, para consumirlo.

Esta relación se denomina **F/M** y debe estar comprendida entre los siguientes valores:

- Para Aireación Extendida entre 0.05 y 0.15 Kg de materia orgánica ingresada por día por cada Kg de microorganismos presente en el proceso.
- Para Aireación Convencional entre 0.20 y 0.40 Kg de materia orgánica ingresada por día por cada Kg de microorganismos presente en el proceso.

$$F/M = \frac{\text{comida ingresando por día}}{\text{masa bacterias}}$$

A diferentes relaciones F/M se van a desarrollar diferentes tipos de bacterias:

OPERACIÓN LODOS ACTIVADOS

- Más activas las de aireación convencional, pues consumen más alimento cada una (F/M alta) , proporcionando
 - un rápido tratamiento de la materia orgánica biodegradable del agua residual
 - aunque dejando un remanente de esta materia orgánica,
 - consumiendo exclusivamente la materia orgánica entrante
 - originando un lodo de descarte aún no digerido.
- Menos activas las de aireación extendida, consumiendo menos alimento cada una (F/M baja),
 - como tienen hambre consume totalmente la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual
 - no dejan prácticamente remanente de materia orgánica biodegradable
 - consumiendo no solo la materia orgánica entrante sino que además van transformando y eliminando nutrientes
 - produciendo un lodo de descarte con alto grado de tratamiento pues al ser bacterias que pasan hambre, se consumen también entre ellas.

2.1.2 Tiempo de Retención Hidráulico

Repartido el caudal de entrada, entra el agua a los tanques de aireación. Estadísticamente una gota de agua debe permanecer dentro del tanque un tiempo de aproximadamente:

- un día en aireación extendida
- algunas horas en aireación convencional.

Durante ese tiempo las bacterias que se encuentran en los reactores deben depurar esta gota de agua.

2.1.3 Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

A la comunidad de bacterias que tenemos en los reactores la podemos considerar también como una especie de sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, es decir que no se van hacia el fondo, no sedimentan si se los agitan adecuadamente. Son sólidos vivos que llamamos **Sólidos Suspendidos Volátiles**. La materia orgánica que ingresa al reactor aerobio es consumida por las bacterias, es decir por los sólidos suspendidos volátiles. La bacteria se alimenta de dicha materia orgánica y esa materia orgánica pasa a formar parte de la bacteria, la cual luego se reproduce formando más bacterias, pero la materia orgánica originaria en sí ya no se encuentra más. La masa de materia orgánica se transformó, una parte, en masa de bacterias, es decir que se transformó en sólidos suspendidos volátiles. Otra parte de la materia orgánica consumida se transforma en energía vital para la célula.



En ese proceso, se perdió parte de la materia orgánica, bajo la forma de energía.

Los sólidos suspendidos volátiles son orgánicos, por lo tanto son materia orgánica y son consumidos por otras bacterias. En ese proceso también se perderá parte de dicha materia orgánica como energía. Así sucesivamente hasta que los sólidos suspendidos volátiles se reducen a la mínima expresión, formando un residuo mineralizado, muerto.

2.1.4 Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)

Dijimos que los sólidos suspendidos volátiles eran las bacterias. Pero además hay otros sólidos que no son bacterias y que también permanecen en suspensión. Son los **Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)**.

A la suma de los volátiles y los fijos se le llama **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**.

$$SST = SSV + SSF$$

Esos Sólidos Suspendidos Fijos son del orden del 25% de los Sólidos Suspendidos Totales, por lo que los Sólidos Suspendidos Volátiles representan los otros 75% de los Totales.

$$SSF = 0.25 \times SST$$

$$SSV = 0.75 \times SST$$

En ciertos libros se le llama a los volátiles **X_v** y a los totales se les llama **X**.

Pero representan lo mismo

$$X_v = SSV$$

$$X = SST$$

En aireación extendida, el valor de SST (o de X) se encuentra normalmente entre 3000 y 6000 mg/l (en un litro de agua hay entre 3000 y 6000 miligramos de sólidos)

En aireación convencional, SST está entre 1500 y 3000 mg/l

2.1.5 Edad del Lodo (EL)

Una característica de estos sistemas de lodos activados es que las bacterias no permanezcan dentro de los tanques de aireación un tiempo igual al que permanece el agua, o sea el Tiempo de Retención Hidráulico, sino un tiempo mucho más prolongado, del orden de los 20 a 40 días en

aireación extendida y cerca de una semana en convencional. Cómo lograr ello se verá más adelante. A ese tiempo de permanencia de las bacterias se le llama **Edad del Lodo** o **Tiempo de Retención Celular**.

Pero, ¿qué es entonces el lodo? El lodo no es más que materia celular (bacterias, protozoarios, etcétera) que se desarrollan en los reactores, junto con otros sólidos inertes. Los animalitos que se encuentran en estos tanques y consumen la materia orgánica, cuando son jóvenes tienen mucha movilidad. A medida que envejecen van perdiendo esta movilidad, se van haciendo más lentos y se van a ir adhiriendo, es decir pegando, unos a otros. En ese proceso van a formar granos de células o flóculos de movilidad cada vez menor y que tienden a sedimentar. Por ello la importancia de la agitación provocada por los aireadores. Es decir que el lodo no es más que animales bien nutridos.

Se ha visto que los microorganismos producen enzimas para poder consumir la materia orgánica disuelta. Para dichos microorganismos la elección de qué enzimas producir es una tarea que lleva su tiempo. A ese período se le llama aclimatación y es una de las etapas más delicadas. Ciertos factores como la temperatura, el pH y los metales pesados fuera de los rangos de eficiencia del proceso interfieren con las enzimas, pudiendo en algunos casos anularlas por completo. Por ello es que hay que controlar cada poco tiempo estos factores.

