



**MVOTMA**

Ministerio de Vivienda  
Ordenamiento Territorial  
y Medio Ambiente

# HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES

Elaborado por Dipl.-Ing. Álvaro Carozzi

Montevideo, junio 2016



Colaboración en la redacción Ing. Quím. María José del Campo

## **AUTORIDADES**

### **Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente**

#### **Ministra**

Eneida de León

#### **Subsecretario**

Jorge Rucks

#### **Director Nacional de Medio Ambiente**

Alejandro Nario

#### **Gerente del Área Control y Desempeño Ambiental**

Juan Pablo Peregalli

#### **Directora de la División Control Ambiental**

Verónica Gonzalvez

Advertencia: El uso del lenguaje que no discrimine entre hombres y mujeres es una de las preocupaciones de nuestro equipo. Sin embargo, no hay acuerdo entre los lingüistas sobre la manera de como hacerlo en nuestro idioma. En tal sentido, y con el fin de evitar la sobre carga que supondría utilizar en español o/a para marcar la existencia de ambos sexos, hemos optado por emplear el masculino genérico clásico.

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVO y ALCANCE .....	5
Objetivo .....	5
Alcance.....	5
3. DEFINICIONES y ABREVIACIONES.....	7
4. NUTRIENTES.....	8
4.1 Especies de nitrógeno .....	8
4.2 Especies de fósforo.....	9
5. REMOCIÓN DE NUTRIENTES .....	9
5.1 Principios generales sobre la remoción de nutrientes .....	9
5.2 Esquema de una planta de tratamiento que incluye sistemas de remoción de nutrientes .....	10
Recomendaciones.....	11
6. DISEÑO DE SISTEMAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES .....	12
6.1 Características del líquido a tratar .....	12
Temperatura .....	12
Cargas de contaminantes.....	12
Carga hidráulica .....	12
6.2 Fundamento de la operación del Reactor de Lodos Activados (RLA) .....	13
6.3 Parámetros de diseño del Reactor de Lodos Activados .....	14
Carga de lodos de $DBO_5$ .....	14
Sobreproducción de lodos, o producción específica de lodos.....	14
Edad de lodos.....	15
Concentración de biomasa en el reactor (gr/l) .....	15
Volumen del reactor .....	16
Requerimientos de Oxígeno .....	16
Carga de lodos de nitrógeno .....	17
Precipitación química de Fósforo .....	17
a) Cantidad de sales a agregar .....	17
b) Producción de lodos .....	17
6.4 Parámetros de diseño del sedimentador secundario .....	18
Carga hidráulica .....	18
Índice de Lodos .....	19
Tiempo de espesado .....	20
7. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y EQUIPAMIENTO A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO .....	20
7.1 Pautas constructivas a tener en cuenta para los RLA.....	20

7.2 Equipamiento de los Sistemas de Lodos Activados .....	20
Sistemas de Aireación .....	20
Agitadores .....	24
7.3 Algunas pautas constructivas en el diseño de sedimentadores .....	25
7.4 Otros equipos de sedimentación .....	28
8. CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES .....	29
8.1 RLA con desnitrificación posterior al nitrificador .....	29
8.2 RLA con desnitrificación de cabeza .....	29
8.3 Reactor de Lodos Activados con selector anaerobio .....	31
8.4 Reactor de Lodos Activados con selector aerobio .....	31
8.5 Reactor Simultáneo .....	31
8.6 Reactor Intermitente .....	32
8.7 Reactor de Cascada .....	33
8.8 Reactor en serie .....	33
8.9 Reactor de lodos combinado .....	34
8.10 SECUENCIAL BATCH REACTOR - SBR .....	35
Ciclos de los SBR .....	35
Descripción del sistema .....	36
Parámetros de diseño del SBR .....	36
Equipamiento de un reactor SBR .....	37
9. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES .....	40
9.1 LODOS FILAMENTOSOS y ESPUMAS .....	40
9.2 Razones por las cuales los lodos filiformes perjudican el tratamiento de remoción de nutrientes: .....	41
9.3 Condiciones que favorecen el desarrollo de las bacterias filiformes .....	41
9.4 Recomendaciones a considerar en el diseño del sistema de tratamiento para minimizar el desarrollo de las bacterias filiformes .....	42
9.5 Recomendaciones a considerar en la operación del sistema de tratamiento para el combate de las bacterias filiformes .....	42
Ejemplo: Tipo 1851 , Reactor SBR efluente municipal .....	43
Ejemplo 021 N y Thiothrix, Reactor SBR, efluente de papelera .....	43
Ejemplo: Thiothrix, Reactor intermitente, efluente de harina de carne .....	44
Ejemplo: Nocardioforme Actinomyceten, efluente lácteo .....	45
Ejemplo Nostocoida Limicola, efluente de cervecería .....	46
Resumen .....	46
10. SECTOR LÁCTEO .....	47
10.1 Características del efluente bruto .....	47

10.2	Pre-tratamientos del sector lácteo.....	48
10.3	Tratamiento.....	48
10.4	Tratamiento de lodos .....	49
11.	SECTOR SUBPRODUCTOS GRASOS DE INDUSTRIA FRIGORÍFICA.....	50
11.1	Características del efluente bruto .....	50
11.2	Pre-tratamientos .....	52
11.3	Tratamiento.....	52
12.	SECTOR FRIGORÍFICOS .....	54
12.1	Características del efluente bruto .....	54
12.2	Pre-tratamientos .....	55
12.3	Tratamientos .....	55
13.	SECTOR MALTERÍA y CERVECERÍA.....	56
13.1	Características del efluente bruto .....	56
13.2	Pre-tratamientos .....	56
13.3	Tratamiento.....	57
14.	SECTOR CURTIEMBRES.....	58
14.1	Características del efluente bruto .....	58
14.2	Pre-tratamientos .....	58
14.3	Tratamiento.....	59

## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco del “Programa de Fortalecimiento de la Dirección Nacional de Medio Ambiente y de la capacidad de gestión ambiental del país” (URL 1083), Proyecto PNUD Uruguay/14/01, DINAMA contrató al consultor ambiental especialista en tratamiento de fósforo y nitrógeno en efluentes, Ing. Álvaro Carozzi.

En el marco del “*Plan de Acción para la protección de la calidad y la disponibilidad de las fuentes de agua potable, de la Cuenca del Río Santa Lucía*”, el MVOTMA estableció una serie de medidas. La Medida 1 establece que las industrias de cierta significancia en lo que refiere a los efluentes vertidos a la cuenca, deben incluir sistemas de remoción de nitrógeno y fósforo como parte del tratamiento de los efluentes; y se les exige estándares adicionales de vertido.

El Ing. Álvaro Carozzi ha apoyado, tanto a las industrias como a DINAMA, en el proceso de diseño y evaluación de la viabilidad de dichos proyectos de ingeniería, de los aspectos constructivos, y la puesta en operación.

## 2. OBJETIVO y ALCANCE

### Objetivo

En el presente documento se plantea como objetivo general brindar herramientas a los profesionales competentes y técnicos de las industrias, para el diseño de sistemas de remoción de nutrientes. El objetivo específico consiste en presentar las distintas configuraciones de plantas de tratamiento para remoción de nutrientes de efluentes industriales y municipales, considerando las mejores tecnologías disponibles para los diferentes tipos de industrias y las condiciones actuales de desarrollo de las mismas.

### Alcance

Teniendo en cuenta las nuevas exigencias respecto a la remoción de nutrientes,<sup>1</sup> es una realidad que la situación actual de los sistemas de tratamiento en el Uruguay, - que en gran número de casos consisten en sistemas lagunares que no consideran la remoción de nutrientes, - no pueden cumplir estas exigencias.

Es así que las plantas de tratamiento existentes deben incorporar cambios relativos a una nueva concepción de los sistemas de tratamiento, incluyendo nuevas unidades, además de que en algunos casos puedan adecuarse las existentes. También la implementación de esta tecnología requiere, para que el desempeño de la planta de tratamiento de efluentes sea adecuado, una mayor calificación, y dedicación permanente del personal que opere estos sistemas. Así mismo, las plantas de tratamiento en etapa de diseño y planificación de proyectos deben prever desde el inicio la remoción de nutrientes.

Por lo tanto, a los efectos de establecer configuraciones tipo de tratamiento para remoción de nutrientes, es necesario realizar una introducción a la tecnología más difundida y con mayor aplicación al momento en el tratamiento para remoción de nutrientes de los efluentes industriales y municipales: los sistemas de lodos activados. En el capítulo 5 se realiza una breve reseña sobre estos sistemas, que se basan en la aplicación de los principios de nitrificación/desnitrificación y de remoción biológica y química del fósforo.

Esta introducción es ineludible, para la posterior presentación de las distintas configuraciones de plantas de tratamiento, ya que estas se basan en modificaciones al esquema básico de lodos activados. En el capítulo 8 se describen dichas configuraciones, explicando para qué condiciones se recomienda o no, su uso, así como las ventajas y desventajas que presentan. Se muestran varios ejemplos con fotografías ilustrativas, lo que permite al lector hacerse una idea del estado del arte en Europa y el grado de aplicación en variados sectores industriales.

---

<sup>1</sup> estas exigencias refieren a límites adicionales en la concentración de nutrientes de los vertidos de efluentes (de fuentes puntuales) en la Cuenca del Río Santa Lucía; así como para otros vertidos (puntuales) que si bien las empresas no están ubicadas en la cuenca mencionada, son relevantes por su ubicación geográfica, el nivel de producción o el sector de actividad.

Además en los capítulos 10 al 14 se presentan configuraciones de sistemas de remoción de nutrientes específicos por sector industrial.

En el capítulo 6 se realiza una descripción de los parámetros de diseño de los sistemas de lodos activados, presentando valores de referencia o valores típicos de estos parámetros para los efluentes industriales y municipales.

Cabe destacar que no forma parte de este documento el presentar la metodología de cálculo para el dimensionado de los sistemas de remoción de nutrientes, para lo cual se sugiere que el lector se remita a la norma alemana ATV-DVWK-A131E (Dimensionado de Plantas de lodos activados de una etapa) o similares, para el diseño de reactores de lodos activados. Por otra parte, se considera un aporte importante, la presentación de valores de referencia de los parámetros de diseño para efluentes industriales, dado que la norma mencionada corresponde únicamente a efluentes municipales.

Esto se desarrolla en los capítulos 10 al 14, donde se presentan recomendaciones de diseño de la planta de tratamiento de efluentes (“el proyecto de la planta de tratamiento de efluentes”), para los sectores industriales más relevantes en Uruguay en lo que concierne a cargas de nutrientes.

El desarrollo de estos capítulos, específicos por sector industrial, se realiza con la siguiente metodología: una caracterización del efluente bruto, incluyendo tablas con rangos de valores comunes; luego, partiendo de dicha caracterización, una enumeración de los aspectos a tener en cuenta en el diseño conceptual del pre-tratamiento y del tratamiento más adecuado para el sector en cuestión; complementando los valores de referencia de los parámetros de diseño por sector industrial que fueron expuestos en el capítulo 6.

Esta forma de presentación, hace que las recomendaciones propuestas sean de utilidad tanto para el proyectista, como para aquellos técnicos que deban evaluar la viabilidad ambiental de dicho proyecto.

Finalmente, a lo largo de todo el documento cabe destacar que se brindan recomendaciones y sugerencias, a los efectos de que el proyectista pueda definir la configuración de tratamiento más adecuado para cada situación particular, el diseño de dicho sistema, la construcción y la operación.

### 3. DEFINICIONES y ABREVIACIONES

$\theta_c$	edad de lodos, tiempo de residencia celular	[d]
$Q_o$	caudal de líquido a tratar	[m <sup>3</sup> /d]
$Q_e$	caudal efluente de salida	[m <sup>3</sup> /d]
$Q_R$	caudal de recirculación	[m <sup>3</sup> /d]
RL	relación de recirculación de lodos	[%]
V	volumen del reactor	[m <sup>3</sup> ]
$P_{DBO}$	producción específica de lodos	[kg SST/kg DBO <sub>5</sub> ]
$P_v$	producción de lodos referida al volumen (V)	[kd SST /m <sup>3</sup> .d]
$C_{d,DBO}$	carga de DBO <sub>5</sub>	[kg DBO <sub>5</sub> /d]
$C_{SST}$	carga de lodos de DBO <sub>5</sub>	[kg DBO <sub>5</sub> / (kg SST.d)]
$C_{N_{tot}}$	carga de lodos de Nitrógeno total	[kg N <sub>Tot</sub> / (kg SST.d)]
$C_v$	carga volumétrica	[kd DBO <sub>5</sub> /(m <sup>3</sup> .d)]
ISL -	Índice de lodos	ml SST/ gr SST

Habitantes equivalentes, valores de referencia tomados de la norma DWA - A131:  
120 gr DQO/(hab eq.d); 60 gr DBO/(hab eq.d); 11 gr N<sub>tot</sub>/(hab eq.d); 1,8 gr P/(hab eq.d); 70 gr SST/(hab eq.d); 100 litros/(hab eq.d).

PTE: Planta de Tratamiento de Efluentes  
RLA: Reactor de Lodos Activados  
SLA: Sistema de Lodos Activados  
N/D nitrificación y desnitrificación

Pretratamiento: en el presente documento por pre-tratamiento se refiere a todas las unidades previas al sistema de remoción de nutrientes



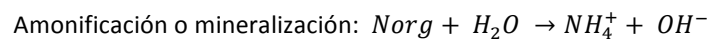
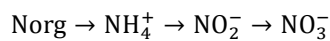
## 4. NUTRIENTES

### 4.1 Especies de nitrógeno

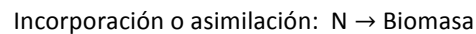
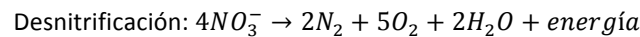
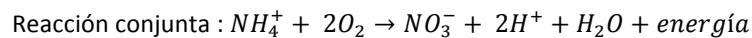
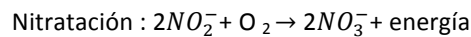
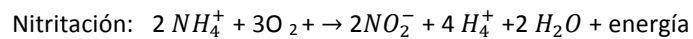
Cuando nos referimos a efluentes industriales, el nitrógeno puede encontrarse en cualquiera de las siguientes formas, dependiendo del proceso que genere esos líquidos y de las condiciones del medio: **nitrógeno orgánico** (Norg), **amoníaco (NH<sub>3</sub>)**, que se encuentra en equilibrio con el **ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**, **nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)** y **nitro (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**.

Considerando los sectores industriales predominantes en nuestro país, de características *agro-industriales*: cárnico, lácteo, curtiembres, alimenticio, cervecera, lavadero de lanas, etc, el nitrógeno se encuentra en estos efluentes predominante en forma orgánica (Norg), como componente de las proteínas, aminoácidos y urea; y en forma inorgánica como amoníaco que -como se mencionó- se encuentra en un equilibrio regido por la temperatura y el pH con el ion amonio.

