

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—
TRATAMIENTO
DE AGUAS
RESIDUALES
CON LODOS
ACTIVADOS

CUADERNO TECNOLÓGICO N°6

Autor: **Joseph Charpentier**

Experto en saneamiento de aguas
residuales, provisto en el marco
del contrato con Eptisa de España

Abril de 2014



INTI



Unión Europea

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina
Ayacucho 1537
Ciudad de Buenos Aires
Teléfono (54-11) 4805-3759
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919

www.ue-inti.gob.ar

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez
gabriela@inti.gob.ar

—
TRATAMIENTO
DE AGUAS
RESIDUALES
CON LODOS
ACTIVADOS

CUADERNO TECNOLÓGICO N°6

Autor: **Joseph Charpentier**

Experto en saneamiento de aguas
residuales, provisto en el marco
del contrato con Eptisa de España

Abril de 2014



INTI



Unión Europea

INDICE

1. PRESENTACIÓN	4
2. INTRODUCCIÓN	6
3. PRINCIPIO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO	7
3.1 Fundamentos	7
3.1.1 Contaminantes	
3.1.2 La química del agua (la "Ventana Biológica »)	
3.1.3 El papel imprescindible de las bacterias en el tratamiento biológico	
3.2 Etapa aireación	12
3.3 Etapa decantación.....	14
3.4 Resultado	15
4. OPERACIÓN DEL PROCESO DE LOS LODOS ACTIVADOS	18
4.1 Parámetros a medir para controlar el proceso	18
4.1.1 Controlar la cantidad y la calidad de la biomasa	
4.1.2 Controlar la cantidad del oxígeno suministrado	
4.1.3 Controlar el efluente y el afluente	
4.2 Control del proceso	25
4.2.1 Valores de referencia a obtener	
4.2.2 Cómo utilizar los resultados de las medidas para controlar el proceso	
5. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DEL SISTEMA "LODOS ACTIVADOS"	30
5.1 Parte aireación.....	30
5.1.1 Tanque	
5.1.2 Aireadores	
5.2 Parte Decantación.....	34
5.3 Otros elementos.....	37
5.4 Varios diseños	38
6. PROBLEMAS OPERATIVOS	46
6.1 Problemas hidráulicos	46
6.2 Efluente turbio sin pérdida de biomasa.....	47
6.3 Presencia de SS en el efluente (flotantes).....	50
6.3.1 A causa de burbujas de aire	
6.3.2 A causa de burbujas de N ₂	
6.3.3 A causa de burbujas de CH ₄	
6.4 Pérdidas importantes de SS en el efluente - Bulking o abultamiento.....	53
7. ELIMINACIÓN POTENCIADA DE LOS NUTRIENTES.....	59
7.1 ¿Carencia (falta) o exceso de N o P?.....	59
7.2 Proceso para eliminar N en exceso	60
7.2.1 Principio para eliminar N en exceso	
7.2.2 Diseño, dimensionamiento y operación del proceso	
7.3 Procesos para Eliminar P en exceso	66
7.3.1 Proceso biológico	
7.3.2 Proceso químico	
8. ESQUEMAS	74
9. FOTOS	76
10. GRÁFICOS	77
11. TABLAS.....	78

1. PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las miPyMEs del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del gobierno nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las miPyMEs y Pymes los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo a la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las miPyMEs que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantienen entrevistas con actores locales quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de uno de los expertos intervinientes en este proyecto. Cada experto al finalizar su trabajo en el país, elabora un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, editada con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades

detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

Dra. Graciela Muset

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del autor y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión de la Unión Europea.

2. INTRODUCCIÓN

El tratamiento biológico de las aguas residuales por los lodos activados se ha impuesto como un tratamiento muy eficaz para depurar las aguas contaminadas, especialmente para eliminar las contaminaciones del nitrógeno y del fósforo. Muy utilizado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, se adapta también para tratar los afluentes industriales en la medida en que éstos son biodegradables, lo que es el caso a menudo.

Este cuaderno tecnológico tiene por objeto por una parte dar una información sobre las bases teóricas y prácticas del funcionamiento y por otra parte dar elementos sobre los aspectos conducta, concepción y dimensionamiento.

3. PRINCIPIO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

3.1 FUNDAMENTOS

3.1.1 Contaminantes

Se distinguen principalmente:

La contaminación carbonosa caracterizada por las medidas de la DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno durante 5 días), de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y de los SS (Sólidos Suspendidos). Un vertido excesivo de materias carbonosas en la red hidrográfica natural provoca una disminución de la concentración en oxígeno disuelto, a veces fenómenos de putrefacción.

La contaminación nitrogenada caracterizada por el parámetro "Nitrógeno Global" (NGI) también llamado "Nitrógeno total" (Nt). NGI o Nt incluye todas las formas de nitrógeno (N orgánico, N-NH₄, N-NO₂ y N-NO₃). NK (N Kjeldahl) incluye solamente N orgánico y N-NH₄. Un vertido excesivo de materias nitrogenadas en la red hidrográfica natural puede provocar una disminución de la concentración en oxígeno disuelto y, también, un riesgo de eutrofización (crecimiento intempestivo de algas)

La contaminación fosforada caracterizada por el parámetro "Fósforo total" (Pt). Pt incluye el P vinculado a los compuestos carbonosos y los fosfatos (PO₄). Un vertido excesivo de materias fosforadas en la red hidrográfica natural puede provocar un riesgo de eutrofización.

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN MEDIA (TIEMPO SECO)	CANTIDAD DIARIA POR UN HABITANTE (≈ 150 l/día)
DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno)	360 mg O ₂ /l	54g DBO5
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	800 mg O ₂ /l	120g DQO
SS (Sólidos suspendidos)	360 mg/l	54g SS
NGL (N Global o N total)	80 mg N/l	12g N
Pt (P total)	20 mg P/l	3g P
El valor elegido para uno PE (Población Equivalente) es = 60g DBO 5/día		

Tabla 1: Valores de referencia para las aguas residuales domésticas en Francia

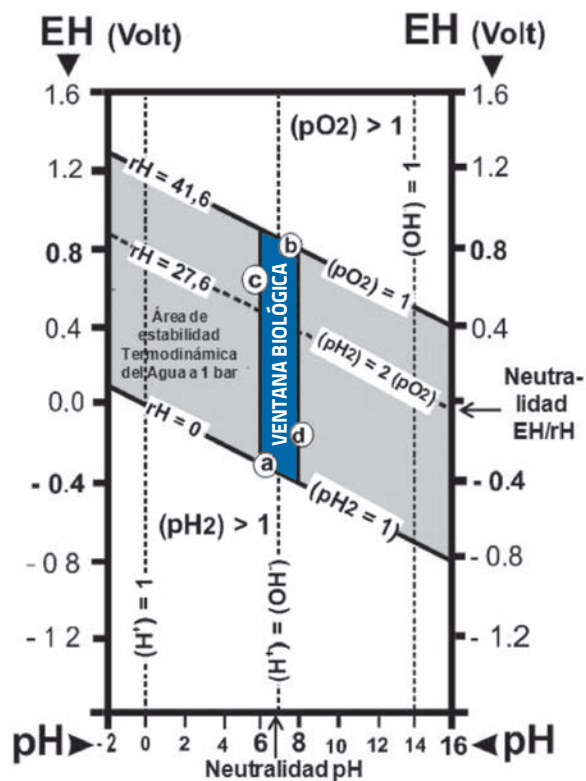
Estos valores de referencia son variables según los países (valores de concentración retenidos para la estación de depuración de la ciudad de Tucuman cerca de 2 veces más bajas) y sobre todo para las aguas residuales industriales (DQO ≈ 30.000 mg O₂/l para una fabrica de levaduras a Tucuman).

El concepto de "Población Equivalente" (PE) se utiliza muy a menudo para indicar la capacidad de tratamiento de una estación de depuración, incluso cuando se tratan aguas residuales industriales.

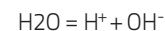
Las aguas residuales domésticas o industriales contienen o pueden contener otros elementos molestos como bacterias patógenas, metales pesados, compuestos carbonosos difícilmente degradables.

3.1.2 La química del agua (la "Ventana Biológica")

Se trata de la depuración del agua. La molécula de agua (H₂O) puede cortarse de dos maneras, lo que es a la base de 2 nociones importantes:



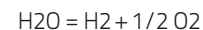
1. Acidez y Basicidad



Definición del pH = $-\log [H^+]$

La zona privilegiada para la actividad biológica es incluida entre los valores de pH 6 y 8

2. Potencial REDOX



Definición del rH

$rH = -\log [pH_2]$

Definición del potencial de oxidación-reducción (EH)
 $(EH) = (rH - 2 pH) / 33.9$

La zona de estabilidad termodinámica del agua es incluida:
 entre los valores de rH = 0 y 41.6
 entre los valores de EH = -0.4 V y +0.8 V (a pH = 7)

Gráfico 1: Definición de la "Ventana Biológica"

Es posible medir los valores de pH y EH mediante sondas. Los valores de EH del gráfico arriba son expresados en Volt relativamente al electrodo de referencia "H+/H₂". En las estaciones de depuración se utilizan electrodos de referencia "AgCl/Ag". $E_{AgCl/Ag} (mV) = E_{H^+/H_2} / (mV) - 200 mV$.

Todas las reacciones de oxidación y reducción que suceden durante el tratamiento biológico de las aguas residuales son localizadas dentro la "Ventana Biológica".

El gráfico 2, que es una ampliación de la "Ventana Biológica" muestra cómo se sitúan los principales compuestos que están presentes durante el tratamiento biológico. Se observa particularmente que:

- Los compuestos carbonosos son situados en la parte baja de la ventana biológica; están a favor de la mayoría fáciles a oxidar produciendo CO₂
- Los compuestos nitrogenados son al contrario situados en la parte más alta de la ventana biológica; requieren un aporte suplementario de oxígeno para elevar el valor de REDOX, lo que representa como contrapartida la garantía de la buena eliminación de la contaminación carbonosa.
- Las reacciones de oxido-reducción de los compuestos fosforados son situadas muy fuera de la ventana biológica. No hay reacción de oxidación-reducción del fósforo en la ventana biológica.

Los compuestos del hierro y del azufre son situados en una zona intermedia; los valores elevados de EH son una garantía de la ausencia de malos olores producidas por H₂S, un gas insoluble que es generado y desgasificado en condiciones acidas (pH < 7).

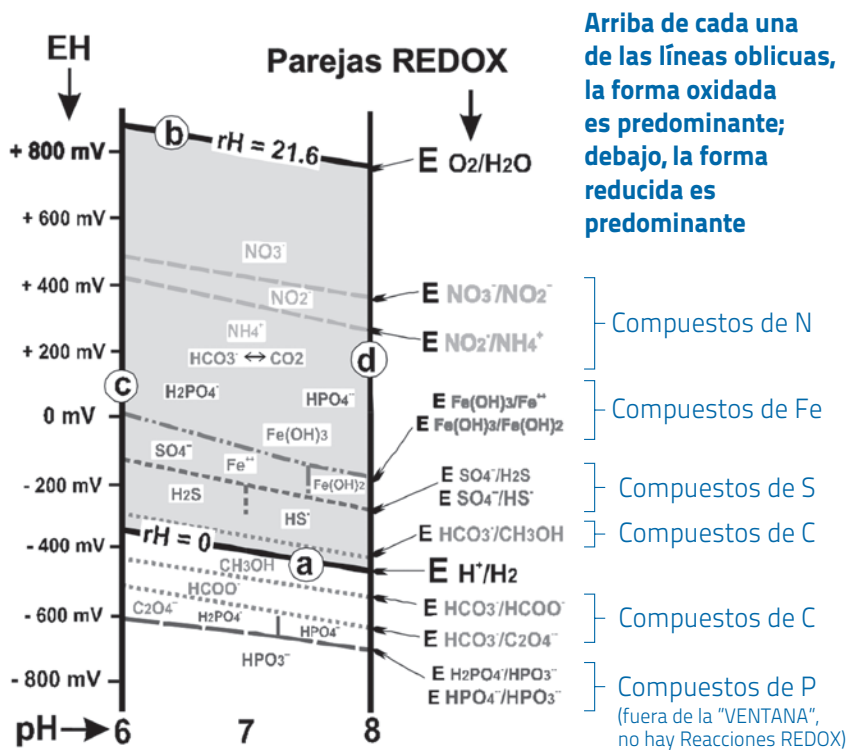
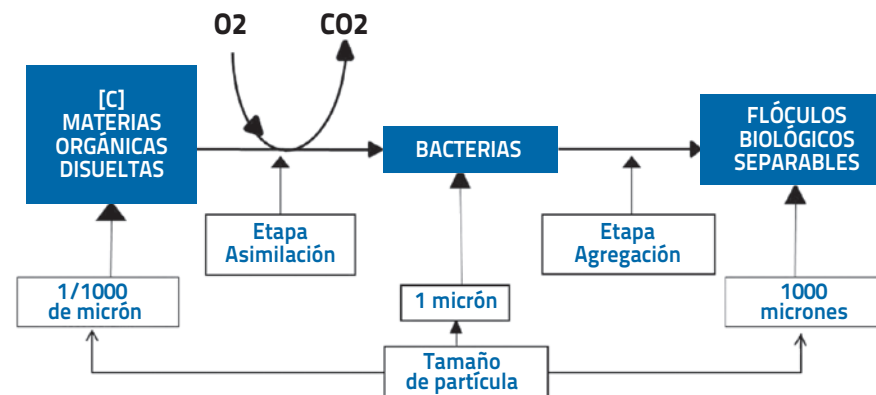


Gráfico 2: Reacciones y compuestos dentro la "Ventana Biológica"

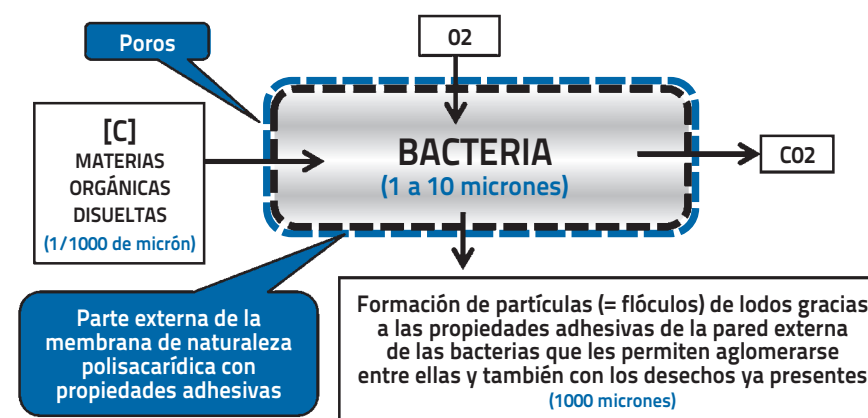
La zona privilegiada para los lodos activados es localizada entre EH +200 y + 400 mV; los valores de pH pueden ser entre 6 y 8 sin molestia para la actividad biológica de las bacterias.

Por otra parte, la zona privilegiada para un tratamiento biológico anaeróbico de las aguas residuales es situada entre EH -300 y -100 mV; los valores de pH deben ser entre 6,5 y 7,5 para mantener la actividad biológica de las bacterias. Es posible que ocurran malos olores a causa de los valores bajos de EH.

3.1.3 El papel imprescindible de las bacterias en el tratamiento biológico



Esquema 1: el papel central de las bacterias en un tratamiento biológico

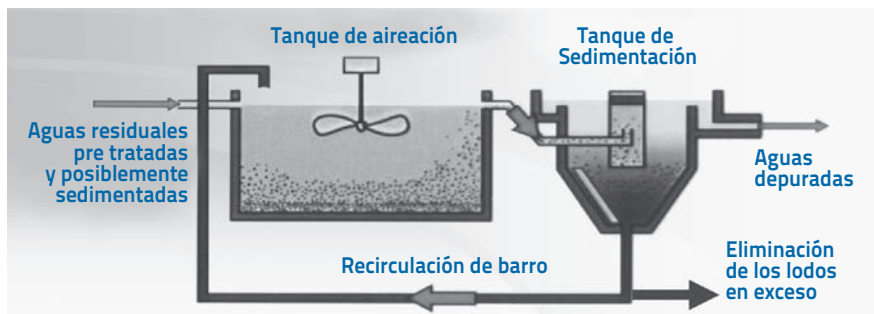


Esquema 2: El funcionamiento de las bacterias

Las bacterias son células "procarýotes" (sin núcleo con una límite definida). En un tratamiento biológico aeróbico, su funcionamiento parece similar al de todo ser vivo puesto que transforman la materia orgánica en presencia de oxígeno para desarrollarse y reproducirse. Su tamaño (entre 1 y 10 µm.) y su número permite absorber y transformar los contaminantes disueltos de muy pequeño tamaño (1/1000 µm.) en CO₂ y sólidos en suspensión.

Tienen también la propiedad aglomerarse entre ellas y adherirse a las partículas inertes del medio, creando así flóculos cercano de 1 mm. Es la fase "aglomeración". Esta última propiedad permite la separación física del agua clara purificada de los lodos formados por los flóculos.

Un tratamiento biológico implica 2 etapas: una etapa que consiste en formar los flóculos (etapa aireación) y la etapa separación (etapa decantación), lo que ilustra el esquema siguiente.



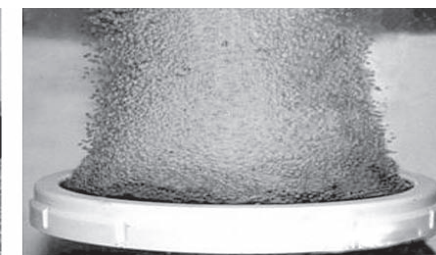
Esquema 3: Las 2 etapas del tratamiento biológico de tipo "Lodos Activados"

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "FUNDAMENTOS"

- Se trata de la depuración de las aguas. Todas las reacciones solicitadas con el fin de eliminar las contaminantes suceden dentro la "ventana biológica" localizada en el gráfico pH-EH.
- Las bacterias, de tamaño adecuado ($\approx 1 \mu\text{m}$), absorben y transforman las moléculas disueltas de las contaminantes; producen una biomasa (flóculos) que se puede separar del agua depurada por decantación. Así esta agua depurada puede ser vertida en la red de las aguas naturales.
- Todos los tratamientos biológicos (los lodos activados entre otros) consisten en favorecer el desarrollo de las bacterias, reproduciendo el fenómeno observado en la naturaleza, pero mucho más rápidamente.

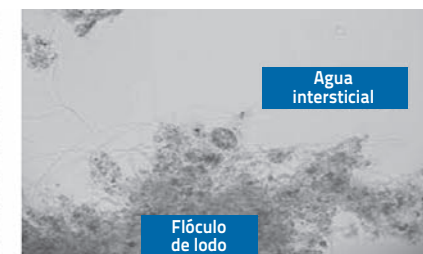
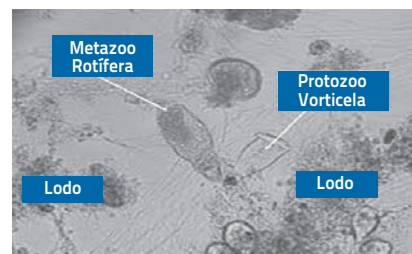
3.2 ETAPA AIREACIÓN

Un tanque de aireación es equipado de aireadores para suministrar el oxígeno a las bacterias que colonizan la biomasa. Los 2 procesos más extendidos para suministrar el aire son por una parte los aireadores de superficie y por otra parte los difusores de aire dispuestos sobre el fondo del tanque.