2.1.6 Inventario de Lodos

Se debe tener idea de la cantidad de lodo presente en el proceso. Ese lodo se va a encontrar suspendido en los tanques de aireación y sedimentado en lo profundo de los sedimentadores.

$$\text{Inventario de lodos} = \frac{V_{TA} * SST_{TA} + V_{L.SED} * SST_{L.SED}}{1000}$$

V_{TA} = Volumen de tanques de aireación

SST_{TA} = Sólidos suspendidos totales en tanques de aireación

$V_{L.SED}$ = Volumen de tanques de aireación

$SST_{L.SED}$ = Sólidos suspendidos totales en tanques de aireación

2.2 Sedimentadores Secundarios

El efluente de los tanques de aireación pasa a lo que se llama sedimentadores secundarios, cuya misión es separar los flóculos de bacterias del agua residual. Separa el lodo del agua residual. De esa manera se tiene un efluente clarificado del sedimentador.

Se llama sedimentador secundario porque en él lo que decanta es el lodo biológico, producto de un proceso biológico o secundario según la primer clasificación mostrada.

El lodo, al estar en un ambiente sin agitación y dimensionado para que ocurra la sedimentación, va a depositarse en el fondo de estos sedimentadores. A ese lodo sedimentado debemos devolverlo a los reactores para que siga actuando y consumiendo más materia orgánica. A ese transporte se llama recirculación.

Con la recirculación se logra que aunque el agua permanece un cierto tiempo dentro de los tanques de aireación, las bacterias permanecen un tiempo mucho mayor pues las estamos continuamente devolviendo a esos tanques.

Este ciclo de pasaje del efluente de los reactores hacia los sedimentadores y la posterior recirculación del lodo impone un bombeo del lodo de los sedimentadores al proceso aerobio. Es conveniente que la recirculación del lodo se realice hacia las cámaras de repartición de caudales, de tal manera de mezclar perfectamente el lodo recirculado con el líquido entrante, el cual se dirige a los tanques de aireación. Ello además es muy bueno del punto de vista del tratamiento, pues el lodo de bacterias se encuentra con comida fresca, lo cual dinamiza el proceso.

Uno de los factores esenciales a tener en cuenta es la zona de salida de los sedimentadores. Se realiza mediante vertederos. Si estos vertederos no se encuentran con sus vértices perfectamente a la misma altura va a suceder que existirán zonas por las cuales se va a ir gran parte del efluente, mientras en otras zonas el porcentaje del efluente que pasa será bajo, lo cual trae como consecuencia la aparición de corrientes de agua que arrastrarán los flóculos de lodo hacia la salida, lo cual no es deseado.

Otra cosa a tener en cuenta en los vertederos es la salida de materiales flotantes. En un sedimentador siempre se van a producir materiales flotantes, los cuales serán arrastrados hacia los vertederos de salida. Ello tiene como consecuencia dos efectos: la salida de flotantes hacia el efluente y la obstrucción de parte de los vertederos. Se soluciona esto colocando una pantalla semisumergida antes de los vertederos para retener este material flotante, el cual hay que retirarlo especialmente.

2.3 Desinfección

La desinfección es la última etapa de tratamiento del agua residual. En la misma se tienen muchos elementos que pueden causar enfermedades, como ser bacterias, virus, protozoarios, etcétera.

En el efluente de este tipo de plantas queda buena parte de estos gérmenes sin remover, por lo cual hay que eliminarlos y para eso se utilizan unidades de desinfección. Pueden ser a base de cloración, de radiación ultravioleta o el uso de ozono.

3 - Tratamiento de la fase sólida

Vemos que el lodo es recirculado a los reactores aerobios. Pero esto hace que se vaya acumulando lodo en estos tanques pues por el propio metabolismo las bacterias se van reproduciendo y aumentando entonces la masa total de bacterias del sistema. La concentración de lodo en los reactores debe encontrarse entre valores adecuados para optimizar el proceso. Para mantener un equilibrio y no sobrepasar los valores ideales debemos descartar cada cierto tiempo una parte del lodo mediante bombeo.

Ahora, ¿cuánto lodo se descarta?

Si por ejemplo queremos que la edad del lodo en los reactores sea de 30 días, queremos decir que cada 30 días se debe renovar toda la población

de microorganismos presente en ellos. Siguiendo con el mismo ejemplo, si en el sistema se tienen 3000 Kg de sólidos suspendidos y hay que renovarlos totalmente en 30 días, significa que por día tengo que descartar $1/30$ de los 3000 Kg, o sea 100 Kg/d.

Y ese es el razonamiento: dividiendo la cantidad en Kg de sólidos suspendidos volátiles que se tienen en los tanques sobre la cantidad de días que establecemos para la edad del lodo se tienen los Kg por día de lodo a descartar.

3.1 Deshidratación de lodos

El lodo de descarte posee un alto componente de agua, por lo cual hay que reducir este contenido de agua para disminuir el volumen de lodo y poder transportar y disponer la parte sólida con mayor facilidad.

Para lograr esa reducción de agua, se emplean métodos de deshidratación, entre los que se encuentran:

- Lechos de secado
- Filtros de bandas
- Centrífugas

3.1.1 Lechos de secado

Los lechos de secado están formados por unas capas de materiales filtrantes, formadas desde arriba hacia abajo por arena, grava fina, grava gruesa, etcétera, terminando generalmente en drenes tubulares a junta abierta. Por encima de la capa de arena se coloca una capa de ladrillo para que la arena no se pierda con el lodo, al mismo tiempo que el lodo seco se pueda separar bien mediante el uso de palas.