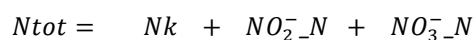
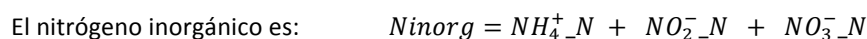
El nitrógeno orgánico, cuando es vertido a cursos de agua, sigue un proceso de degradación bacteriana cuya descripción y estudio no es objeto del presente documento, sin embargo es necesario aclarar la terminología a utilizar, por tal motivo se mencionan a continuación:



Nitrificación



A los efectos de los balances de masa para el **nitrógeno**, es necesario definir las siguientes relaciones (en cada ecuación nos referimos al **contenido de nitrógeno** en dicha especie):



## 4.2 Especies de fósforo

Las especies principales que pueden contener los efluentes son: fósforo orgánico, polifosfatos y ortofosfatos. El fósforo orgánico, (enlaces P-O-P), se encuentra en las paredes celulares, en los pesticidas organofosforados y en los plastificantes que contienen fosforamidas y fosfoésteres.

Los polifosfatos (enlaces P-O-C), proceden de compuestos inorgánicos como detergentes y suavizantes. Los ortofosfatos corresponden a:  $H_3PO_4$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ . Los polifosfatos se convierten fácilmente en ortofosfatos mediante hidrólisis ácida; el fósforo orgánico se convierte en fosfato mediante digestión.

En lo que refiere al balance de masa de fósforo, se tiene las siguientes relaciones, (en cada ecuación nos referimos al **contenido de fósforo** en cada especie):

$$P_{total} = P_{orgánico} + P_{inorgánico} =$$
$$P_{total} = P_{orgánico} + polifosfatos + ortofosfatos =$$

La especie que se toma como referencia en el efluente es el fósforo total, para la determinación se realiza una digestión de la muestra, y todas las especies se determinan como fosfato.

## 5. REMOCIÓN DE NUTRIENTES

### 5.1 Principios generales sobre la remoción de nutrientes

**Para la remoción de nitrógeno** las tecnologías más difundidas se desarrollaron a partir de la aplicación de dos procesos biológicos: nitrificación y desnitrificación.

Si bien existen otras tecnologías como por ejemplo eliminación de nitrógeno por desorción de amoníaco mediante stripping por aire o vapor, o desnitrificación, estas tienen por el momento escasa difusión y/o usos limitados, ya que deben cumplirse condiciones específicas para poder aplicarse, además de un alto costo de operación. Estos procesos se encuentran en desarrollo técnico y científico.

En consecuencia, a nivel del tratamiento de efluentes se ha desarrollado tecnología que implica los procesos de nitrificación/desnitrificación.

**La remoción de fósforo** puede realizarse mediante dos procesos: absorción biológica o precipitación química.

En el primero se somete a la biomasa alternativamente a condiciones anaerobias y aerobias, en la etapa anaerobia se incorpora el P, en la aerobia se libera; el hecho de que este proceso se realice repetitivamente, en ciclos, genera un estrés particular en la célula que provoca una asimilación selectiva y aumentada de fósforo llegando a incorporar cantidades de 3 a 4% de fósforo (kg P/ kg SST), mientras que normalmente son valores de 1,5 a 2% (kg P/ kg SST).

La precipitación química del fósforo se realiza mediante el agregado de sales de hierro, aluminio o cal.

Los sistemas y configuraciones que se han desarrollado en el tratamiento de remoción de nutrientes que se describirán más adelante, tienden a proveer las condiciones para la remoción conjunta de nitrógeno y fósforo.

Estos sistemas de remoción de nutrientes permiten alcanzar valores de 10 mg NKT/l o incluso 5 mg NKT/l y valores de fósforo de 1 mg P/l.

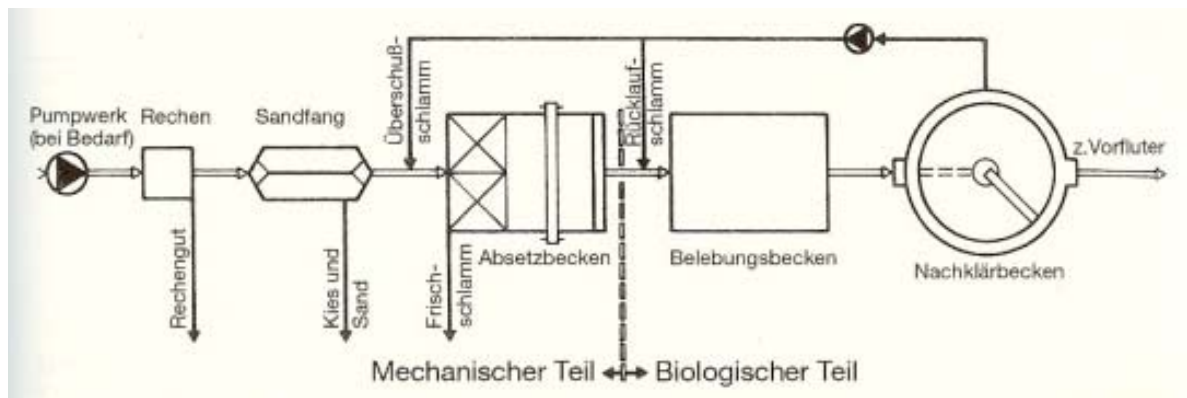
Si se requiere valores menores de fósforo, deben utilizarse filtros (de arena o carbón activado) posteriores al sedimentador secundario.

Además,

- Cuando el vertido de nitrógeno debe alcanzar valores bajos como 5 a 10 mg/l, la remoción de materia orgánica debe ser determinada. Si la remoción de nitrógeno está operando bien, entonces a la salida la DBO tendrá valores por debajo de los 10 - 15 mg/l.
- Análogamente, cuando el vertido de fósforo debe alcanzar valores bajos, menores a 2 mg/l, entonces los Sólidos Suspendidos Totales del efluente final, deben tener valores por debajo de 20 – 30 mg/L. En caso que haya escape de sólidos, se superará el valor de fósforo, debido a la cantidad que ha sido incorporada en los barros (3-4%).

## 5.2 Esquema de una planta de tratamiento que incluye sistemas de remoción de nutrientes

En la figura se observa una planta clásica para remoción de nutrientes:



Las unidades que puede contener una planta clásica son las siguientes:

**Cámara de rejás** con extracción de sólidos, con un tamiz con separación de rendijas de 3 a 6 mm, siendo fundamental la adecuada limpieza para remover el material retenido. A continuación un **desarenador** con extracción de arenas, con lavado y clasificación de las arenas. En Alemania no se puede disponer en relleno sanitario arenas con altos contenidos de materia orgánica; la arena limpia se utiliza para obras de construcción o relleno. Posteriormente se tiene el **Sedimentador Primario** con extracción de lodo primario.

Luego se tiene el Reactor de lodos activados y el sedimentador secundario, con la recirculación de lodos y la extracción de la sobreproducción de lodos (purga de lodos).

**Tratamiento de los lodos:** el lodo procedente del tratamiento físico-químico tiene un contenido de sólidos suspendidos de aproximadamente 5 %, significativamente más concentrado que los lodos que se obtienen del sedimentador secundario con un contenido de sólidos suspendidos de 1%.

Para el tratamiento de estos, en plantas pequeñas puede enviarse los lodos secundarios a la entrada del sedimentador primario, de manera que precipiten juntos, y desde allí retirarlos. En plantas más modernas, los lodos conjuntos (o ambas corrientes por separado) se envían a un espesador gravitatorio o mecánico; y si la envergadura de la planta y la producción de lodos lo amerita pueden derivarse a un digestor anaeróbico.

## Recomendaciones

Cuando se incorpora un sistema de remoción de nutrientes, modificando una planta de tratamiento que ya se encuentra operando, deben tenerse en cuenta en el diseño, los aspectos que se verán a continuación:

### **a) Consumo de materia orgánica en el pre-tratamiento**

**Los pre-tratamientos anaeróbicos pueden ser perjudiciales para la remoción de nutrientes.**

A partir de los años 1980, comenzó a desarrollarse el tratamiento anaerobio. Este se veía muy ventajoso frente a los tratamientos aerobios: se elimina carbono en un proceso muy económico, no requiere mayor energía ni agregado de O<sub>2</sub>; además la sobreproducción de lodos es mucho menor con la consiguiente ventaja para el tratamiento posterior de los mismos; (para los procesos anaerobios  $Y = 0,05$  kg SST producidos /kg DBO ingresan, y para los procesos aerobios  $Y =$  de 0,35 a 0,6 kg SST producidos /kg DBO ingresan).

Sin embargo, el tratamiento anaerobio no remueve nitrógeno ni fósforo, excepto la cantidad que se incorpora en el lodo, que es muy pequeña, teniendo en cuenta lo mencionado respecto a que la sobreproducción de lodos es pequeña.

En el diseño de tratamientos cuya descarga es a curso de agua, si se tiene en cuenta únicamente el cumplimiento de los estándares de DBO<sub>5</sub> (60 mg/L), entonces el tratamiento anaerobio logra una reducción importante de la DBO<sub>5</sub> (eficiencias de remoción mayores a 80% que pueden alcanzar 90%). Sin embargo prácticamente no remueve nitrógeno ni fósforo del efluente.

En consecuencia, frente a nuevas exigencias en la remoción de nutrientes que requieren valores de nitrógeno y fósforo muy bajos para los vertidos a curso de agua (nitrógeno total = 30 mg/L y P = 5 mg/L), con los años de desarrollo se fue llegando a la conclusión que el tratamiento anaerobio removía demasiada materia orgánica, que sería necesaria luego en las etapas de desnitrificación, por lo que no eran convenientes los pre-tratamientos anaerobios cuando debían plantearse tratamientos posteriores para remover nutrientes.

### **b) Se requieren reactores, no sirven las lagunas**

Para la eliminación de nutrientes no sirven unidades lagunares estancas. Se requiere de una serie de condiciones: reactores aireados, en los que se promueve una concentración relativamente alta de biomasa (Sólidos Suspendidos Totales, SST de 3 a 5 gr/l), la cual debe mantenerse en todo momento en mezcla completa, ya sea mediante aireadores y/o agitadores, estos últimos deben funcionar continuamente inclusive en la etapa anóxica. Por el hecho de estar sometidos a condiciones de erosionabilidad (aireados y agitados), estos reactores deben tener características constructivas determinadas como ser compactación de suelo y taludes.

Las lagunas no permiten alcanzar estas condiciones, se tiene concentraciones de biomasa en el entorno de 1,5 gr/l y tienen zonas muertas donde se deposita lodo. Además en la construcción de las mismas, seguramente no se previó de condiciones tan estrictas de estabilidad en piso y taludes como requiere un reactor.

### **c) Recontaminación en lagunas posteriores al sistema de remoción de nutrientes**

Las lagunas posteriores al sistema de remoción de nutrientes pueden ser perjudiciales. El lodo cuyo crecimiento se promovió en el reactor aireado, e incorporó nitrógeno y fósforo como parte del anabolismo (contenido de 8 a 12% de nitrógeno orgánico); en las condiciones a las que está expuesto en la laguna sedimenta, con el tiempo se hidroliza y se tiene mayor concentración de nitrógeno y fósforo en el efluente de la laguna respecto al de la salida del sistema de remoción de nutrientes.

### **d) Recontaminación por lixiviados del tratamiento de lodos**

El lixiviado procedente de los tratamientos de lodos tiene un alto contenido de nitrógeno y fósforo. Tal como se mencionó precedentemente, el lodo tiene un contenido de nitrógeno orgánico que fue incorporado en un 8 a 12%, almacenado en determinadas condiciones se hidroliza y vuelve al líquido, es así que este lixiviado puede llegar a tener altas cargas de nitrógeno, que pueden alcanzar hasta 20 o 25% de la carga total que ingresa a la PTE con una concentración de nitrógeno de 600 – 1000 mg N/L). Esta corriente debe tratarse por separado, o incorporarse a las primeras etapas de tratamiento.

## 6. DISEÑO DE SISTEMAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES

El presente documento no tiene como objeto describir la metodología para el dimensionamiento, sino que presentar unas recomendaciones básicas sobre las configuraciones de tratamiento más convenientes en función del líquido a tratar, así como una breve presentación de los parámetros fundamentales para el diseño, y los valores de referencia de los mismos.

Como referencia cabe mencionar que la norma alemana DWA- A131 para el diseño de reactores de lodos activados con su sedimentador, se toma como referencia en el presente documento. La nueva versión editada en noviembre de 2014, se basa en las cargas de DQO, no en las cargas de DBO como hasta ahora se utilizaba.

### 6.1 Características del líquido a tratar

Los parámetros básicos que se deben conocer del líquido a tratar son los siguientes:

- Temperatura del líquido, máxima y mínima
- Cargas sólidos suspendidos, Carga de carbono y Carga de nutrientes
- Carga de nitrato a desnitrificar
- Carga de fósforo a eliminar
- Definición de la carga hidráulica

#### Temperatura

Incide fuertemente en la edad de lodos, siendo este un parámetro fundamental para el desarrollo de las bacterias nitrificantes. Los rangos de temperatura adecuados se encuentran entre 15 a 37°C (hasta 40°C), por encima de esta temperatura las bacterias nitrificantes mueren

#### Cargas de contaminantes

Es fundamental conocer las relaciones de las cargas de DBO<sub>5</sub> a nutrientes: DBO<sub>5</sub>/N<sub>tot</sub> y DBO<sub>5</sub>/P

#### Carga hidráulica

A los efectos del diseño deben conocerse los siguientes caudales de ingreso de efluentes:

- *Diarios* (m<sup>3</sup>/d): el caudal para el cual el 85% de los caudales se encuentra por debajo (Q<sub>85</sub>)
- *Horarios* (m<sup>3</sup>/hr): mínimo (Q<sub>mín</sub>), medio (Q<sub>medio</sub>) y el caudal máximo (Q<sub>máx</sub>)
- *Instantáneo* (litros/segundos): Q máximo-máximo (incluye las precipitaciones)

El Q<sub>máx</sub> (m<sup>3</sup>/hr) es necesario para diseñar los aireadores y el sedimentador secundario. El Q<sub>85</sub> es el valor que se utiliza para el diseño de la edad de lodos ( $\theta_c$ ) y la concentración de sólidos en el reactor (gr/l). El Q<sub>medio</sub> se utiliza para evaluar los costos. El Q<sub>max-max</sub> debe tenerse en cuenta para el cálculo hidráulico de las cámaras, tuberías y unidades (por ejemplo rejillas) previas a tanques de almacenamiento o buffer.

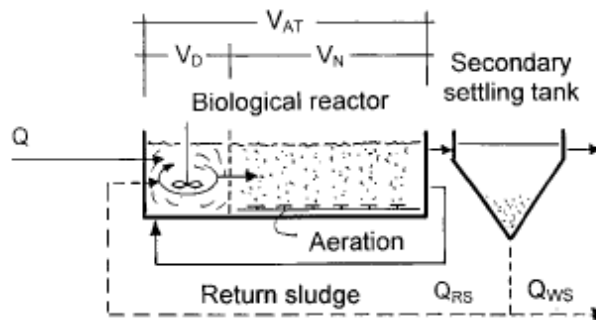
Sin perjuicio de lo anterior, debe tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones para el diseño del tratamiento:

- a) El diseño debe abarcar las etapas anteriores al ingreso a la Planta de Tratamiento de Efluentes, ya que hay líquidos y/o contaminantes que no debería llegar a la misma.