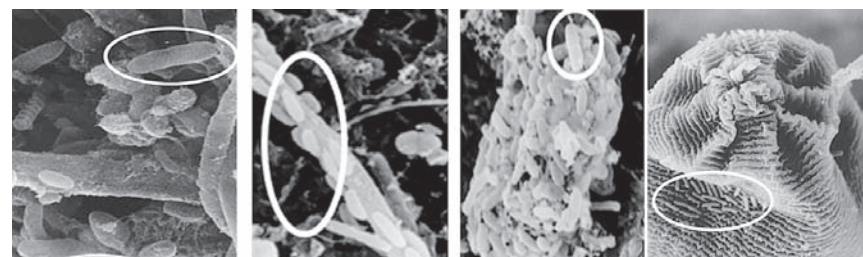


Fotos 1 y 2: Aireador de superficie (a la izquierda) y difusor de aire (a la derecha)

La aireación de las aguas residuales que residen en el tanque de aireación genera la formación de flóculos debido a las propiedades de las bacterias descritas en el esquema 2 arriba. Para acelerar la formación de estos flóculos, que constituyen la biomasa, la puesta en marcha de una estación de depuración puede ser acelerada por el aporte de lodos de una otra instalación.



Fotos 3 y 4: Vista de la biomasa al microscopio óptico



Fotos 5 a 8: Fotos con un microscopio electrónico de bacterias (bacillos o cocos)

El buen funcionamiento de la etapa aireación consiste en un equilibrio entre 3 elementos:

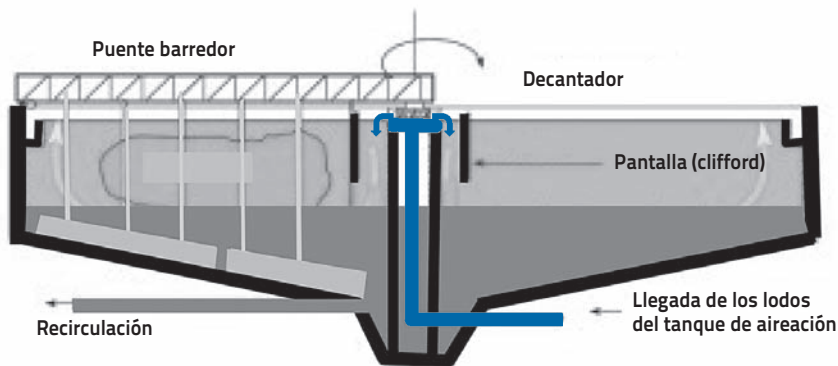
1. La cantidad de materia orgánica que constituyen la contaminación,
2. La cantidad de bacterias que son la base de la biomasa
3. La cantidad de oxígeno necesaria para las bacterias con el fin de asimilar las materias orgánicas

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "AIREACIÓN"

- La etapa "aireación" necesita un suministro artificial de oxígeno.
- Este suministro de oxígeno permite desarrollar el número de bacterias (tamaño ≈ 1 a $5 \mu\text{m}$) adecuado a la cantidad de moléculas de contaminantes que deben ser transformadas en gas y biomasa.
- Las bacterias permiten la formación de flóculos (tamaño $\approx 1 \text{ mm}$) y el desarrollo de una fauna (tamaño ≈ 20 a $500 \mu\text{m}$) que es posible de ver con un microscopio óptico y electrónico. Los flóculos son separables del agua depurada por decantación.

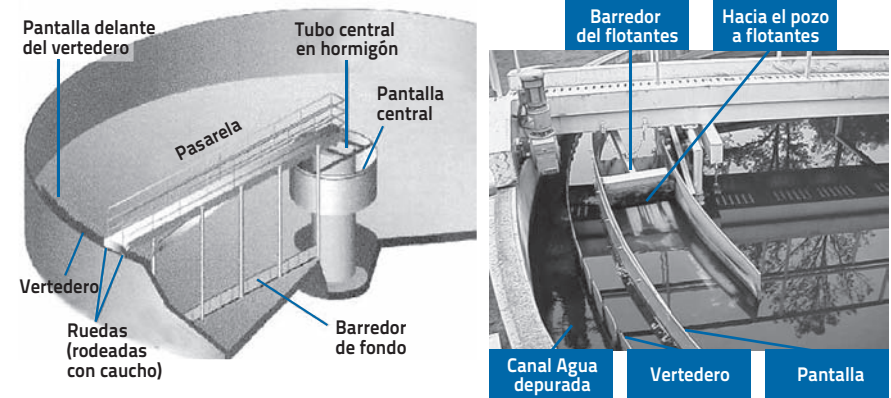
3.3 ETAPA DECANTACIÓN

La separación de los lodos activados (la biomasa) se realiza por gravitación en un tanque, más a menudo de diseño cilíndrico (ver el esquema debajo). Existen también decantadores de diseño paralelepédico; sin embargo los decantadores, equipados de placas inclinadas sumergidas, resultan poco adaptados para la decantación de los lodos activados. Las condiciones de distribución en el decantador de la biomasa que viene del tanque de aireación y de su reanudación en el fondo del decantador son puntos importantes del diseño.



Esquema 4: Corte del funcionamiento de un decantador cilíndrico

La recuperación del agua depurada en el superficie es un punto también importante que requiere una pantalla delante del vertedero y un barreador de superficie para eliminar las flotantes.



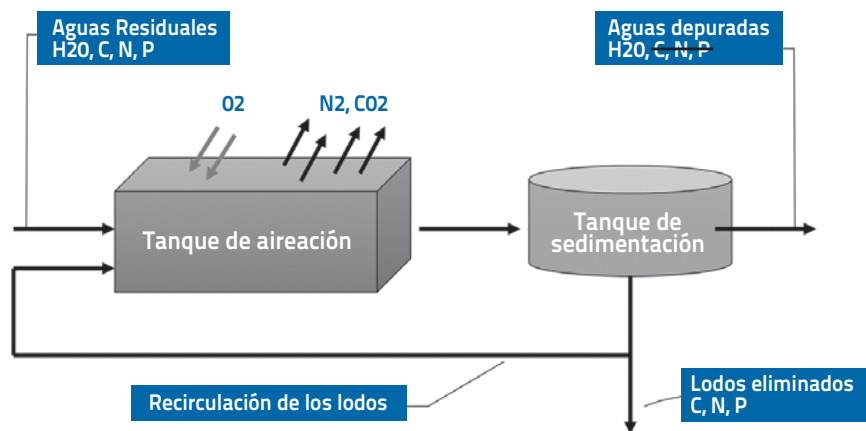
Esquema 5 y Foto 9: Equipamientos de un decantador cilíndrico

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "DECANTACIÓN"

- El decantador funciona de forma continua, lo que supone que los lodos decantados sean concentrados en la parte inferior y eliminados conforme a la cantidad admitida en el decantador.
- El decantador es proporcionado con equipamientos metálicos como la pantalla cilíndrica a la entrada del efluente para una buena distribución hidráulica, una pantalla delante del vertedero con el fin que los flotantes estén atrapados, un barreador de fondo para facilitar la marcha de los lodos hacia el centro, un barreador de superficie para facilitar la eliminación de las materias flotantes.

3.4 RESULTADO

El esquema 6 muestra lo que adviene de los contaminantes durante el tratamiento biológico. Las aguas residuales, despejadas de la mayoría de los compuestos carbonosos, nitrógenos y fosforados, pueden ser vertidas en la red hidráulica natural sin molestia para el medio ambiente. Los compuestos carbonosos, nitrogenados y fosforados, eliminados de la fase líquida, son eliminados o en la fase sólida (lodos en exceso) o en la fase gaseosa (CO_2, N_2).



Esquema 6: Lo que adviene de los contaminantes tras el tratamiento biológico

La tabla 2 muestra la eficacia del tratamiento biológico de tipo "Lodos Activados" con las aguas residuales domésticas.

PARÁMETROS	AFLUENTE	EFLUENTE	% DE ELIMINACIÓN
DQO (mg O ₂ /l)	800	120 a 30	85 a 95
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	360	30 a 5	90 a 98
SS (mg SS/l)	300	30 a 5	90 a 98
TN (mg N/l)	80	60 a 5	25 a 95
TP (mg P/l)	20	15 a 0.5	25 a 95

Tabla 2: Eficacia del tratamiento de tipo "Lodos Activados"

Los valores de concentración del efluente varían según el diseño y el dimensionamiento de las plantas de tipo lodos activados (eliminación potenciada de los nutrientes o no).

Atención: las aguas residuales industriales pueden tener una parte de DQO no biodegradable mucho más importante que las aguas residuales domésticas (aguas residuales de fábrica de levaduras por ejemplo). Se aconsejará mucho medir en laboratorio esta parte de DQO no biodegradable antes de hacer un proyecto de estación de depuración.

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "RESULTADO"

El agua despejada, quitada de la mayoría de los elementos contaminantes (C, N, P), puede ser vertida en la red hidrográfica natural.

Los contaminantes contenidos en el afluente (C, N, P) son:

- descargados en la atmósfera en forma de gas no o poco contaminante (CO₂, N₂)
- o evacuados con los lodos en exceso que pueden ser reciclados en forma de fertilizantes si una valorización agrícola es posible.

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "PRINCIPIO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO"

El tratamiento de tipo "Lodos Activados" incluye dos etapas (aireación y decantación). Todas las reacciones suceden dentro de la "Ventana Biológica" del gráfico "pH-EH"; el papel de las bacterias es esencial.

- El buen funcionamiento de la etapa aireación requiere
 1. Un afluente sin compuestos tóxicos para las bacterias
 2. Un diseño y volúmenes de tanques que permiten el desarrollo de las bacterias aptas a la eliminación de los contaminantes (C, N, P)
 3. Condiciones de aireación y gestión de los lodos adecuadas
- El buen funcionamiento de la etapa decantación requiere
 1. Un diseño adaptado y un volumen de tanque bien dimensionado
 2. Caudales del afluente conformes a los valores de diseño
 3. Lodos aptos a decantar (sin bacterias filamentosas)
- Los contaminantes contenidos en el afluente (C, N, P) son:
 1. descargados en la atmósfera en forma de gas no o poco contaminante (CO₂, N₂)
 2. o evacuados con los lodos en exceso y reciclados en forma de fertilizantes si existe una valorización agrícola

Atención: La depuración de las aguas (fase líquida) no debe hacerse en detrimento de la calidad del aire (fase gaseosa) ni de la calidad de los suelos (fase sólida)

4. OPERACIÓN DEL PROCESO DE LOS LODOS ACTIVADO

4.1 PARÁMETROS A MEDIR PARA CONTROLAR EL PROCESO

Como se ha dicho anteriormente, un funcionamiento eficiente de los Lodos Activados es basado sobre un buen equilibrio entre la contaminación que debe ser eliminada, la biomasa y el oxígeno suministrado. Por lo tanto, las medidas a realizar tienen 3 objetivos:

1: controlar la cantidad y la calidad de la biomasa

SS o ST (Sólidos Totales) de la biomasa del tanque de aireación
VC (Volumen Corregido) después de 30 minutos de decantación
= Volumen leído en la probeta de 1 litro X factor de dilución
IB (Índice de Barros) = VC 30 minutos expresado en ml/l dividido por los SS o ST expresados en g/l)
Altura de el agua clara en el clarificador

2: controlar la cantidad del oxígeno suministrado

Prueba o análisis de NH_4^+ y NO_3^- del efluente
Concentración en O_2 de la biomasa
Potencial REDOX de la biomasa

3: controlar el afluente y el efluente

Medidas de caudal y tomas de muestras a la entrada y a la salida
Medidas de DQO, DBO5, SS, N y P en un laboratorio equipado
Prueba de limpieza del efluente (disco blanco en el clarificador)
DQO del efluente

4.1.1 Controlar la cantidad y la calidad de la biomasa

Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV)

Estos parámetros pueden ser medidos sin filtración o centrifugación antes de la análisis de biomasa con los aparatos de las fotos 10 a 13 debajo. Las etapas de las medidas son las siguientes:

Tomar 50 ml de biomasa \rightarrow Estufa 110°C \rightarrow Peso seco para determinar los "Sólidos Totales" (ST)

Sólidos Totales \rightarrow Horno 550 °C \rightarrow Peso para determinar los "Sólidos Totales Minerales" (STM)

ST – STM = STV (Sólidos Totales Volátiles)



Fotos 10 a 13: Aparatos para medir los ST y STV

Sólidos Suspendidos (SS) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)

Estos parámetros necesitan una filtración o una centrifugación antes de la análisis de biomasa con los aparatos de las Fotos debajo. Las etapas de las medidas son las siguientes:

Tomar 50 ml de biomasa \rightarrow filtración o centrifugación \rightarrow Estufa 110°C \rightarrow Peso seco para determinar los "Sólidos Suspendidos" (SS)

SS \rightarrow Horno 550 °C \rightarrow Peso para determinar los "Sólidos Suspendidos Minerales" (SSM)

SS – SSM = SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles)

Los SS pueden ser también medidos con una sonda sumergida en la biomasa, conectada a un aparato que da directamente la concentración de los SS expresada en g/l.



Fotos 14 a 17: Aparatos para medir los SS y SSV

Con el fin de controlar la cantidad de biomasa, se miden más frecuentemente los STV (medida más simple) o los SS (medida más precisa). La diferencia entre los dos resultados son las materias disueltas (MD) que no tienen ninguna actividad biológica. Para ciertas aguas residuales industriales, con concentraciones elevadas de materias disueltas, es necesario medir los SS.

$$\text{STV} - \text{SS} = \text{Materiales Disueltas (MD)}$$

Con el fin de dimensionar el volumen del tanque de aireación se utiliza el parámetro SSV que es el más representativo de la acción de las bacterias

$$\text{Carga Másica (CM)} = \frac{\text{Flujo de contaminantes a tratar (kg DBO5/día)}}{\text{Biomasa en el tanque de aireación (kg SSV)}}$$

VC 30 e IB

Estos parámetros permiten evaluar la cantidad de biomasa (VC30) y su aptitud a decantar (IB). El protocolo de las medidas es así:

Poner 1 litro de biomasa en una probeta y dejar sedimentar durante 30 minutos, leer el volumen (ml) de biomasa en el fondo de la probeta

El "V30" (Volumen tras 30 mn) es expresado en ml/l

¡Atención!

Si el volumen leído es superior a 300 ml, el resultado no es utilizable. Será necesario realizar una dilución previa de la biomasa de 1/2, 1/4, 1/8, antes de empezar la fase de decantación.

El "VC 30" (Volumen Corregido tras 30 mn) = Volumen leído X factor de dilución (2,4,8) es expresado en ml/l

El valor del VC30 permite calcular el "Índice de Barro" (IB) El Índice de Barro, expresado en ml/g, es el criterio que caracteriza la aptitud a decantar de la biomasa

$$IB \text{ (ml/g)} = \frac{VC \text{ 30 (ml/l)}}{SS \text{ o ST (g/l)}}$$

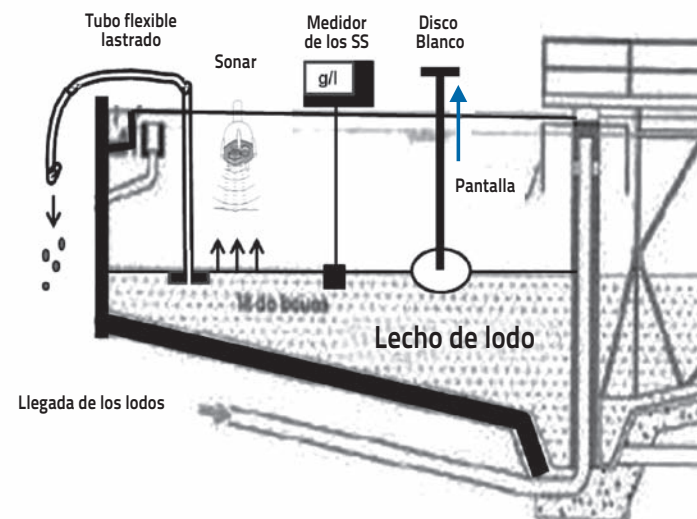


Foto 18: Test de decantación de los lodos en una probeta transparente de 1 litro

Nivel de lodo en el decantador o altura de la capa del agua clara (cm o m)

Existen 3 posibilidades para evaluar la altura de la capa de agua depurada:

1. Sumergir un tubo flexible lastrado hasta la interfaz agua-lodos; después, desatascar la extremidad del tubo para activar un efecto sifón
2. Sumergir un disco blanco hasta la interfaz agua-lodos y extraer de un golpe seco
3. Utilizar un sonar
4. Utilizar una sonda conectada a un medidor de los SS que permite detectar su presencia.



Esquema 7: 3 Modalidades para medir la altura de la capa del agua depurada

Esta medida es especialmente útil en caso de mala decantación de los lodos.

4.1.2 Controlar la cantidad del oxígeno suministrado

Concentraciones de NH₄ y NO₃ del agua depurada

Pueden ser medidas muy simples gracias a los tests de tipo "tiretas" como indicado debajo:



Esquema 8 y 9: Protocolos de los tests "tiretas" NH₄ y NO₃

Estos test, muy simples a realizar, permiten ajustar el suministro del oxígeno gracias al gráfico debajo. El suministro óptimo es obtenido cuando las concentraciones de NH_4 y NO_3 del efluente son las más pequeñas e iguales (zona del "punto crítico").

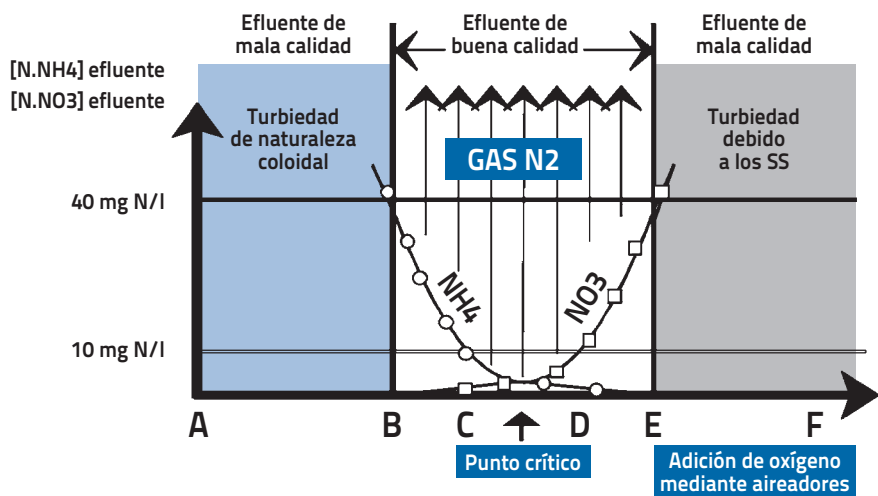
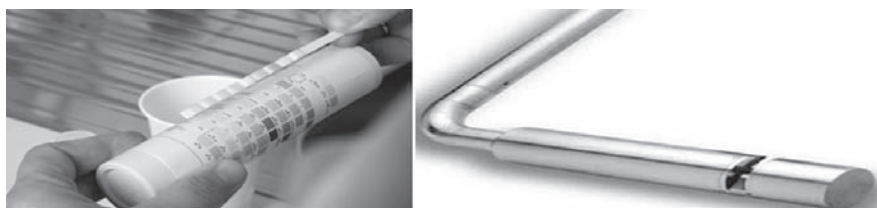


Gráfico 3: Gráfico NH_4 y NO_3 con el "Punto Crítico"



Fotos 19 y 20: Test NH_4 o NO_3 y sonda NO_3

Esta manera de evaluar la cantidad de oxígeno a suministrar a la biomasa es muy útil y pertinente para las estaciones de tipo "baja y media carga" (la reacción de nitrificación debe ser posible) y si el nitrógeno no falta al afluente. En los otros casos, se aconsejará de utilizar principalmente las medidas de REDOX o del oxígeno disuelto.