Las descargas de lodo hacia los lechos debe ser tal que no se superen los 25 cm de profundidad de lodo.

El proceso de lechos de secado permite el filtrado del agua por sus drenes, y evaporación, quedando como resultado un lodo seco que se resquebraja y se retira mediante palas.

Cuando el lodo no está bien digerido, es decir que a los lechos de secado enviamos lodo demasiado fresco van a proliferar moscas. Ello se produce cuando la edad del lodo es relativamente baja.

El agua que se obtiene del drenaje de los lechos se la hace volver al inicio de la planta.

3.1.2 Filtros de banda

Los filtros de banda son unidades mecanizadas en las que el lodo a deshidratar se lo mezcla primero con polímeros y luego se lo hace pasar por entre dos bandas filtrantes que son fuertemente presionadas por rodillos.

Estos rodillos, al hacer presión a las bandas, aplastan el lodo entre ellas, por lo que el agua se escapa, al igual que en una esponja mojada al presionarla pierde agua.

Los polímeros ayudan a adherir mejor los sólidos entre sí, por lo cual hacen que al presionar los rodillos, se pierda solo agua y no sólidos. Aunque no existe el filtro de banda perfecto, pues siempre un pequeño porcentaje de estos sólidos se va con el agua de deshidratado.

Lo mismo que con los lechos de secado, el agua de deshidratado vuelve al proceso.

3.1.3 Centrífugas

Las centrífugas son otro tipo de unidades mecanizadas de deshidratación del lodo en las cuales, al igual que con los filtros de banda, se le agregan polímeros al lodo. Este lodo entra a una unidad rotatoria que mediante la fuerza centrífuga produce la deshidratación, de la misma forma que una lavadora extrae el agua de la ropa ya lavada por centrifugación.

Tampoco son perfectas y el agua de deshidratado mantiene una pequeña cantidad de sólidos.

Al igual que con los lechos de secado y los filtros de banda, el agua de deshidratado vuelve al proceso.

3.2 Higienización de lodos

El lodo deshidratado que sale de una planta de tratamiento no es un producto sanitariamente bueno. Posee aún un conjunto de organismos patógenos que puede producir enfermedades. Si se envía este lodo así a un vertedero municipal o a un relleno sanitario municipal, no hay mayor problema. Es más, favorece los procesos de tratamiento que estas instalaciones municipales realiza a la basura.

Si se quiere reducir los patógenos a efectos de no enviar los lodos deshidratados a un relleno sanitario sino que emplearlos como mejoradores de suelos o directamente en la agricultura, hay que entonces trabajar aún más en ellos.

3.2.1 Mezcla con Cal

Uno de los procesos de tratamiento de los lodos deshidratados es la **mezcla con cal**. Es un proceso sucio y que aumenta el volumen de lodos del orden de un 30%.

3.2.2 Compostaje

Otro de los procesos es el **compostaje**. En este proceso, se mezcla el lodo deshidratado junto con otro material externo rico en carbono, se lo mantiene aireado mediante aireadores inferiores o mediante el continuo movimiento con palas. Se producen entonces bacterias compostadoras aerobias que van digiriendo parte del lodo y matando patógenos.

3.2.3 Vermicompostaje

Un caso particular de compostaje es el **vermicompostaje** o **compostaje por lombrices**. Se agrega al lodo deshidratado un conjunto de Lombrices Californianas que van consumiendo el lodo, digiriendo los patógenos y además dejan que aparezcan también las bacterias compostadoras del anterior proceso. A diferencia del compostaje puro, no se necesita el agregado de material extra ni tampoco airearlo mecánicamente ni mediante volteos. Las lombrices producen los canales necesarios dentro del lodo para que éste permanezca aireado. Al final del proceso las lombrices migran a lodo más fresco, por lo cual tampoco hay que agregar nuevas lombrices al lodo fresco.

El producto final es lo que se le llama humus de lombriz.

3.2.4 Landfarming

Existen bacterias formadoras de suelo que se pueden desarrollar en sistemas controlados, donde se deposita el lodo y se produce dicho tratamiento. Posee el inconveniente que requieren bastante área en comparación con los otros procesos.

4 - Resumen de Parámetros para Lodos Activados

Parámetros para Aireación Extendida

Nombre	Abreviación	Rango	Unidad
Alimento / Microorganismos	F/M	0,05 a 0,15	Kg(mat.org) / Kg(SSV) / d
Tiempo de retención hidráulico	♦	18 a 36	horas
Tiempo de retención celular	♦c	20 a 30	días
Carga volumétrica	C	0,1 a 0,4	Kg/m3/d
Factor de recirculación	R	75% a 150%	
Sólidos suspendidos totales	X	3000 a 6000	mg/l

Parámetros para Aireación Convencional

OPERACIÓN LODOS ACTIVADOS

Nombre	Abreviación	Rango	Unidad
Alimento / Microorganismos	F/M	0,2 a 0,4	Kg(mat.org) / Kg(SSV) / d
Tiempo de retención hidráulico	♦	4 a 8	horas
Tiempo de retención celular	♦c	5 a 15	días
Carga volumétrica	C	0,3 a 0,6	Kg/m3/d
Factor de recirculación	R	25% a 50%	
Sólidos suspendidos totales	X	1500 a 3000	mg/l

Aireación y tipos de aireadores

Como se ha visto anteriormente las bacterias aerobias necesitan oxígeno para vivir, el cual se consume muy rápidamente dentro de los reactores. Entonces no tenemos más remedio que introducir oxígeno en el agua. Para introducir oxígeno lo que se hace es introducir aire, y el oxígeno pasa del aire al agua.