- b) Los parámetros anteriores deben determinarse (o estimarse) para el líquido bruto que ingresa a la PTE, y para el líquido que ingresa al sistema de remoción de nutrientes (posterior al pre-tratamiento).
- c) Por último, en el diseño debe preverse el mantenimiento de las unidades y equipos de manera que la PTE no quede fuera de servicio, para lo cual deberá preverse las unidades que deben estar por duplicado, los equipos a tener de respaldo y los correspondientes by-pass entre unidades.

## 6.2 Fundamento de la operación del Reactor de Lodos Activados (RLA)

El RLA para la remoción de nutrientes, mantiene el principio de los RLA convencionales, de desacoplar el tiempo de residencia hidráulico del tiempo de residencia celular, mediante la recirculación de lodos desde el sedimentador al reactor (en general esta recirculación será hacia el reactor aireado, pero como se verá más adelante en las distintas configuraciones, existen variaciones de reactores hacia donde se recirculan los lodos). El RLA para la remoción de nutrientes cuenta con la siguientes etapas: aireación + anoxia con agitación + sedimentación.



En la etapa de aireación se dan las condiciones para la nitrificación y en la etapa de anoxia se proveen las condiciones para la desnitrificación.

Las bacterias nitrificantes crecen más lentamente y tienen rendimientos mucho más bajos en comparación con las bacterias heterótrofas (aerobias consumidoras de carbono, que se encuentran en competencia en el reactor aireado); por lo tanto el proceso de nitrificación requiere de tiempos de residencia celulares significativamente mayores a los procesos convencionales de lodos activados. La etapa anóxica requiere de una agitación continua, y considerando que las bacterias responsables de la desnitrificación son heterótrofas, requiere de materia orgánica degradable; por tal motivo, es fundamental la relación  $DBO_5/NKT$  en el efluente, la cual debe ser mayor que 4. La materia orgánica es provista por el efluente crudo, y los nitratos son provistos mediante una recirculación del líquido desde el reactor aireado al anóxico.

En condiciones anaerobias el fósforo es incorporado en la biomasa en la medida de su crecimiento.

En un RLA, es fundamental el sedimentador secundario, dos son las funciones principales: la primera lograr un espesamiento adecuado del lodo, de manera que pueda recircularse la cantidad necesaria al reactor de lodos activados para mantener en este una concentración adecuada de biomasa; y la segunda proveer un líquido clarificado de salida en el que no haya escape de sólidos.

## 6.3 Parámetros de diseño del Reactor de Lodos Activados

Los parámetros a definir en el diseño son los siguientes:

- Temperatura de diseño
- Edad de lodos
- Carga de lodos de DBO5
- Sobreproducción de lodos (kg SST/kg DBO5 o kg SST/kg DQO)
- Concentración de biomasa en el reactor – SST (gr/l)
- Volumen del reactor (\*)
- Índice de Lodos (ISL); (se describe en capítulo 6.3, Parámetros de diseño del sedimentador)
- Requerimientos de oxígeno
- Carga de lodos de nitrógeno
- Recirculación de lodos y recirculación interna

(\*) En todo el desarrollo que se realiza posteriormente, cuando se refiere a reactor (RLA), se refiere al reactor aireado más el anóxico, a los efectos de una definición práctica, sería los reactores que quedan comprendidos entre la entrada de la recirculación interna (en caso de existir) y el sedimentador secundario.

### Carga de lodos de DBO<sub>5</sub>

La carga de lodos es la masa de materia orgánica que ingresa al reactor, por unidad de masa de microorganismos (expresada en SST) en el reactor. También se le conoce como relación alimentos/microorganismos (F/M) o factor de carga.

$$carga\ de\ lodos = \frac{carga\ de\ DBO\ de\ entrada}{Vol\ reactor \cdot SST\ en\ reactor} = \frac{kg\ DBO/d}{m^3 \cdot gr\ SST/l} = \frac{kg\ DBO}{kg\ SST \cdot d}$$

Carga de lodos típicas para efluentes para que ocurra nitrificación:

- Industriales entre 0,05 y 0,15 kg DBO/kg SST.d (máx 0,2 kg DBO/ kg SST.d)
- municipales

Los valores de referencia en función de cada sector industrial se verá en el capítulo 10 al 14.

### Sobreproducción de lodos, o producción específica de lodos

Corresponde a la cantidad de biomasa que se produce debido a la materia orgánica que entra, expresado como **kg SST que se producen/ kg DBO entrada**.

La sobreproducción de lodos está relacionada con la carga de lodos y la edad de lodos como se verá más abajo. La sobreproducción de lodos **no** es lo mismo que el Rendimiento (Y), dado que en este último se toma en cuenta el decaimiento bacteriano. Por otra parte debe tenerse en cuenta que las bacterias nitrificantes tienen un crecimiento muy lento, y por ende una tasa de decaimiento mucho más lenta.

Valores típicos de sobreproducción de lodos para efluentes:

- industriales: entre 0,4 y 0,9 kg SST/kg DBO entrada
- municipales entre 0,7 y 1,2 kg SST/ kg DBO entrada

## Edad de lodos

Es el parámetro fundamental para el diseño del proceso y a su vez representa el tiempo de residencia celular. Las bacterias nitrificantes crecen más lentamente que las heterótrofas que consumen carbono con las que se encuentra en competencia en el reactor aireado, por lo que para su desarrollo requieren tiempos de residencia celular mayores.

### Relación entre edad de lodos, sobreproducción de lodos y carga de lodos

$$\text{Edad de lodos} = \frac{1}{\text{carga de lodos} \times \text{sobreproducción de lodos}}$$

Tomando los valores anteriormente mencionados como típicos para carga de lodos y sobreproducción de lodos, se tiene los siguientes valores típicos de tiempo de residencia celular:

efluentes industriales:

$$\text{edad de lodos} = \frac{1}{0,15 \frac{\text{kg DBO}}{\text{kg SST} \cdot \text{d}} \times 0,6 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DBO}}} = 11 \text{ días}$$

efluentes municipales:

$$\text{edad de lodos} = \frac{1}{0,15 \frac{\text{kg DBO}}{\text{kg SST} \cdot \text{d}} \times 1 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DBO}}} = 6,7 \text{ días}$$

Tal como se observa, la edad de lodos es mayor para los procesos de nitrificación (debería diseñarse el reactor para edades mayores a 7-9 días, pudiendo alcanzar hasta 25 días), que para los procesos de degradación de carbono (los cuales tienen edad de lodos de 4-5 días).

Finalmente, es importante tener en cuenta que la edad de lodos varía también con el tipo de efluente (para una industria de harina de carne deben ser valores mayores, pero no es tan necesario para cervecerías), y tiene gran dependencia con la temperatura.

## Concentración de biomasa en el reactor (gr/l)

En realidad la concentración de biomasa tiene una correspondencia directa con los Sólidos Suspendidos Volátiles, y era este, (SSV), el parámetro que se utilizaba para el dimensionamiento antiguamente.

Sin embargo al presente se utiliza los Sólidos Suspendidos Totales debido a su facilidad de medida y que las constantes cinéticas pueden calcularse en base a estos; es así que la mayoría de las normas de referencia para el diseño se indican en base a SST.

En efluentes normales se tiene que los SSV corresponden a un 75% de los SST; y en efluentes con gran inertización de flóculos, por ej los de industria papelera se tiene que los SSV pueden disminuir a valores de 35 - 40% de los SST.

Las concentraciones habituales de lodos en el reactor aireado son entre 3 a 5 gr/l, pudiéndose alcanzar concentraciones de hasta 7- 7,5 gr/l de SST.

Alcanzar estos valores de operación dependerá sobre todo de la capacidad del sedimentador secundario para espesar el lodo y en segundo lugar de la capacidad de la bomba de recirculación de lodos.



## Volumen del reactor

Un parámetro importante a definir es el volumen del reactor, sobre todo teniendo en cuenta que una vez construido es difícil y costoso cambiarlo (lo que no quita que dentro de rangos normales, siempre es posible adaptar diseños de sistemas de remoción de nutrientes a volúmenes ya definidos, dado que, la interdependencia de los parámetros involucrados en el diseño, vinculado con las distintas configuraciones posibles, permite una amplia variedad de soluciones, abiertas al ingenio.

El volumen del reactor quedará definido a partir de la carga de lodos, la carga de DBO de entrada, y la concentración de sólidos a operar el reactor.

$$carga\ de\ lodos = \frac{carga\ de\ DBO\ de\ entrada}{Vol\ reactor \cdot SST\ en\ reactor} = \frac{kg\ DBO/d}{m^3 \cdot gr/l} = kg\ DBO/(kg\ SST \cdot d)$$

En referencia a la profundidad del reactor, no es conveniente que esta sea mayor a 4 – 4,5 metros.

Si bien es cierto que desde el punto de vista energético, son preferibles los reactores profundos, ya que mejora la eficiencia en la transferencia de oxígeno. Si se tienen en cuenta los cambios de pH asociados a la nitrificación (disminución del pH), y la sensibilidad de esta flora en líquidos de baja alcalinidad o líquidos muy blandos, deberá preverse el agregado de cal o soda, como pudiera ser en efluentes procedentes de plantas de harina de carne.

### Relación entre volumen del reactor aireado y del anóxico

Los volúmenes de cada zona, aireado y anóxico deben calcularse como parte de la metodología de diseño -lo cual no es objeto de este documento- teniendo en cuenta todas las variables de los procesos involucrados (consumo de materia orgánica por las bacterias heterótrofas, nitrificación, desnitrificación, etc) , entre otras variables se podría mencionar: cantidad de nitrógeno nitrificable, cantidad de nitratos a eliminar, relación nitrógeno nitrificado y DBO<sub>5</sub> de entrada, fracción de materia orgánica degradable, edad del lodo, concentración de SST en el reactor, temperatura del líquido etc.

Por otra parte puede ser ilustrativo presentar las siguientes relaciones a modo indicativo:

<b>Para efluentes con contenido de nitrógeno</b>	<b>Relación de volúmenes (Vol reactor = Vol anóxico + Vol aireado)</b>
Alto (ej: harina de carne y hueso, frigoríficos)	Vol anóxico = Vol aireado
Medio (ej: municipal)	40% vol anóxico y 60% vol aireado
Bajo (ej: láctea)	20% Vol anóxico y 80% Vol aireado

Tal como se verá al describir las configuraciones, al día de hoy el reactor es único, diferenciándose las distintas zonas (anóxicas y aireadas).

## Requerimientos de Oxígeno

El aireador debe ser dimensionado para las cargas pico (y no medias)

La cantidad de oxígeno a introducir en el reactor en kg O<sub>2</sub>/día, dependerá de la carga de DBO<sub>5</sub>, la edad de lodos y la temperatura. El cálculo debe seguirse según la metodología de diseño.

La concentración de oxígeno en el reactor aireado o en el tiempo de aireación debe encontrarse entre 1,5 y 2 mg/l.

A los efectos del diseño de los sistemas de aireación, se puede tomar como valor indicativo, para efluentes muy cargados, una aireación de  $15 \text{ Nm}^3/\text{m}^2$  de superficie del reactor.

### Carga de lodos de nitrógeno

$$\text{carga de lodos de Nitrógeno} = \frac{\text{carga de } N_{\text{tot}} \text{ de entrada}}{\text{Vol reactor} \cdot \text{SST en reactor}} = \text{kg } N_{\text{tot}} / (\text{kg SST} \cdot \text{d})$$

La experiencia en reactores de lodos activados para líquidos con alto contenido de nitrógeno indica que debe ser menor que  $0,03 \text{ kg N} / (\text{kg SS} \times \text{d})$  para asegurar una nitrificación y desnitrificación estable.

### Precipitación química de Fósforo

#### a) Cantidad de sales a agregar

La cantidad de sales de hierro o aluminio a agregar, se dimensiona en base a la cantidad de fósforo a remover, para lo cual se ha de conocer la carga de P a la salida, y el valor objetivo de P que debo alcanzar

$$\text{kg Metal a agregar} = \text{kg P a remover} \times 1,5 \frac{\text{moles Metal}}{\text{moles P}} = \text{kg P} \times 1,5 \times \frac{56}{31} = \text{kg} \times 2,7$$

$$\text{kg Fe agregar} = 2,7 \times \text{kg P a remover}$$

$$\text{kg Al agregar} = 1,3 \times \text{kg P a remover}$$

Ejemplo de cálculo:

Caudal de efluente  $100 \text{ m}^3/\text{d}$

Concentración de P total en el efluente clarificado:  $12 \text{ mg/l}$

Concentración de P a alcanzar (según normativa)  $5 \text{ mg/L}$

$$\text{kg P, a remover} = \frac{7}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 100 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 0,7 \text{ kg P/d}$$

$$\text{kg Fe agregar} = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 2,7 = 1,89 \text{ kg}$$

Considerando que la concentración de Fe en la solución de  $\text{FeCl}_3$  es de  $138 \text{ gr Fe/kg solución}$ , deben agregarse  $13,7 \text{ kg}$  de  $\text{FeCl}_3$ .

#### b) Producción de lodos

$\text{Producción de lodos} = (\text{lodos a partir de crecimiento microbiano}) + (\text{lodos precipitados químicamente})$

$$P_{\text{lodos}} = P_{\text{DBO5}} + P_{\text{P}}$$

La producción a partir del crecimiento bacteriano se estima a partir de la sobreproducción de lodos ( $\text{kg SST/kg DBO}$ ).

$$\text{Precipitación con hierro: } P_p = 6,8 \times \frac{\text{kg SS}}{\text{kg P precipitado}} \text{ Precipitación con aluminio } P_p = 5,3 \times \frac{\text{kg SS}}{\text{kg P precipitado}}$$

## 6.4 Parámetros de diseño del sedimentador secundario

Tal como se mencionó previamente, en un sistema de lodos activados es fundamental el sedimentador secundario. Tiene dos funciones principales: la primera lograr un espesamiento del lodo adecuado, de manera que pueda recircularse la cantidad necesaria al reactor de lodos activados para mantener en este una concentración adecuada de biomasa; y la segunda proveer un líquido clarificado de salida en el que no haya escape de sólidos.

Teniendo en cuenta esto, los parámetros fundamentales para el diseño del sedimentador son los siguientes:

- Carga hidráulica (qH)
- Índice de Lodos (ISL)
- Sólidos Suspendidos Totales en el reactor de lodos activados (SST en g/l)
- Tiempo de espesado
- Tipo de sedimentador y dimensiones

El sedimentador puede ser circular o rectangular, los primeros se han impuesto en Alemania y por lo general para plantas grandes; los segundos se han desarrollado más en Austria y Suiza por diversos motivos constructivos. Ambas geometrías tienen su justificación y deben ser elegidas por el proyectista.

Cabe la siguiente aclaración, si bien en la metodología de diseño se distingue entre flujo de sedimentación vertical y flujo horizontal, en realidad esto no hace referencia a la forma geométrica del sedimentador. Se tiene de flujo horizontal para sedimentadores circulares con un diámetro mayor a 20 metros, en los otros casos debe remitirse a flujo vertical.

La norma alemana A-131 distingue 4 zonas en el sedimentador, de abajo hacia arriba se tiene: zona de espesado, zona de almacenamiento, zona de separación, y zona de agua clarificada. Cada zona está regida por distintos modelos de sedimentación.