Medidas y grabaciones de O_2 y REDOX

Las medidas y grabaciones de Potencial REDOX y Oxígeno disuelto ayudan a ajustar el suministro de oxígeno a las necesidades del oxígeno

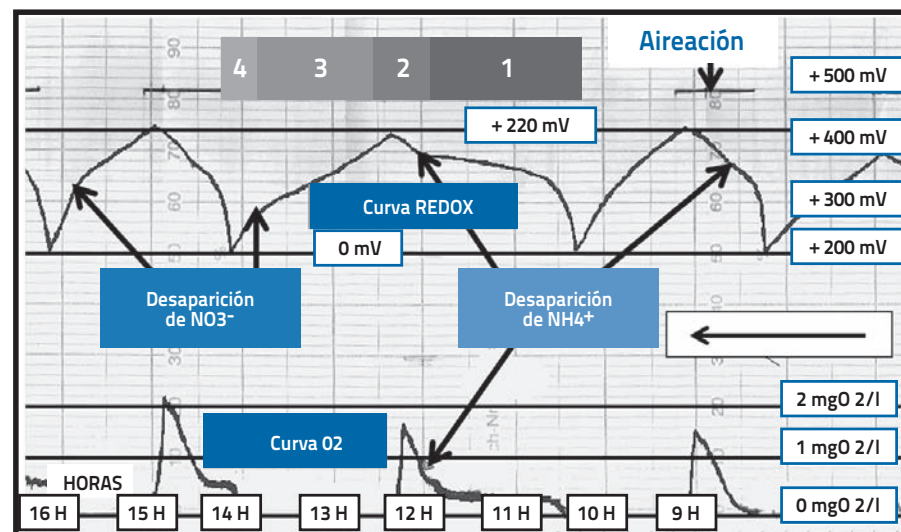


Gráfico 4: Grabaciones REDOX y Oxígeno disuelto



Fotos 21 y 22: Sondas REDOX y Oxígeno

4.1.3 Controlar el efluente y el afluente

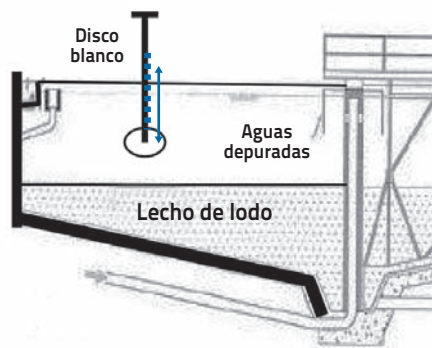
DQO del efluente con un kit DQO (mg O₂/l) y Transparencia del efluente con un disco blanco (cm)

Medida de la DQO del efluente con un kit DQO (mg O₂/l)



Foto 23: Kit de medida para la DQO

Medida de la transparencia del efluente con un disco blanco (cm)



Esquema 10: Medida de la transparencia

El control del proceso exige también el conocimiento

1. del caudal y de la composición del afluente
2. de la conformidad del efluente

Las condiciones de las medidas del caudal (características del canal de medida y del flujómetro), las condiciones de toma y de conservación de las muestras son fijadas en Francia por la regulación y la guía "Autovigilancia".



Foto 24: Canal de medida del caudal con el flujo metro y tomador de muestras

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "PARÁMETROS A MEDIR"

1. Es posible medir los parámetros esenciales del tratamiento mediante pruebas o análisis que requieren poco equipo y capacitación; estos parámetros incluyen:
 - La cantidad y calidad de la biomasa
 - La cantidad de oxígeno a suministrar
 - Las características del efluente
2. Las medidas de los flujos y de la calidad de los afluentes y efluentes son impuestas por los reglamentos; los análisis se llevan a cabo en un laboratorio con un equipo más sofisticado

4.2 CONTROL DEL PROCESO

4.2.1 Valores de referencia a obtener

El Operador debe obtener los valores que corresponden al mejor funcionamiento del proceso y hacer correctamente todos los ajustes para garantizar el cumplimiento del objetivo de calidad exigido para el efluente. Las frecuencias de las medidas y operaciones de explotación, las modalidades para ajustar los parámetros y las consignas de explotación deben figurar en un documento que ayudara al Operador a asegurar cada día el buen funcionamiento de la instalación.

PARÁMETROS DE CONTROL	VALORES
ST (Sólidos totales)	4 a 7 g ST/l
STV/ST (% de materia orgánica)	60 a 80 %
MD (Materias Disueltas)	0.5 a 1 g MD/l
SS (Sólidos Suspendidos)	3 a 6 g SS/l
SV/SS (% de materia orgánica)	65 a 85
VC 30 (Volumen Corregido 30 mn)	300 a 1000 ml/l
IB (Índice de Barro)	100 a 200 ml/g SS
O ₂ disuelto en la biomasa (por término medio en caso de una aireación "todo o nada" o "todo o poco")	Entre 1 y 2 mg/l
Potencial REDOX de la biomasa (Referencia AgCl/Ag)	Entre - 50 y + 250 mV
Caudal de recirculación de los lodos	Entre 100 y 200 % del caudal del afluente

Tabla 3: Valores de referencia para el proceso

PARÁMETROS DE CONTROL	VALORES
NH₄ efluente (Amoníaco)	< 5 a 25 mg N/l (según el objetivo)
NO₃ efluente (Nitrato)	< 5 mg N/l
Disco Blanco (Transparencia)	60 a 120 cm
Altura de la capa del agua clara en el decantador	≥ 1 m
DQO efluente	< 100 mg O ₂ /l
pH del afluente las aguas residuales	Entre 6 y 8
Caudal y flujo de los afluentes y efluentes (Concentración y flujo)	Conformes a los valores nominales de la instalación

Tabla 4: Valores de referencia para el efluente

Los valores indicados en las tablas aquí arriba son los generalmente observados para un funcionamiento estándar de una estación de depuración de tipo "Lodos Activados". Si las aguas residuales contienen por ejemplo importantes cantidades de cloruros, la concentración en materias disueltas podrá ser muy superior a 1 g MD/l. Igualmente, en caso de bulking, el IB será muy superior a 200 ml/g

4.2.2 Cómo utilizar los resultados de las medidas para controlar el proceso

Cuidado: hay que entender la diferencia entre "Parámetros de funcionamiento" y "Consignas de funcionamiento" (ver las definiciones en la página siguiente)

El control del proceso requiere que el Operador haga, para cada una de las etapas del tratamiento, elecciones pertinentes de estado de funcionamiento de los aparatos (manual, control al tiempo o a un captador, etc.) y determinan los valores de ajuste que van a garantizar el mejor funcionamiento posible de la instalación → **Son los "Parámetros de funcionamiento"**.

ETAPA	EQUIPAMIENTO	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	OPERACIONES DE EXPLOTACIÓN
Rejillas	Barredor automático	El barredor arranca y detiene con el bombeo del afluente	Limpeza una vez por semana
Desengrasador aireado	Barredor y aireador del desengrasador	Funcionamiento continuo del barredor Los aireadores arrancan y detienen con el bombeo del afluente	Limpeza (aspiración de aire de los aeradores: el barredor) 1 vez por semana
Tomador de muestras	Tomador de muestras del afluente	Duración de la extracción : 24 H Volumen afl./ impulso: cada 1 m ³ Número de impulsos: 2 Volumen tomado/ impulso: 50 ml	Limpiar cada semana el tubo de exacción y los flacones de recogida, así como el canal del afluente Controlar 1 vez/ semestre la producción real de las extracciones y reajustar el tomador si necesario Realizar una extracción al día
Tanque de aireación	Extracción de los lodos en exceso	Ver consigna de funcionamiento "SS BA"	
	Aireación	Ver consigna de funcionamiento "Aireación BA"	
Extracción de los lodos en exceso	Barredor	Funcionamiento continuo	
	Bomba de recirculación	120 m ³ /h o alrededor 150% del caudal de afluente (funcionamiento continuo de una bomba)	

Tabla 5: Ejemplo de recomendaciones para los "Parámetros de funcionamiento"

Algunos parámetros de funcionamiento, especialmente sensibles, deben modificarse más a menudo según la evolución del tratamiento → **Son las "Consignas de funcionamiento"**.

CONSIGNA DE FUNCIONAMIENTO		AIREACIÓN (sobre tiempo)	AIREACIÓN (sobre REDOX)	AIREACIÓN (sobre O2 disuelto)	EXTRACCIÓN DE LODOS EN EXCESO
Objetivo	Reducción	NH4 efluente < 5 mg N/l NO3 efluente < 5 mg N/l	NH4 efluente < 3 mg N/l NO3 efluente < 3 mg N/l	NH4 efluente < 3 mg N/l NO3 efluente < 3 mg N/l	SS entre 4 y 6 g/l
	Medio de control	Kit de medidas NH4 et NO3	Kit de medidas NH4 et NO3	Kit de medidas NH4 et NO3	Medida de los SS
	Frecuencia de control	Cada día	Cada día	Cada día	2 vez/semana
Consigna	Medio de acción	Temporizador	Límite REDOX	Límites O2 disuelto	Temporizador
	Valor de consigna	Entre 8 y 16 horas/día	Límite alto: alrededor de 200 mV; Límite bajo alrededor de 0 mV	Límite alto: alrededor de 2 mg O2/l; Límite bajo alrededor de 0 mg O2/l	Alrededor de 1 hora/día
	Medio de control	Contador del tiempo	Grabación REDOX	Grabación O2	Contador de tiempo
	Frecuencia de control	Cada día	Cada día	Cada día	Cada día
Acción en caso de incumplimiento del objetivo		Aumentar o disminuir la duración de aireación de 30 mn/día	Aumentar o disminuir los dos límites de 5 mV	Aumentar o disminuir el límite alto de 0.2 mg/l	Aumentar o disminuir la duración de bombeo de 5 mn/día

Tabla 6: Ejemplo de recomendaciones para las "Consignas de funcionamiento"

Los **"Parámetros de funcionamiento"** corresponden a los ajustes que no necesitan frecuentes cambios. Estos son muy numerosos en una estación de depuración (ver la tabla 5).

Las **"Consignas de funcionamiento"** corresponden a los ajustes de los parámetros del funcionamiento que deben ser modificados a menudo según los resultados de las medidas realizadas (1 a 5 veces cada semana según la importancia de la instalación). Estas consignas deben ser de pequeño número y reservadas a los parámetros sensibles del funcionamiento, tales como la concentración de la biomasa, el suministro del aire, la adición de reactivos, etc. (ver en la tabla 6 los modelos de consignas de funcionamiento relativos a las funciones "Aireación" y "Extracción de los lodos en exceso").

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "CONTROL DE PROCESO"

- Para medir las características de la biomasa, del suministro del aire y de la calidad del efluente existen análisis simples que se pueden hacer en la estación de depuración.
- Para cada parámetro medido existen valores de referencia que corresponden a un buen funcionamiento del proceso
- Las consignas de funcionamiento precisan las acciones a hacer en caso que el objetivo no está logrado.
- Para cada estación de depuración el operador debe tener un documento donde están mencionados los parámetros y las consignas de funcionamiento.

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "OPERACIÓN"

El buen funcionamiento de una planta de LA requiere:

1. Medios de análisis para medir las características del afluente y del efluente, los parámetros del proceso (biomasa, suministro del aire, etc.)
2. Documentos que precisan todas las acciones a hacer cada día para garantizar el buen funcionamiento del proceso
3. Agentes capacitados a la interpretación de las medidas

5. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DEL SISTEMA "Lodos Activados"

5.1 PARTE AIREACIÓN

5.1.1 Tanque

El volumen del tanque de aireación es determinado por el criterio de Carga Másica.

$$\text{Carga Másica (CM)} = \frac{\text{Flujo de contaminantes a tratar (kg DBO5/día)}}{\text{Biomasa en el tanque de aireación (kg SSV)}}$$

Los SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles) representan la biomasa activa, la actividad real de las bacterias (ver el apartado 4.1.1). El valor de concentración utilizado es generalmente 3.5 g SSV/l.

Se distinguen tres opciones de "Carga Másica" según que se contemple:

1. La eliminación de la contaminación carbonosa y nitrogenada
2. La eliminación de la contaminación carbonosa esencialmente
3. La eliminación parcial de la contaminación carbonosa

Los tratamientos más convencionales son del tipo "Baja Carga" y "Media Carga". El tratamiento de tipo "Alta Carga" es utilizado a veces como un pretratamiento.

3 OPCIONES	SSV	CM
Baja Carga	3.5 g SSV/l	≈ 0.1 kg DBO5/día/kg SSV
Media Carga	3.5 g SSV/l	≈ 0.3 kg DBO5/día/kg SSV
Alta Carga	3.5 g SSV/l	0.8 a 2 kg DBO5/día/kg SSV

Tabla 7: 3 Opciones de Carga Másica

Lodos activados baja carga (LA BC)



Lodos activados alta o media carga (LA AC o MC)



Esquemas 11 y 12: Lodos activados "Baja Carga" y "Media o Alta Carga"

Los lodos activados "Baja Carga" son caracterizados por un tanque de aireación mayor, lo que les permite eliminar la contaminación nitrogenada además de la contaminación carbonosa y también la estabilización de los lodos. El decantador primario (SP) está generalmente ausente para evitar un tratamiento de estabilización de los lodos depositados en este tanque.

Los lodos "Media o Alta Carga", caracterizados por un tanque de aireación menor, requieren un complemento de mineralización de los lodos activados; estos están generalmente mezclados con los del fondo del decantador primario (SP) antes del tratamiento de estabilización.

El criterio de la **edad de los lodos** es importante ya que el tiempo de replicación de las bacterias nitrificantes es más largo que el de las bacterias que participan en la degradación de la contaminación carbonosa.

$$\text{Edad de Lodo (EL en día)} = \frac{\text{Masa de SS en el tanque de aireación (kg SS)}}{\text{Masa de SS de lodos en exceso producida (kg SS/día)}}$$

Masa de SS (kg SS) = Volumen del Tanque x Concentración en SS

Masa de SS en exceso (kg SS/día) = 0.5 a 1 kg SS/kg DBO5 eliminado

Se requiere una edad de lodos superior a 15-20 días para garantizar una eliminación potenciada de la contaminación nitrogenada. Esta edad de los lodos se obtiene generalmente si se respeta el criterio de la carga másica. Atención: en ciertos casos (escasos), la producción de lodos en exceso será muy superior a 1 o muy inferior a 0.5 kg /kg DBO5 eliminado, lo que va a influenciar el valor de edad de los lodos.

El tiempo de retención hidráulico es calculado mediante la fórmula abajo descripta.

Su valor depende de la concentración del afluente. Es cercano a 1 día en caso de baja carga para un efluente del cual la concentración en DBO5 ≈ 400 mg DBO5/l.

$$\text{T tiempo de retención hidráulico (TRH en días)} = \frac{\text{Volumen del tanque de aireación (m}^3\text{)}}{\text{Volumen cotidiano del afluente (m}^3\text{/día)}}$$

VALORES	EDAD DE LOS LODOS	TRH*
Alta o media carga	≤ 5 - 10 días	≤ 0.4 día
Baja carga	≥ 15 - 20 días	≥ 0.8 día

Tabla 8: Valores de referencia de "EL" y de "TRH" (DBO afluente = 360 mg/l)

5.1.2 Aireadores

Los aireadores más utilizados son:

- Aireadores de superficie (turbinas rápidas o lentas, aireadores tipo cepillas)
- Compresores o sopladores con difusores dispuestos en el fondo del tanque

La eficiencia de los aireadores es caracterizada por el AEB (Aporte Específico Bruto de oxígeno) medido en kg de O₂ disuelto en agua limpia/kWh consumido. La eficacia de difusión del oxígeno puede también ser evaluada por el porcentaje de oxígeno efectivamente disuelto en agua limpia con relación al oxígeno inyectado. AEB y Rendimiento de difusión de O₂ son valores que debe dar el proveedor de material (aireadores o difusores de aire).

EQUIPAMIENTO	DIFUSION DE O ₂ EN AGUA LIMPIA (AEB en kg O ₂ /kWh)	% DE O ₂ DISUELTO EN AGUA LIMPIA	ALTURA DE AGUA (m)
Aireador de superficie tipo "Aireadores Lentillas"	1.2 a 1.9		3.5 a 4.5
Aireador de superficie tipo "Aireadores Rápidas"	0.8 a 1.5		3.5 a 4.5
Aireador de superficie tipo "Cepillos"	1.3 a 2		3.5 a 4.5
Difusión de aire con "Burbujas Medias"	0.8 a 1.3	0.5 a 0.15	4 a 7
Difusión del aire con "Burbujas Finas"	2 a 3	0.2 a 0.3	4 a 7

Tabla 9: Eficiencia de los aireadores

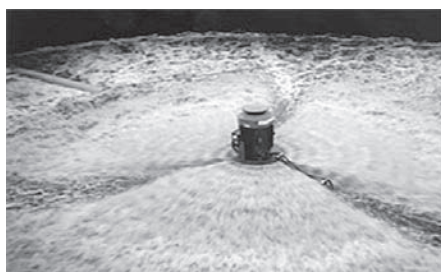


Foto 25: Turbina rápida



Foto 26: Turbina lenta



Foto 27: Aireador tipo "cepillo"

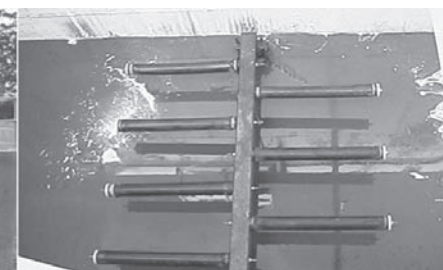


Foto 28: Difusores tipo "tubo"



Foto 29: Agitador



Foto 30: Difusores tipo "plato"

Cálculo de la cantidad de O₂ que los aireadores deben ser capaces de disolver efectivamente por hora en agua limpia:

$$AHI = \left[\frac{a'Le}{h} + \frac{2.85 (Ne - Ns - Nl)}{h} + \frac{b'Sa}{24} \right] \frac{1}{\alpha}$$

- AHI = Aporte Horario de O₂ en agua limpia
- a' = 0.7 kg O₂/kg DBO₅ a tratar
- Le = Flujo de DBO₅ diario a tratar (kg DBO₅/día)
- (Ne-Ns-Nl) = N entrada – N salida – N lodos es decir el flujo de Nitrógeno a oxidar (si eliminación potenciada de N exigida)
- 2.85 kg O₂/kg N a oxidar cada día
- h = 14 (horas durante las cuales llega la mayor parte de la contaminación)
- b' = 0.06 kg O₂/ kg SSV (coeficiente aplicado a la cantidad de biomasa en el tanque)
- Sa = Biomasa en el tanque de aireación (kg SSV)
- α = factor correctivo "licor mixto/agua limpia" (≈ 0.8 para los aireadores de superficie; ≈ 0.6 para los difusores de aire)

Dimensionamiento de los aireadores:

1. Cálculo de la Potencia de los aeradores de superficie :

$$P(kw) = AHc/SEB$$

2. Cálculo del caudal de aire soplado por los difusores :

$$\text{Caudal de aire} = AHc/RO \times xa \times p$$

RO = Rendimiento de disolución de O₂ en agua limpia = 5 a 30 %

xa = Proporción de O₂ en el aire = 20 %

p = Masa volumétrica de O₂ = 1.43 kg/m³

Atención: no olvidar que la puesta en suspensión de la biomasa debe ser correctamente asegurada (> 30 W/m³ en caso de aireadores de superficie). Los Agitadores son utilizados a veces como complemento de aireación por difusión de aire.