La entrada de aire se realiza mediante dispositivos mecánicos llamados aireadores. Existen varios tipos de aireadores, siendo éste un campo en el que se ha avanzado mucho en las últimas décadas. Los hay:

- superficiales de eje vertical sean flotantes o fijos,
- superficiales de eje horizontal (cepillos),
- aireadores externos (soplantes) que conducen el aire por tuberías y se difunden a través del fondo de los reactores por intermedio de difusores.

Para explicar el proceso de aireación veamos un ejemplo. En una gaseosa el gas que contiene está concentrado, en una concentración mayor que la que existe en el aire. La naturaleza procura igualar las concentraciones de gases, por lo cual el gas de la gaseosa se desprende en forma de burbujas y se escapa al aire. Cuanto mayor es el tiempo que dejamos la gaseosa en un vaso más gas se perderá a la atmósfera. En la aireación pasa lo mismo pero en sentido inverso. En la gota de agua que vuela por los aires tendremos una concentración de oxígeno disuelto muchísimo menor que la que debería tener para la temperatura del agua, por lo cual el aire intentará entrar a la gota de agua, y esa aireación será mayor cuanto mayor sea el tiempo en que la gota vuela por el aire. Finalmente, la gota ya aireada choca con la superficie del agua provocando un boquete que se cierra formando una burbuja que penetra unos centímetros en el agua

ayudando a la aireación de la capa superior del agua en el tanque de aireación.

Otro factor a tener en cuenta es que el aireador debe provocar también el movimiento y la mezcla del agua para que no se produzcan sedimentaciones y las bacterias junto con su alimento estén lo mejor distribuidas.

Hay que tener en cuenta cuánta aireación se le da al agua residual de los tanques de aireación. Ya se vio que el oxígeno disuelto se mide en miligramos por litro. El contenido de oxígeno disuelto en los reactores debe estar entre 1 y 3 mg/l. Si el valor baja de los 1 mg/l se tendrá déficit de oxígeno y las bacterias morirán. Si sobrepasa en mucho los 3 mg/l se dan condiciones inapropiadas para el tratamiento, además de un consumo excesivo de energía.

Problemas que pueden surgir en una planta de este tipo y sus soluciones.

En una planta de aireación pueden producirse una serie de problemas que tienden a solucionarse con alteraciones en la operación.

Primariamente tendremos que tener presente cinco reglas de oro para la operación:

1. Nunca intente corregir un problema, a no ser que se esté seguro que el problema no causará alteraciones indeseables en la calidad del efluente final. Si el proceso está bien no cambie por cambiarlo.
2. Aplique las acciones correctoras de a una por vez, evitando confundir los efectos de alteraciones múltiples.
3. Algunas acciones correctoras a veces producen resultados inmediatos. Sin embargo, otras demandan varios días (aproximándose a una edad del lodo). Mientras más fuerte sea el remedio, para su aplicación se requerirá una experiencia y un razonamiento acorde al mismo.
4. El lodo viejo es liviano y tiende a flotar, por lo cual hay que controlar la edad el lodo
5. Cualquier alteración operacional (incrementos o disminuciones) deberán ser aplicados con variaciones

máximas de 10% al día. En casos de estaciones sujetas a fuertes alteraciones de carga se admite un 20% al día.

1 Problemas en el tanque de aireación

La mezcla líquida debe ser aireada, manteniéndose el nivel de oxígeno disuelto entre 1 y 3 mg/l , de tal manera que los microorganismos aeróbicos tengan suficiente oxígeno para mantenerse activos. Por otro lado la mezcla líquida debe ser agitada continuamente para posibilitar un perfecto contacto de los microorganismos con la materia orgánica.

1.1 Deficiencia de oxígeno

Hay que medir periódicamente el nivel de oxígeno disuelto en los reactores, y de vez en cuando medirlo a distintas profundidades, con tomadores de muestras especiales.

Las principales causas de la deficiencia de oxígeno son:

- aireadores mecánicos con sumergencia insuficiente, es decir que no están lo suficientemente sumergidos
- aireadores con bajo caudal de aire
- aireadores subdimensionados
- cortes en el suministro de energía

Las correcciones son las siguientes:

1. Aumentar el caudal de aire.
2. Verificar si no hay adherencias y obstrucciones en el aireador.

3. Si los cortes de energía son frecuentes y prolongados, estudiar la implantación de un generador eléctrico.

1.2 Pérdida de aire

Los difusores pueden tener defectos, lo que ocasiona pérdidas de aire en caudales importantes, lo que ocasiona una menor distribución de aire para el resto. Ello se evidencia con un burbujeo más importante en un sector que en otro.

Para corroborar este fenómeno, se procede de la siguiente manera:

1. Cerrar la válvula que alimenta a la parrilla en donde suponemos que existe el problema
2. Hay que ir abriéndola muy de a poco
3. Donde comienza a verse un burbujeo, es donde se encuentra el difusor averiado. Identificar ese difusor.
4. Abrir un poco más la válvula de alimentación
5. Si aparece otro difusor sospechoso, también identificarlo
6. Al aparecer en toda la superficie el burbujeo, se culmina el proceso de identificación
7. Evaluados los sectores de pérdidas, hay que vaciar el tanque para sustituirlos.

1.3 Mezcla inadecuada

El bajo caudal de aire de los aireadores puede ocasionar, además de la falta de oxígeno, la mezcla inadecuada.

Empleándose tomadores de muestras de profundidad podremos, en algunos casos, identificar zonas de sedimentación.

Las medidas correctivas son similares a las de la deficiencia de oxígeno:

1. Aumentar el caudal de aire.
2. Probar las otras medidas presentadas en el ítem anterior.

1.4 Turbulencia elevada

La turbulencia elevada puede ocasionar la destrucción del flóculo biológico.