### Carga hidráulica

$$qH = Q_{\text{máximo horario}}(*) / \text{área superficial del sedimentador}$$

(\*) el caudal corresponde al que ingresa al RLA **sin** considerar la recirculación de lodos ni la purga (recordar que al sedimentador está ingresando este caudal más el caudal de recirculación de lodos, pero este último **no** se considera en el cálculo de la carga hidráulica).

El valor de Carga Hidráulica (qH) de la norma A-131  $qH < (1,6 \text{ a } 2,0) \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$  en realidad no es adecuado para efluentes industriales. Si el sedimentador opera a esta carga, estará muy cargado. El efluente municipal contiene fibras, por lo que es un lodo fácil de deshidratar y espesar; sin embargo los efluentes industriales no tienen fibras, y además tienen altos ISL (entre 150 – 180 mg/l), ambos elementos les confieren malas características de sedimentación, lo cual debe considerarse en el diseño del sedimentador.

De acuerdo a la experiencia del consultor se tiene la siguiente referencia:

$$qH < 0,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ hr}) \text{ para efluentes industriales.}$$

El dimensionado del sedimentador debe preverse lo suficientemente grande como para tener en el reactor una concentración de SST de 5 gr/l. Para lograr esta concentración en el reactor, se puede tomar un valor indicativo de concentración en la zona de espesado (equivalente a la concentración en la recirculación) de unos 10 – 12 gr/l de SST.

Cuando se tiene exigencias importantes de fósforo, por ejemplo la normativa alemana exige  $P < 1 \text{ mg/l}$  para el vertido de efluentes de lechería. (Siendo que el efluente de entrada puede tener valores de 60 mg P/l), es fundamental que no haya escape de lodos en el sedimentador secundario, por lo que

$$qH < 0,2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ hr}) \text{ para el ejemplo propuesto}$$

Como se habrá observado esto es más restrictivo que la norma A-131, que está basada en efluentes municipales

## Índice de Lodos

Este parámetro describe la capacidad de espesado del lodo

$$ISL = \frac{\text{Volumen de lodos}}{\text{SST en el reactor}} = \frac{\text{ml SST/l reactor}}{\text{gr/l}} = \frac{\text{ml SST}}{\text{gr}}$$

Está determinado por las características de sedimentabilidad del líquido particular a tratar, y por la concentración de biomasa en el reactor (gr/l) que defina en el diseño.

A los efectos de tener una sedimentabilidad adecuada, los valores de ISL de referencia son los siguientes:

$$60 - 70 \text{ ml/gr} < ISL < 120 - 150 \text{ ml/gr}$$

Lodos cuyo ISL tienen valores mayores a 120 ml/gr son muy difíciles de sedimentar, lo que acarrea dos consecuencias importantes en el sedimentador: en primer lugar se tendrán escapes de lodos junto con el clarificado, y en segundo lugar, no se podrá alcanzar la concentración de lodos suficiente en la zona de espesado del sedimentador, no pudiendo mantenerse por tanto la concentración de sólidos en el reactor aireado, y produciéndose un “lavado” de los mismos. Las bacterias filamentosas-como se verá más adelante-aumentan el ISL de los lodos y perjudican su sedimentabilidad.

Por otra parte, un ISL con valores menores a 60 – 70 ml/gr indica un floc muy pequeño y muy compacto, que sedimenta “como arena”, por lo que es difícil mantenerlo en suspensión en el reactor aireado, perjudicando los tiempos de reacción. Este tipo de lodo compacto puede darse en líquidos con alto contenido de inertes, como por ej los efluentes de papeleras, con alto contenido de cal.

$$\text{El Índice de lodos es: } ISL = \frac{\text{volumen de lodos en el reactor } \left(\frac{\text{ml}}{\text{l}}\right)}{\text{concentración de sólidos en el reactor-SST } \left(\frac{\text{gr}}{\text{l}}\right)} = \text{ml/g}$$

El volumen de lodos se obtiene mediante un ensayo estandarizado, que se realiza en un tubo cilíndrico de 1 litro durante media hora.

Si el volumen de lodos es muy alto (mayor que 250 ml/l), entonces debe realizarse la dilución del líquido a ensayar, lo cual debe hacerse con el mismo efluente, (no con agua).

### Tiempo de espesado

El tiempo de espesamiento debe ser suficiente para lograr que el lodo adquiera la consistencia adecuada, por otra parte no debe ser demasiado largo, dado que comienzan a desarrollarse procesos anaerobios de desnitrificación, con desprendimiento de nitrógeno en burbujas que al ascender alteran la sedimentación.

El tiempo de espesamiento está relacionado, entre otros parámetros, con la profundidad de las distintas zonas del sedimentador (zona de agua clara, zona de almacenamiento, zona de separación y zona de espesamiento), en cada una de estas zonas la sedimentación sigue distintos modelos de comportamiento. La determinación de estos valores debe realizarse como parte de la metodología de diseño, sin embargo a modo de referencia, y como valores medios se puede indicar lo siguiente:

Tiempo de espesado < 2 horas Profundidad del sedimentador > 4 metros
---

## 7. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y EQUIPAMIENTO A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO

### 7.1 Pautas constructivas a tener en cuenta para los RLA

Dado el consumo de CO<sub>2</sub>, disminuye el pH en la parte superior y las bacterias nitrificantes que son sensibles al pH mueren. Este factor prevalece frente al hecho que cuanto más profundo es mejor desde el punto de vista energético para la transferencia de oxígeno. Por tal motivo no es conveniente que los reactores sean muy profundos, proponiéndose como valor límite de profundidad unos 5 metros.

### 7.2 Equipamiento de los Sistemas de Lodos Activados

#### Sistemas de Aireación

Tal como se mencionó, es fundamental una correcta aireación no solo por el hecho de un adecuado diseño de la cantidad de oxígeno a proveer, sino que asegurar que el mismo sea introducido en el líquido de modo eficiente, por tal motivo se considera necesario describir las características de los aireadores que al presente se utilizan.

#### **Aireación de fondo y aireadores superficiales.**

En Europa están difundidos los primeros, los aireadores superficiales prácticamente no se están instalando, dado que cuentan con desventajas importantes frente a los aireadores de fondo: generan aereosoles, son ruidosos y tienen un rendimiento menor.

#### **Aireadores superficiales**

En la siguiente fotografía se observa aireadores superficiales en una planta municipal a la cual también se envía efluente del sector lácteo en una fracción significativa. Esta cuenta con dos SBR con una capacidad para 10.000 habitantes equivalentes.



### **Aireadores de fondo**

#### **i) Aireación con difusores:**

Pueden ser de “discos de membranas”, “placas” o “tubos”; para cualquiera de estas geometrías pueden ser de burbuja fina o gruesa. Los materiales de fabricación comunes son Silicona, EPDM , Poliuretano (PU) y Poliestireno (PE), los dos últimos son afectados por altas temperaturas.

Existen varias disposiciones para su ubicación en el fondo del reactor: en parrilla, colgados con cadenas, etc. Las parrillas se colocan a 20-30 cm desde el fondo. Cada parrilla debería contar con “cintas” “cuadro de metal” u otro elemento que permite que sean levantados mediante grúas. No es conveniente que las parrillas estén fijadas al fondo del reactor.

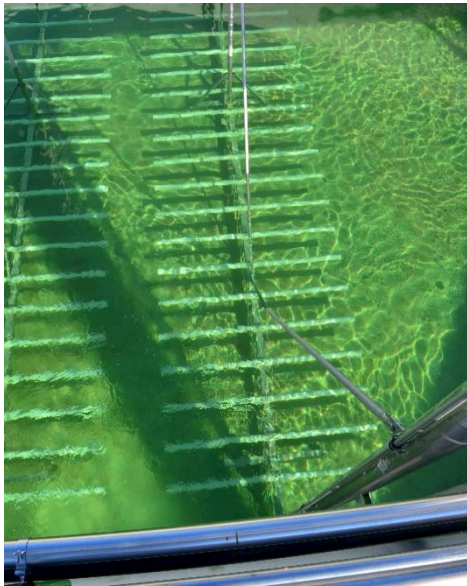
Al diseñar el sistema de aireación es fundamental prever el mantenimiento, y para ello considerar desde la etapa de diseño los sistemas a utilizar para no sacar de servicio el reactor; porque esto implica vaciarlo y perder el lodo, con los consiguientes inconvenientes que lleva el perder este tipo de lodo adaptado y específico para la eliminación de nutrientes.

En la actualidad se diseñan los difusores en parrilla de manera que puedan levantarse con grúa, cada parrilla independiente, de manera que no es necesario sacar de servicio el reactor. En Europa se está dejando de utilizar los difusores atornillados en el fondo del reactor. Para estos casos se utilizaban en Europa equipos con buzos, que bajaban a realizar el mantenimiento sin sacar de funcionamiento al RLA, debiendo realizar los cambios de membrana a ciegas. De todas formas este es un procedimiento engorroso, y con la desventaja que la tubería de aireación se llena de lodo durante las tareas de mantenimiento.

En la fotografía de la izquierda se observa parrillas de aireadores tubulares de un reactor de una planta láctea; los cuales cuentan con un cuadro de metal que permite elevar cada parrilla independientemente para realizar mantenimiento sin tener que sacar el reactor de servicio.



En la fotografía de la derecha se observa aireadores tubulares atornillados al fondo de un reactor de una planta de harina de carnes.



En las siguientes fotografías se observa aireadores de placas de una planta de harina de carne.



En la siguiente fotografía se puede observar al fondo aireadores en forma de disco y al frente un agitador de eje horizontal.



En la siguiente fotografía se observa un soplador o compresor que provee el volumen de aire a inyectar en difusores de fondo



### **ii) Dispersores KA Zott**

Estos aireadores que se llaman Dipairs son provistos por la empresa Degremont, son aireadores de burbuja media; tienen un rendimiento mayor que los superficiales, pero por otra parte tienen un consumo mucho mayor de energía que los difusores de membrana.

La gran ventaja es que no se tapan nunca, y prácticamente no requieren mantenimiento.

En la fotografía se observa este tipo de dispersor utilizado en una planta láctea que cuenta con tres reactores con una capacidad para 140.000 habitantes equivalentes.



### **Mantenimiento de los aireadores**

La limpieza de los aireadores debe realizarse en forma periódica, dado que los poros se van tapando, lo que lleva a un aumento de la presión a entregar por los sopladores y al consiguiente aumento en el consumo de energía, y a que la aireación no sea homogénea en el reactor dado que en ciertas zonas habrá taponamientos.



Esto es de particular importancia para efluentes que contienen calcio y magnesio (por ej industrias papelera o láctea). Una limpieza rápida puede realizarse inyectando ácido acético o fórmico junto con aire. A los efectos de regular la frecuencia de limpieza, debe realizarse seguimiento de la presión a la que trabajan los sopladores; para una limpieza más profunda deben levantarse y sacarse del sistema.

Otro aspecto a tener en cuenta que no se puede cambiar las membranas de un difusor y el resto de la parrilla no; debe tratarse todos los difusores de igual manera, de lo contrario el aire saldría preferentemente por la membrana nueva.

## Agitadores

Son fundamentales para mantener la biomasa en suspensión y no permitir que se formen zonas muertas donde pueda sedimentar la misma.

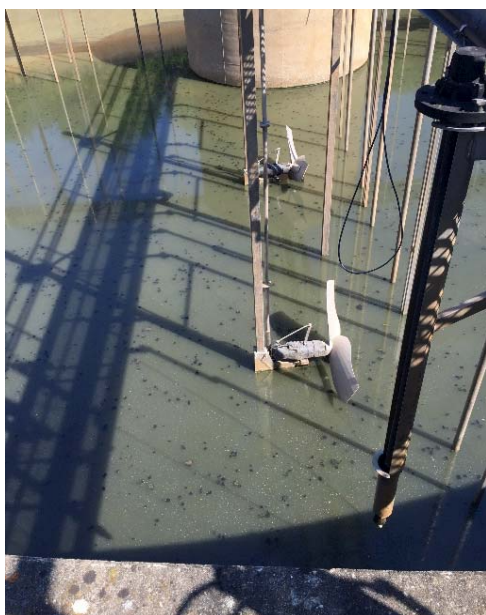
Se tiene agitadores de eje vertical o eje horizontal. En los primeros el motor está arriba de la superficie del líquido, sostenido en un puente o en un flotador, lo que significa una ventaja para el mantenimiento.

En los de eje horizontal, el motor se encuentra sumergido, lo que significa una desventaja dado que hay que extraerlo si tiene algún problema.

En cuanto a la ubicación del mismo, debe cuidarse de no colocarlo encima de los aireadores (si son de fondo), dado que se dañan por la erosión que provocan las burbujas.

Hay dos sistemas de agitadores. Los sistemas que se utilizan en los reactores de lodos activados son de baja revolución 40 a 100 rpm. Aplicando estos sistemas modernos se puede llegar hasta consumos de energía entre 2 y 3 watts/ m<sup>3</sup> de reactor. De manera indicativa este tipo de agitadores tienen diámetros entre 1,5 a 2 metros. Los agitadores de alta revolución se utilizan para los tanques de almacenamiento y homogeneización. Estos últimos son significativamente menos costosos, pero de mayor consumo energético y pueden ocasionar daños en el lodo biológico.

En las siguientes fotografías se puede observar agitadores de eje horizontal. La de la izquierda corresponde a un reactor de un frigorífico de pollos, con una carga de 30.000 habitantes equivalentes; la de la derecha corresponde a un SBR de una planta láctea, con una carga de 20.000 habitantes equivalentes.



En las fotografías de abajo se observa, a la izquierda un agitador de eje vertical flotante, y a la derecha un agitador de eje vertical fijo.



### 7.3 Algunas pautas constructivas en el diseño de sedimentadores

A continuación se hace una breve reseña de los aspectos constructivos básicos a tener en cuenta en el diseño de los sedimentadores.

#### ***Barredores:***

Los sistemas de barrido clásicamente usados son de succión o de barrido propiamente dicho. Estos últimos recorren el fondo del sedimentador rasquetéandolo y empujando el lodo hacia la tolva de la unidad, desde donde deben ser retirados. En cambio los dispositivos de succión, cuyo funcionamiento puede ser hidrostático o por bombeo, absorben directamente el lodo que encuentran.

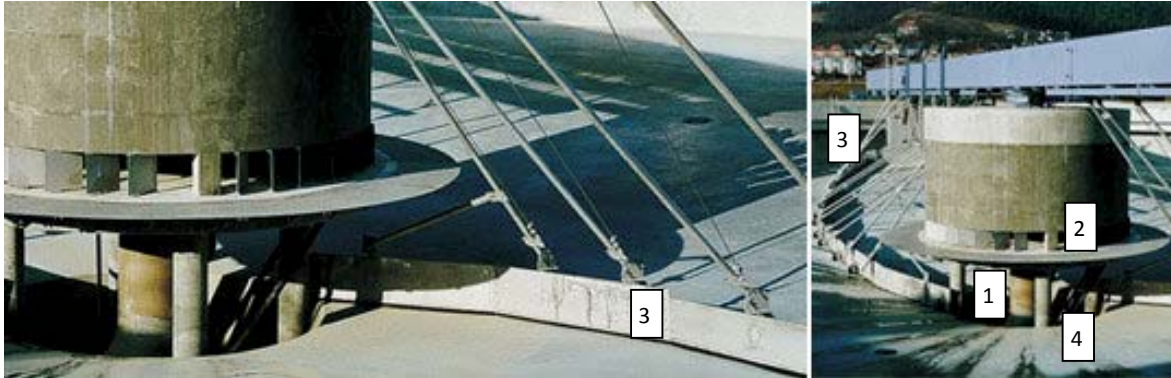
En sedimentadores circulares, estos sistemas en sus dos modalidades son giratorios. En sedimentadores rectangulares de más de 6 metros de ancho suelen emplearse equipos múltiples de cadenas y rascadores.