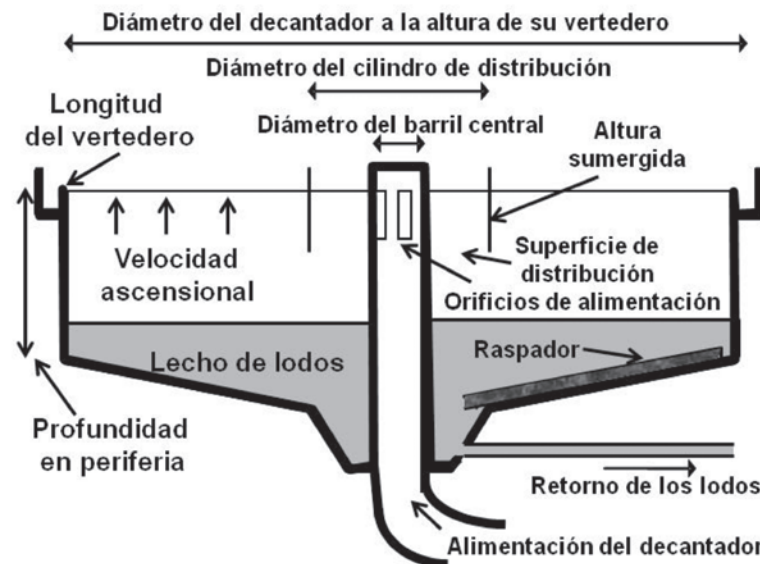
COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "AIREACIÓN"

- Los equipamientos de aireación tienen 2 papeles:
 1. Suministrar suficientemente de O₂ a las bacterias a cada instante del día
 2. Asegurar la puesta en suspensión de la biomasa
- Ajustar el funcionamiento de estos equipamientos es capital para:
 1. Obtener la calidad del efluente exigida
 2. Optimizar el consumo de energía

5.2 PARTE DECANTACIÓN

Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- La velocidad ascensional
- La velocidad de distribución
- La velocidad de alimentación
- La profundidad en periferia
- La longitud del vertedero
- La velocidad del raspador



Esquema 13: Corte de un decantador secundario

La superficie del tanque de decantación es determinada por el criterio de **Velocidad Ascensional**, que se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Velocidad Ascensional (VA en m/h)} = \frac{\text{Caudal del efluente (m}^3\text{/hora)}}{\text{Superficie del decantador (m}^2\text{)}}$$

Pero no solo se tiene en cuenta este criterio para un buen funcionamiento del decantador. Se deben tener en cuenta además los criterios siguientes:

$$\text{Velocidad de la Distribución (m/h)} = \frac{\text{Caudal del efluente + Recirculación (m}^3\text{/hora)}}{\text{Superficie del cilindro de distribución (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Velocidad de la Alimentación (m/h)} = \frac{\text{Caudal del efluente + Recirculación (m}^3\text{/hora)}}{\text{Superficie de los orificios de alimentación (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Velocidad en la Tubería (m/h)} = \frac{\text{Caudal del efluente + Recirculación (m}^3\text{/hora)}}{\text{Superficie de los orificios de alimentación (m}^2\text{)}}$$

VALORES DE REFERENCIA	VALORES
Velocidad ascensional	0.2 a 0.5 m/h
Velocidad de la distribución	0.5 a 5 cm/s
Velocidad de la alimentación	1 a 10 cm/s
Velocidad en la tubería de alimentación	0.5 a 1.5 m/s
Profundidad en la periferia	> 2.5 m
Velocidad en el vertedero	< 3 a 5 m ³ /h.m

Tabla 10: Valores de referencia para la decantación secundaria

La velocidad ascensional debe tener en cuenta la aptitud de los lodos a decantar, medida por el VC30 (Volumen Corregido tras de 30 min. de decantación). Valores bajos de velocidad ascensional (≈ 0.2 m/h) son aconsejadas para el tratamiento de ciertas aguas residuales industriales.

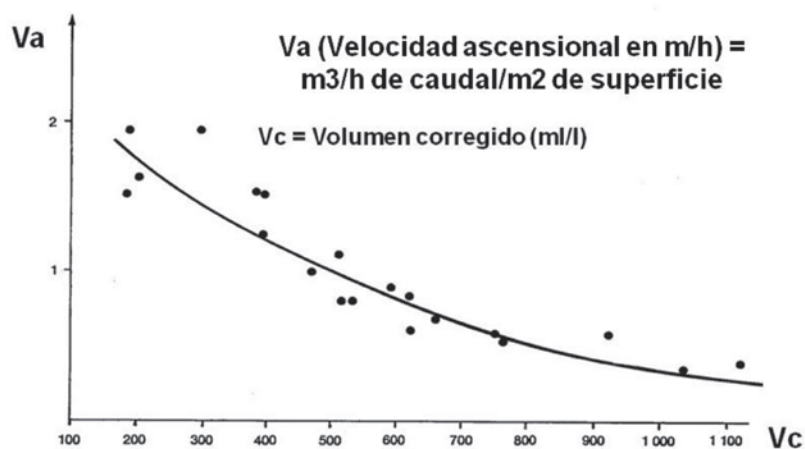


Gráfico 5: Relación entre la velocidad ascensional y el VC30

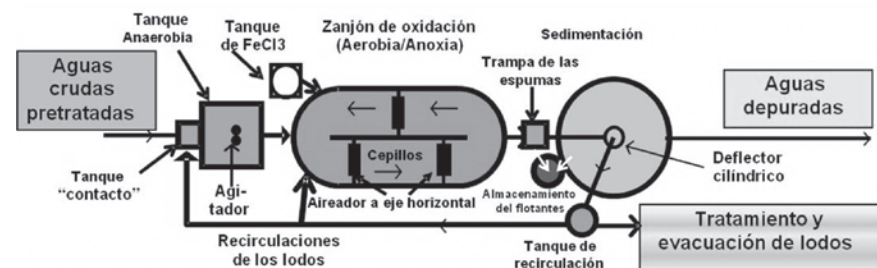
COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "SEDIMENTACIÓN"

- El diseño cilíndrico es el más frecuente y muy adecuado para la sedimentación de la biomasa, pero existen también decantadores paralelepípedicos. Atención, la utilización de placas sumergidas plantea problemas con la sedimentación de la biomasa.
- La velocidad ascensional es la característica más importante; ella debe tener en cuenta la aptitud de la biomasa a decantar.
- Otras características de diseño son también muy importantes tal como la profundidad a la periferia, la velocidad de distribución y la velocidad de alimentación de la biomasa en el centro del sedimentador, la altura sumergida de la pantalla en el centro del sedimentador, etc.
- El caudal de recirculación de los lodos debe estar entre 100 a 200 % del caudal del afluente y quedar tan regular como sea posible.

5.3 OTROS ELEMENTOS

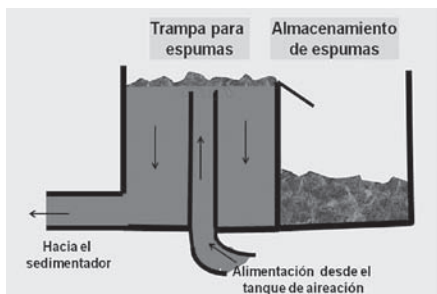
Una estación de depuración incluye también otros elementos muy importantes:

- Un tanque entre el tanque de aireación y el decantador para atrapar las espumas
- Un tanque para almacenar los flotantes atrapados en la trampa de espumas y en la superficie del decantador
- Un tanque de recirculación de los lodos para controlar el caudal de recirculación
- Un tanque anoxico y/o aerobio para eliminar mejor N y P biológicamente
- Un tanque de FeCl₃ para eliminar mejor P químicamente
- Un tanque de "contacto" para prevenir el desarrollo de bacterias filamentosas



Esquema 14: Estación de depuración con los elementos complementarios

Localizado entre el tanque de aireación y el decantador, la trampa de las espumas permite atrapar una gran parte de flotantes y eliminar las burbujas de aire, lo que ayuda a un buen funcionamiento del decantador.



Esquema 15: corte de una trampa para espumas

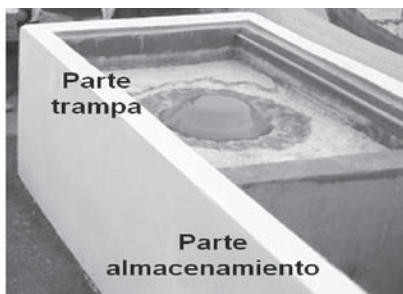


Foto 31: vista de una trampa

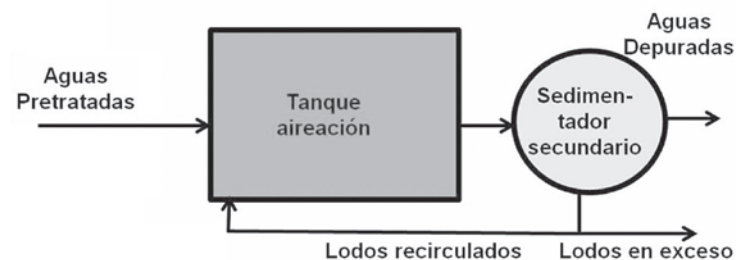
COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "ELEMENTOS SECUNDARIOS"

- Estos tanques suplementarios responden a necesidades específicas:
 1. Un tanque con las bombas de recirculación (indispensable para controlar la regularidad del caudal de recirculación).
 2. Un tanque para atrapar una parte de los flotantes antes de la etapa de decantación, completado por un tanque suplementario para almacenar las espumas atrapadas (aconsejado para todas las instalaciones)
 3. Un tanque anoxico para las estaciones que deben eliminar los compuestos nitrogenados.
 4. Un tanque anaeróbico para las instalaciones que deben eliminar los compuestos con fósforos biológicamente.
 5. Un tanque de $FeCl_3$ para las instalaciones que deben eliminar químicamente los compuestos con fósforos.
 6. Un tanque de contacto para las instalaciones sensibles al fenómeno de bulking

5.4 VARIOS DISEÑOS

Configuración la más simple con un tanque de aireación "completamente mezclado".

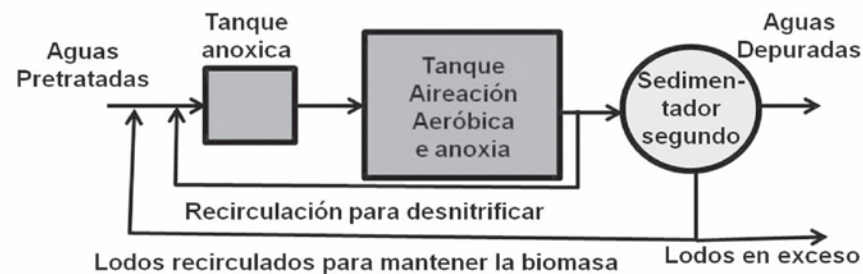
La ausencia de la decantación primaria y la realización de un tanque de aireación dicho "completamente mezclado" es un medio de reducir el coste de inversión de la instalación para los "Lodos Activados Baja Carga".



Esquema 16: Configuración con un tanque "completamente mezclado"

Configuración con eliminación potenciada de los compuestos nitrogenados

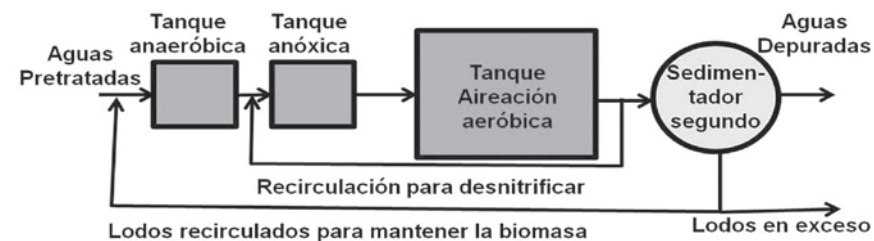
Se adjuntan un tanque anoxia delante del tanque de aireación y una recirculación interna para mejorar la desnitrificación.



Esquema 17: Configuración con un tanque anoxia

Configuración con eliminación potenciada biológica de los compuestos fosforados

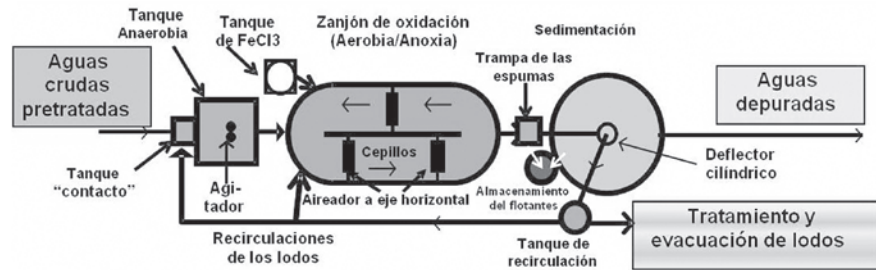
Se adjunta un tanque al inicio del tratamiento para asegurar una alternancia entre condiciones anaerobia y aerobia que favorecen el desarrollo de los bacterias capaces de almacenar el fósforo.



Esquema 18: Configuración con tanques anoxia y anaerobia

Configuración con eliminación potenciada de los compuestos nitrogenados y fosforados

En la configuración debajo descrita, la eliminación del fósforo está potenciada por la adición de $FeCl_3$ y las condiciones aeróbicas y anóxicas que son realizadas en el tanque de aireación (esto es lo más convencional).



Esquema 19: Configuración sin tanques anoxia

Estación de depuración (capacidad = 120 000 PE) con eliminación potenciada de los compuestos nitrogenados sin tanque anoxia separado



Foto 32: Vista de la estación de depuración

Equipamientos para limitar la superficie y el volumen de los tanques

Ciertas evoluciones tecnológicas permiten reducir la superficie ocupada al suelo y el

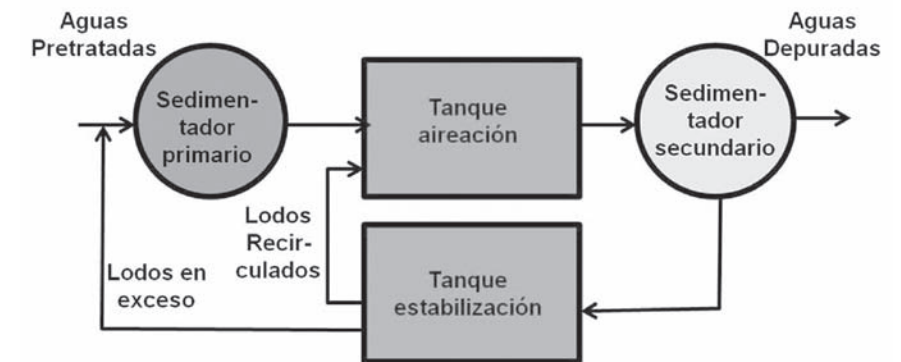
volumen del tanque de aireación.

EVOLUCIONES TECNOLÓGICAS		VENTAJAS
Difusores de aire		Profundidad del tanque multiplicada por 2 Superficie al suelo dividida por 2 Mismo volumen
Proceso MBBR "Moving Bed Bio Reactors"		Biomasa multiplicada por 2 Superficie al suelo dividida por 2 Volumen dividido por 2
Membrana MBR "Membranes Bio Reactors"		Concentración de la biomasa multiplicada por 4 Superficie al suelo dividida por 4 Volumen dividido por 4

Tabla 11: Evoluciones tecnológicas de los Lodos Activados

Configuración contacto-estabilización

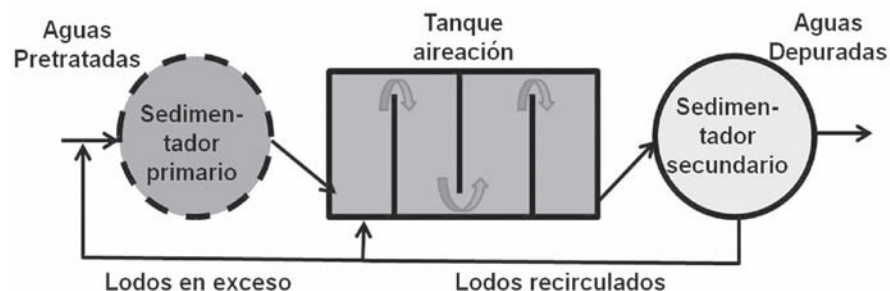
Los lodos recirculados están estabilizados antes de volver al tanque de aireación. Esta configuración (no extendida) está aplicada en caso de aguas pobres en nutrientes y susceptibles de causar problemas de sedimentación.



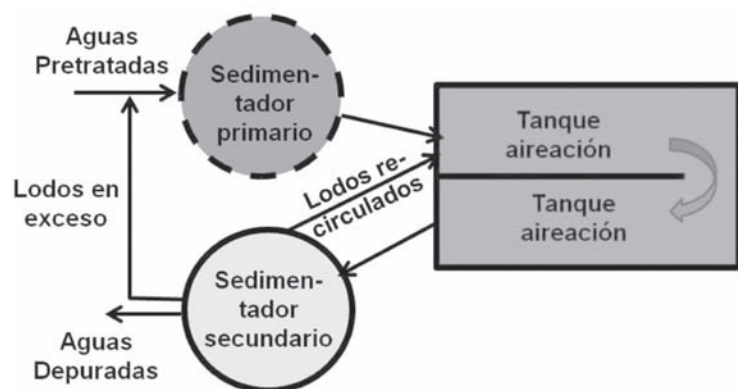
Esquema 20: Configuración "contacto-estabilización"

Configuraciones de un tanque de aireación de "Flujo Pistón"

La configuración "flujo pistón" intenta crear un gradiente de carga másica como forma de anticipar el riesgo de desarrollo de bacterias filamentosas.



Esquema 21: Configuración "flujo pistón"

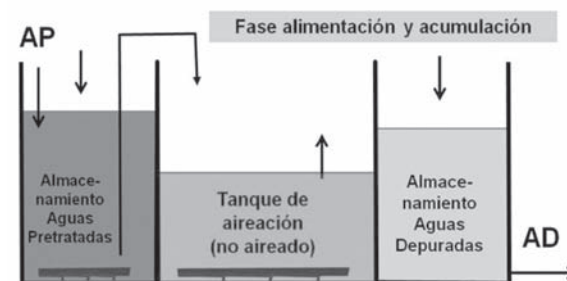


Esquema 22: Otra configuración "flujo pistón"

Proceso RBS (primera opción)

El proceso RBS (Reactor Batch con Secuencias) es caracterizado por la ausencia de un tanque dedicado a la etapa decantación.