Disminuya el caudal de aire, constatando siempre si no estaremos con esa medida perjudicando la aireación.

1.5 Olas

En las zanjas de oxidación que son uno de los procesos de aireación extendida, se pueden producir olas. Se sabe que existen una serie de factores que influyen en esto:

- Viscosidad de la mezcla líquida
- Formato del estanque de aireación
- Densidad de potencia

Generalmente las olas se producen en sistemas de aireación mecánica como los de cepillo.

La operación se vuelve imposible pues a veces los rotores se encuentran girando en vacío, e instantes después muy ahogados, produciendo sobrecargas muy elevadas al motor y choques indeseables en la caja reductora. Frecuentemente el relé térmico falla.

La única solución consiste en la aplicación de rompeolas, que pueden ser hechos con placas de madera de 90 o 120 cm de ancho, formando un

plano horizontal y aplicadas en el lateral del estanque, hundidas 30 cm, en el lugar donde se forman las olas. El largo de las placas varía de 3 a 4 m.

Hay que desconectar los aireadores durante el tiempo suficiente para alcanzar el reposo, es decir que se forme un espejo de agua. Conéctelos y observe atentamente los puntos en los cuales las olas empiezan a formarse. Márquelos e instale los rompeolas.

1.6 Espuma

La presencia de espuma en el estanque de aireación es normal en este tipo de procesos. Generalmente en una estación bien operada, se identifica de un 10% a un 25% de la superficie recubierta con una espuma blanca cuyo espesor varía de 5 a 10 cm y que se puede ver en algún momento del día pero tiende a desaparecer rápidamente.

En ciertas condiciones operacionales la espuma puede ser excesiva, perjudicando la operación.

La espuma excesiva puede ser transportada por el viento y depositada fuera de los reactores, ocasionando condiciones de trabajo peligrosas. Además de la apariencia desagradable, pueden causar olor y transportar microorganismos patógenos.

Hay tres tipos de espumas:

- espuma blanca
- espuma color café
- espuma negra

1.6.1 Espuma blanca

La espuma blanca indica un lodo joven, que se encuentra en plantas que recién comienzan a operar, o están con problemas de sobrecarga. En estas condiciones los sólidos suspendidos totales representan un valor muy bajo y la relación F/M es elevada. Los sólidos suspendidos totales

(SST) son todos los sólidos que se encuentran en el agua residual. Los sólidos suspendidos volátiles que vimos antes son una parte de los sólidos suspendidos totales.

En este caso la espuma consiste en detergentes o proteínas que no pueden ser convertidos en alimentos para bacterias para un valor de F/M elevado.

Las probables causas de las espumas blancas son las siguientes

1. El lodo que se encuentra en el sedimentador no está siendo recirculado a los tanques de aireación.
2. Bajo valor de sólidos suspendidos totales en la etapa de arranque.
3. Bajo valor de sólidos suspendidos totales producido por un excesivo descarte de lodos.
4. Carga orgánica elevada. La carga orgánica es la cantidad de materia orgánica que ingresa diariamente a la planta. Se expresa en Kg/día. Esta carga orgánica puede ser elevada, lo que sucede después de un período de carga reducida, como por ejemplo los fines de semana.
5. Presencia de condiciones desfavorables como ser inhibidores, pH fuera del rango, baja concentración de oxígeno disuelto y deficiencia de nutrientes.
6. Pérdida de lodo por el sedimentador.
7. Caudal de entrada muy alto, causando un lavado del sistema.

Podrán aplicarse las siguientes medidas:

1. Constatar si el lodo está siendo recirculado correctamente. Mantener en el sedimentador secundario una capa de lodo de entre 30 cm a 90 cm de espesor a partir del fondo.
2. Reducir el descarte de lodo.

3. Comparar todos los registros de lodos, con relación a las espumas.
4. Aumentar el valor de sólidos suspendidos totales SST agregando lodo biológico traído de otra estación de depuración aerobia perfectamente equilibrada.
5. Emplear un rociado de la espuma.
6. Emplear antiespumantes.

1.6.2 Espuma color café

Este tipo de espumas ocurre cuando las plantas están siendo operadas en cargas reducidas.

Cuando la carga orgánica es reducida la aireación puede ser excesiva. Y cuando la aireación es excesiva se desarrollan bacterias nitrificantes que producen nitrificación. Esta espuma de nitrificación es la de color café.

Hay una especie de microorganismos en forma de filamentos, llamados bacterias filamentosas, que van a la superficie y forman una espuma color café oscuro con aspecto grasoso.

Una espuma densa de color café negruzco indica lodo viejo.

Las probables causas son:

1. F/M reducido.
2. Elevado SST como resultado de descarte insuficiente de lodo.
3. Inventario de lodo inadecuado.

Soluciones:

1. Aumentar gradualmente le descarte de lodo con el objetivo de aumentar el valor F/M
2. Si se encuentran microorganismos filamentosos aplicar lo que se indica posteriormente en el capítulo BULKING en lo referido a organismos filamentosos.
3. Hacer un programa mejor para el inventario de lodo.

1.6.3 Espuma negra

causas de la espuma negra son:

1. Desarrollo de un proceso anaerobio
2. Presencia de colorantes o pigmentos

Soluciones:

1. Aumentar la aireación
2. Investigar la presencia de colorantes o pigmentos
3. Reducir la concentración de SST

2 Problemas en el sedimentador

2.1 Pérdida de sólidos

En ciertas oportunidades, a pesar de una buena sedimentabilidad del lodo, se observa el ascenso de partículas sólidas, las cuales se distribuyen en las proximidades del vertedero de salida del sedimentador secundario.