En la fotografía a continuación se ve un sedimentador de flujo horizontal rectangular con barredor rascador:



### **Entrada del efluente**

En la siguiente fotografía se observa el detalle de la entrada de un sedimentador de flujo horizontal circular. Se observa el piso del sedimentador



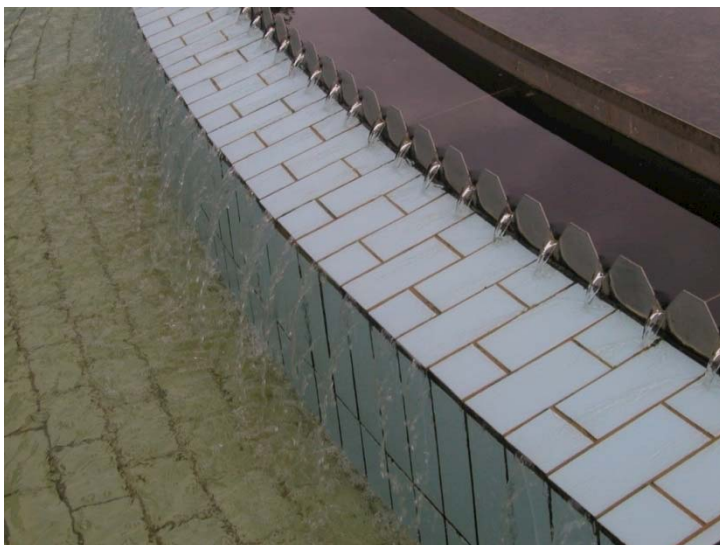
- 1 – tubería de entrada del efluente
- 2 – entrada del efluente que se desplaza aproximadamente 0,5 m. sobre una bandeja
- 3 – barredor rascador que se desplaza circularmente en el fondo del sedimentador
- 4 – tolva hacia donde son empujados los barros y son succionados

### **Salida del efluente clarificado**

Puede ser una tubería perforada o canaletas. Desde el punto de vista hidráulico, las primeras son mejores, sin embargo, son más difíciles de limpiar que las canaletas, y considerando que pueden ocurrir escapes de lodos, debe preverse la facilidad en la limpieza.

Un sistema moderno de descarga de efluente, que está imponiéndose en Europa, consiste en cubrir la canaleta con una chapa, para que el sol no promueva el crecimiento de algas en la zona de descarga.

En la fotografía se observa un sedimentador de flujo horizontal circular, el detalle de la canaleta de salida convencional.



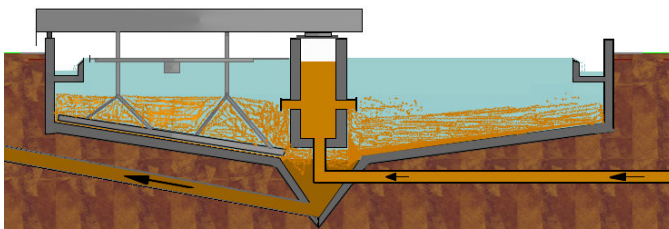


En la fotografía a continuación se observa un sedimentador de flujo horizontal circular, detalle de la canaleta de salida cubierta para la protección contra el crecimiento de algas:



### **Salida de los lodos**

Dado que la salida de lodos es por debajo del sedimentador, y que las recirculaciones de lodos están en el orden de 80 a 150% para plantas municipales, y para plantas industriales pueden alcanzar máximos de 200 a 250%, es fundamental prever que las tuberías sean lo suficientemente grandes.



Otro aspecto importante en el diseño es la bomba de recirculación de lodos. Es conveniente que tenga un regulador de frecuencia lo cual permite regular el caudal (tener en cuenta que las bombas mono no permiten esto). En general el flóculo generado no sufre ni con vertederos ni con bombas de los lodos, y no hay problemas de rompimiento del mismo.

## 7.4 Otros equipos de sedimentación

### **Unidad DAF como sedimentador secundario**

El DAF sirve para este fin, sin embargo no se ha impuesto porque es una unidad muy sensible, y es riesgoso que no funcione. En un sistema de lodos activados, es imprescindible un adecuado sedimentador. Además el DAF tiene un costo alto en el consumo en productos químicos.

### **Membrane Bio-Reactor MBR**

En los últimos años se desarrolló la tecnología de membranas MBR, para filtración y separación de la biomasa posterior al RLA. En un principio se creyó que tendría un desarrollo exponencial, sin embargo no ha sido tal, aunque se utiliza con éxito en algunos casos.

La filtración con MBR permite alcanzar concentraciones de SST de hasta 12 g/l, con las consiguientes ventajas para la reducción de los volúmenes de los reactores. Estos filtros presentan serios problemas en el funcionamiento para líquidos con alto contenido de calcio o magnesio como por ejemplo los efluentes lácteos, dado que tiende a taparse las membranas y estas deben ser lavadas muy a menudo, pudiendo llegar a reducir la vida útil de la membrana.

En cuanto a aspectos operativos si se opera con concentraciones de 12 gr/l, debe considerarse que debe incorporarse la misma cantidad de aire en un volumen más pequeño, deberá disponerse los aireadores en una superficie menor. Esto se dificulta para los líquidos muy cargados.

En la fotografía a continuación se puede observar una planta de harina de carnes, con 2 reactores MBR en paralelo, nitrificación y desnitrificación alternativa con 2 cámaras con membranas:

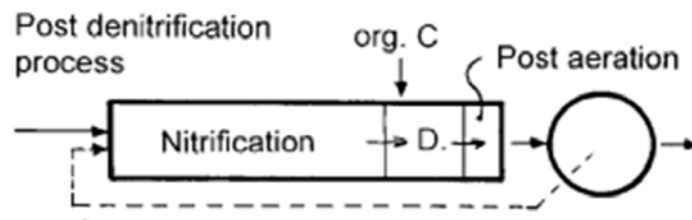


Desde la derecha hacia la izquierda se tiene: los RLA que operan de manera alternativa (cubiertos con las bóvedas de plásticos), luego las membranas MBR y bien a la izquierda la sala de sopladores, comando y dosificación

## 8. CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES

En este capítulo se describirá algunos sistemas de remoción de nutrientes cuyo uso se ha extendido en los últimos años, favorecidos por ciertas ventajas que se enumerarán, en comparación con los sistemas *convencionales* de remoción de nutrientes. En el siguiente análisis consideramos como RLA convencionales, a los dos primeros que se mencionan (desnitrificación posterior al nitrificador y desnitrificación de cabeza).

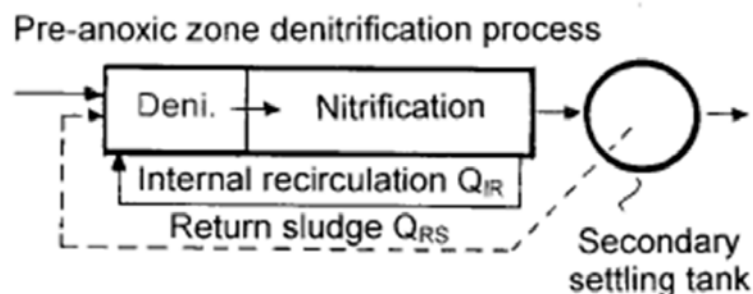
### 8.1 RLA con desnitrificación posterior al nitrificador



Este sistema no es recomendable; en el primer reactor se da la reducción de materia orgánica, y ésta puede disminuir demasiado para los requerimientos de la desnitrificación que se da en el reactor siguiente. En la práctica se ha dejado de utilizar, salvo en aquellos casos en los que la relación C/N es tan baja que hace ineludible el agregado de materia orgánica externa. En general se requiere un tanque de post aireación para la eliminación de  $N_2$  (gas).

### 8.2 RLA con desnitrificación de cabeza.

Esquema del proceso:



Tal como se observa en el esquema, hay una zona anóxica en la entrada, luego el reactor de aireación y el sedimentador; existe una recirculación de licor de mezcla y una recirculación de lodos. En el reactor aireado se da la nitrificación, el licor de mezcla conteniendo nitratos es recirculado a la zona anóxica, donde también ingresa el afluente bruto, con mayor contenido de materia orgánica biodegradable necesaria para la desnitrificación. Teniendo en cuenta este requerimiento, es conveniente que las entradas de ambas corrientes se den en la misma zona, en la cabecera del reactor.

En la siguiente fotografía se observa un reactor de lodos con desnitrificación de cabeza, para una planta de 40.000 habitantes equivalentes.



Esta configuración de RLA no sirve para efluentes con carga de nitrógenos muy altas, como puede ser el sector de harina de carne, cuyo influente puede tener concentraciones de nitrógeno de 1000 – 2000 mg N/L. Su uso implicaría recirculaciones enormes de hasta 100 veces el caudal de entrada. Por otra parte este sistema es adecuado para efluentes cuya carga de nitrógeno no es muy elevada, por ej. cervecerías, lácteas, municipales. Ejemplo:

$$R_{total} = \frac{1}{1 - E_{DN}} - 1$$

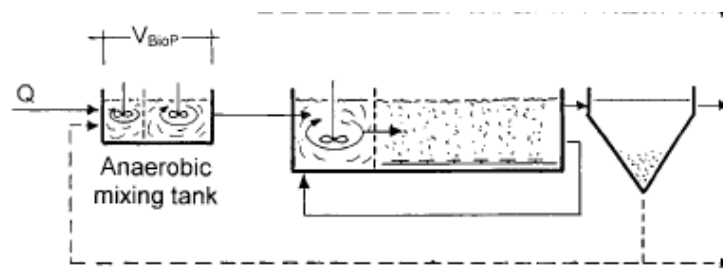
Siendo  $R_{total}$  la recirculación y  $E_{DN}$  la eficiencia de nitrógeno en %  
Supongamos un efluente procedente de planta de harina de carne, con alto contenido de nitrógeno, por ej 1000 mg/l; para reducir hasta un valor de nitrógeno de 10 mg/l en el efluente final se requiere una remoción de 99%

$$R_{total} = \frac{1}{1 - 0,99} - 1 = \frac{1}{0,01} - 1 = \text{recirculación de 99 veces del caudal de entrada}$$

En cambio para líquido municipal, con valores de nitrógeno a la entrada de 250 mg/l, para reducir a valores 10 mg/l en el efluente final se requiere una remoción de 75%

$$R_{total} = \frac{1}{1 - 0,75} - 1 = \frac{1}{0,25} - 1 = \text{recirculación de 3 veces del caudal de entrada}$$

### 8.3 Reactor de Lodos Activados con selector anaerobio



La función del reactor anaerobio previo al RLA tiene por objeto la remoción biológica de fósforo, permitiendo las condiciones de alternancia anaerobia-aerobia que llevan a la incorporación aumentada de fósforo en la biomasa, tal como se explicó en el capítulo 5.

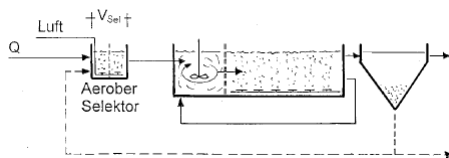
Este reactor anaerobio, no es del tipo de los de tratamiento anaerobio donde se produce biogás, sino que es un selector; es decir no se continúa hasta las etapas de la metanogénesis, sino que se dan las primeras reacciones de acidogénesis.

En esta configuración también debe existir una recirculación de nitratos, fundamental para tener una zona anóxica para la desnitrificación.

El tabique en el selector anaerobio se puede llegar a eliminar.

### 8.4 Reactor de Lodos Activados con selector aerobio

La función del selector aerobio es eliminar o reducir el desarrollo de las bacterias filiformes.



### 8.5 Reactor Simultáneo

Se dan zonas aerobias y zonas anóxicas **en el mismo reactor**. Para que funcione correctamente debe asegurarse que efectivamente se logra crear esas zonas anóxicas, es decir que en las mismas no hay oxígeno disuelto, y que éstas se encuentran completamente agitadas.

El diseño de este tipo de reactores se realiza con la misma metodología que para un RLA convencional, con la salvedad que deben alternarse las zonas anóxicas y aerobias para cumplir con la relación de volúmenes (Vaireado y Vanóxico) determinado en su dimensionamiento.



En la siguiente fotografía se observa un RLA con N/D simultánea:



La entrada de efluente debe realizarse en la zona anóxica, para favorecer que el carbono sea utilizado por las bacterias desnitrificantes. Si el carbono entra en la zona aireada, entonces las bacterias heterótrofas consumen el carbono fácilmente biodegradable.

## 8.6 Reactor Intermitente

La zona anóxica y aerobia se diferencian en el tiempo. Durante un lapso se airea y luego se detienen los aireadores, manteniendo siempre los agitadores funcionando.

En la fotografía se observa un RLA con N/D intermitente, en una planta municipal con alto contenido de líquido industrial (bebidas cola y cerveza)



## 8.7 Reactor de Cascada

Esta configuración es sumamente útil para crear un gradiente en la concentración de sustrato, configurándose en una medida importante para evitar o minimizar el desarrollo de bacterias filamentosas.

En la foto se puede observar reactores de cascadas con dos sedimentadores de flujo vertical (derecha adelante), parte exterior tres cascadas aireadas y en el medio dos reactores concéntricos (aerobios y anaeróbicos-cubierto) y filtro de arena (los tanques verdes). Sector lácteo. 40.000 habitantes equivalentes:



## 8.8 Reactor en serie

La entrada de efluentes se reparte por ejemplo en una fracción 40 y 60%; esta configuración permite un desequilibrio en los SST, entonces al sedimentador secundario entra menor cantidad de SS, es muy útil si el sedimentador se encuentra cargado.



En la fotografía se observa un reactor en serie de una planta municipal de 37.000 habitantes equivalentes:



### 8.9 Reactor de lodos combinado

Este sistema refiere a la geometría, pero no a las configuraciones de tratamiento.

En el anillo exterior se encuentra el RLA y en la parte interior el sedimentador. El RLA puede funcionar con distintas configuraciones, por ejemplo en la fotografía de la derecha es un reactor intermitente de N/D y en la fotografía de la izquierda se tiene un reactor de mezcla completa.

Este tipo de geometría es utilizada por muchas plantas de saneamiento de OSE.

Planta municipal, 4.000 habitantes equivalentes:



## 8.10 SECUENCIAL BATCH REACTOR – SBR

Es un sistema que combina en un solo reactor, de las unidades de un sistema de lodos activados; todos los procesos ocurren en un solo reactor: aireación, agitación y sedimentación.