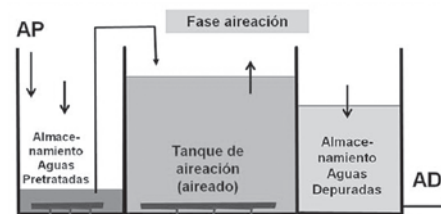
Fase 1: Alimentación



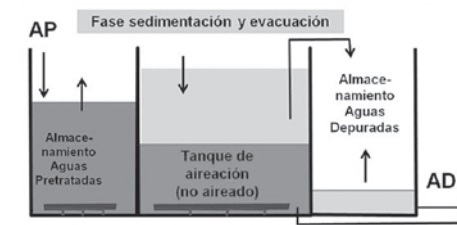
En esta opción, la configuración "RBS" consiste en alternar las etapas Aireación y Sedimentación en el mismo tanque

Esta primera opción implica una variación del nivel del agua en el tanque aireado

Fase 2: Aireación



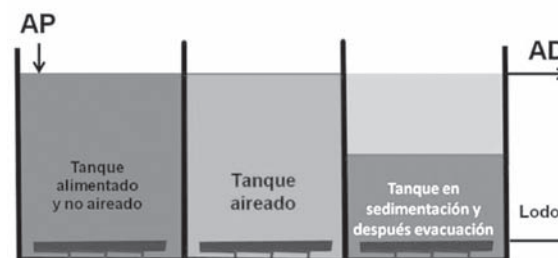
Fase 3: Decantación y descarga



Esquema 23: proceso RBS con variación de nivel en el tanque de aireación

Proceso RBS (segunda opción)

Fase 1: Alimentación en el primer tanque

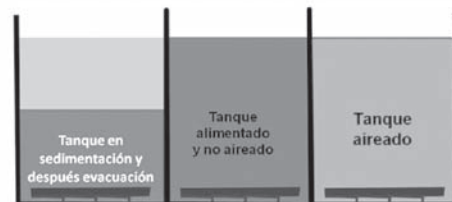


Esta segunda opción no implica ninguna variación de nivel del agua en los tanques aireados, pero incluye tres tanques con funciones similares

Fase 2: alimentación en el tercer tanque

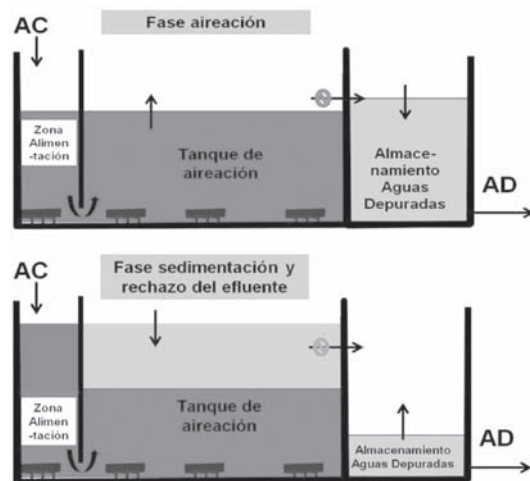


Fase 3: alimentación en el segundo tanque



Esquema 24: Proceso RBS sin variación de nivel en el tanque de aireación

Proceso RBS (tercera opción)

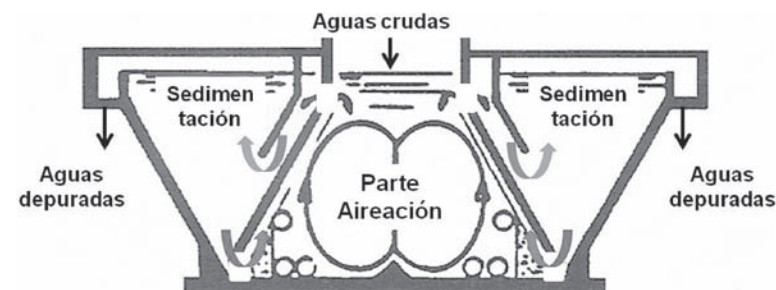


Esta tercera opción implica una variación del nivel del agua en el tanque de aireación, pero permite una alimentación continua del afluente en la primera zona del tanque de aireación

Esquema 25: Proceso RBS con alimentación continua en afluente

Tanques "combinados"

Este diseño es caracterizado por un solo tanque con una parte "aireación" y otra parte "sedimentación", sin equipamiento mecánico para controlar la recirculación de los lodos. Esta técnica ha sido completamente abandonada a causa de su falta de fiabilidad.



Esquema 26: Corte de tanques combinados"

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "VARIOS DISEÑOS"

- Existen numerosas configuraciones posibles de Lodos Activados para eliminar los contaminantes C, N, P
- Las configuraciones clásicas (tanque de aireación y sedimentación separados) son aun las más utilizadas.
- Las configuraciones clásicas mejoradas con materiales suspendidos o membranas y el proceso RBS se están extendiendo, especialmente para las aguas industriales.
- Ciertas configuraciones tales como "Contacto-Estabilización" o "Tanques combinados" no están frecuentes o completamente abandonados.

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO"

- La obligación de eliminar nitrógeno y fósforo condujo al abandono de los lodos activados fuerte y media carga en favor de los lodos activados baja carga que es el proceso más eficaz para eliminar las contaminaciones N y P.
- Es el proceso más frecuente en Francia y Europa para las plantas > 2000 PE
- Sus principales límites son el consumo de energía, la superficie ocupada al suelo, la gestión de la aireación y de los lodos, el mantenimiento de los equipamientos
- Hay evoluciones técnicas con, en particular, la utilización de membranas en lugar de una decantación secundaria (especialmente en caso de reutilización o desinfección del agua)

6. PROBLEMAS OPERATIVOS

La capacidad de entender y resolver un problema de funcionamiento de los Lodos Activados supone que las condiciones de un buen funcionamiento sean conocidas, especialmente:

- Las características normales de la biomasa
- Las características de un buen suministro de O₂
- Las características del efluente a obtener
- Las características de las aguas residuales a tratar
- Las características para una buena sedimentación

Ver los valores de referencia indicados en las tablas 3 y 4 del apartado 4.2.1

Ver los valores de referencia indicados en la tabla 9 del apartado 5.1.2

6.1 PROBLEMAS HIDRÁULICOS

¿Son las condiciones hidráulicas de funcionamiento conformes a los criterios de diseño del sedimentador? (Ver la tabla 10 del apartado 5.2). Atención a los caudales excesivos y a las sacudidas hidráulicas generadas por arranques y paradas intempestivos de las bombas de recirculación.

La capacidad de sedimentación no depende solamente de los caudales, sino también de la aptitud de la biomasa para sedimentar, caracterizada por el Volumen Corregido (ml/l) y el Índice de Barro (IB). Ningún lodo no decanta de la misma manera, especialmente los lodos que provienen del tratamiento de aguas residuales industriales:

- Valores de VC = 1000 a 1500 ml/l pueden considerarse como normales para aguas industriales.
- Los sedimentadores con láminas (placas sumergidas) no son recomendados para separar la biomasa del agua depurada.

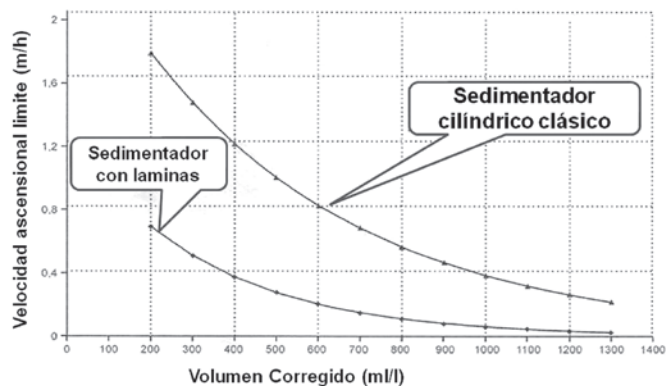


Gráfico 6: Relación entre la Velocidad Ascensional (VA) y el Volumen Corregido 30 mn (VC30)

Otras anomalías son susceptibles de dañar la separación lodos-agua:

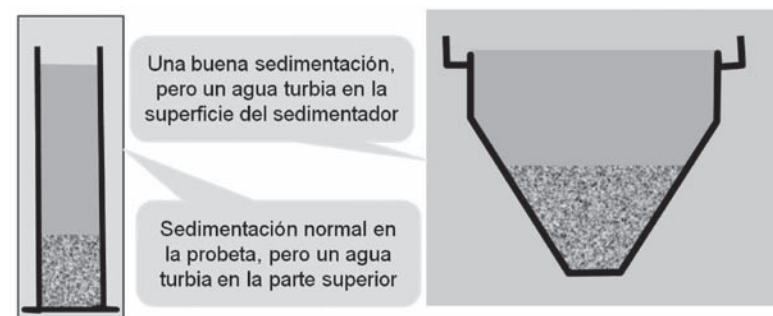
1. Presencia de burbujas de aire a la superficie del sedimentador → ver la trampa de espumas
2. Sacudidas importantes de caudal → ver el funcionamiento de la recirculación
3. Orificios de alimentación demasiado pequeños o localizados demasiado abajo → ver la concepción del sedimentador
4. Ausencia o diámetro demasiado pequeño o inmersión demasiado grande de la pantalla de distribución → ver la concepción del sedimentador
5. Profundidad Insuficiente en periferia → ver la concepción del sedimentador
6. Pendiente insuficiente en el fondo del sedimentador → ver la concepción del sedimentador
7. Velocidad excesiva o mal estado del barredor de fondo → verificar el equipamiento
8. Inmersión excesiva de la pantalla antes del vertedero → verificar el equipamiento

COMENTARIOS SOBRE LAS PROBLEMAS HIDRÁULICOS

- Antes de buscar causas químicas o biológicas de un mal funcionamiento, hay que examinar las posibles anomalías hidráulicas que pueden dañar la buena sedimentación de los lodos.
- Ciertas anomalías hidráulicas son susceptibles de causar problemas biológicos tales como:
 - El mal estado del barredor produciendo la acumulación de lodos sobre el fondo del tanque que fermentan y suben a la superficie en forma de aglomeraciones de lodos.
 - La estadía prolongada de los lodos en el sedimentador puede generar una mala decantación de los lodos (bulking)
 - La parada prolongada de la recirculación puede causar la pérdida de biomasa con el agua depurada.

6.2 EFLUENTE TURBIO SIN PÉRDIDA DE BIOMASA

Primer caso, la biomasa no está destruida.



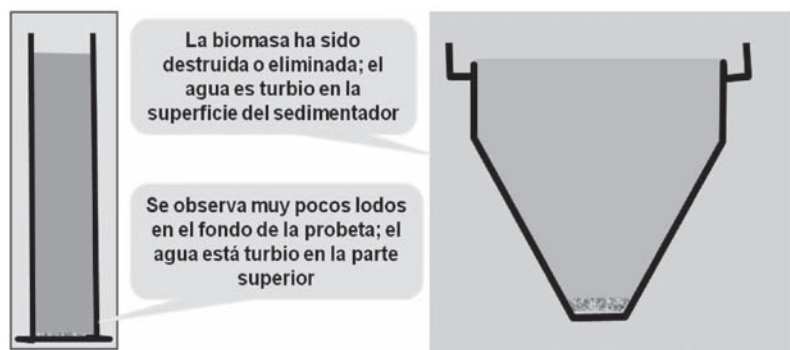
Esquema 27: observación de un problema de agua turbia (biomasa no destruida)

Las pruebas y análisis permiten de confirmar la causa y aportar la solución adecuada.

CAUSA PROBABLE	SUMINISTRO INSUFICIENTE DE AIRE O CARGA EXCESIVA DE CONTAMINANTES
Resultados de las observaciones, pruebas y análisis	DBO5 y DQO alta del efluente
	Olor anormal del tanque de aireación
	NH4 efluente muy alto
	Ausencia de NO3 en el efluente
	Transparencia del efluente muy baja
	Poco O2 en el tanque de aireación
	Concentración normal de los SS en la biomasa
	pH de las aguas crudas y depuradas normal
Acción	Aumentar el suministro de O2 en el tanque de aireación

Tabla 12: Resultados de los tests y acción posible

Segundo caso, la biomasa está destruida o eliminada



Esquema 28: Observación de un problema de agua turbia (biomasa destruida o eliminada)

Los pruebas y análisis permiten de confirmar la causa y aportar la solución adecuada.

CAUSAS PROBABLES	BIOMASA INSUFICIENTE	TÓXICOS EN LAS AGUAS CRUDAS
Resultados de las observaciones, pruebas y análisis	DBO5 y DQO altos del efluente	DBO5 y DQO altos del efluente
	Olor normal del tanque de aireación	Olor normal del tanque de aireación
	NH4 efluente muy alto	NH4 efluente muy alto
	Ausencia de NO3 en el efluente	Ausencia de NO3 en el efluente
	Transparencia del efluente muy baja	Transparencia del efluente muy baja
	Mucho O2 en el tanque de aireación	Mucho O2 en el tanque de aireación
	Biomasa eliminada	Biomasa destruida
	pH normal de las aguas	pH variable de las aguas
Acción	Disminuir o cesar las extracciones de lodos	Suprimir la contribución de tóxicos

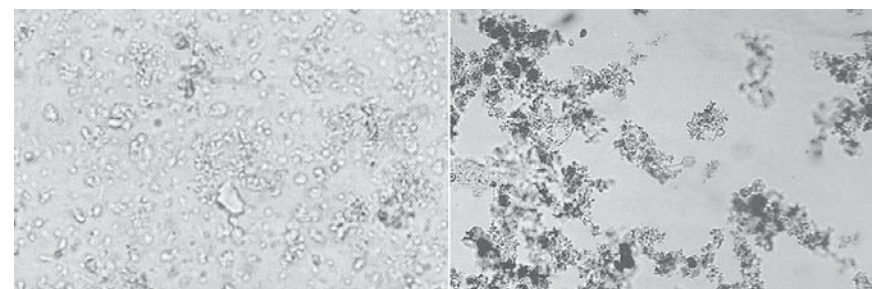
Tabla 13: Resultados de los tests y acción posible

Comparación entre una floculación normal y una ausencia de floculación

La ausencia de floculación, llamada también «Pin Point Flocc», (foto izquierda) significa que la fase «aglomeración» de las bacterias no ocurre, lo que impide una floculación normal (foto derecha).

La ausencia de floculación puede provenir de:

- Una destrucción de los flóculos biológicos (tóxicos)
- Un aporte demasiado bajo de contaminantes, insuficiente para favorecer el desarrollo de las bacterias y de los flóculos biológicos.



Fotos 33 y 34: Ausencia de floculación (foto izquierda) y floculación normal (foto derecha)

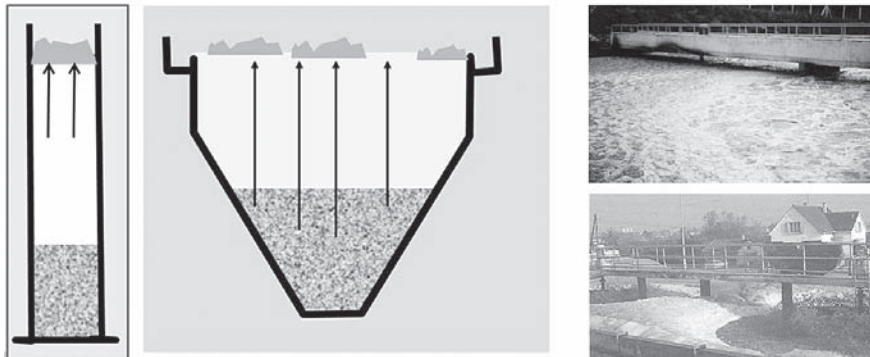
COMENTARIOS SOBRE LOS CASOS DE EFLUENTE TURBIOS SIN PÉRDIDA DE SS

1. Suministro insuficiente de O₂, exceso de contaminantes a tratar, concentración insuficiente de la biomasa, presencia de tóxicos en el afluente son los casos mas frecuentes encontrados para explicar la turbiedad del efluente.
2. Para acelerar la formación de los flóculos (puesta en marcha de una planta), se pueden añadir lodos de una otra instalación en el tanque de aireación
3. En ciertos casos, especialmente cuando se tratan aguas industriales, se puede observar un efluente turbio o coloreado a causa de:
 - Tintas o colores no biodegradables (imprentas, tintorerías,...)
 - Partículas arcillosas (ya presentes en el afluente)
 - Otros...

6.3 PRESENCIA DE SS EN EL EFLUENTE (FLOTANTES)

6.3.1 A causa de burbujas de aire

Casos graves de espumas ligeras y blancas (foto debajo) o pesadas y marrones (foto arriba) pueden ocurrir y provocar desbordamientos fuera de los tanques. Las espumas alcanzan volúmenes importantes debido a las propiedades tensioactivas de detergentes o materias grasas.



Esquema 29: Observación de un problema de espumas en la probeta y a la superficie del decantador
Fotos 35 y 36: Espumas marrones y pesadas (foto arriba) y espumas blancas y ligeras (foto debajo)

Casos de las espumas blancas - Causas y soluciones

Este fenómeno es causado por la presencia de detergentes en las aguas residuales y se observa con frecuencia a la puesta en marcha de una estación de depuración. Sin embargo, disminuye normalmente con el aumento de la concentración en biomasa.

Para ciertas aguas residuales industriales, el fenómeno puede ser muy grave y muy dañino, porque las espumas, muy ligeras, pueden ser transportadas por el viento. Si el aumento de la concentración de la biomasa no basta para eliminar el problema, es necesario entonces:

- Añadir productos "anti espumantes" en el afluente para disminuir las molestias hasta que la causa esté determinada
- Cambiar la naturaleza (elegir detergentes biodegradables) y disminuir la cantidad de los detergentes utilizados por el industrial.

Casos de las espumas marrones - Causas y soluciones

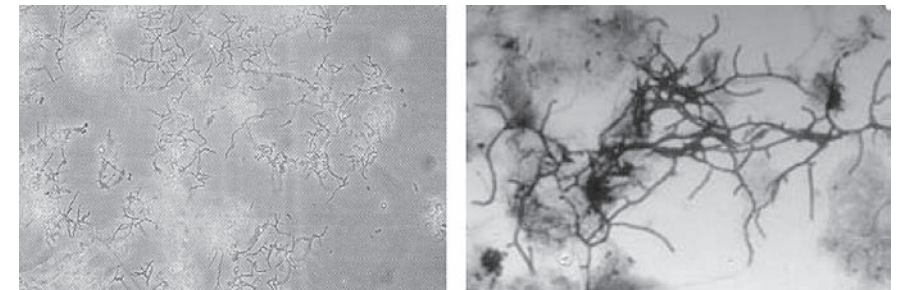
Este fenómeno es causado por la presencia de materias grasas en las aguas residuales que tienen un efecto tensioactivo. Se observa con frecuencia cuando el afluente no ha sido suficientemente desgrasado previamente.