Las causas probables son:

1. Problemas en los equipos mecánicos
2. Sobrecarga hidráulica, es decir que está funcionando con caudal elevado
3. Sobrecarga de sólidos
4. Corrientes térmicas

Soluciones:

1. Referente a los problemas de equipos mecánicos con el lodo hay que
 - verificar las bombas de recirculación de lodo
 - en las unidades que tienen elementos de eliminación de flotantes, constatar que estén funcionando correctamente
 - observar si el vertedero de salida se encuentra perfectamente nivelado
2. La carga hidráulica generalmente no debe superar $24\text{m}^3/\text{d}$ por cada m^2 de área de sedimentador. Este caudal diario comprende al caudal máximo de entrada a la planta. Si la carga hidráulica es

excesiva, no hay más remedio que construir otro sedimentador en paralelo. Pueden existir condiciones de buenas condiciones de formación de flóculos biológicos que permiten una carga hidráulica mayor, pero nunca superior a $32\text{m}^3/\text{d}$ por cada m^2 de área de sedimentador.

3. Referente a la carga de sólidos, ella es la suma del caudal medio más el de recirculación, multiplicada por los SST de entrada al sedimentador y dividido por el área de sedimentación. Dicho valor debe ser menor a 120 Kg/d/m^2 .
4. Si la diferencia de temperaturas entre la superficie del agua y las profundidades es mayor a 3.5°C se pueden formar corrientes térmicas. La instalación de tabiques rompe las corrientes térmicas.

2.2 BULKING

Un material flotante de color claro sobre una lámina de lodo que no sedimenta indica la presencia de organismos filamentosos. Se llama a esto *bulking filamentososo*.

Si se observa un efluente turbio, con material flotante, y el lodo es de baja decantabilidad, se está ante la presencia de crecimiento disperso, llamándose a este proceso *bulking disperso*.

Si tenemos bulking filamentososo, es decir presencia de organismos filamentosos, las causas son:

1. Escasez de oxígeno disuelto en el tanque de aireación.
2. Dosificación insuficiente de nutrientes (en líquido residual doméstico puro es difícil que esto ocurra).
3. pH fuera del rango operacional, de 6.5 a 7.5.
4. Carga orgánica variable.
5. Elevada concentración de sulfuros.

6. Rango de F/M muy baja, es decir poco alimento.
7. Eficiencia baja del tanque de aireación.

Si no hay organismos filamentosos, es decir tenemos bulking disperso, las causas son:

1. Carga orgánica impropia
2. Aireación excesiva
3. Presencia de tóxicos

Cuando ocurre un bulking hay que hacer un análisis microscópico del lodo.

Las medidas correctoras dependen del tipo de bulking observado.

2.2.1 Microorganismos filamentosos presentes

1. Medir la concentración de oxígeno disuelto en el estanque de aireación. Si el oxígeno disuelto presenta valores reducidos solamente en la entrada del tanque de aireación, no habrá problemas pues se requiere un tiempo mínimo de reacción.
2. Ajustar la relación $DBO : N : P$, manteniéndola en el entorno de 100 : 5 : 1. En plantas municipales, este problema no se encontrará. Es más bien presente en plantas de tratamiento de líquidos industriales. Existiendo deficiencia de nutrientes, podrá haber predominancia de bacterias filamentosas por un lado, y por el otro lado la materia orgánica no será bien tratada, originando ineficiencia en el proceso. Cuando hay agregado de nutrientes se recomienda no exceder el 5% a la semana.

3. Si el pH del tanque de aireación está fuera del rango hay que corregirlo.
4. Si tenemos una elevada concentración de sulfuros hay que parar la planta.
5. Los coadyuvantes de decantación son caros y solamente se puede usar como primeros auxilios. En este campo se ha usado con éxito el cloruro férrico. No es recomendable el sulfato de aluminio pues introduce sulfuros, con el problema agregado de generación de olores desagradables.

2.2.2 Microorganismos filamentosos ausentes

1. Realizar una verificación del F/M y constatar si los valores se encuentran dentro de los rangos normales de operación. La presencia de flóculos dispersos es característica de un F/M elevado. Para bajar el F/M podemos disminuir el descarte de lodo. Con la reducción del F/M desaparecerán los flóculos dispersos durante un período de 2 a 3 edades del lodo.
2. Si la aireación es excesiva hay que disminuirla, por ejemplo dosificando el tiempo de funcionamiento de los aireadores. La excesiva turbulencia puede ocasionar la destrucción de los flóculos.
3. Los compuestos tóxicos provienen generalmente de efluentes industriales.

2.3 Desnitrificación

A veces pueden verse placas flotantes oscuras en la superficie del sedimentador, junto con la presencia de burbujas. Ello es causado por la desnitrificación.

Un exceso de aireación produce nitrificación, es decir nitratos y el proceso siguiente a él es la desnitrificación si el lodo nitrificado pasa a un proceso anaerobio, es decir que se consumió todo el oxígeno disuelto libre. Ésto puede pasar en el fondo del sedimentador y la consecuencia es la liberación de gas nitrógeno.

Para que ocurra la desnitrificación se tienen que dar tres condiciones

- Reducida concentración de oxígeno disuelto, por debajo de 0.5 mg/l. La remoción muy lenta del lodo del fondo del sedimentador puede ocasionar concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto.
- Elevada concentración de nitratos, superior a 5 mg/l
- DBO residual por encima de 10 mg/l

Las principales causas son:

1. La presencia del lodo dentro del sedimentador puede ser muy prolongada y como consecuencia el oxígeno disuelto disponible puede ser consumido en demasía.
2. Temperaturas elevadas que posibilitan la nitrificación en rangos de F/M más elevado.