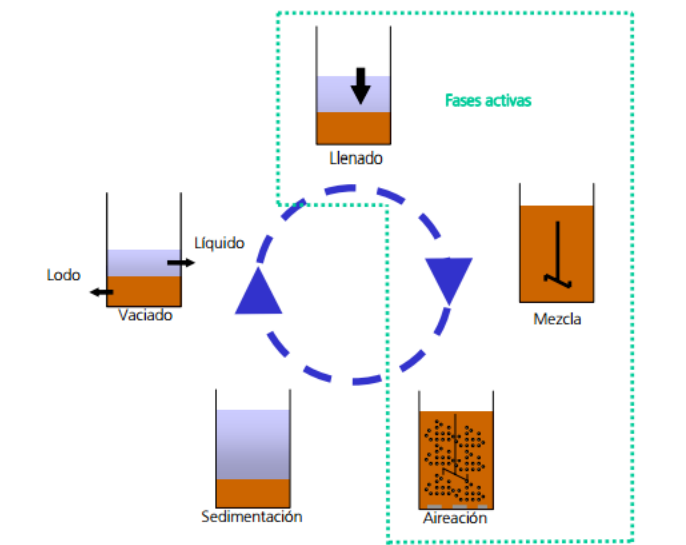
Esto implica enormes ventajas: **de inversión inicial**, dado que se reduce el número de unidades que se debe construir y tuberías de conexión; **de costo de operación**, dado que se evitan las recirculaciones.

Este sistema fue inventado por los ingleses hace 100 años, en 1914, pero no prosperó hasta que los últimos 30 años, dado que ahora se cuentan con los mecanismos de medida y automatización necesarios. Este proceso es necesariamente automatizado.

Cabe destacar que este sistema tiene gran eficiencia de remoción de nitrógeno; como ejemplo existen SBR en plantas de harina de carne, cuyos afluentes ingresan con 1.000-1.500 mg/l de nitrógeno, y el efluente de salida alcanza valores de nitrógeno total de 3 o 4 mg/l, permitiendo aprovechar al máximo la concentración de carbono del efluente.

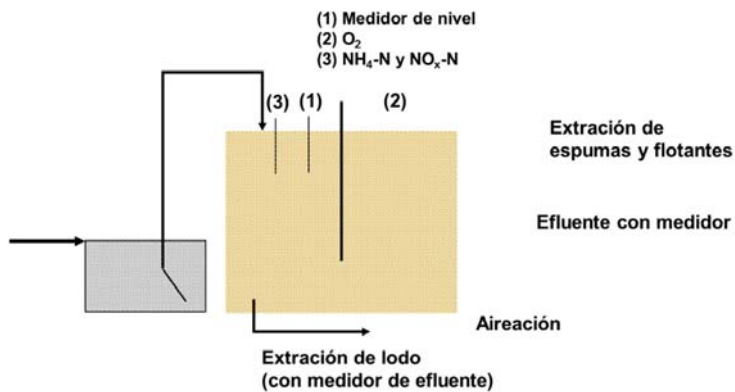
### Ciclos de los SBR

Las condiciones del proceso varían con el tiempo. Un ciclo del SBR consta de las siguientes etapas que se suceden en el tiempo: llenado, mezcla/agitación, aireación, sedimentación, vaciado del líquido (sobrenadante), y extracción de la sobreproducción de lodos, y luego comienza nuevamente el ciclo.



Las etapas vaciado y sedimentación no corresponden a la fase activa; siendo la fase activa los procesos análogos a los que ocurren en un RLA: llenado en un medio anóxico con agitación, mezcla en medio anóxico y aireación. El llenado con agitación es parte de la fase activa, dado que en esta etapa ya se dan procesos de desnitrificación.

## Descripción del sistema



El funcionamiento es el siguiente:

- El líquido ingresa a través de un sistema de llenado que opera de manera discontinua, cortándose la entrada cuando se alcanza cierto nivel. Simultáneamente al llenado se realiza agitación.
  - La etapa siguiente es la agitación, generándose un medio anóxico.
  - Luego se tiene la aireación. En el último período de esta etapa se agrega las sales (de hierro o aluminio) para la eliminación físico-química de fósforo.
  - A continuación se detiene aireación y agitación, por lo tanto ocurre la sedimentación, debiéndose otorgar un tiempo prudencial para ello.
  - Posteriormente se descarga el líquido sobrenadante mediante un sistema de vaciado que funciona en discontinuo, hasta que el líquido llega a un nivel mínimo. En el último período de esta etapa se realiza la extracción de la sobreproducción de lodo.
- Tal como se mencionó, la automatización es imprescindible en este sistema. Se requiere como mínimo de equipos para medición de:
    - Nivel del líquido
    - Oxígeno disuelto,
    - Amonio y Nitrato

## Parámetros de diseño del SBR

- Ciclos
- Tasa de llenado
- Velocidad de llenado
- Duración de las distintas etapas

Los ciclos que se han impuestos tienen una duración de 6 u 8 horas. Anteriormente eran de 12 horas, pero ya prácticamente no se utilizan ciclos tan largos, porque tienen una serie de inconvenientes que se irán comentando.

Es importante para un óptimo desempeño, que exista un gradiente de concentración, para lo cual, el llenado debe ser relativamente rápido.

Por ejemplo se tiene un ciclo típico de 6 horas. Debería realizarse el vaciado en no más de una hora y tener una hora de sedimentación. Por lo tanto se tiene 4 horas de la fase activa del ciclo (llenado, agitación y aireación), de estos se tiene que el llenado no debería ser en más de una hora.

La definición de la duración de los ciclos, puede realizarse a partir de las mediciones de los equipos.

Para calcular el volumen del reactor SBR, se calcula el volumen del RLA según la norma A131. Este volumen es el necesario para la fase activa (que sería de 4 horas en el ejemplo arriba descrito), por lo tanto para el ciclo total se tiene:  $V_{SBR} = V_{RLA} \times \frac{6}{4}$

### Equipamiento de un reactor SBR

- Extracción del líquido clarificado o decantado (en algunos países denominado decanter por su nombre en inglés). este dispositivo debe acompañar el nivel de la superficie del líquido (sube y baja con este). Existen dos sistemas: uno consiste en una articulación en forma de codo, y otro en una extracción que se desplaza a lo largo de una guía vertical

Articulación en forma de codo:



Desplazamiento vertical a lo largo de una guía



- Extracción de espumas y flotantes



Este equipo también subirá y bajará con el líquido. Debe colocarse en el sentido de la corriente.

- Agitadores: deben tenerse en cuenta los mismos aspectos que para los RLA



- Aireadores:



- Aliviaderos



- Equipos de medición
- Alertas de nivel (falla de sistema de vaciado)



## 9. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES

### 9.1 Lodos filamentosos y espumas

En la **operación** de los sistemas de remoción de nutrientes aparece una gran dificultad que es el desarrollo de bacterias filiformes. Consiste en un problema, por la rapidez en que se desarrollan y colonizan el reactor. La razón es que las condiciones que se deben proveer para los procesos de nitrificación, (edades de lodos muy largas de 12 -14 d, incluso hasta 25 días y cargas de lodos entre 0,05 a 0,15 kg DBO/kg SS.d) son exactamente las que favorecen el crecimiento de las filamentosas.

Al microscopio se visualizan como “spaguetis”

Lodo filmentoso



Lodo sin filamentosas



Si bien existen ciertas condiciones de diseño en los sistemas de remoción, que pueden promoverse para prevenir la generación de filiformes, están son muy difíciles de mantener en el equilibrio, por lo que deben plantearse condiciones de combate. En los siguientes apartados se describirán tanto las condiciones de diseño como las medidas para su control.

Dado la mala sedimentabilidad de estas bacterias, se tiene una masa de lodo flotante, originándose espumas. Estas son de distinto origen y distinto aspecto que las espumas generadas por la agitación en presencia de detergentes.

## 9.2 Razones por las cuales los lodos filiformes perjudican el tratamiento de remoción de nutrientes:

- El lodo filiforme no sedimenta y produce espumas.
- El volumen de lodo en el sedimentador secundario aumenta
- Hay pérdida de lodo a la salida del sedimentador secundario
- La concentración de SS en el reactor baja demasiado y varía mucho

A los efectos de clarificar la situación anterior, se describe un ejemplo:

Un lodo con buena sedimentabilidad, en el que no hay presencia de bacterias filiformes puede tener un valor habitual de ISL menor a 100 ml/g.

- a) Cuando comienzan a desarrollarse las bacterias filiformes, empieza a visualizarse espumas y observarse que el ISL comienza a aumentar,  $ISL = 120 \text{ mL/g}$ . Debe tomarse medidas inmediatamente: retirar la espuma del sistema (si el ISL aumenta a valores de  $150 \text{ mL/g}$ , se ha llegado a una situación crítica).
- b) Concomitantemente con el aumento de lodo en el sedimentador, se empieza a perder lodo en la salida del clarificado; desde valores de 3, 5 mg/l normales, se observa que aumenta a 10...15...25 mg/L, dado la mala sedimentabilidad del lodo atribuida por las bacterias filamentosas, se está perdiendo con el efluente de salida.
- c) Simultáneamente va disminuyendo los SS en el reactor: desde valor normal como pudiera ser 4 g/L, disminuye a 3,8... 3,5 g/L.

## 9.3 Condiciones que favorecen el desarrollo de las bacterias filiformes

- **Relación inadecuada de nitrógeno y fósforo**  
Esto ocurre cuando hay escapes o aumentos semanales de nitrógeno. Se desarrolla una especie llamada Nostocoides limicola.
- **Falta de oxígeno disuelto**
- **Alta concentración de  $\text{NH}_4$  (amonio)**  
Tal como sucede en efluentes municipales. En particular se favorecen las condiciones en otoño y primavera, cuando hay variaciones de temperatura. Se desarrolla especie de Microthrix parvicella
- **Alto contenido de sulfuros/sulfatos.**  
Comienza a haber problemas con  $S > 5 \text{ mg/L}$   
Tal como ocurre en efluentes de industrias lácteas, curtiembres, papeleras y líneas de grasas  
Se desarrollan las especies de Triothrix y O21 N, las que tienen un crecimiento muy rápido, en una semana se puede llegar a tener el reactor con un lodo muy difícil de combatir.

- **Alto contenido de aceites y grasas**

Como ocurre en efluentes de industrias lácteas. Si los pre-tratamientos para retirar la grasa (por ej DAF) funcionan mal, se desarrollan bacterias del tipo Nocardioforme Actinomyceten, que generan una espuma muy intensa, ya que crece en si misma; es fundamental el diseño de los sistemas con extractores de espuma.

#### 9.4 Recomendaciones a considerar en el diseño del sistema de tratamiento para minimizar el desarrollo de las bacterias filiformes

A continuación se enumeran una serie de recomendaciones:

- Que exista gradiente de sustrato. Para lo cual se puede utilizar reactores en cascada o SBR
- El uso de selectores aerobios y anaerobios
- Prever la existencia de equipos de extracción de espuma, tanto en el RLA como en el sedimentador.
- Diseñar el sistema con aireación suficiente
- Agregado de sales de hierro y/o aluminio. Las primeras para combatir las bacterias del sulfuro y las últimas para combatir fundamentalmente Microthrix.
- Incluir pre-tratamientos para la eliminación de aceites y grasas; fundamental para combatir Actynomycetes.
- Prever el agregado de nutrientes en aquellos efluentes que tienen deficiencia en fósforo o nitrógeno, para el adecuado crecimiento bacteriano. Esto ocurre por ejemplo para los efluentes de plantas de celulosa que son deficientes en fósforo. La relación requerida es: DBO5:N:P = 100:5:1.
- Operar con valores de NH4-N < 1 mg/L a la salida del RLA, dado que cuando se tiene valores muy altos se favorece el desarrollo de Microthrix parvicella

#### 9.5 Recomendaciones a considerar en la operación del sistema de tratamiento para el combate de las bacterias filiformes

- Contar con seguimiento microbiológico, con análisis realizados por expertos, con frecuencia determinada. La frecuencia se debe determinar en función del ISL, y en algunas oportunidades puede requerir que sea semanal o bisemanal, en particular si comienza a observarse espumas lo que deriva en el aumento del ISL.
- Contar con personal capacitado para la operación de la PTE.
- Realizar controles con frecuencia determinada de: SST, SSV, ISL, OD, carga de lodos, edad de lodos aerobia y edad de lodos total.
- Agregar nutrientes. Las relaciones N/DBO5, P/DBO5 requeridas para el crecimiento bacteriano son en general: NH4-N > 0,5 mg/L ; PO4-P > 0,03 mg/L.
- Controlar los valores de sulfuros y sulfatos
- Controlar el valor de Aceites y grasas
- Mantener el reactor de nitrificación (aireado) con concentración de Oxígeno disuelto (OD) entre 1,5 a 2 mg/l, y es saludable para el combate de las filamentosas, que alcance hasta 3 mg/l una vez al día.
- Agregar de sales de aluminio y/o hierro. Los lugares más habituales para el agregado son: el vertedero antes del sedimentador o en la tubería de recirculación de lodos.
- Realizar extracción de espumas y lodos filamentosos. Estos deben retirarse del sistema, no pueden ser devueltos al sistema de recirculación, y tampoco a los digestores de lodos cuyos lixiviados vuelvan al sistema de tratamiento.
- Agregar peróxido de hidrógeno; sin embargo esta es la última medida, ya que mata a las bacterias filamentosas, pero también muchas otras especies requeridas.

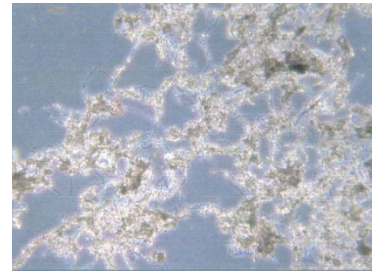
- Finalmente tener mucha paciencia. En el tratamiento para combatirlas debe haber continuidad, y puede llevar un par de meses el combatirlas.

### **Ejemplo: Tipo 1851 , Reactor SBR efluente municipal**

Descripción del sistema: 4 SBR que trabajan en paralelo, están en recinto cerrado por problema de bajas temperaturas en invierno. Carga 26.000 habitantes equivalentes, Edad de lodos > 25d

Se desarrollaron filiformes del tipo 1851

Medidas de combate: agregado de poli aluminato sin polímero 4 mg Al/(gr ST.d)

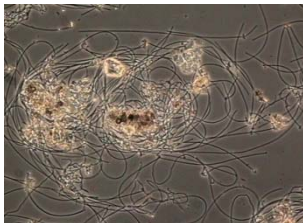


### **Ejemplo 021 N y Thiothrix, Reactor SBR, efluente de papelera**

Descripción del sistema: Planta en 2 etapas: primero un reactor Anaerobio (UASB) y luego un reactor SBR. Carga aproximada 80.000 habitantes equivalentes.