Para evitar estas espumas se aconseja implementar:

- Un desgrasador eficiente antes del tanque de aireación
- Una trampa de espumas entre el tanque de aireación y el sedimentador

En caso de aguas residuales industriales con concentraciones elevadas en grasas (mataderos por ejemplo), es necesario de potenciar la eliminación de las materias grasas implementando una etapa de flotación antes del tanque de aireación

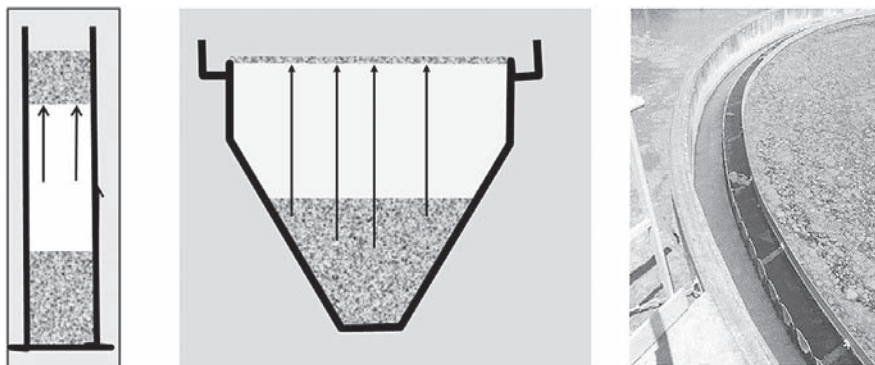
Bacterias a menudo asociadas con el fenómeno de espumas marrones:



Fotos 37 y 38: Bacterias filamentosas llamadas "Nocardia" (ramificadas y no demasiado largas)

6.3.2 A causa de burbujas de N₂

Un exceso de aire en el tanque de aireación, puede dar lugar a un fenómeno de desnitrificación en los lodos que están en el decantador; esta desnitrificación genera el gas N₂ que aligera los lodos y hace subirlos a la superficie del decantador.



Esquema 30: Observación de un problema de desnitrificación en la probeta y en el decantador
Fotos 39: Aglomeraciones de lodos a la superficie del decantador

Desnitrificación en el decantador - Causas y soluciones

Este fenómeno es causado por un exceso de suministro de aire en el tanque de aireación que produce una cantidad demasiado importante de NO_3 (ver el gráfico NH_4 y NO_3 con el "Punto Crítico" al apartado 4.1.2). Estos nitratos se desnitrifican en el decantador (condiciones de anoxia en la biomasa) produciendo el gas N_2 que hace subir aglomeraciones de lodos a la superficie del decantador. Se pueden observar aglomeraciones de lodo a la superficie del decantador, hasta una capa. En cambio no se ve ningún flotante a la superficie del tanque de aireación lo que permite distinguir este problema de desnitrificación del fenómeno de las espumas marrones.

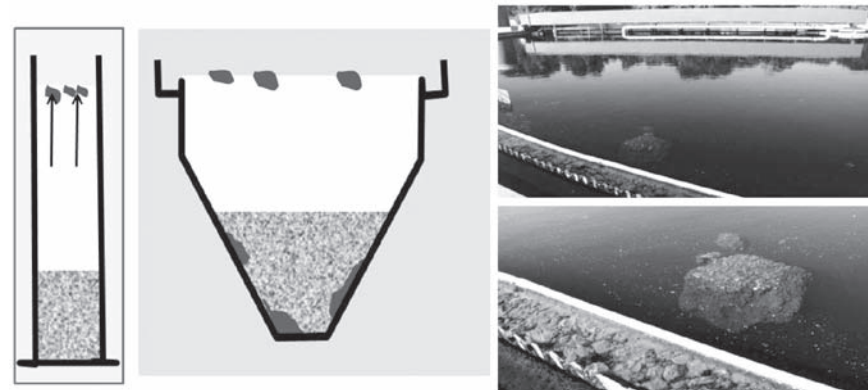
La solución (muy simple) consiste en ajustar el suministro del aire según el gráfico NH_4 - NO_3 , en la zona del punto crítico.



Fotos 40 a 42: Observaciones del fenómeno de desnitrificación

6.3.3 A causa de burbujas de CH_4

A causa de problemas del tanque o equipamiento, los lodos pueden permanecer un tiempo prolongado en el fondo del decantador y fermentar, produciendo el gas CH_4 , que causa la subida de unas aglomeraciones de lodos negros hacia la superficie del decantador.



Esquema 31: Observación del fenómeno de fermentación en el fondo del decantador
Fotos 43 y 44: Aglomeraciones de lodos negros a la superficie del decantador

Fermentaciones en el decantador - Causas y soluciones

Este fenómeno es causado por la fermentación de aglomeraciones de lodos sobre el fondo del decantador; esta fermentación genera el gas metano que aligera los lodos y hace subirlos a la superficie del decantador en forma de aglomeraciones que pueden ser grandes; hay, al menos, dos casos posibles:

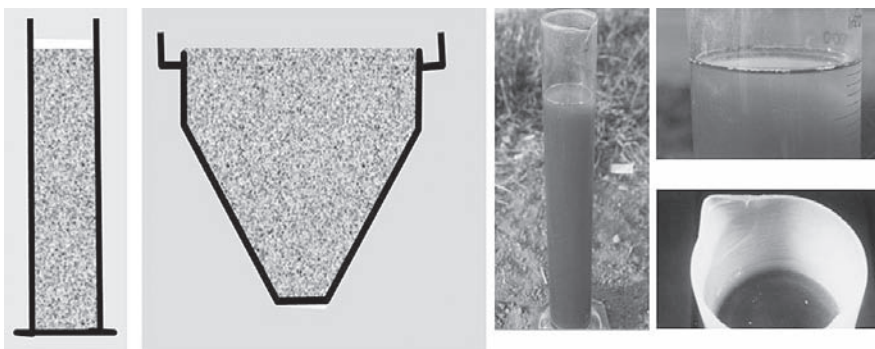
- La pendiente del fondo no es suficiente o la superficie no permite el deslizamiento de los lodos (caso de decantadores sin barreador de fondo)
- El barreador de fondo se ha dañado y no cumple su función (caso de los decantadores equipados de un barreador de fondo)

Se ven aglomeraciones de lodos negros en la superficie del decantador que dañan la calidad del efluente a causa de la pérdida de sólidos suspendidos.

La solución consiste en controlar (y reparar) el estado del fondo del decantador y/o el estado del barreador de fondo.

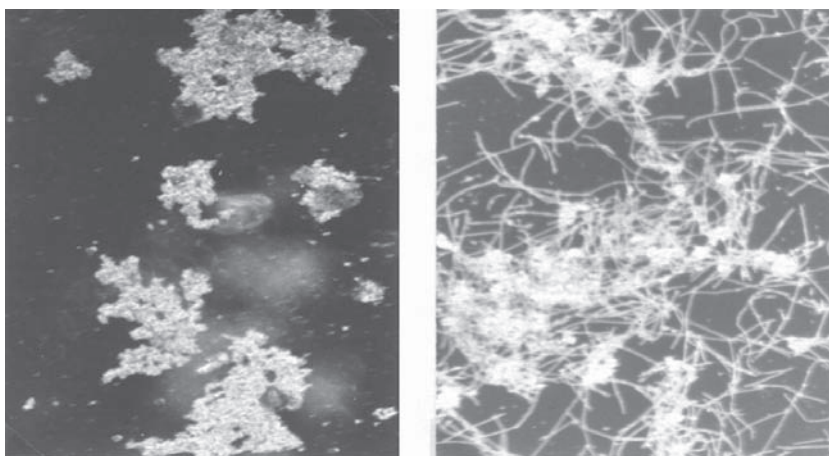
6.4 PÉRDIDAS IMPORTANTES DE SS EN EL EFLUENTE - BULKING O ABULTAMIENTO

La separación de los lodos activados y del agua clara puede resultar muy difícil en el decantador a causa de un desarrollo muy importante de bacterias filamentosas, causando pérdidas masivas de sólidos suspendidos con el efluente.



Esquema 32: Observación del fenómeno de bulking en la probeta y en el decantador
Fotos 45 a 47: Observación de lo que sucede en la probeta

El desarrollo muy importante de bacterias filamentosas dentro y entre los flóculos les impide acercarse y decantar (en la probeta y el decantador), causando el vertido de la biomasa con el efluente y su mala calidad.



Fotos 48 y 49: Biomasa sin bacterias filamentosas (a la izquierda) y con bacterias filamentosas (a la derecha)

Las bacterias filamentosas, a causa de su rigidez, impiden a los flóculos acercarse y decantar normalmente en la probeta o el decantador. El volumen ocupado por los lodos en la probeta o en el decantador no se reduce; se habla de "Abultamiento" o "Bulking". El agua intersticial, que se puede ver a la superficie del decantador, es de muy buena calidad a causa de un efecto "filtración" del lecho de lodos.

Relación entre bacterias filamentosas y mala decantación:

La capacidad de los lodos a decantar se mide con el "Índice de Barro" (mililitros ocupados por 1 gramo de sólidos suspendidos de los lodos tras 30 minutos de decantación en una probeta de 1 litro)

- Si $50 < \text{Índice de Barro (IB)} < 200$: decantación buena
- Si $200 < \text{Índice de Barro (IB)} < 400$: decantación media
- Si $400 < \text{Índice de Barro (IB)} < 600$: decantación mala

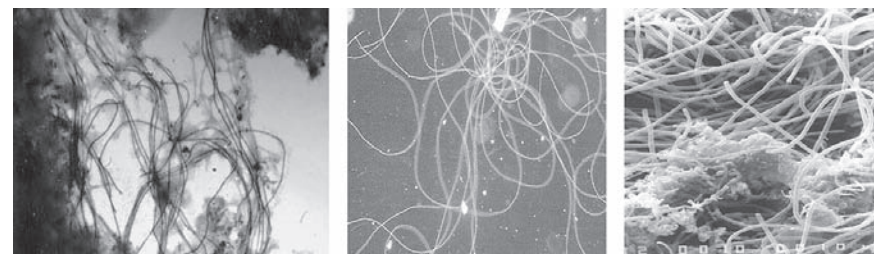
En caso de crisis aguda, el índice de Barro (IB) puede superar 1000 ml/g SS.

Hay numerosos tipos de bacterias filamentosas que pueden desarrollarse en los lodos; las más observadas son "Microthrix Parvicella", "O21 N", "Thiotrix", "Sphaerotilus natans" etc.

La gravedad del problema depende de la cantidad de bacterias y de su rigidez (el tipo "O21N" es particularmente dañino)

Bacteria filamentosas llamada "Microthrix Parvicella"

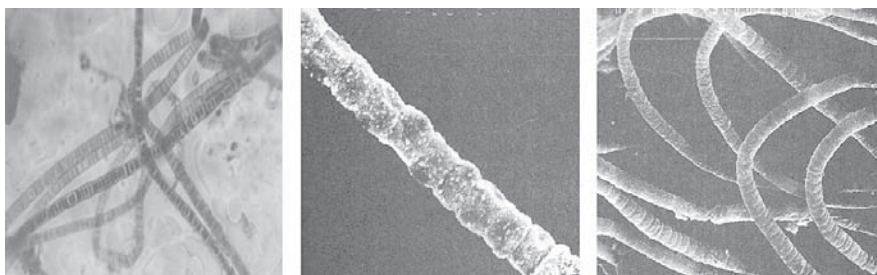
Los filamentos son curvos y bastante flexibles; presentan un aspecto de "spaghetti con bolognese" como aparece en la foto de la derecha tomada con un microscopio electrónico. Esta bacteria genera decantaciones malas (índice de barro ≈ 300 a 500 por lo general), pero no catastróficas. Las pérdidas de lodos pueden ser evitadas si la velocidad ascensional en el decantador $\approx 0,2$ a $0,4$ m/h.



Fotos 50 a 52: Observaciones de Microthrix parvicella con microscopios óptico y electrónico

Bacteria filamentosas llamada "O21N"

Caracterizados por células separadas y de forma discoidal (ver la foto del medio), los filamentos son muy rígidos. Esta bacteria puede generar decantaciones catastróficas (IB > 1000). Las pérdidas de lodos no pueden ser evitadas aunque la velocidad ascensional en el decantador sea $\approx 0,2$ a $0,4$ m/h.



Fotos 53 a 55: Observaciones de bacterias "021N" con microscopios óptico y electrónico

Causas de bulking:

Este fenómeno de proliferación de las bacterias filamentosas es causado por muchas cosas relativas a los 3 elementos que pueden influenciar el desarrollo de ciertas bacterias a costa de otras bacterias:

LOS 3 ELEMENTOS	CAUSAS POSIBLES
La biomasa = la población de las bacterias	Atención a los traslados masivos de la biomasa del tanque de aireación hasta el sedimentador a causa de paradas prolongadas de la recirculación de caudales excesivos de las aguas crudas.
O ₂ = la respiración de las bacterias	Atención a los problemas de aireadores y de regulaciones O ₂ o REDOX. Atención a la presencia de materias grasas que dañan los intercambios de O ₂ en la biomasa
Los contaminantes (C, N, P) = la alimentación de las bacterias	Atención a las variaciones brutales de llegadas de compuestos carbonosos y a la carencia de nutrientes

Tabla 14: Búsqueda de los causas de bulking

Causas

Este gráfico ilustra la influencia de la carga del agua en los alrededores de los flóculos sobre el desarrollo de las bacterias filamentosas o normales. Esto es la razón por la cual se aconseja crear zonas de alta carga al inicio del tratamiento y buscar un efecto "pistón".

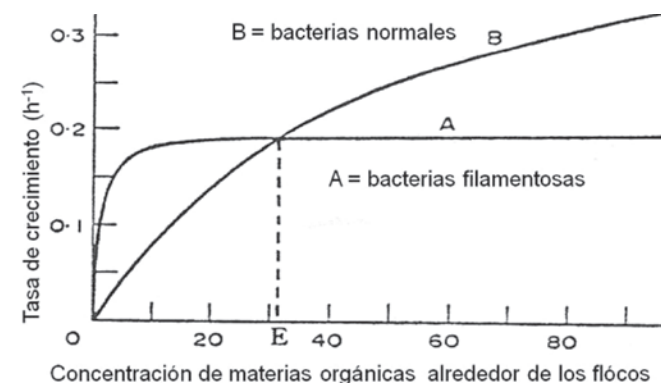


Gráfico 7: Relación entre la concentración de materia orgánica alrededor de los flóculos y el desarrollo de bacterias normales o filamentosas

Las soluciones preventivas son las siguientes:

- Determinar y controlar las llegadas de afluentes no domésticas (convenios de vertido en el alcantarillado)
- Prever tratamientos adaptados para los efluentes que presentan riesgos (tanques equalizadores si posee variaciones de flujo, flotación en caso de aguas muy grasas, adición de N y/o P en caso de carencia de N o P, etc.)
- Pensar en puntos de diseño de la estación de depuración (trampas de espumas; tanque de contacto, efecto "pistón")
- Controlar la concentración de biomasa en el tanque de aireación y el nivel de lecho de lodos en el sedimentador (extracción, recirculación)
- Controlar la concentración de O₂ en el tanque de aireación

A veces, ajustar correctamente no es suficiente, entonces se pueden implementar soluciones curativas.

Las soluciones curativas son las siguientes:

- Químicas: Adición controlada de cloro a la biomasa; esta receta se utiliza muy frecuentemente porque es fácil de implementar; esto requiere controlar bien la tasa de tratamiento y la calidad del efluente.
- Biológicas: Crear un efecto contacto o pistón antes del (o al inicio) tanque de aireación.
- Químicas - Físicas: Adición de reactivos que pueden mejorar la floculación (sales de hierro o aluminio, polímeros orgánicos)
- Físicas: Adición de productos que pueden hacer más pesados o modificar los flóculos (talco, carbonato, cal,...)

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "PROBLEMAS OPERATIVOS"

- Entender los problemas operativos supone primero conocer bien las condiciones del buen funcionamiento en términos de operación.
- Los problemas de bulking son en general los más difíciles a resolver; se presentan en tratamientos de aguas residuales domésticas, pero los casos más complicados se encuentran en tratamientos de aguas residuales industriales.

7. ELIMINACIÓN POTENCIADA DE LOS NUTRIENTES

7.1 ¿CARENCIA (FALTA) O EXCESO DE N O P ?

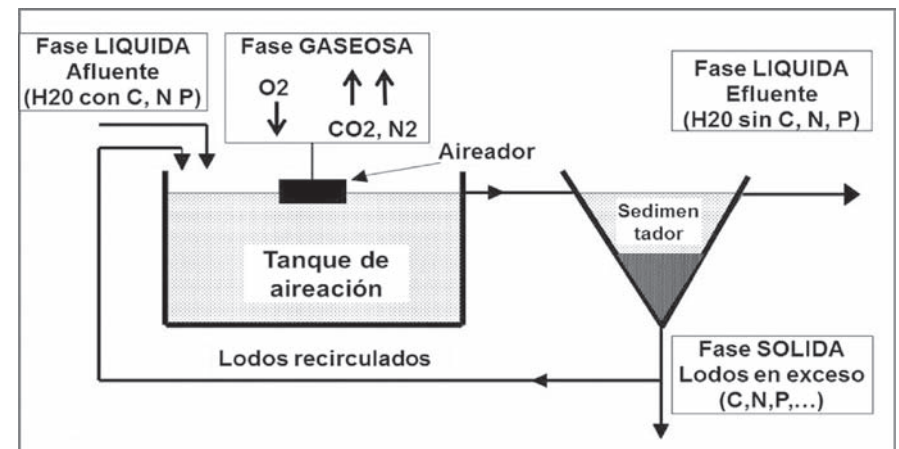
Definición de la carencia (falta) y exceso de nutrientes de un afluente

Los compuestos de N y P son necesarios para eliminar la contaminación carbonosa. Se considera que la necesidad de nitrógeno es igual a $DBO_5/20$ y que la necesidad de fósforo es igual a $DBO_5/100$.

Se deriva la relación: $DBO_5/N/P = 100/5/1$.

Si las cantidades de nitrógeno son inferiores a $DBO_5/20$ en el afluente, hay insuficiencia de nitrógeno (= falta) para eliminar la contaminación carbonosa. Si las cantidades de nitrógeno son superiores o muy superiores a $DBO_5/20$, hay exceso de nitrógeno en el afluente; hay que entonces eliminar este exceso de N por otro proceso que el inducido por la eliminación de la contaminación carbonosa.

Si las cantidades de fósforo son inferiores a $DBO_5/100$ en el afluente, hay insuficiencia de fósforo (= falta) para eliminar la contaminación carbonosa. Si las cantidades de fósforo son superiores o muy superiores a $DBO_5/100$, hay exceso de fósforo en el afluente; hay que entonces eliminar este exceso de P por otro proceso que el inducido por la eliminación de la contaminación carbonosa.



Esquema 33: ¿Dónde pasan N y P en un tratamiento biológico?

$$N \text{ afluente} = N \text{ efluente} + N \text{ lodo en exceso} + N_2 \text{ gas}$$

$$P \text{ afluente} = P \text{ efluente} + P \text{ lodo en exceso}$$

Cuando hay exceso de nitrógeno en el afluente, este exceso de nitrógeno es eliminado por nitrificación-desnitrificación en forma de gas N₂. No es posible aumentar la proporción de nitrógeno en los lodos (N = 5 a 7 % de las materias secas).