Las medidas correctivas son:

1. Aumentar la recirculación del lodo, con el objetivo de reducir el tiempo de residencia del lodo en el sedimentador.
2. Constatar si el sistema de recirculación de lodo está siendo operado correctamente.
3. Aumentar el descarte de lodos, reduciendo la edad del lodo y aumentando el F/M.

La cantidad de lodo del sistema debe ser reducido a razón de 20% a 30% por semana, no más.

2.4 Efluente final turbio

Cuando el lodo no sedimenta bien y el efluente final presenta mucha turbiedad, se puede deber a los protozoarios. Hay que realizar entonces un análisis al microscopio.

Ese análisis al microscopio puede revelar:

2.4.1 Protozoarios Presentes, pero Inactivos

Se puede deber a la presencia de inhibidores, como metales pesados.

2.4.2 Protozoarios Presentes, Activos

En general indican turbulencia excesiva. Si existe simultáneamente un gran número de flagelados, quiere decir que el lodo es aún joven.

2.4.3 Protozoarios Ausentes

Puede suceder frente a un F/M elevado, indicando sobrecarga de los tanques de aireación. En este caso lo que se puede hacer es:

- a) Reducir el descarte de lodo para que disminuya el F/M
- b) Aumentar el caudal de recirculación para reducir el nivel de la capa de lodo en el sedimentador.

Si sucede que el F/M es bajo respecto al normal de operación lo que hay que hacer es lo siguiente:

- a) Ajustar el nivel de oxígeno disuelto
- b) Constatar la presencia de elementos tóxicos en el sistema

2.5 Cenizas

Las cenizas pueden ser partículas de bacterias muertas, pero pueden ser también partículas de lodo mezcladas con grasas.

Las causas principales son:

1. Desnitrificación en el sedimentador
2. F/M muy bajo, inferior a 0.05 1/d
3. Concentración de aceites y grasas muy elevada dentro de los SST

Soluciones:

Realizar un ensayo de sedimentación, y después de 30 minutos agitar y observar:

1. Si los sólidos flotantes desprenden burbujas y decantan se está frente a desnitrificación
2. Si los sólidos flotantes agitados no decantan, posiblemente se esté en presencia de un lodo viejo (con exceso de oxidación). Lo que hay que hacer es aumentar el descarte de lodos a razón del 10% al día, con el fin de elevar el F/M y reducir la edad del lodo a valores óptimos.
3. Si los sólidos flotantes no sedimentan puede ser que haya una elevada cantidad de grasas en el lodo, que no puede superar el 15% en peso en los sólidos totales SST. Si se da este caso no hay más remedio que construir elementos para retirar la grasa antes del tratamiento.

2.6 Escape de Flóculos

La presencia de partículas pequeñas, casi transparentes y livianas, que flotan y pasan por los vertederos del sedimentador se relaciona con una concentración muy baja de SST.

No preocupa mayormente a no ser que perjudique la calidad del efluente.

Causas:

1. Existe un muy bajo valor de SST en el tanque de aireación, motivado por la etapa de arranque o por un muy elevado descarte de lodos.
2. El descarte de lodos se hace en forma muy intermitente.

Soluciones:

1. Disminuir el caudal de descarte de lodos para obtener una elevación del SST y aumentar la edad del lodo
2. Si es intermitente el descarte de lodos hay que evitar ejecutarlo en los momentos en que la DBO se encuentre elevada. Aumentar la tasa de recirculación en los horarios picos y disminuirla durante la noche.

3 Problemas de olores

Es muy importante controlar la emisión de olores.

Las causas principales pueden ser:

- Generalmente los olores son causados por el desprendimiento de gas sulfídrico que produce un olor a huevo podrido cuando está en altas concentraciones. En concentraciones bajas se parece al olor de la putrefacción.
- En ciertos efluentes industriales existe la presencia de sulfuros, como en las industrias textil y de curtiembres los cuales pueden llegar a la planta
- Existen otros medios alternativos a los lechos de secado, como ser centrífugas, filtros de bandas y filtros de vacío, los cuales usan coadyuvantes que pueden ocasionar olores de oxidado o de pescadería.

Las fuentes de emisiones son:

- cámara de rejillas
- estaciones de bombeo
- cuando hay tanques de homogeneización y hay presencia de sulfuros
- tanque de aireación, cuando hay insuficiencia de oxígeno ($OD < 0.5 \text{ mg/l}$), o cuando sedimentan sólidos en el fondo
- en espesadores de lodo cuando funcionan como depósito de lodos, práctica que no se recomienda
- áreas de desaguado de lodos si no son diariamente removidos

3.1 Identificación de las fuentes de generación de olor

Si no está bien definido el área de origen de los olores lo que se puede hacer es lo siguiente:

1. recortar un papel poroso tipo secante en pedazos de aproximadamente 10 * 20 cm
2. impregnarlos con una solución de acetato de plomo
3. colocarlos en las áreas sospechosas y dejarlos durante doce horas
4. si el papel sufre oscurecimiento indica la presencia de sulfuros.

3.2 Medidas de control

3.2.1 En cámara de rejillas

Hay que hacer la limpieza diaria.

3.2.2 En estaciones de bombeo

Ajustar los controladores de nivel para mantener un tiempo de residencia menor a quince minutos. Hay que tener en cuenta también que el número de arranques de las bombas por hora no debe superar lo indicado por los catálogos de las mismas.

3.2.3 En tanques de aireación

Con el uso de un tomador de muestras de profundidad efectuar un mapeamiento del oxígeno disuelto según la profundidad.

En caso de constatar valores inferiores a 0.5 mg/l aumentar la aireación mediante la sumergencia de los aireadores.