Se desarrollaron filiformes del tipo 021 N y Thiothrix. Estas se desarrollan en efluentes que tienen contenido de sulfuro y/o sulfato

Medidas de combate: precipitación del sulfuro con sales de Fe, concentración a mantener en el reactor S < 10 mg/l





Antes



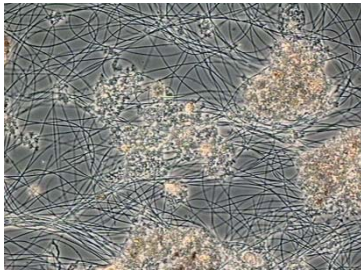
Después



**Ejemplo: Thiothrix, Reactor intermitente, efluente de harina de carne**

Descripción del sistema: Reactor intermitente con sedimentadores verticales

Medidas de combate: agregado de Cloruro de Hierro para precipitación de sulfuro



Antes



Después

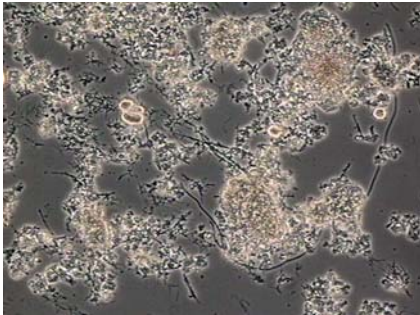


## Ejemplo: Nocardioforme Actinomyceten, efluente lácteo

Descripción del sistema: carga 20.000 habitantes equivalente.

Medidas de combate:

- Optimizado de la extracción de grasas mediante agregado de sales de hierro (en pre-tratamiento)
- Optimizado de la extracción de las espumas
- Aumento de la capacidad de aireación
- Agregado de sales de aluminio en el reactor de lodos



Antes



Después

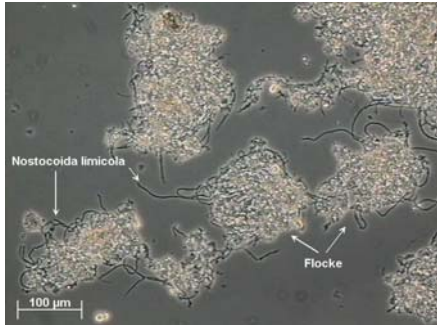




## Ejemplo Nostocoida Limicola, efluente de cervecería

Descripción del sistema: reactor SBR

Medidas de combate:



Sedimentabilidad antes y después



## Resumen

Especie que se desarrolla	Medidas de combate
Microthrix parvicella	Suficiente aireación, OD aprox 2 mg/L Gradiente de sustrato Nitrificación (NH <sub>4</sub> -N < 1 mg/L) Agregado de sales de Aluminio
Thiotrix 021 N	Precipitación de sulfuro <10 mg/L Agregado de sales de hierro Agregado de Peróxido de Hidrógeno
Nostocoida limícola	Gradiente de sustrato Agregado de sales de hierro
Nocardioforme Actinomyceten	Eliminación de grasas y aceites Agregado de sales de aluminio
1851	Agregado de Sales de aluminio

## 10. SECTOR LÁCTEO

### 10.1 Características del efluente bruto

Tabla: Características generales del líquido residual en el sector lácteo.

Parámetros	Unidad	Rango	
		Diario	Cargas pico
Caudal específico	m <sup>3</sup> /1.000 kg de leche	1 – 2	0,5 - 4,0
carga de DBO5	kg/1.000 kg de leche	0,6 - 3,0	
concentración de DBO5	mg/L	600 - 2.000	1 - 5.000
DQO	kg/1.000 kg de leche	0,8 - 4,0	
Concentración DQO	mg/L	800 - 4.500	500 - 10.000
relación DQO/DBO5		1,3 - 2,2	1,1 - 2,8
relación DQO/TOC		3-5	
Nitrato NO <sub>3</sub> -N	mg/l	10 - 100	hasta 250
Nitrito NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0 – 2	hasta 10
Nitrógeno Amoniacal NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0 – 20	hasta 50
Concentración N <sub>KJ</sub>	mg/l	10 - 110	hasta 200
Concentración N <sub>TOT</sub>	mg/l	20 - 230	hasta 450
Concentración P total	mg/l	20 - 100	hasta 200
Sólidos sedimentables	ml/l	1 – 2	0 – 50
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	200-800	hasta 1000
Relación SST/DBO5		0,4-0,5	
pH		6 – 11	1 – 13
Aceites y grasas	mg/l	80 - 250	hasta 800

Fuente: Norma DWA-M 708 – octubre 2011

A continuación se resume alguna de las características más notables de los efluentes brutos del sector lácteo:

- Hay variaciones de pH entre 4 a 12 en lapsos de minutos. Esto se debe al arribo de distintas corrientes de efluentes en pulsos a la PTE (entre otras los procesos de lavado CIP).
- La mayor parte del carbono se encuentra como materia altamente biodegradable (DQO/DBO baja); lo cual implica que si el sistema de tratamiento de efluentes, está correctamente diseñado se puede alcanzar valores DQO a la salida menor a 30 mg/l.
- Alto contenido de grasas.
- Alto contenido de fósforo.
- En la industria existen procesos de producción particulares, como la Desmineralización del suero (Demi 50%, 70%, 90%) cuyos efluentes tienen muy alto contenido de fósforo (pudiendo alcanzar valores de 200 mg P/l), en estos casos debe preverse un pre-tratamiento específico para la remoción del fósforo.

- Relación baja de Nk/DQO. En general el efluente bruto no tiene alto contenido de nitrógeno, y la cantidad presente se puede remover mediante el crecimiento bacteriano.
- Puede contener cantidades importantes de NO<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> debido a los detergentes. En estos casos se requiere prever condiciones para que ocurran los procesos de desnitrificación.
- Para plantas grandes, y en particular aquellas que realizan procesos de secado, los efluentes pueden tener mayor contenido de nitrógeno (Nk). Si este es aproximadamente de 5 % del DBO, entonces debe diseñarse la desnitrificación del efluente.
- Contenido de calcio y magnesio, que acarrea posibles complicaciones en el tratamiento anaerobio y en el uso de membranas para la introducción del aire.
- Contenido de cloruro, con la consiguiente agresión a algunos materiales.
- Carga de sólidos entre 30 a 40% del DBO<sub>5</sub>

## 10.2 Pre-tratamientos del sector lácteo

A continuación se describen las unidades que debería contar el pre-tratamiento de efluentes del sector lácteo.

- Tamices
- Desarenadores
- Tanque de almacenamiento y homogeneización: necesarios para controlar el pH, siendo conveniente contar con una capacidad de uno a dos días del caudal medio diario.
- Tanques de contingencia
- Unidades de eliminación de grasas.

La tecnología que se ha impuesto es el DAF. Con las unidades DAF convencionales se puede alcanzar concentración de sólidos de 5% en el flotado; y con mejores tecnologías se puede alcanzar de 8 a 10% de sólidos en el flotado, lo que favorece la incorporación de los lodos en tratamientos posteriores de digestión anaerobia.

Con una unidad DAF se puede alcanzar las siguientes remociones para los efluentes del sector lácteo: DQO: 40 A 70% ; N<sub>tot</sub> > 50% ; P: 75 a 85%

Para los efluentes lácteos es necesario el agregado de sales en el DAF siendo posible el uso tanto sales de aluminio como hierro

- El pretratamiento en reactores anaerobios es posible, dado que en estos se elimina DBO y DQO, aunque es dificultoso por el contenido de calcio y magnesio. Como se mencionó previamente, el contenido de Nk es bajo, y no se requerirá de gran cantidad de materia orgánica en el tratamiento de (nitrificación-)desnitrificación posterior, por lo que no hay inconveniente en que esta disminuya en el pretratamiento anaerobio.

## 10.3 Tratamiento

A los efectos de combatir las bacterias filamentosas debe evitarse las configuraciones que se basan en mezcla completa, en cambio deben utilizarse los sistemas de cascada, intermitentes y SBR.

Es recomendable que la carga de DBO en el RLA tenga valores entre 0,05 a 0,2 kg DBO/ kg SST.día

En el dimensionado de los sedimentadores secundarios deben evitarse cargas hidráulicas altas ( $q_H < 0,4$  a  $0,5$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr) y diseñar para profundidades mayores a 4 m.

### Eliminación del fósforo

Dado el alto contenido de este contaminante en los efluentes, se requiere tratamiento biológico intensivo. En sistemas de flujo continuo se deben implementar selectores anaerobios, o zonas anaerobias para incrementar la eliminación del fósforo en la masa bacteriana, pudiéndose alcanzar remociones de hasta 70% de fósforo.

Pero no alcanza únicamente con remoción biológica, y debe implementarse la precipitación simultánea, realizando el agregado de sales en el reactor de lodos activado, por ejemplo: en el vertedero a la salida del mismo dado que hay agitación, o directamente en la tubería de la recirculación de lodos.

Si se el vertido requiere que la salida tenga concentraciones de  $P_{tot}$  menores a 1 mg/L, se debe considerar una etapa posterior con filtros de arena.

#### **Aireación con difusores de membranas**

Debido al alto contenido de calcio y magnesio los difusores de membranas deben ser cambiados cada 4 a 6 años. La limpieza con ácido fórmico debe ser considerada en la planificación del sistema de aireación. Sin limpieza periódica con ácido fórmico la vida útil de las membranas se reduce en muchos casos a menos 2 años.

### 10.4 Tratamiento de lodos

En el sector lácteo el lodo secundario es muy difícil de deshidratar, y puede ser necesario recurrir a equipos de cierta tecnología como centrifugas, con las cuales se logra concentraciones de SST entre 17% y 22 % pero no mayores.

En plantas grandes (más de 50.000 hab equivalentes) resulta interesante desde el punto de vista económico el tratamiento anaerobio del lodo en digestores anaerobios. En particular si existe pre-tratamiento con DAF. El lodo flotado tiene un alto valor energético debido al contenido de grasas y proteínas, y en tal sentido es útil agregarlos al digestor anaerobio, junto con los otros lodos biológicos del sistema. Las sales agregadas no afectan la biomasa anaerobia.

## 11. SECTOR SUBPRODUCTOS GRASOS DE INDUSTRIA FRIGORÍFICA

Este apartado refiere a las plantas donde se realiza harina de carne y huesos y grasa de rendering (sebo)

### 11.1 Características del efluente bruto

Tabla: rangos de caudales específicos para cada etapa, sector subproductos grasos

Proceso	Caudal específico (m <sup>3</sup> /t materia prima)
<b>Caudal total</b>	0,75 – 1,25
<b>Segun método 1 de Norma europea</b>	
Condensados totales	0,6 – 0,7
Condensados del secado	0,5 – 0,6 (90 – 95 %)
<b>Segun los métodos 2 hasta 7 de la Norma Europea</b>	
Líquido del procesamiento de sangre	Aprox. 1
Condensados	
- de plumas	0,4 – 0,7
- de huesos	0,35 – 0,5
Procesado de pescado	1 – 1,3
<b>Aguas de diversos procesos</b>	
De lavado	
- lado contaminado	0,1 – 0,2
- lado no contaminado	0,1 – 0,2
- Tratamiento del aire	aprox. 0,02 – 0,1
- Agua de calderas	aprox. 0,02
- Lavado de vehiculos	0,01 – 0,05 <sup>*)</sup>
- Líquido domestico	100 – 200 l/(empleado-d)

Fuente: Norma DWA-M 710

Tabla: características de los condensados, sector subproductos grasos de frigoríficos

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo
pH		5,7	9,5
Conductividad	mS/cm	2,2	22
Capacidad de ácidos K <sub>S4,3</sub> <sup>*)</sup>	mmol/l	54	85
Alcalinidad (Ca, Mg)	mmol/l	0,03	0,1
DQO	mg/l	4.000	18.000
DBO5	mg/l	3.600	16.000
Amonio (S <sub>NH4-N</sub> )	mg/l	180	3.000
Norg	mg/l	< 1	750
Fósforo total	mg/l	< 0,1	1,1
Sulfuro	mg/l	< 1	37
Mercaptanos	mg/l	2,1	17

Fuente: Norma DWA-M 710

Tabla: características del líquido bruto total, sector subproductos grasos de frigoríficos

Parameter	Unidad	Mínimo	Máximo
pH		6,0	10,4
Conductividad	mS/cm	3,0	12,0
Carbonatos	mmol/l	14	44
Alcalinidad (Ca, Mg)	mmol/l	0,36	1,44
DQO	mg/l	1.500	15.000
TOC (CTOC)	mg/l	1.720(1)	2.700(1)
DBO5	mg/l	1.000	10.000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	50	2.500
Grasas y aceites	mg/l	25	500
Amonio NH4-N	mg/l	100	2.500
Norg	mg/l	10	500
Fósforo total	mg/l	1	25
sulfuro	mg/l	10	25
cloruro	mg/l	10	1000
Sulfato	mg/l	5	700(2)
CDQO : CDBO5		1,3 : 1	1,8 : 1
CDQO : CTOC		3,0 : 1	3,4 : 1
CDBO5 : CP	100 : 0,1		
CDBO5 : CNTOT	(3,5 - 4) : 1		
CDQO : CNTOT	(5 - 6,5) : 1		

Fuente: Norma DWA-M 710

En resumen se tiene las siguientes características de los efluentes del sector subproductos grasos:

- Bajo contenido de fósforo (ya que no tienen sangre en el efluente)
- Muy alto contenido de nitrógeno

Tabla: cargas características de los efluentes donde se realiza elaboración de sangre, plumas y huesos

Parámetro	máximo valores en verano	mínimo Valores en invierno	Rango de producción
Carga de DQO	8 - 20 kg/t	0,5 - 3,8 kg/t	3 - 12 kg/t
Carga de DBO	3 - 12 kg/t	0,3 - 2,3 kg/t	2 - 8 kg/t
Carga de NH4-N	1,3 - 2,7 kg/t	0,1 - 0,7 kg/t	0,5 - 2,5 kg/t
Carga de Ntot	-	-	0,6 - 3 kg/t
Carga de P	30 - 60 g/t	0 - 30 g/t	< 0,1 kg/t

Fuente: Norma DWA-M 710

(t= tonelada de materia prima)



## 11.2 Pre-tratamientos

A continuación se describen las unidades que debería contar el pre-tratamiento de efluentes del sector subproductos grasos de frigoríficos:

- Tamices
- Unidades de eliminación de grasas, por ej– DAF
- Tanque de almacenamiento y homogeneización: para homogeneizar el caudal, se recomienda una capacidad de aproximadamente dos días del caudal medio diario. Estos tanques deben ser cerrados debido a la generación de olores muy intensos y desagradables, con captación y tratamiento de la corriente de aire.
- Tanques de contingencia
  
- En este sector no es posible, el pre-tratamiento en reactores anaeróbicos, dado que el nitrógeno es muy alto. Hace 20 años los tratamientos en Europa tenían reactores anaerobios como pre-tratamientos. Estos eliminaban toda la materia orgánica fácilmente biodegradable, por lo cual se tenía a la salida del tratamiento anaerobio, y entrada de los RLA un líquido con alto contenido de nitrógeno y DQO y DBO baja.