Cuando hay exceso de fósforo en el afluente, no es posible eliminar este exceso en la atmósfera en forma de gas. En cambio, contrariamente al nitrógeno, es posible aumentar la proporción de fósforo en los lodos.

Aplicación de esta definición a un efluente doméstico

Ver la composición del efluente presentada a la tabla 1 del apartado 3.1.1 de este documento.

- Parte de nitrógeno eliminada con la contaminación carbonosa: $360/20 = 18$ mg/l
- Concentración de NGL del afluente: 80 mg/l
- Entonces un exceso de $80 - 18 = 62$ mg/l a eliminar en forma de gas N₂ por nitrificación-desnitrificación
- Parte de fosforo eliminada con la contaminación carbonosa: $360/100 = 3.6$ mg/l
- Concentración en Pt del afluente: 20 mg/l
- Entonces un exceso de $20 - 3.6 = 16.4$ mg/l a eliminar (biológicamente o químicamente) en forma de Pt o PO₄ en los lodos en exceso.

COMENTARIOS SOBRE LA PARTE "CARENCIA (FALTA) O EXCESO DE N O P"

- Si $N < DBO5/20$ o $P < DBO5/100$ hay carencia (falta) de N o P. Hay riesgo de problemas con el tratamiento biológico (desarrollo de bacterias filamentosas). La composición de las aguas residuales debe ser reequilibrada por adición de N o P compuestos
- Las cantidades de N o P que necesitan un tratamiento específico pueden ser calculadas así:
 - $N = N_{\text{afluente}} - N_{\text{efluente}} - N_{\text{utilizado para eliminar C}} (DBO5/20)$
 - $P = P_{\text{afluente}} - P_{\text{efluente}} - P_{\text{utilizado para eliminar C}} (DBO5/100)$
- Si no hay objetivos de calidad para N o P del efluente, no se necesita ningún tratamiento específico de N o P.

7.2 PROCESO PARA ELIMINAR N EN EXCESO

7.2.1 Principio para eliminar N en exceso

Reacciones de nitrificación y desnitrificación para alcanzar N₂

Para eliminar N en la forma de gas N₂, se necesita una secuencia de reacciones de nitrificación (oxidación) y desnitrificación (reducción). La fase "nitrificación" exige un suministro de O₂ y una edad de lodo importante para favorecer el desarrollo de las bacterias "Nitrobacter". La fase "desnitrificación" exige la ausencia de O₂ y una fuente de carbono para reducir NO₃ en N₂.

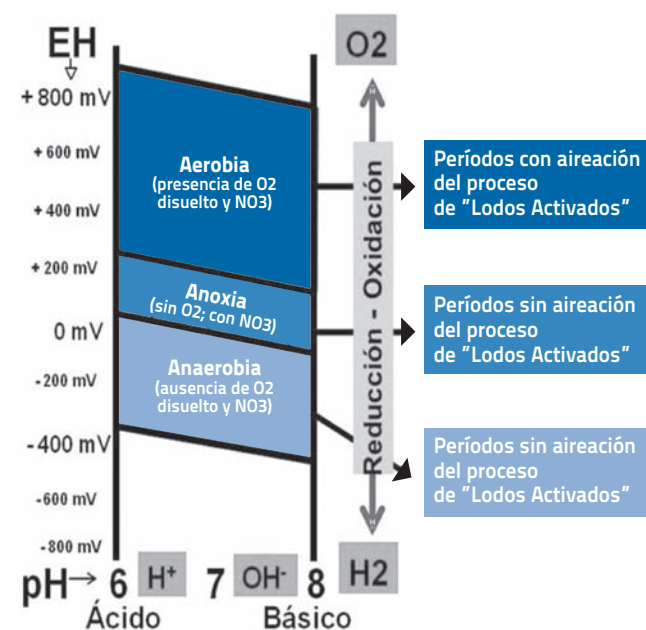
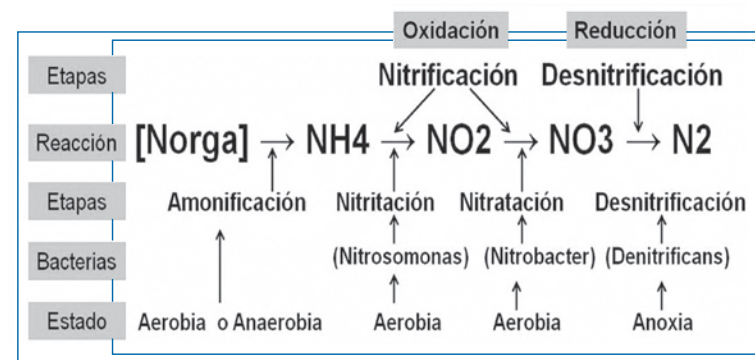


Gráfico 8: Zonas aerobia, anoxia y anaerobia dentro la "Ventana Biológica"

Estos estados están caracterizados por la presencia o la ausencia de O₂ o NO₃

- El suministro de O₂ hace subir el valor REDOX de la biomasa.
- En ausencia del suministro de O₂, la presencia de materia orgánica hace disminuir el valor REDOX

Las medidas en línea de Potencial REDOX y de oxígeno disuelto permiten visualizar los 3 estados en la biomasa durante un ciclo de aireación.

Las fases 1 y 2 (presencia de O₂) corresponden al estado "aerobia".
 La fase 3 (ausencia de O₂ y presencia de NO₃) corresponde al estado "anoxia".
 La fase 4 (ausencia de O₂ y de NO₃) corresponde al estado "anaerobia".

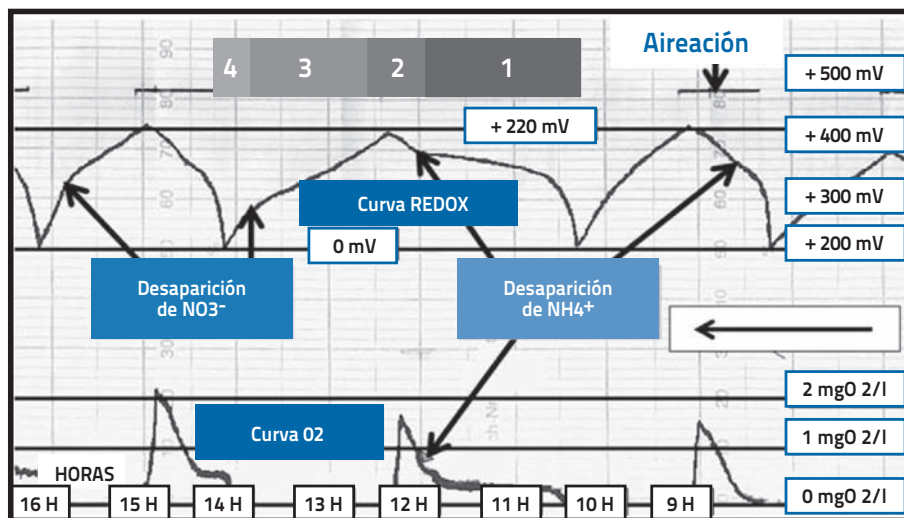


Gráfico 9: Visualización de los periodos aerobia, anoxia y anaerobia mediante una grabación REDOX

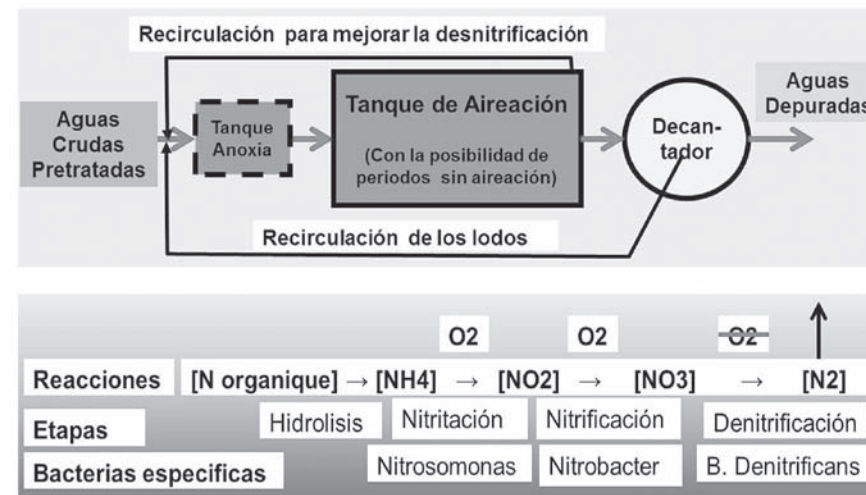
COMENTARIOS SOBRE EL PRINCIPIO DEL PROCESO

El tratamiento para potenciar la eliminación de N consiste en una secuencia de periodos aerobia y anoxia con:

1. Una sucesión de reacciones de oxidación y reducción
2. Un suministro de aire para aumentar el potencial REDOX y nitrificar
3. Una fuente de carbono (la materia orgánica de los lodos o del agua intersticial) para bajar el potencial REDOX y desnitrificar
4. Una edad de lodo > 15 a 20 días para favorecer el desarrollo de las bacterias nitrificantes
5. Un pH incluido entre 6 y 8
6. Una temperatura > 5 a 10 °C

7.2.2 Diseño, dimensionamiento y operación del proceso

Diseño del proceso



Esquema 34: Diseño de una instalación para una eliminación potenciada del nitrógeno

La alternancia de las fases "aerobia" y "anoxia" puede hacerse en un único tanque si los equipamientos de aireación permiten garantizar correctamente las fases "anoxia" en este tanque (funcionamiento de tipo "todo o nada" o "todo o poco" de los aireadores)

Un tanque suplementario, localizado al inicio del tratamiento, y una recirculación suplementaria de los lodos serán necesarios si los equipamientos de aireación no permiten garantizar correctamente las fases "anoxia" (funcionamiento continuado de los aireadores) en un único tanque.

Este tanque suplementario separado se aconsejará si la cantidad de N en exceso, que debe ser eliminada, es muy importante.

Tamaño de los tanques

El tamaño de los tanques es determinado por el criterio de "Carga Másica", tal como se define debajo:

$$\text{Carga Másica (CM)} = \frac{Q_{AC} \text{ (m}^3\text{/d)} \times C_{AC} \text{ (kg DBO}_5\text{/m}^3\text{)}}{V \text{ (m}^3\text{)} \times C_{SSV} \text{ (kg/m}^3\text{)}} = \frac{0.1 \text{ kg DBO}_5}{\text{kg SSV-día}}$$

$$V \text{ Tanque Aireación} = \frac{Q_{AC} \text{ (m}^3\text{/d)} \times C_{AC} \text{ (kg DBO}_5\text{/m}^3\text{)}}{0.1 \text{ kg DBO}_5\text{/kg SSV-día} \times 3.5 \text{ kg SSV/m}^3}$$

CM ≈ 0.1 kg DBO5/kg SSV-día, SSV ≈ 3.5 kg/m3, V tanque anoxia ≈ 1/5 del tanque de aireación

EDAD DE LODOS Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)

- Una "Edad de Lodos" suficiente es necesaria para el desarrollo de las bacterias de la nitrificación (Nitrobacter).
- El "TRH" es un criterio secundario variable según la concentración de las aguas crudas.

$$\text{Edad de lodos (días)} = \frac{V_{\text{tanque(m}^3\text{)}} \times \text{SS (kg/m}^3\text{)}}{\text{SS de lodos en exceso (kg SS/día)}} = 15 \text{ a } 20 \text{ días}$$

$$\text{TRH (días)} = \frac{V_{\text{tanque(m}^3\text{)}}}{Q_{\text{aguas crudas (m}^3\text{/día)}}} = \frac{C_{\text{AC(kg DBO5/m}^3\text{)}}}{\text{CM (0.1)} \times \text{SSV(3.5)}}$$

COMENTARIOS SOBRE EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES

- El volumen del tanque de aireación o de los tanques (si un tanque "anoxia" separado es realizado) es determinado por el criterio de la Carga Másica (0.1 kg DBO5/m3.día)
- La edad de los lodos depende del volumen del tanque de aireación (o de los tanques), de la concentración en SSV en los lodos (≈ 3.5 g/l) y de la producción diaria de lodos en exceso (generalmente entre 0.5 y 1 kg SS /kg DBO5 eliminado). Una edad de los lodos > 15 a 20 días es necesaria para un buen desarrollo de las bacterias nitrificantes.
- El "TRH" es un criterio secundario variable según la concentración del afluente (≈ 1 día para aguas residuales domesticas cuya concentración es de DBO5≈ 360 mg O2/l)

Calculo del suministro del O2

La fórmula del cálculo del Aporte Horario de O2 en agua clara (AHc) debe incluir el flujo de N a eliminar.

$$\text{AHc} = \left[\frac{a' \text{Le}}{h} + \frac{2.85 (\text{Ne} - \text{Ns} - \text{NI})}{h} + \frac{b' \text{Sa}}{24} \right] \frac{1}{\alpha \beta}$$

Ne = N entrada (contenido en el afluente)

Ns = N salida (contenido en el efluente)

NI = N lodos (eliminado con los lodos en exceso)

(Ne-Ns-NI) representa el flujo de N en exceso a nitrificar y desnitrificar

2.85 = la cantidad de O2 necesitada para nitrificar y desnitrificar (kg O2/kg N)

h = el número de horas durante las cuales llega la mayor parte del flujo a tratar

El cálculo de la potencia eléctrica de los equipamientos se hace como se ha indicado en el apartado 5.1.2.

- Cálculo de la Potencia de los aireadores de superficie :

$$P(\text{kw}) = \text{AHc}/\text{SEB}$$

- Cálculo del caudal de aire a enviar en los difusores :

$$\text{Caudal de aire} = \text{AHc}/\text{RO} \times \alpha \times p$$

RO = Rendimiento de disolución de O2 en agua clara = 5 a 30 %

α = Proporción de O2 en el aire = 20 %

p = Masa volumétrica del aire = 1.43 kg/m3

Agitación de la biomasa:

Potencia para la agitación del tanque anoxia > 5 a 10 W/m3

Potencia para la agitación del tanque aerobia > 30 a 35 W/m3

Medios para ajustar el suministro del aire:

El suministro del aire se puede ajustar de 3 modos:

- aumentar o disminuir manualmente la duración de aireación con la ayuda de un contador del tiempo (en caso de aireador de superficie)
- aumentar o disminuir manualmente la cantidad del aire enviado (en caso de difusores)
- aumentar o disminuir las limites de los regulaciones O2 o REDOX



Fotos 56 y 57: Sondas REDOX (a la izquierda) y O2 disuelto (a la derecha)

Regulaciones O2 o REDOX son indispensables cuando las llegadas de contaminantes a tratar sean muy variable en el tiempo.

COMENTARIOS SOBRE LOS EQUIPAMIENTOS Y EL CONTROL DEL PROCESO

- Caudal de las recirculaciones:
 - 100 a 200 % del caudal del afluente para la recirculación clásica
 - 0 à 400 % del caudal del afluente para la recirculación interna según el nivel de calidad del efluente observado
- Suministro del aire:
 - Aproximarse al punto crítico del gráfico NH₄-NO₃ (este gráfico es también una seguridad para optimizar la eliminación de los compuestos carbonosos y fosforados).
 - En caso de llegadas de contaminantes muy variables (aguas residuales industriales por ejemplo), regulaciones O₂ o REDOX son necesarias para adaptar el suministro del aire a cada momento del día.

COMENTARIOS SOBRE LA ELIMINACIÓN DE N POR NITRIFICACIÓN-DESNITRIFICACIÓN

El proceso de eliminación de N por Nitrificación y Desnitrificación, que permite obtener una calidad del efluente muy buena, exige:

- Un tanque de Aireación de gran tamaño para asegurar una edad de los lodos que favorece el desarrollo de las bacterias nitrificantes.
- Un suministro suplementario de O₂ para nitrificar, aunque la utilización del gráfico NH₄-NO₃ permita recuperar la energía procurada por la desnitrificación
- Otros procesos pueden ser utilizados en casos muy particulares, como:
 1. Desgasificación de NH₃ (si la concentración en NH₄ es muy elevada)
 2. Proceso de nitrificación parcial sobre los retornos de los digestores antes del tanque de aireación.

7.3 PROCESOS PARA ELIMINAR P EN EXCESO

Hay dos procesos para potenciar la eliminación de P: un proceso biológico y un proceso químico.

Los dos procesos consisten en enriquecer los lodos en exceso con compuestos fosforados (P no se puede eliminar en la forma de gas). El proceso de eliminación biológico de P hace aumentar la concentración de P en los lodos en exceso de 1,5 a cerca de 4,5 % de las materias secas de los lodos en exceso. El proceso de eliminación químico de P hace aumentar la concentración de P en los lodos en exceso hasta cerca de 10 % de las materias secas de los lodos en exceso.

7.3.1 Proceso biológico

La eliminación biológica de P no implica ninguna reacción REDOX, sino que esta es influenciada por condiciones REDOX como se muestra en el gráfico 10.

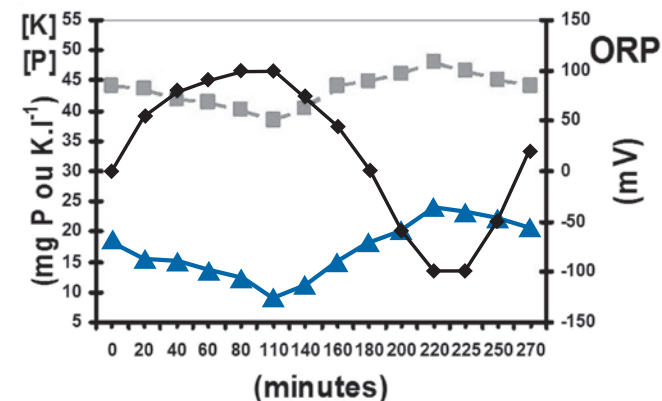


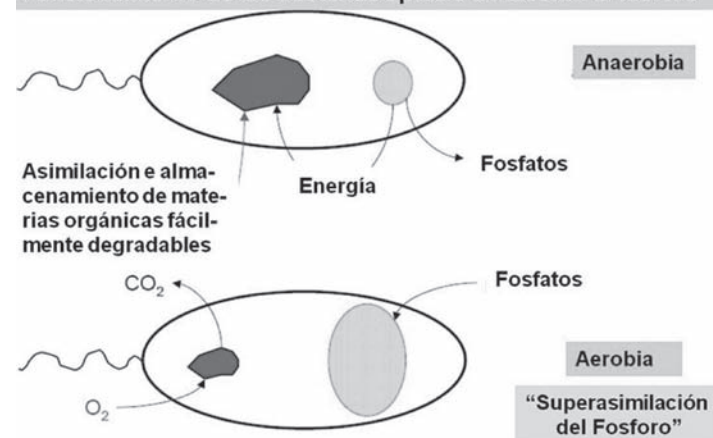
Gráfico 10: Migraciones de P y K según las evoluciones del potencial REDOX

Si la curva negra de REDOX aumenta (aerobia), las curvas azul de P y gris claro de K disminuyen. P y K migran dentro de las bacterias y son incluidos en los SS.