Observar si hay depósito de sólidos en el fondo del estanque y en ese caso aumentar la aireación.

OPERACIÓN LODOS ACTIVADOS

Otra forma es no permitir que se forme el sulfhídrico mediante la adición de Cloruro Férrico en una zona agitada (generalmente una estación de bombeo) y un tiempo prudencial de mezclado antes de llegar a la planta.

Procedimientos de parada

En los casos en que no haya más remedio que parar la planta para realizar mantenimiento, la operación de parada debe ser tal que no afecte mayormente el tratamiento cuando vuelva al estado de operación normal.

Se diferencian los procedimientos según sea el caso:

- cuando se exige vaciar el estanque de aireación para reparación,
- cuando hay que hacer mantenimiento en la red eléctrica, provocando la paralización de los aireadores.

Vaciado del estanque de aireación

Si los aireadores operan continuamente hay que hacer funcionar el sistema durante un período de dos días en forma continua y luego mediante bombas sumergibles transferir toda el agua hacia el sedimentador.

Si no se puede hacer el proceso anterior de dejar conectados continuamente los aireadores, cerrar la entrada de agua y dejar los aireadores conectados durante dos días según el procedimiento normal. Alcalinizar hasta que se alcance un pH igual a 10. Vaciar hacia el sedimentador.

La alcalinización puede ser hecha con ceniza de soda o cal. No usar cal común pues tiene muchos residuos, sino cal especial de alta pureza.

La alcalinización debe ser hecha lentamente, ya que puede desprenderse amoníaco con la generación de olores.

Paradas programadas de energía eléctrica

Cerrar la entrada de agua hacia la planta y dejar los aireadores conectados durante unos dos días.

Efectuar las reparaciones y cuando se reincide la operación conectar un aireador por vez, con sumergencia mínima, y ajustarla lentamente a la condición normal.

Nota: Siempre que se desconecten los aireadores, por cualquier motivo, hay que reiniciar la operación gradualmente con el objetivo de minimizar la producción de olores.

Disposición de residuos que se producen en una planta

En las plantas de tratamiento se producirán una serie de residuos que será necesario disponer, es decir que necesitan que se les de un destino apropiado.

Debemos tener en cuenta que dichos residuos están compuestos por materiales netamente insalubres. Poseen bacterias, virus, protozoarios, huevos de gusanos, y las principales enfermedades y efectos que están asociados con ellos son:

- disentería
- cólera
- gastroenteritis
- hepatitis infecciosa
- diarrea
- poliomielitis
- meningitis
- neumonía
- parálisis
- infecciones respiratorias
- gastroenteritis epidémica
- enteritis
- giardiasis
- toxoplasmosis
- disturbios digestivos y nutricionales
- vómitos
- síntomas neurológicos
- teniasis.

En referencia al lodo digerido y seco, él es un muy excelente mejorador de suelos, debido a sus excelentes características de retención de agua. No

puede competir con los abonos por las cualidades sanitarias y el contenido de nutrientes, pero sí como mejoradores de suelos para luego ser utilizados en la agricultura.

Existen formas de tratar esos lodos digeridos y disecados, mediante higienización por procesos como compostaje, vermicompostaje, landfarming o encalado. Con estos tipos de procesos se eliminan en forma importante los patógenos y en algunos casos se forman humus de buen valor para la agricultura. Se aplica en muchas comunidades, grandes y chicas y es ambientalmente aceptable.

Los suelos muy arenosos tienen escasa capacidad de retención de agua, por lo cual mezclándolos con el lodo seco aumentan notoriamente la capacidad de retención. En los suelos muy arcillosos pasa exactamente lo contrario, quedan fácilmente anegados y pueden tener dificultades de aireación. Mezclando dichos suelos con el lodo seco se vuelven más permeables y más aireados.

Siempre se debe tener cuidado que si a la planta llegaron metales pesados provenientes de vertidos industriales, ellos llegarán al lodo, el cual de ninguna manera se puede utilizar en la agricultura pues los metales pesados envenenan la tierra.

También el lodo se puede aplicar en áreas de recuperación, como ser áreas erosionadas. En dichas áreas de recuperación se pueden plantar árboles.

La principal ventaja es la posibilidad de la venta del lodo.

Otra cosa que se puede hacer con el lodo es enviarlo a un relleno sanitario (volcadero de basura). En los rellenos sanitarios la basura sufre un tratamiento que la estabiliza. El agregado de lodo mejora la capacidad de tratamiento en un relleno sanitario.

En referencia a los demás residuos del tratamiento, llámense arenas, grasas, material de reja, la práctica es enterrarlos o enviarlos a rellenos sanitarios. Siempre que este tipo de materiales se dispone en algún lado, hay que tomar la precaución que no se los puede dejar a cielo abierto porque atraen moscas y roedores, los cuales pueden esparcir contaminación y enfermedades.

Bibliografía

- Cursos de Facultad de Ingeniería
- Problemas de Operación y Control en Plantas Biológicas Aeróbicas. Seminario internacional, Buenos Aires, 6 y 7 de julio de 1995.
- Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage. Process Design Manual. EPA, Setiembre de 1995
- Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales. Metcalf-Eddy, 1985
- Manual Práctico de Aguas Servidas y Normas de Seguridad para la Realización de los Trabajos en Plantas de Depuración
- Distintos ejemplares de la revista DAE de SABESP, Brasil.
- Distintos ejemplares de la revista Tecnología del Agua, España.
- Caracterización, alternativas y propuestas para la disposición de los lodos de las plantas del APL1. MSc. Adriana Blanco, Ing. Javier Huertas, Noviembre 2006