## 11.3 Tratamiento

Recomendaciones de las cargas a utilizar para el dimensionado del sistema de tratamiento

Tabla: cargas de diseño para RLA con N/D de subproductos grasos de frigoríficos

Parámetro	Valores
Caudal específico	0,75 – 1,25 m <sup>3</sup> /t materia prima
Carga de DQO	10 kg/t materia prima
Carga de DBO	6 kg/t materia prima
Carga de Ntot	2 kg/t materia prima

Fuente: Norma DWA-M 710

Recomendaciones de parámetros para el dimensionado del reactor de lodos activados con nitrificación-desnitrificación

Tabla: parámetros para el dimensionado de RLA con N/D del sector suproductos grasos de frigoríficos

Parámetro	Valores de referencia
Edad de lodo aerobio ( $t_{RS}$ )	> 18 d
Carga de lodos (DBO)	< 0,08 kg DBO <sub>5</sub> /(kg SST · d)
Carga de lodos (DQO)	< 0,12 kg DQO / (kg SST · d)
Carga de lodos de N ( $B_{TS,N}$ )	< 0,03 kg Ntot / (kg SST · d)

Fuente: Norma DWA-M 710 -

En la siguiente tabla se muestran los valores de salida de seis plantas en Alemania con distintas configuraciones de Reactores de Lodos Activados

Tabla: Estudio estadístico de los valores a la salida de seis plantas en Alemania con distintas configuraciones de Reactores de Lodos activados (2003 al 2007)

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo
DQO	mg/l	25	65
TOC (C <sub>TOC</sub> )	mg/l	8	47
DBO	mg/l	3	6
Nitrógeno Amoniacal NH <sub>4</sub> -N	mg/l	< 1	12
Nitritos NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0,03	1,8
Nitratos NO <sub>3</sub> -N	mg/l	< 0,5	26
Nitrógeno Total	mg/l	3,6	34
Fósforo Total	mg/l	0,15	11,9
AOX (C <sub>AOX</sub> )	mg/l	< 0,1	< 0,1

Fuente: Norma Alemana DWA – 710

La norma alemana recomienda:

- Procesos reactores de lodos activados en una etapa (en un reactor), con:
  - desnitrificación simultánea;
  - desnitrificación alternativa;
  - desnitrificación intermitente;
  - desnitrificación en cascadas;
  
- Reactor SBR. Este sistema de tratamiento es muy adecuado para este sector, en el cual el efluente de entrada puede tener valores tan altos como 2000 mg N<sub>tot</sub>/l (en verano) y puede alcanzarse valores de salida de N<sub>tot</sub> < 10 mg/l

## 12. SECTOR FRIGORÍFICOS

### 12.1 Características del efluente bruto

Tabla: consumo específico de agua, valores medios

	Matadero de vacunos (l/ vacuno)	Matadero de aves (l/ ave) (*)	Matadero de cerdos (l/cerdo)
Consumo de agua total (agua fría + agua caliente)	952	8,5	206

Fuente: Norma DWA-M767

(\*) Debe tenerse en cuenta que en Alemania el pollo tiene un peso 1-1,5 kg promedio. En Uruguay los pollos tienen un peso mucho mayor por lo que aumenta el valor de referencia.

Características de los efluentes brutos – Matadero de vacunos

Parámetro	Efluente crudo	Efluente a la salida del DAF
DQO mg/l	6.000 – 8.000	≤ 1.000
DBO5 mg/l	4.000 - 5.500	≤ 700
N total mg/l	450 – 600	100 – 120
P Total mg/l	45 65	≤ 10
Sólidos sedimentables ml/l	hasta 200	≤ 10
Aceites y grasas mg/l	600 – 1.000	≤ 50

Fuente: Norma DWA-M767

Características de los efluentes brutos – Matadero de cerdos

Parámetro	Efluente crudo	Efluente a la salida del DAF
DQO mg/l	5.000 – 6.000	800 - 1.000
DBO5 mg/l	4.000 - 5.500	550 - 700
N Total mg/l	400	80 – 120
P Total mg/l	40 – 50	≤ 7,5
Sólidos sedimentables ml/l	bis 150	≤ 10
Aceites y grasas mg/l	400 – 500	≤ 50

Tabla: Características de los efluentes brutos – Matadero de aves

Parámetro	Efluente crudo	Efluente a la salida del DAF
DQO mg/l	2.500 – 3.500	600 - 800
DBO <sub>5</sub> mg/l	1.700 – 2.500	400 – 560
N Total mg/l	300 – 350	80 - 100
P Total mg/l	30	≤ 5
Sólidos sedimentables ml/l	bis 150	≤ 10
Aceites y grasas mg/l	300 – 500	≤ 50

Fuente: Norma DWA-M767

Estos no tienen un contenido de nitrógeno tan elevado como las líneas de grasa (a menos que dicho proceso se realice también en el frigorífico), por tal motivo son efluentes menos complicados de tratar que los de la línea de grasas.

## 12.2 Pre-tratamientos

A continuación se describen las unidades que debería contar el pre-tratamiento de efluentes del sector frigoríficos.

- Tratamiento de separación de sólidos (tamices, zarandas) para línea de aguas verdes
- Tratamiento de separación de sólidos y grasas para línea de aguas rojas

### Luego de la unificación de ambas líneas:

- Unidades de eliminación de grasas: DAF – debe estar ubicado en el líquido crudo, antes del tanque de homogeneización
- Tanque de homogeneización, sería conveniente no tener el líquido almacenado para períodos prolongados; en caso de que se previera períodos mayores, deben ser cubiertos con extracción y tratamiento de la corriente de aire.
- DAF: se recomienda que el DAF también se agregue sales de hierro (no son convenientes las sales de aluminio), lo cual mejora mucho las características de espesamiento del flotado, mejorando por tanto la separación y disposición posterior. La cantidad de sólidos flotados que se separan es de 2 a 3% (kg lodo/ m<sup>3</sup> líquido residual), sin embargo si se utiliza sales de hierro se puede alcanzar concentraciones de hasta 12 %.
- Pretratamiento en reactores anaerobios es posible solo para el caso en el cual el efluente bruto tiene un contenido de nitrógeno bajo.

## 12.3 Tratamientos

La norma alemana recomienda:

- Utilizar en los sistemas de lodos activados una carga de DBO 0,15 kg DBO/ kg SST.día
- Las siguientes configuraciones de reactores de lodos activados, en una etapa (en un reactor), con:
  - desnitrificación simultánea; alternativa; intermitente; o en cascadas;
  - en algunos casos también es posible los reactores con desnitrificación de cabeza.
- SBR. Este no está recomendado específicamente en la norma para frigoríficos, si bien se han utilizado en varias industrias en Alemania.

Los líquidos de frigoríficos tienen cierto contenido de sulfatos, en particular los que tienen tripas, por lo tanto se encuentra sulfuro en el agua. Se recomienda entonces el agregado de sales de hierro (prevaleciendo sobre las sales de aluminio) para la precipitación química de fósforo y para el combate de las bacterias filiformes.

## 13. SECTOR MALTERÍA y CERVECERÍA

### 13.1 Características del efluente bruto

Tabla: caudal específico y cargas características en la elaboración de cerveza

parámetro	Valor medio	Valor a alcanzar (min)
Caudal específico	0,25 - 0,6 m <sup>3</sup> /hl cerveza	0,2 m <sup>3</sup> /hl cerveza
Carga específica de DBO5	0,3 - 0,6 kg/hl cerveza	0,25 kg/hl cerveza
Relación DQO/DBO5	1,5 - 1,8	1,7 - 2

Sólidos Sedimentables	10 - 60 ml/l
DBO <sub>5</sub> , homogenizado (1)	1.100 - 1.500 mg/l
DBO <sub>5</sub> ,clarificado (2)	900 - 1.200 mg/l
DQO, homogenizado	1.800 - 3.000 mg/l
DBO5, clarificado	1.500 - 2.500 mg/l
Ntotal, homogenizado	30 - 100 mg/l
Ptotal, homogenizado	10 - 30 mg/l

Fuente Norma DWA M 732

- (1) efluente crudo: se toma una muestra, se homogeneiza y se mide el DBO  
 (2) efluente crudo: se toma una muestra, se sedimenta y se mide el DBO del clarificado

Estos efluentes tienen poco contenido de nitrógeno, y si se observa la relación DBO/DQO son fácilmente degradables.

Por esta razón históricamente se realizaba tratamiento anaerobio. Se impuso en todo el mundo, y se puede seguir aplicando, porque como tiene poco nitrógeno, el líquido a la salida del trata anaerobio, aún tiene suficiente carbono como para eliminar el nitrógeno en forma biológica. También tiene poco fósforo. Lo cual una eliminación con procesos de precipitación simultánea es efectiva, sin requerir tratamientos posteriores.

En conclusión, son efluentes fáciles de tratar y de alcanzar valores de nutrientes a curso de agua....Se puede hacer trat en dos etapas (anaerobio → remoción nutrientes)

### 13.2 Pre-tratamientos

- Tamices: se ha impuesto hasta 2 mm de separación, para retener restos de etiquetas, granos de malta, etc.
- Tanque homogeneización y neutralización: para controlar pH, estos pueden ser aereados o simplemente agitados. Los problemas de olores en los tanques no aereados, pueden ser combatidos operando a pH por encima de 11, o mediante captación y tratamiento de la corriente de aire (físico químico, trata biológico, o filtros de corteza).

- Tanques de contingencia (en general hay pocas contingencias).
- El tratamiento anaerobio en cervecerías se ha impuesto en todo el mundo, en especial en reactores UASB y EGSB. Dado que el contenido de Nk es bajo, luego del pretratamiento anaerobio es posible eliminar el nitrógeno restante porque todavía contiene suficiente carbono para permitir una eliminación biológica del nitrógeno. Nota: si se prevé UASB o EGSB; debe tenerse un tanque de acidificación previo, no es óptimo tener un tanque de agitación aerado, sino que debe ser agitado, y no puede preverse la eliminación de olores mediante la basificación del tanque almacenamiento (no debe operarse con pH 11 para estos casos).
- EGSB – velocidad en el reactor de 5-20 m/h y carga hasta 30 kg DQO /( $m^3$  d), en general se toma entre 20 y 25 kg DQO/ ( $m^3$ .d).
- UASB- carga en el reactor aprox 8 a 10 kg DQO/( $m^3$  d).
- La eliminación de DQO filtrada varía entre 80 y 85%, la temperatura debe ser mayor a 30°C.

### 13.3 Tratamiento

Estas plantas en dos etapas, anaerobio + aerobio, se han impuesto en la mayoría de cervecerías y malterías grandes que vierten a curso de agua.

Trat relativ cargas de lodo 0,05 a 0,08 kg DBO/kg SST.d, como se observa son mucho menos cargados que el sector lácteo. Se recomienda SST 3 a 5 g/l , hay que considerar que tienen gran tendencia a formar sólidos difícilmente sedimentables, se recomienda considerar para el dimensionado índice de lodos altos IL, no menor de 150, es decir diseñar unidades.

Para combatir esto se ha impuesto desde el punto de vista del proceso selectores. Por ej selectores aerobios con determinada carga alta 3 a 5 kg DQO / $m^3$ .d (es decir deben ser pequeño tamaño porque sino deja de ser un selector).

La norma alemana recomienda:

- para los sistemas de lodos activados, una carga de DBO 0,05 a 0,08 kg DBO/ kg SST.día
- Las siguientes configuraciones de reactores de lodos activados, en una etapa (en un reactor), con:
  - desnitrificación simultánea; alternativa; intermitente; en cascadas;
  - en casos también es posible los reactores con desnitrificación de cabeza.
- SBR. Este no está recomendado específicamente en la norma para frigoríficos, si bien se han utilizado en varias industrias en Alemania.



## 14. SECTOR CURTIEMBRES

### 14.1 Características del efluente bruto

Tabla caudal específico y características del efluente bruto

PARÁMETRO	Unidad	Proceso a partir de piel cruda	Proceso a partir de wet-blue
		Tonelada de piel cruda	Tonelada de wet-blue
Caudal	M3/ton materia prima	20 – 30	15 - 30
pH		9,5 – 11,5	3,8 – 5,6
DBO5	mg/l	2.400 – 3.600	1.900 – 4.000
DQO	mg/l	4.000 – 9.000	3.100 – 10.000
Norg	mg/l	400 – 800	-
N-NH4	mg/l	120 – 250	80 – 400
Sulfuro	mg/l	50 – 200	Menor 0,1
Cromo (III)	mg/l	100 – 400	35 – 380

Fuente: norma alemana DWA – M 774

### 14.2 Pre-tratamientos

El pre-tratamiento de los efluentes de curtiembre, debe realizarse de forma separativa para las distintas corrientes, en particular para las corrientes procedentes de pelambre y de curtido.

**La eliminación de sulfuro de la corriente de pelambre.** Puede realizarse mediante uno de los siguientes métodos:

- Oxidación catalítica con agregado de aire; el catalizador que se utiliza es MgO y se requiere 200 gr de Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> de efluente.
- Oxidación mediante agregado de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se requiere de 15 a 20 kg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ kg sulfuro. En algún caso se puede ayudar la oxidación catalítica, no solo con el agregado del catalizador de magnesio, sino que también con agregado de peróxido.
- Agregado de sales de hierro con aireación
- La combinación de ambos
- Precipitación y extracción de los barros generados
- Eliminación de sulfatos en el tratamiento biológico, siendo incorporado a los barros.

**Eliminación de cromo:**

- Basificación y precipitación de hidróxidos de cromo

Con posterioridad a los pre-tratamientos es imprescindible un tanque de homogeneización para la mezcla de las distintas corrientes.

### 14.3 Tratamiento

En el sector curtiembres se ha impuesto la eliminación de nutrientes con lodos activado de baja carga.

El alto contenido de nitrógeno no representa gran dificultad, dado que puede ser nitrificado y desnitrificado en reactores muy poco cargados – con edades de lodos altas de 25 días, esto permite una nitrificación estable. Se requieren cargas de lodos menores a 0,13 kg DQO/kg SS Volátiles. (norma DWA-ATV-DVWK-M774, junio 2001) El contenido de SS volátiles en estos líquidos no es muy elevado con valores típicos de 60 a 70 %.

El problema fundamental del líquido de curtiembres es el contenido de sulfuros y de sulfatos. Un alto contenido de sulfuro es promotor del crecimiento de las bacterias filiformes Thitrix, siendo habitual el desarrollo en este tipo de efluentes, donde se observa que los reactores se llenan de espumas.

El sulfuro contenido a la entrada del reactor debe ser oxidado a sulfato; sin perjuicio de ello, es de suma importancia evitar luego en el RLA zonas anaerobias para evitar la reversión de los sulfatos. (estos líquidos pueden tener concentraciones de sulfatos entre 1000-2000 mg/l).

Por este motivo deben evitarse los reactores clásicos de desnitrificación con agitación mecánica. En caso de reactores de desnitrificación de cabeza debe incorporarse una aireación a la zona anóxica (de manera de tener un equilibrio entre zonas anóxicas y aerobias). Para evitar condiciones estrictamente anaerobias. La capacidad de la aireación debe ser dimensionada para oxidar el sulfuro existente.

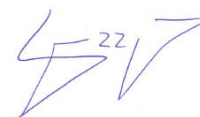
Reactores o zonas anaerobias deben ser estrictamente evitados en reactores de lodos activados para el tratamiento de curtiembres.

En Alemania se ha desarrollado un proceso de desnitrificación con oxidación biológica conjunta de sulfuro. Mediante este proceso es posible lograr una eliminación de nitrógeno logrando los siguientes resultados.

$$\text{NH}_4\text{-N} < 10 \text{ mg/l}$$

$$\text{N}_{\text{total}} = \text{N}_{\text{org}} + \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} > 70 \%$$

Trabajo publicado de Flachowsky – octubre 2011



Dipl.-Ing. Alvaro Carozzi  
Weyarn, 13.10.2015