Si la curva negra de REDOX disminuye (anaerobia), P y K migran fuera de las bacterias y contaminan el agua intersticial

Para eliminar P biológicamente, se necesita una alternancia de condiciones aerobia y anaerobia, que favorece el desarrollo de bacterias específicas (Acinetobacter entre otros) capaces de almacenar gránulos de polifosfatos.

Funcionamiento de las bacterias aptas a almacenar el fósforo



Esquema 35: Mecanismo para favorecer las bacterias específicas

La alternancia de las fases aerobia y anaerobia favorecen el desarrollo de bacterias (Acinetobacter) capaces de almacenar 3 veces más de P que las bacterias ordinarias.

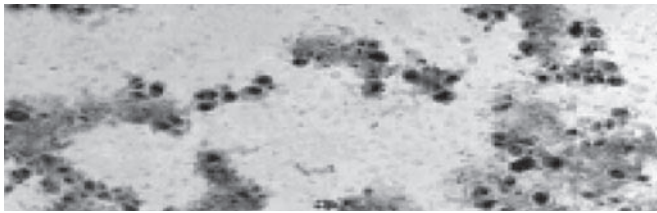


Foto 58: Lodos con acumulación de gránulos de polifosfatos dentro de las bacterias

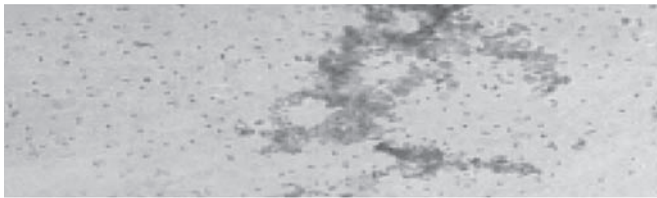


Foto 59: Lodos sin acumulación de gránulos de polifosfatos dentro de las bacterias

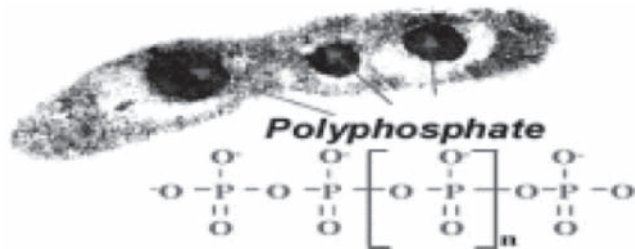
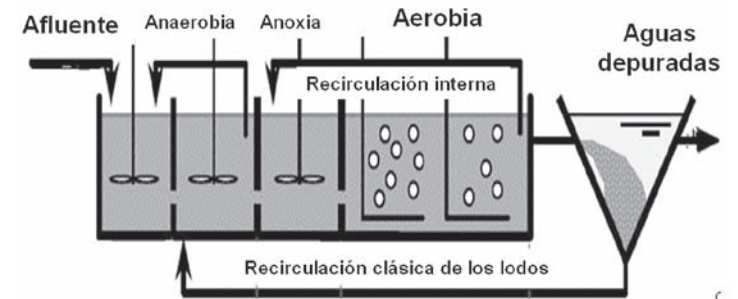


Foto 60: Composición de los gránulos

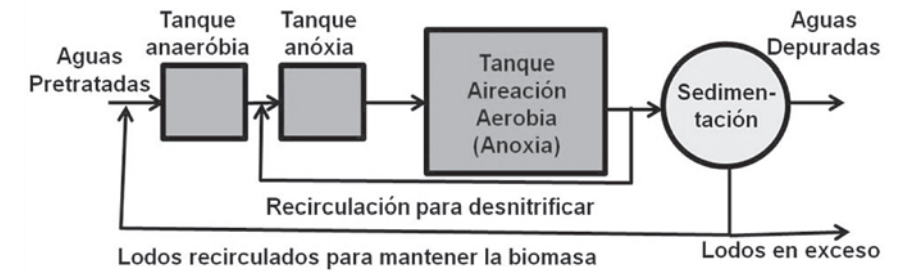
Para controlar la alternancia de las fases "aerobia" (O₂+NO₃), "anoxia" (No O₂ sino NO₃) y "anaerobia" (ni O₂, ni NO₃), los diseñadores aplican un(os) tanque(s) suplementario(s) con biomasa y una (o dos) recirculación(es) suplementaria(s).

El esquema 36 muestra la corte de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente con las diferentes zonas "anaerobia", "anoxia" y "aerobia" separadas. Se ven también las diferentes recirculaciones de los lodos.



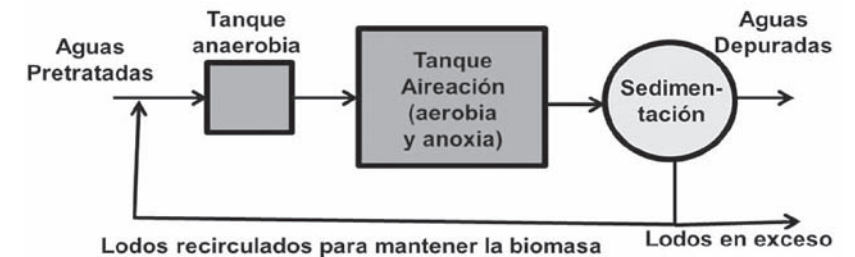
Esquema 36: Corte de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente

Misma configuración representada en plano, con tanques "anaerobia" y "anoxia" separados. La presencia de un tanque "anoxia" es necesaria cuando las condiciones "anoxia" no sean suficientes en el tanque de aireación.



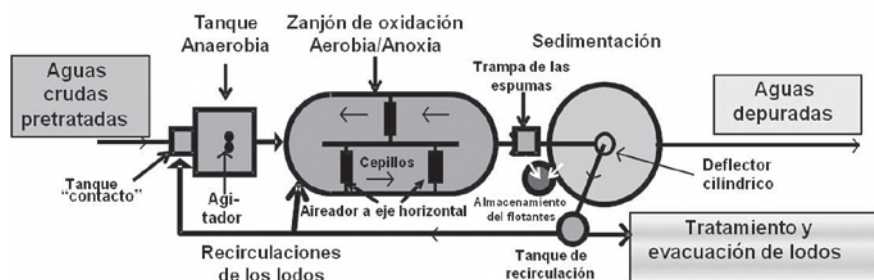
Esquema 37: Ejemplo 1 de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente

El tanque "anoxia" puede no existir si las condiciones de anoxia son suficientes en el tanque de aireación (suministro del aire de tipo "todo o nada" o "todo o poco").



Esquema 38: Ejemplo 2 de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente

Misma configuración con un tanque de aireación de tipo "zanjones de oxidación", particularmente adecuado para generar buenas condiciones "anoxia".



Esquema 39: Ejemplo 3 de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente

COMENTARIOS SOBRE EL PROCESO BIOLÓGICO PARA ELIMINAR P

El proceso biológico de eliminación de P en exceso:

- Exige al menos un tanque suplementario (TRH ≈ 2 a 3 horas) para asegurar las condiciones "anaerobia" (ni O₂, ni NO₃)
- Exige un control perfecto de los fenómenos de nitrificación y desnitrificación en el tanque de aireación
- Exige tratamientos de lodos en exceso que no causan retornos de P al inicio de la instalación
- No exige ni suministro suplementario de aire ni reactivo químico

Pero, este proceso no puede eliminar más que la cantidad de P ≈ DB05/35; esta es la razón por la cual se asocia a menudo con el proceso químico para cumplir con objetivos más ambiciosos en términos de calidad del efluente.

7.3.2 Proceso químico

El proceso químico consiste en precipitar PO₄ por adición de un reactivo metálico, como sales de hierro o aluminio. El reactivo más a menudo es el Cloruro Férrico (FeCl₃).

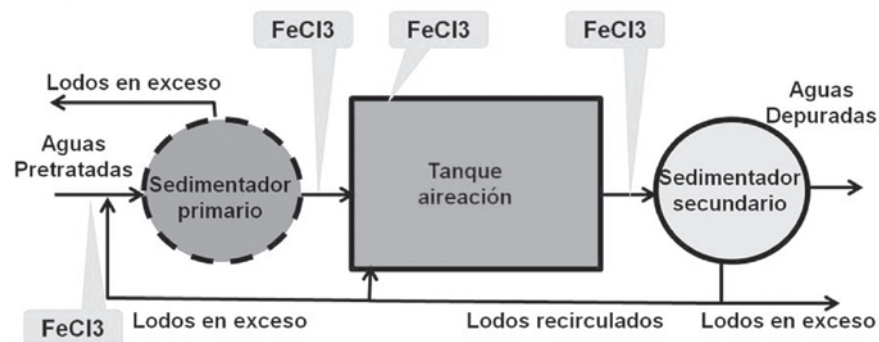


FePO₄ o Al PO₄ precipitan y son eliminados con los lodos en exceso. Estos precipitados contribuyen a aumentar la masa de lodos en exceso producida. La proporción de masa de P puede alcanzar 10 % de las materias secas de los lodos.

Este proceso químico permite eliminar casi la totalidad de P y puede ser asociado al proceso biológico.

REACTIVOS	CLORURO FÉRICO	CLORO SULFATO FÉRICO	SULFATO FÉRICO	SULFATO DE ALUMINIO	SODIO ALUMINATO
Reactivo	FeCl ₃	FeSO ₄ Cl	FeSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	Na ₂ O, Al ₂ O ₃
Estado	Líquido	Líquido	Sólido	Líquido	Líquido
% en masa de Fe o Al	14	12.5		4 a 5	7 a 9
Masa volumétrica (Kg/l)	1.4 a 1.5	1.2 a 2.0		1.2 a 1.3	1.4
Concentración (kg Fe o Al/m ³)	200	150 a 250		50 a 65	10 a 13
Precipitados formados	FePO ₄ , Fe(OH) ₃		AlPO ₄ , Al(OH) ₃		
Razon molar Fe o Al/P	1				
Razon masico Fe o Al/P	1.81		0.87		
1 g Fe o Al produce	2.7 g FePO ₄ o 1.9 Fe(OH) ₃		4.5 g AlPO ₄ o 2.9 Al(OH) ₃		
1 g P eliminado produce	4.87 FePO ₄		3.94 g AlPO ₄		

Tabla 15: Características de los diferentes reactivos posibles



Esquema 40: Localizaciones posibles del añadido de FeCl₃

En general el aporte es realizado en el tanque de aireación, pero a veces tiene lugar antes del sedimentador secundario con el fin de ayudar la sedimentación de la biomasa.

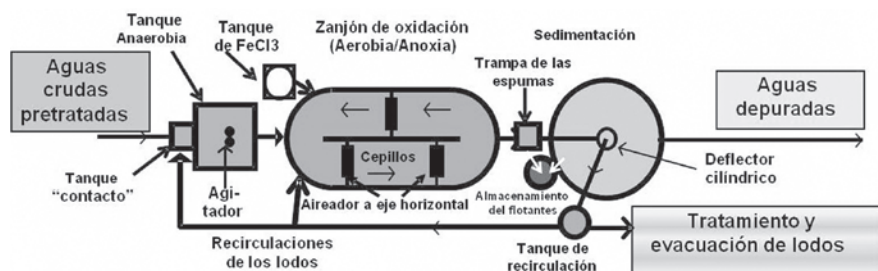
Equipamientos:

Los equipamientos son:

- Un tanque para almacenar el reactivo suministrado de forma líquida. Este tanque está colocado en una cuenca de hormigón para la seguridad.
- Una caja que contiene 2 bombas volumétricas para ajustar la inyección del reactivo. El funcionamiento de estas bombas está controlado por un temporizador.



Foto 61: Tanque de reactivo con las bombas volumétricas



Esquema 41: Instalación con eliminación potenciada de N y P (con los procesos biológico y químico)

Tasa de tratamiento para el objetivo "eliminación de 80 % de P" (1.25 moles de Fe/ moles de P a eliminar)

Para un afluente doméstico que contiene 20 mg P/l:

$$20 \times 0.8 \times 1.25 \times 56 / 31 \times 1450 / 200 = 260 \text{ g Reactivo Comercial / m}^3 \text{ afluente}$$

Producción suplementaria de lodos en exceso para el objetivo "eliminación de 80 % de P" (1.25 moles de Fe/ moles de P a eliminar)

Para un afluente doméstico que contiene 20 mg P/l:

$$20 \times 0.8 \times [(1) \times 151 / 31 + (1.25 - 1) \times 107 / 31] = 92 \text{ g Materias Secas / m}^3 \text{ afluente}$$

Lo que representa cerca de 25 a 30 % de los lodos en exceso

COMENTARIOS SOBRE EL PROCESO QUÍMICO PARA ELIMINAR P

El proceso químico de eliminación de P:

- Permite alcanzar fácilmente una concentración de P del efluente inferior a 2 mg P/l o una remoción > 80 %, cualquiera que sea la concentración de P del afluente.
- Es fácil de implementar en una planta, pero es costoso en reactivos y gestión de los lodos en exceso

8. ESQUEMAS

- Esquema 1: El papel central de las bacterias en un tratamiento biológico
- Esquema 2: El funcionamiento de las bacterias
- Esquema 3: Las 2 etapas del tratamiento biológico de tipo "Lodos Activados"
- Esquema 4: Corte del funcionamiento de un decantador cilíndrico
- Esquema 5: Equipamientos de un decantador cilíndrico
- Esquema 6: Lo que adviene de los contaminantes tras el tratamiento biológico
- Esquema 7: 3 modalidades para medir la altura de la capa del agua depurada
- Esquema 8 y 9: Protocolos de los tests "tiretas" NH₄ y NO₃
- Esquema 10: Medida de la transparencia
- Esquemas 11 y 12: Lodos Activados "Baja Carga" y "Media o Alta Carga"
- Esquema 13: Corte de un decantador secundario
- Esquema 14: Estación de depuración con los elementos complementarios
- Esquema 15: Corte de una trampa para espumas
- Esquema 16: Configuración con un tanque "completamente mezclado"
- Esquema 17: Configuración con un tanque anoxia
- Esquema 18: Configuración con tanques anoxia y anaerobia
- Esquema 19: Configuración sin tanque anoxia
- Esquema 20: Configuración "contacto-estabilización"
- Esquema 21: Configuración "flujo pistón"
- Esquema 22: Otra configuración "flujo pistón"
- Esquema 24: Proceso RBS sin variación de nivel en el tanque de aireación
- Esquema 25: Proceso RBS con alimentación continua en afluente
- Esquema 26: Corte de tanques combinados"
- Esquema 27: Observación de un problema de agua turbia (biomasa no destruida)
- Esquema 28: Observación de un problema de agua turbia (biomasa destruida)
- Esquema 29: Observación de un problema de espumas en la probeta y a la superficie del decantador
- Esquema 30: Observación de un problema de desnitrificación en la probeta y en el decantador
- Esquema 31: Observación del fenómeno de fermentación en el fondo del decantador
- Esquema 32: Observación del fenómeno de bulking en la probeta y en el decantador
- Esquema 33: ¿Donde pasan N y P en un tratamiento biológico?
- Esquema 34: Diseño de una instalación para una eliminación potenciada del nitrógeno
- Esquema 35: Mecanismo para favorecer las bacterias específicas
- Esquema 36: Corte de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente
- Esquema 37: Ejemplo 1 de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente
- Esquema 38: Ejemplo 2 de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente

- Esquema 39: Ejemplo 3 de una instalación diseñada para eliminar P biológicamente
- Esquema 40: Localizaciones posibles del añadido de FeCl₃
- Esquema 41: Instalación con eliminación potenciada de N y P (con los procesos biológico y químico)

9. FOTOS

- Fotos 1y2: Aireador de superficie (a la izquierda) y difusor de aire (a la derecha)
- Fotos 3 y 4: Vista de la biomasa al microscopio óptico
- Fotos 5 a 8: Fotos con un microscopio electrónico de bacterias (bacillos o cocos)
- Foto 9: Equipamientos de un decantador cilíndrico
- Fotos 10 a 13: Aparatos para medir las ST y STV
- Fotos 14 a 17: Aparatos para medir las ST y STV
- Foto 18: Test de decantación de los lodos en una probeta transparente de 1 litro
- Fotos 19 y 20: Test NH₄ o NO₃ y sonda NO₃
- Fotos 21 y 22: Sondas REDOX y Oxígeno
- Foto 23: Kit de medida para la DQO
- Foto 24: Canal de medida del caudal con el flujo metro y tomador de muestras
- Foto 25: Turbina rápida
- Foto 26: Turbina lenta
- Foto 27: Aireador tipo "cepillo"
- Foto 28: Difusores tipo "tubo"
- Foto 29: Agitador
- Foto 30: Difusores tipo "plato"
- Foto 31: Vista de una trampa
- Foto 32: Vista de la estación de depuración
- Fotos 33 y 34: Ausencia de floculación (foto arriba) y floculación normal (foto debajo)
- Fotos 35 y 36: Espumas marrones y pesadas (foto arriba) y espumas blancas y ligeras (foto debajo)
- Fotos 37 y 38: Bacterias filamentosas llamadas "Nocardia" (ramificadas y no demasiado largas)
- Fotos 39: Aglomeraciones de lodos a la superficie del decantador
- Fotos 40 a 42: Observaciones del fenómeno de desnitrificación
- Fotos 43 y 44: Aglomeraciones de lodos negros a la superficie del decantador
- Fotos 45 a 47: Observación de lo que sucede en la probeta
- Fotos 48 y 49: Biomasa sin bacterias filamentosas (a la izquierda) y con bacterias filamentosas (a la derecha)
- Fotos 50 a 52: Observaciones de *Microthrix parvicella* con microscopios óptico y electrónico
- Fotos 53 a 55: Observaciones de bacterias "021N" con microscopios óptico y electrónico
- Fotos 56 y 57: Sondas REDOX (a la izquierda) y O₂ disuelto (a la derecha)
- Foto 58: Lodos con acumulación de gránulos de polifosfatos dentro de las bacterias
- Foto 59: Lodos sin acumulación de gránulos de polifosfatos dentro de las bacterias
- Foto 60: Composición de los gránulos
- Foto 61: Tanque de reactivo con las bombas volumétricas

10. GRÁFICOS

- Gráfico 1: Definición de la "Ventana Biológica"
- Gráfico 2: Reacciones y compuestos dentro la "Ventana Biológica"
- Gráfico 3: Gráfico NH₄ y NO₃ con el "Punto Crítico"
- Gráfico 4: Grabaciones REDOX y Oxígeno disuelto
- Gráfico 5: Relación entre la velocidad ascensional y el VC30
- Gráfico 6: Relación entre la Velocidad Ascensional (VA) y el Volumen Corregido 30 mn (VC30)
- Gráfico 7: Relación entre la concentración de materia orgánicaalrededor de los floculos y el desarrollo de bacterias normales o filamentosas
- Gráfico 8: Zonas aerobia, anoxia y anaerobia dentro la "Ventana Biológica"
- Gráfico 9: Visualización de los periodos aerobia, anoxia y anaerobia mediante una grabación REDOX
- Gráfico 10: Migraciones de P y K según las evoluciones del potencial REDOX

PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

—
TRATAMIENTO
**DE AGUAS
RESIDUALES
CON LODOS
ACTIVADOS**



INTI



Unión Europea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919
www.ue-inti.gob.ar



Presidencia de la Nación

INDUSTRIA